SIMULIA
COMMUNITY NEWS

#10 2015 年 5 月号

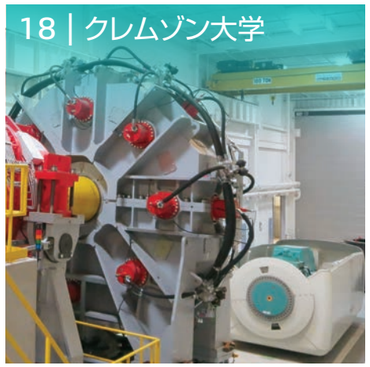
シミュレーションによる技術革新

過当競争の市場で自信を持って競争する

カバーストーリー

iXENT 社

DASSAULT SYSTEMES | The 3DEXPERIENCE® Company



目　次

2015 年 5 月号

3 ごあいさつ
VP,　SIMULIA Growth Sumanth Kumar

4 プロダクトアップデート
シミュレーションツールの価値向上

6 ストラテジー
シミュレーションによる技術革新

8 ニュース
活気づくシミュレーション
CST 社と SIMULIA、新たな戦略的パートナーシップを締結

10 カバーストーリー
iXent 社、SIMULIA で円滑なセーリングを実現

13 ケーススタディ
自己折り畳み構造のシミュレーションに Abaqus を利用

16 SIMPACK スポットライト
彗星への着陸

18 ケーススタディ
実物大の風力タービンナセルの仮想試験

21 アライアンス
Granta 社、Intel 社、CD-adapco 社および Wolf Star Technologies 社

23 カスタマスポットライト
KW Subsea 社 Arek Bedrossian 氏

寄稿者: Thomas Hahn 氏 (iXent 社)、Edwin Peraza Hernandez 氏および Darren Hartl 氏 (テキサス A&M 大学)、Martin Hilchenbach 氏(マックス・プランク太陽系研究所)、Ryan Schkoda (クレムゾン大学)、Arek Bedrossian 氏 KW Subsea 社)、Parker グループ

表紙: iXent 社、共同設立者、Thomas Hahn 氏
（Sandra Eckhardt Photography 社による撮影）

ビジネスで常に一歩先を進む

ベルリンで開催される 2015 年の SIMULIA Community Conference に参加される皆様、会場で直接お会いできることを楽しみにしております。SIMULIA の各種アプリケーションのさまざまな利用方法についてユーザー様からお聞きすることをいつも心待ちにしています。SIMULIA Community News の本号を職場や自宅などで読まれている皆様にもご挨拶申し上げます。2015 年のビジネスも順調であるものと存じます。

皆様が目の前にあるチャンスを利用され、会社での変革を推進されることを期待しております。たとえ皆様がご自身を革新者だと考えていらっしゃらなくても、皆様は革新者なのです。より強力なツールが利用できるようになるにつれて、皆様の業務の価値は高まり、皆様が実行できることの範囲は拡大し続けます。本号および SCC では、このテーマを詳細に取り扱い、顧客の皆様のどれほど多くがツールの進歩による恩恵をすでに受けているかをご紹介させていただきます。

本号のプロダクトアップデートでは、現在の皆様の業務を支援し、将来的に皆様のビジネスにおいて増大するニーズを支援するために R2015x リリースの各種機能がどのように設計されているかをご確認いただけます。これらの改善によって弊社製品の価値が向上し続けることをご理解いただければ幸いです。初めて市販されるマルチフィジックス人体心臓モデルのリリースの準備が進められているように、製品、自然、生活の調和は SIMULIA の重点事項の 1 つであり続けています。リビング・ハート・プロジェクトは、重要なサブシステムの詳細な生体力学的モデルを開発する取り組みにおける最初のマイルストーンです。本件については、数週間または数か月後のニュースをご期待ください。

我々の製品群が拡大するにつれて、多くの顧客の皆様が各種製品の能力を活用されています。本号のカバーストーリーでは、経験とテクノロジーを活用することのメリットが取り上げられています。Tosca を使用した iXent 社の先進複合材料の研究が、2010 年と 2013 年のアメリカズカップでの Oracle Team USA の優勝にどのように貢献したのかをご確認ください。また、SIMPACK 買収の最新情報をご紹介する 2 本の記事も掲載されています（クレムゾン大学の記事と彗星 67P（チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星）への Rosetta 社による宇宙探査ミッションの記事）。

SIMULIA では、顧客の皆様のビジネスからのご要望を継続的に満たし、さらに優れたものをご提供すること、またシミュレーション市場における現在のトレンドの最先端に留まることの必要性を自らの課題としております。シミュレーションによる技術革新によって約束されることは、製品の市場投入の迅速化とコストおよび材料の削減です。これにより皆様と弊社の双方にメリットがもたらされます。これが現在および今後の SIMULIA によるソフトウェア供給の原動力になっております。

是非、私どものシミュレーション技術をご活用ください。

Sumanth Kumar
VP, SIMULIA Growth

Dassault Systems K.K. 東京都品川区大崎2-1-1 ThinkPark Tower Tel: 03-4321-3503、
Fax: 03-4321-3543、simulia.jp.marketing@3ds.com、
編集長: Tad Clarke、**副編集長:** Kristina Hines、**グラフィックデザイナー:** Todd Sabelli

3DEXPERIENCE®、Compass icon、3DS ロゴ、CATIA、SOLIDWORKS、ENOVIA、DELMIA、SIMULIA、GEOVIA、EXALEAD、3D VIA、3DSWYM、BIOVIA、NETVIBES、および3DXCITE はアメリカ合衆国、またはその他の国における、ダッソー・システムズまたはその子会社の商標または登録商標です。その他の会社名、製品名およびサービス名は、それぞれの所有者の商標またはサービスマークです。Copyright Dassault Systèmes, 2015

Eシミュレーションツールの価値向上

3Dエクスペリエンス· プラットフォームの最新アップデート、SIMULIA ユーザーコミュニティに大幅な生産性の向上を提供

Abaqus、Isight、fe-safe および Tosca の継続的な機能拡張は SIMULIA ユーザーコミュニティのメンバーである皆様からの長年にわたるご意見およびフィードバックの直接的な結果であるということを、皆様にはぜひ誇りに思っていただきたいと思います。皆様の存在がなければ、SIMULIA 製品ポートフォリオは専門家向けのクラス最高のシミュレーションテクノロジー一式を提供するという今日の立場に至らなかったことでしょう。

Dassault Systèmes では、このユーザーと開発業者の基本的な関係こそが互恵的な科学研究および技術協力であると常に理解しております。また、Dassault Systèmes では近年、各業界に特化した製品の提供によって、SIMULIA の先進シミュレーション機能の適用範囲をエンタープライズ規模にまで拡大することに専念しており、これらは現在広範囲なエンジニアリング分野で利用できるようになっています。

たとえば、宇宙航空・防衛産業では、矛盾する顧客要求を満たすことができる複雑な物理プラットフォームを開発するためのトレードオフスタディを実行する「ウィニング・プログラム」のインダストリー・ソリューション・エクスペリエンスの中核に Isight があります。「コデザイン・トゥー・ターゲット」は、詳細設計段階における部品および小規模なアセンブリの Abaqus 解析に基づいています。同様に、「テスト・トゥー・パフォーム」プログラムでは認証用実物試験をサポートするための大規模なアセンブリの解析で Abaqus が使用されます。SIMULIA の各種機能は、環境に優しい風力タービン設計の支援、発電プラントのシミュレーションデータの管理、回収率を向上して安全性を高めるための地質工学による石油・ガス貯留層シミュレーションの統合といったアプリケーションによって、エネルギ、プロセスおよびユーティリティ産業でのエクスペリエンス全体を同様に網羅しています（インダストリー・ソリューション・エクスペリエンスの一覧を確認するには、www.3ds.com/ja/products-services/simulia/capabilities をご覧ください）。

現在、Dassault Systèmes では、ユーザーの皆様自身が確立されたツールに対するサポートを深化し、それらの価値を高める 3DEXPERIENCE® プラットフォーム上での確固たる具体的なメリットを提供することによって、シミュレーション部門の既存 SIMULIA ユーザーの皆様のために、この集合的知識の力を増幅させています。皆様がお使いの Isight、fe-safe および Tosca の各種機能（さらに、ご使用中のその他のソフトウェアも含めて）は、強力な役に立つ資源であり続けます。しかし、 強力な **3D エクスペリエンス**・プラットフォーム上でこれらの機能にアクセスすることによって、これらの機能とともに実行できることが飛躍的に増大します。

3DEXPERIENCE R2015x の最新リリースについては、今年の初めにすでにご存じのことと思われます。そしてご自分の業務に一体どのように適用できるか知りたいと思っていらっしゃることでしょう。そこでここでは、3DX プラットフォームを利用して皆様のシミュレーション結果の価値を高めることが可能な方法をいくつかご紹介します。

- **ジオメトリのリペアおよび変更のためのダイレクトな CAD モデル作成機能**

  利点：

  - CAD システムを知らない予備設計の専門家による迅速な設計 - 解析ループを可能にする CAD モーフィングに基づく製品の設計の容易な変更
- **ルールに基づくメッシングおよび協調バッチモデリング**

  利点：

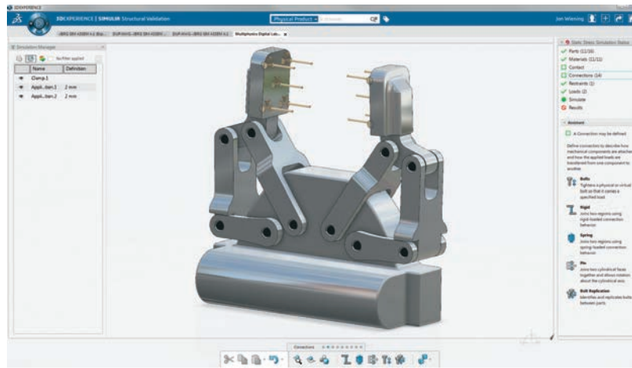
  - メッシングおよびモデリング時間を大幅に短縮しつつ高品質なメッシュを生成
  - ユーザーの経験レベルとは無関係にメッシュルールによる誘導によって得られるメッシュ品質
  - ベストプラクティス（メッシングルールおよびモデリング手法）の保存および再現用の容易な検索
  - 複数のチームとロケーションにまたがる大規模モデルを構築するための協調ツール
    - CAE タスクを単一の情報源からユーザー間に分配
  - ジオメトリ、パートアセンブリ情報および接続データを探すために費やす時間の短縮
- **シミュレーションプロセスの捕捉と再利用**

  利点：

  - 再利用するためのプロセスおよびベストプラクティスの捕捉
    - 非熟練者に展開
  - 設計空間探索
    - プロセスコンポーザおよび結果解析機能により、シミュレーションによって技術革新を促進する強力なツールを提供
- **シミュレーションデータを理解するための結果解析機能によるビッグデータ解析**
- **必要に応じてシミュレーションプロセスを変更する柔軟性により、製品の市場投入の迅速化が可能に**

これらすべての R2015x の機能は、皆さまが現在実施している業務をサポートするために、また将来的に依頼されることが増える業務の価値を高めるために設計されています。

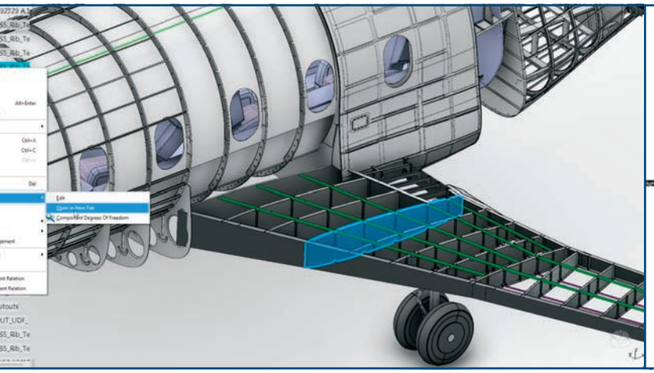
ご存じのとおり、最適化と協調は今日のデジタルエクスペリエンスにおける重要な要素です。もちろん、専門家と解析担当者は今後も最も複雑な問題に独自の専門知識を適用していかなければなりません。しかし、これからは新たな方法で共有、相談および協力することが必要になるでしょう。今日の複雑な設計や技術課題では、皆様の顧客の創造力および顧客のビジネスを引き付けるのに十分な革新性を備え、最適化され、時間および費用効果に優れたソリューションに到達するために、より大規模なチームがますます必要とされています。3DEXPERIENCE R2015x は、皆様の既存の業務のみならずシミュレーションの力を活用する機会の拡大についてもサポートしています。



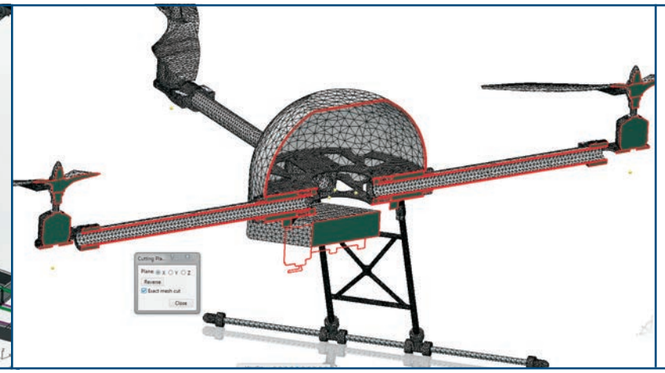
設計エンジニアは R2015x のテクノロジーを利用して、製品寿命を予測し、設計変更を誘導するアクティブな支援機能と直感的なインターフェースを用いて設計形状から直接、静的荷重下での強度および変位計算をルーチン的に実行することができる。

もちろん、あらゆる産業におけるニーズは、皆様の役割によって異なります。R2015x で導入されたものは、プロジェクト内での皆様の役割に適した各種機能を 3D Compass から直接選択することが可能なユーザーインターフェースです。役割の例としては、応力解析エンジニア、プロジェクトマネージャ、プロセスプランナーなどがあります。すべての選択肢はツールバーにカスタマイズできます。

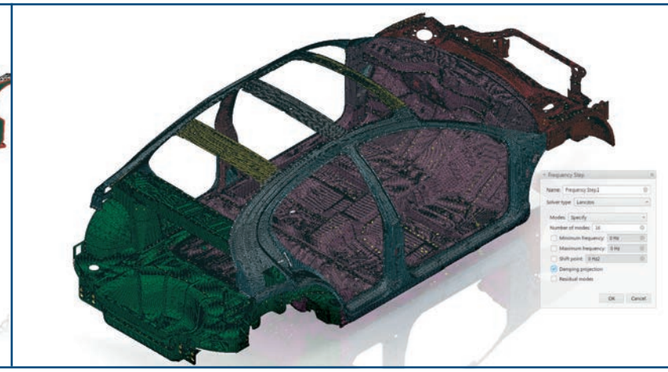
詳細は、ベルリンで開催された 2015 SCC でのアーリーバードセッションにて発表されました。この内容につきましては、www.3ds.com/how-to-buy/contact-sales にて販売代理店もしくは弊社営業までご連絡ください。



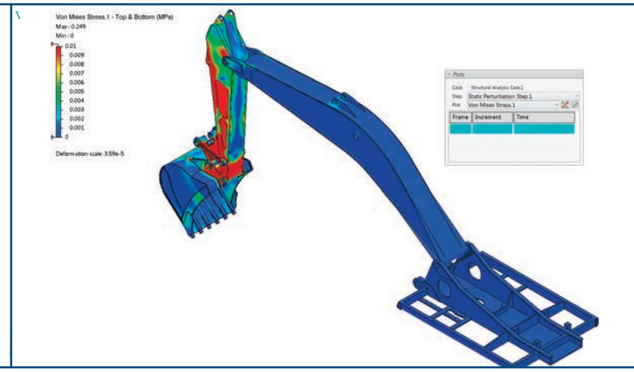
シミュレーション作業は各部品、サブアセンブリおよび完全な車両アセンブリの設計形状についてアソシアティブよりもよい方法としてダイレクトに実施される。最大規模のアセンブリの場合であってもモデル構築を簡素化するために、シミュレーション方法およびモデル構築作業を自動化、記録および再使用することができる。



解析担当者に対しては、R2015x は、シミュレーション活動の価値を最大限に高めるために作り上げられた協調的なエンタープライズ環境の中で提供されている、クラス最高の Abaqus シミュレーション技術を使用することで、複雑なエンジニアリング問題を理解および検証するための先進的な有限要素シミュレーション技術を提供する。



快適なインターフェースで接続されるなじみ深い Abaqus テクノロジーに基づく最先端のシミュレーションは、高精度な先進技術を使用して、動的な構造荷重を受ける複雑な製品の振動および騒音要件を検証するために利用可能である。



3DEXPERIENCE R2015x リリースでは、幅広い荷重条件を受ける製品の構造的完全性を評価し、設計上の意志決定を誘導するために、アセンブリ性能に責任を持つ構造解析エンジニア用の有限要素に基づく強力なシミュレーション手法が提供されている。

シミュレーションによる技術革新

過当競争の市場で自信を持って競争する

シミュレーションの世界が変化していることに疑いの余地はありません。2014 年の SIMULIA Community Conference において、我々はこの変化を革命とまで呼びました。この素晴らしい言葉は、たとえ皆様が通常の世界で使用するには大袈裟すぎる言葉だと思われるとしても、現在のシミュレーション産業の全体に広がっているエキサイティングな状況を見事に捉えています。

では実際に何が起こっているのでしょうか？

歴史的に、シミュレーション産業ではシミュレーションを「解く」部分のプロセスと最終結果に重点が置かれてきました。SIMULIA では、その歴史の始まりから、皆様の最も困難で重要な産業上のシミュレーション問題を「解く」ために必要な力学、機能性、安定性および性能に関連するテクノロジーに特段の重点が置かれてきました。重点の対象としては、ソルバー性能と拡張性、最先端の力学および材料モデリングのための各種機能、アセンブリおよび接触問題、破壊、マルチフィジックス協調シミュレーション、FEA における厄介な技術的ニーズに関するその他多くの領域が挙げられます。

明らかなことは、SIMULIA におけるこの技術に重点をおくという姿勢は継続的なものであり、今後も継続されることです。ユーザーの皆様は手に入れられるテクノロジーをできるだけ多く必要とする、ということが SIMULIA の伝統であり、信念であり、モットーです。そしてそれに対して、シンプルな エクステンディド・パッケージ・ ストラテジーによって提供される「パワー・オブ・ポートフォリオ」の確立された製品ラインによって、ビジネスにおける最も広く、最も拡張性に優れ、最も容易にアクセス可能な技術ポートフォリオで対応しています。「パワー・オブ・ポートフォリオ」と エクステンディド・パッケージ によって、ユーザーは即座に FEA のための Abaqus 、ノンパラメトリック最適化用の Tosca、パラメトリック最適化とプロセス・キャプチャ用の Isight、耐久性および疲労シミュレーション用の fe-safe にアクセスすることができます。すべてのアクセスは、効率性、柔軟性および拡張性を提供するものであり、経済的な共有トークンプールを介して行われます。「パワー・オブ・ポートフォリオ」によって、我々はこれまでにないほど多くのテクノロジーを提供しています。

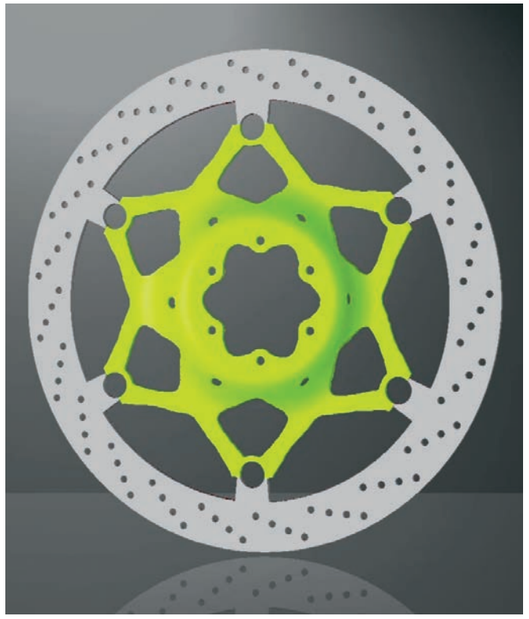
しかし、シミュレーション産業は変化しています。今日、シミュレーションユーザーの皆様は、単なるテクノロジー以上のものを必要とされています。我々は全社で実施されたシミュレーションによって獲得した知識を捕捉し、活用する方法を必要としています。これは、その価値をより完全かつ広範囲に伝達し、今日の産業が直面している幅広い問題にシミュレーションを関与させるためです。過当競争環境にある大半の企業にとっての問題は、単純にどのように「解く」かということではなく、どのように「技術革新する」かということです。シミュレーションは技術革新において非常に大きな役割を果たします。プロトタイプ試験とは異なり、シミュレーションはどこでも、いつでも、365 日、曜日や時間に関係なく実施できます。専門家によって開発され、捕捉したワークフローを専門家以外のユーザーに展開することで、現在では誰もがシミュレーションの価値とメリットを享受することができます。もちろん、試験では多くの場合に合格または不合格という単純な結果が得られます。

一方、シミュレーションでは製品が合格または不合格になった理由を知ることができます。また、不合格にどれほど近いかを知ることもできます。シミュレーションでは製品設計を改善する方法を明らかにすることができ、設計プロセス全体の修得と理解を促進することもできます。さらに、プロセス・キャプチャと自動化によって、想像できないような方法で設計空間を探索することもシミュレーションはでは可能になります。以前ならば絶対に特定することができなかった設計点を特定するために SIMULIA のテクノロジーを利用した顧客の皆様による非常に多くの例を我々は現在保有しています。

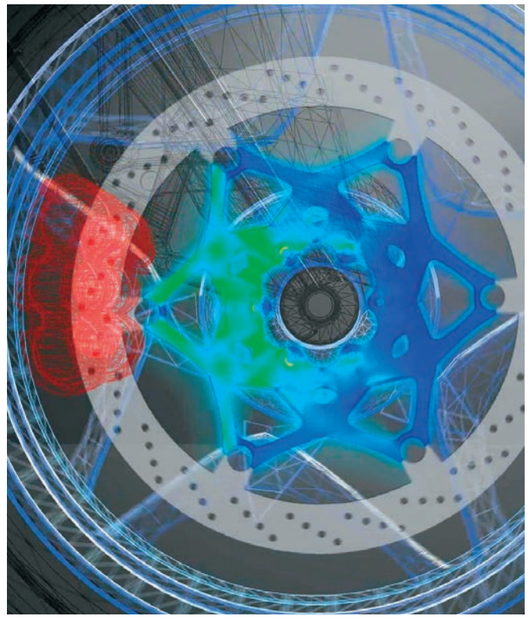
このように、シミュレーション産業は、「解く」から「技術革新する」への革命を経験している最中なのです。この変化が完了すると、シミュレーション活動は企業が実施する事柄の中核になります。解析担当者はコストの削減と設計時間の短縮のためだけではなく、リスクの低減のためにも欠かせない存在になるでしょう。解析担当者によって、企業は過当競争の市場で自信を持って競争し、社会に恩恵をもたらす革新的な製品を開発し、計算と仮想世界の可能性を完全に活用することができるようになります。この変化を実現しない企業は脱落することになるでしょう。

初期設計コンセプト

作業中の技術革新 – 最適化中の中間設計状態

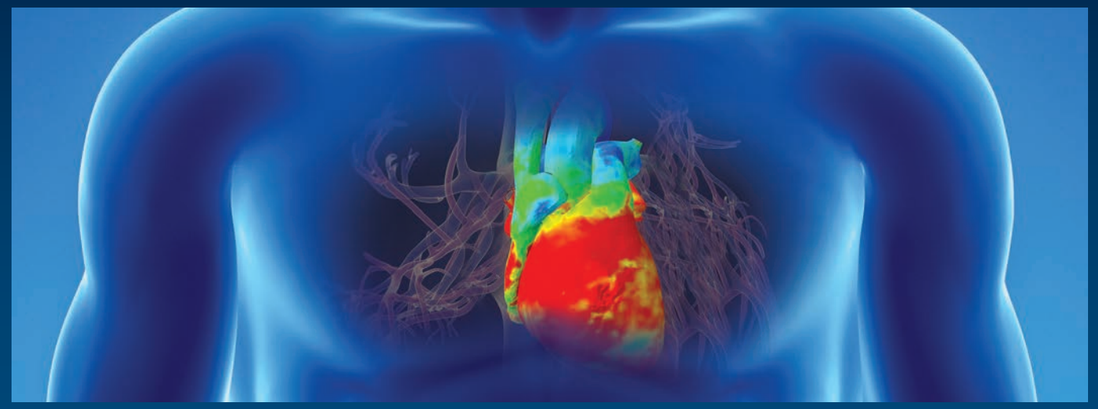


重量に対して最適化された最終設計



最終設計の性能検証

詳細は以下をご覧ください
www.3ds.com/simulia



活気づくシミュレーション

設計とエンジニアリング、研究室から実世界へworld

イムホテプ（古代エジプトの高級神官）やピラミッドに時代より、エンジニアたちは、私たちの世界への悪影響を最小限に抑えるために最善を尽くしつつ、生活を楽にして、豊かにし、生産性を高める装置の発明と改良に没頭してきました。しかしながら、人間の理解と利用可能な技術の限界のために、実世界の複雑さを理想化された実際とは異なる表現に簡略化することを長らく強いられてきました。その結果、製品はしばしば最適ではないものになっていました。21 世紀になり、エクスペリエンスの時代に入ると、これらの限界を克服し、製品が機能する実世界の現実的な表現を組み込むことが可能になりました。言い換えれば、製品と自然と生命を調和させることが可能になったのです。

SIMULIA では、この全体論的アプローチをお客様が採用することを支援するテクノロジーに 5 年以上の歳月をかけて取り組んでいます。特に、そのような製品を使用または着用したり、場合によっては体内に埋め込んだりする人々に重点を置いてきました。最初のマイルストーンは 2014 年に立ち上げたリビング・ハート・プロジェクトであり、その画期的なビジョン、ユニークなクラウドソーシングによる協力方法および迅速な開発ペースによって好意的に受け入れられました。5 月には、初めて市販されるマルチフィジックス人体心臓モデルをリリースしました。このモデルを利用することによって、医療関係の研究者および医療機器のエンジニアは健康な心臓と疾患のある心臓の機能を研究できるようになります。また、埋め込みデバイスの性能および信頼性を改善することも可能になります。

心臓血管系によって人間は生存し、健康が維持されます。しかし、筋骨格系によって世界を体験し、自分たちが作り出す製品と相互作用することができます。産業界および学会の専門家からの指導に基づいて、我々は腕、脚、肩、手および足を含む重要なサブシステムの詳細な生体力学的モデルを開発してきました。これらのモデルでは、歩行、物体の持ち上げや取り扱いなどの日常活動の中で発生する内力の釣り合いを決定することができます。

筋肉、皮膚、骨およびその他の生体物質の材料モデルと組み合わせて、真に現実的な仮想人間環境の作成を開始することができます。これらのモデルを利用することで、製品設計者はランニングシューズ、練り歯磨きのチューブ、テニスラケット、自動車のシートなど、日常で使用する物をどのように人々が実際に体験しているのかを理解することができます。そして、性能的に優れ、安全性が高く、使用して楽しい新製品を設計することが可能です。

「これらは分離して製品を開発することの上を行こうとするエンジニアにとってエキサイティングな開発です。対応する実物とは異なり、仮想人間モデルでは製品を体験している間に詳細に調べて、設計探索や性能最適化のためにかつてないレベルでフィードバックを提供することが可能です」と、SIMULIA CTO オフィスの主任研究員である Victor Oancea は話しています。我々の製品ロードマップは、新たな医療機器や医療手技を試験するための仮想環境が終点ではありません。研究者や臨床医がより正確な診断と治療を行えるようにして、時間、不便さおよび費用を短縮、低減および削減しつつ、健康を直接改善するためのツールが開発されています。医学の分野を越えて、エンジニアは自然から学び、身体を最適化されたマルチフィジックスかつマルチスケールなシステムとして理解し、私たちの生活に適応する生物学的に示唆された未来の製品やテクノロジーの開発を加速させることができます。

これらすべての行き着く先はどこでしょうか？心臓モデルの発売と 3DEXPERIENCE プラットフォームの出現によって、製品を作る前に試験するだけではなく、仮想世界の中で実際に使用する時代が到来します。その可能性は無限です。協力することによって、これまで常に望まれていたように、設計とエンジニアリングを実験室の中から実世界に拡大することが可能です。

詳細は以下をご覧ください
www.3ds.com/heart

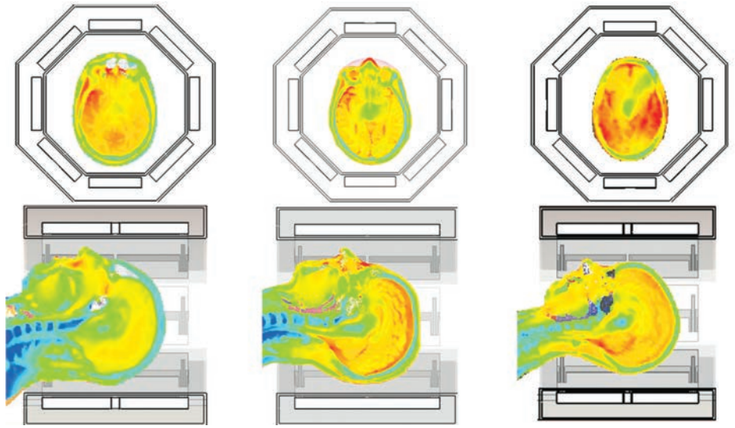
CST（COMPUTER SIMULATION TECHNOLOGY）社と SIMULIA、新たな戦略的パートナーシップを締結

Dassault Systèmes の Simulia と CST（Computer Simulation Technology）社は、新たな戦略的パートナーシップを構築しています。CST 社は 1992 年にドイツのダルムシュタットで創立された電磁界シミュレーションソフトウェア会社です。ヨーロッパ・中東・アフリカ地域（ドイツ、フランス、イギリス、イタリア、ポーランドなど）、南北アメリカ（マサチューセッツ州、カリフォルニア州、ブラジル）およびアジア（韓国、シンガポール、中国、インド、台湾）にオフィスを構え、世界各地に展開している企業です。

現在、CST 社は高周波電磁界シミュレーション市場（アンテナ、電磁環境効果（E3）、受動素子、電磁放射、信号品位、MRI の安全性など）と低周波電磁界シミュレーション市場（センサ、開閉装置、変圧器、モーター、発電機、その他の機械）で特に強みを持っています。

SIMULIA とのパートナーシップでは、両社のそれぞれの製品間、さらに 3DEXPERIENCE プラットフォーム上での新たな電磁界アプリケーション間の相互運用に重点が置かれ、その他の物理現象と連成させることも可能です。

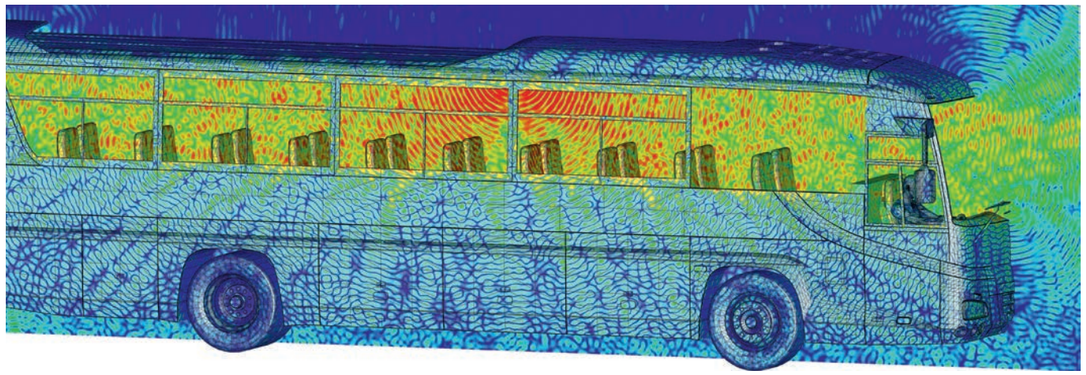
市場がワイヤレスに相互接続されたスマート製品に移行する中、このパートナーシップによってお客様はより完全なソリューションを利用することが可能になります。CST 社は電磁界解析の分野で広範囲にわたる、技術的に最も進んだ各種ソリューションを提供しています。CST 社によって初めて市場に投入された技術としては、Finite Integration Technique（FIT：有限積分法）、Perfect Boundary Approximation（PBA：完全境界近似）および Complete Technology for 3D EM があります。CST 社と SIMULIA は両社ともマーケットリーダーであり、技術および文化の観点からの連携も良好です。既存のテクノロジーを活用して、成長しつつある底周波電磁界シミュレーション市場で新たなソリューションを提供して参ります。



同一ヘッドコイル内の 3 種類のモデルによる 10 g 平均 SAR 分布（上～横断面、下～矢状面）。画像：Erwin L. Hahn Institut（ドイツ、エッセン）提供

CST 社はドイツのベルリンで開催された SIMULIA Community Conference（5 月 19 ～ 20 日）のプレミアスポンサーです。また、Integrated Solutions のセッションでは同社の各種ソリューションに関するプレゼンテーションが行われました。このパートナーシップの詳細については、SIMULIA Alliances までお問い合わせください。

詳細は以下をご覧ください
www.cst.com



Wi-Fi 受信範囲シミュレーション：バス車内の 2.45 GHz の Wi-Fi アンテナからの電界、非定常ソルバを使用してシミュレート。

SIMULIA でより円滑なセーリングを実現

先進的なエンジニアリング企業 iXent 社、世界一のレース用ヨットに使用する重要な複合材コンポーネントの最適化と軽量化のためにSIMULIA のパワー･オブ･ポートフォリオを利用

ウィンチ（右下）を駆動するギアに動力を供給する「コーヒーグラインダー」を素早く回す 2 名のクルーによるチーム

大海原を優雅に疾走するレース用ヨットの姿は感動的です。波をかき分ける流線型の船首部分、巨大なセールの劇的な変化、ブームが旋回し、ヨットがジャイビングすると左右に急いで移動するクルーたち。そして、「コーヒーグラインダー」チームが突然ウィンチを必死に回すと、全体のパフォーマンスを微調整するロープラインが引っ張られます。

これらのウィンチを作動させる人力は非常に大きく、向かい合った 2 名のクルーが一対のハンドルを掴み、猛烈なスピードで回します。2 名のクルーによって生み出される回転力は、さまざまな動索を制御する大型ウィンチにギアを介して伝達されます。これらのライン、すなわちハリヤード、ダウンホール、シートなどは、セールとブームの位置を変更するデッキトップウィンチ全体によって締め付けたり、緩めたりされます。娯楽用ヨットには軽量な片手ウィンチが使用されていますが、レース用ヨットでは話が別です。レース用ヨットの場合、最大 6 組の 2 名チームによって、ヨット全体の主要可動コンポーネントを駆動するための人力エネルギを供給することが必要になります。

「このようなレース用ヨットを積極的に帆走させるほど、ウィンチギア構造にかかる荷重は大きくなります」と iXent 社の共同設立者である Thomas Hahn 氏は話しています。iXent 社はドイツにある技術コンサルティングおよびエンジニアリングサービスを提供する企業であり、複合材料の応用軽量化エンジニアリングを専門としています。Thomas Hahn 氏と共同設立者の Christoph Erbelding 氏は、アメリカズカップで 2 回優勝している米国の Oracle Team USA のヨットで使用されたコンポーネントの設計を支援したことがあります。

航空エンジニアである二人がヨット用ウィンチを設計した理由

Hahn 氏と Erbelding 氏は今でこそヨットに関する専門知識で知られていますが、元々は航空エンジニアとして教育を受けており、その後は自動車業界で数年間を過ごしました。アメリカズカップのスポンサーである BMW 社によって 2004 年に Oracle Team USA の「技術能力」チームに参加するように選ばれたきっかけは、iXent 社がミュンヘン（Audi 社、BMW 社および Mercedes 社の近く）に位置しており、広範囲にわたる（現在も進行中の）先進的な自動車用複合材に関する研究を行っていたためです。その後、Oracle Team USA が 2010 年と 2013 年のアメリカズカップで優勝したことによって、ハイテクヨットレースの分野における iXent 社の知名度は急速に高まりました。彼らは現在 2017 年のためのチームとともに仕事をしています。

もちろん、ヨット競技の世界は非常に広く、全長、船体のタイプ、艤装などに基づく多種多様なクラスで、数百のレースが世界中で開催されています。大型ヨット（マキシクラス、全長 72 フィート超）のオーナードライバーにとって重要なレースの 1 つである Rolex Maxi Worlds（ロレックス・マキシ・ワールド）は、35 年間にわたって毎年 9 月、イタリアのポルト・チェルボにある Costa Smeralda ヨットクラブで開催されています。小型のマキシヨットを対象とする「ミニ-マキシ」競技が 2010 年に追加されました。全長に関係なく、マキシクラスは設計および技術革新の限界に挑戦していることで知られています。

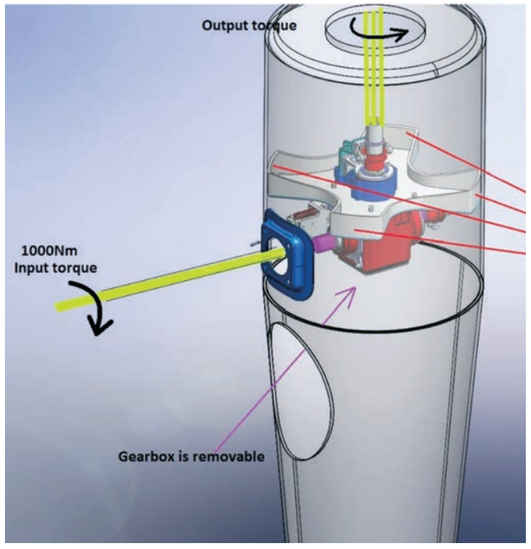
ミニ-マキシクラスのヨットである Alegre 3（全長 24 メートル）のオーナーは、2010 年に Oracle チームで働いた同僚の一人であり、Stay In Phase 社のウィンチの専門家である Jon Williams 氏から iXent 社の能力を勧められ、iXent 社のクライアントになりました。Alegre チームでは、ポルト・チェルボでの過去 2 年間の大会で甘んじてきた 2 位から順位を上げるために、設計と重量の手直しを試みようとしていました。

「我々はシミュレーションパッケージ全体を大いに役立つものだと考えています。使用しなければ、取り残されることになるでしょう。これらのデジタルツールは、我々が経験に基づく意志決定を行うときに間違いなく役立ちます」

- iXent 社、共同設立者、Thomas Hahn 氏 -

ヨットのあらゆる部分に見直しの余地があったため、かなり大規模な開発になりました。ランプデッキはコックピットのフロアからフォアデッキまで連続する面になり、剛性が向上した切れ目のない荷重経路が作られました。キールフィンは、剛性を最大化し、最大限の復元力が発生するように、内部でキールタワーにボルトで固定されました。

追加されたすべての剛性によって増大した艤装に加わる荷重に対応するため、Williams 氏は iXent 社にウィンチの設計を再考することを依頼しました。その目的は、最大限に軽量化しつつ、堅牢性を向上させることです。プライマリーウィンチは、トリマーにとって最適な位置、すなわち最大限に剛性を保つのためにウィンチギアを垂直シャフトに組み込むポッド上に配置することが必要でした。



シャフト内部にあるウィンチギア（赤）とサポート（グレーおよび白）。ウィンチ（非表示）は上方にある。

ウィンチギアサポートの最適化課題の初期設計空間。このような円形の平坦な形状にとどまる設計は、競技セーリングの高い応力の下でねじれが生じやすい可能性がある。

強靭かつ軽量な設計を導き出すシミュレーション

iXent 社では、各ウィンチシャフトの内部にあるすべてのものを所定の位置に保持するサポートプレートに注目しました。Hahn 氏が見たことのある多くのギアサポートの設計は、単純な円形の平らなプレートであり、過度の応力が加わると曲げとねじりを非常に受けやすいものでした。「サポートプレートはとにかく本当に強いことが必要です。私は実際に見たことがありますが、弱いサポートは周囲が曲がり、波打ち始めるのです。サポートが歪んでしまうと、動力伝達装置全体が固定され、メインセールを動かすことができなくなります」と Hahn 氏は述べています。

それでは、Alegre 3 の最適なウィンチギアサポートの設計はどのように行われたのでしょうか？ iXent 社としては広範囲にわたる独自の業界知識と企業秘密の専有技術をいくつか適用しつつ、Hahn 氏は彼のグループがイノベーションの大部分を誘導するために頼りにしている複数のシミュレーションツールの名前を積極的に挙げました。具体的には、SIMULIA 製品群である Tosca Structure（ノンパラメトリックトポロジー最適化用）、Isight（プロセス自動化およびパラメトリック最適化用）および Abaqus（有限要素解析用）のシミュレーションツールです。iXent 社の主要 CAD ツールは Dassault Systèmes の CATIA でした。

「我々はシミュレーションパッケージ全体を大いに役立つものだと考えています。ここで利用している一連のシミュレーションプロセスでは、基本的にコンセプトから詳細までのあらゆるものがカバーされています。我々の顧客の皆様は、当社が最先端のテクノロジーを利用していることを知っています。使用しなければ、取り残されることになるでしょう。これらのデジタルツールは、我々が経験に基づく意志決定を行うときに間違いなく役立ちます」と Hahn 氏は話しています。

この経験から得た知識によって、サポートプレートを複合材料で作ることが決定されました。「現代の競技用ヨットは実際に飛ぶことが必要ですし、Alegre についてはそのクラスのヨットの最大重量が規定されているので、設計ができる限り軽量化されるよう常に努めます。どのコンポーネントについても同じで、複合材で設計を少しでも軽量化できるのであれば、複合材を使用しなければなりません。たとえ数グラムの軽量化であっても、複数の部品で掛け算すると、合計では大きな重量の違いにつながります」と Hahn 氏は述べています。

耐久性の課題に取り組むためには、レース中にウィンチが受ける荷重の正確な種類を追加で評価することが必要です。「3 台のウィンチを操作する 6 名のクルーは、メインシートセールに着座している場合、最大で 1,200 Nm を発生させる可能性があります。これは中型セダン 3 台分の重量を上回る荷重を発生しているようなものです。別の見方をすると、1,200 Nm は最適なトルク発生で知られている 3 リッターの最新ディーゼルエンジンによるトルクの 3 倍になります」と Hahn 氏は述べています。

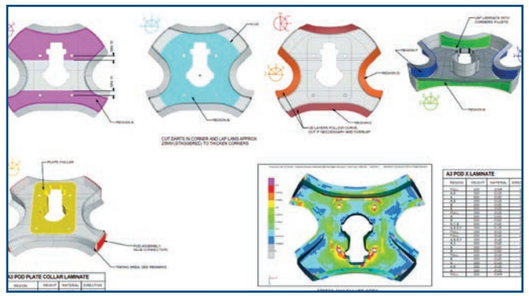
Tosca を利用したイマジネーションとイノベーションによる「バットマン」デザイン

荷重の推定値を手に入れたことで、チームは Tosca を利用して問題のノンパラメトリック解析を実行する準備が整いました。「我々は取り組んでいるすべての設計問題について通常とは異なる考え方をすることを好みます」と Hahn 氏は話しています。「我々は『革新的に考えてみよう』と言います、そしてこれが Tosca を利用している理由です。最初は基本的にブラックボックスとなっている構造を定義

します。予想される荷重ケースを、上端、下端など最大 10 個まで追加します。」

「経験豊富なエンジニアの私でさえ、どこで軽量化することができるか、どこに材料を追加しなければならないかという観点で、最適構造がどのようなものかを完全に想像することはできません。しかし、Tosca では、あらゆる可能性が自動的に調べ上げられて、最も効率的な構造を特定するための、メッシュ分割されたまるでロールシャッハテストのようなパターンが提供されるのです」

（左）ヨット用ギアサポートの最初の Tosca イテレーションと（右）最終結果



（上）バットマンデザインのウィンチギアサポートの最終図面。追加剛性を提供する外縁部に沿うフランジ（画像右上）に注意。（下）完成したバットマンデザインの複合材コンポーネント

Tosca の最初の結果がバットマンに助けを求めるため夜空に照射されるバットシグナルによく似ていたため、チームでは親しみを込めて新たなウィンチサポートのデザインを「バットマン」と呼ぶことにしました。

次に、チームは Tosca のジオメトリを CATIA の中で再構築し、3D CAD 表現へと精緻化しました。さらに、プリプロセッサ ANSA（BETA CAE Systems 社）を利用して、使用中に部品が受ける荷重の包絡線を表現するトルクおよびモーメントの系が設定された Abaqus 用の実行ファイルを抽出しました。

Isight と Abaqus による複合材設計の最適化

最後に、重量が最小限でありながら、必要とされるすべての境界条件を満足する、最適化された積層複合材の設計に向けた一連の Abaqus FEA 解析を自動的に実行するため、チームは Isight を利用しました。「このレベルの最適化を手作業で行うことは不可能です。人間には直感があるかもしれませんが、これらのツールによって積層複合材から更なる軽量化が絞り出される様子は本当に驚異的です」と Hahn 氏は述べています。

大変興味深いことに、Tosca は後の生産プロセスにおける複合材の方向の決定にも貢献することが可能だと Hahn 氏は述べています。「基本的に Tosca では、曲げを最小限に抑えるために最小量の材料を使用するトラス / ブリッジ形式の構造が作られます。もちろん、複合材もほぼ同じように機能します。繊維配向は、圧縮でも引っ張りでも、繊維の長さ方向で最も強くなります。ですから、原理は同じなので、積層複合材の設計に Tosca を利用しない理由はありません」

最終的なバットマンデザインでは、レース用ヨットで使用されている一般的なコンポーネントと比較して約 17% の軽量化が実現されました。そして、偶然の一致でしょうか、その新たに最適化されたウィンチギアサポートを装備した Alegre は、2014 年のミニ - マキシ競技で優勝しました。

チームを必要とする優勝

Hahn 氏は多忙であったため、優勝から数カ月後にそのことを聞いてとても喜びました。「一つの分野に強みがあるだけでは優勝すると思いません。最高のトータル『パッケージ』、すなわち優れたクルー、優れたサポート、そしてもちろん優れた設計を得ることによって優勝するのです。このケースでは、当社のクライアントが軽量で強度の高い最終的なバットマンデザインを本当に気に入りました。これらの目標でヨットのあらゆる部分に取り組んだとしたら、最適な設計パッケージが最終的に得られることは間違いないでしょう」と Hahn 氏は話しています。

優勝に対するこの姿勢は、自動車業界や製造自動化業界のクライアントも直面しているさまざまな軽量化の課題に、iXent 社が Tosca の専門知識を利用するのに役立ちます。「バットマンの例は何ができるかを示す素晴らしい実証ですが、我々は自動車や船舶のより大きな部品のトポロジーなど、はるかに大きな構造にも Tosca を利用しています。最も効率的な形状がどのようなものか分からない場合にも、ほぼあらゆる構造に Tosca を利用することが可能です。Tosca によってイマジネーションが刺激され、ワンパターンの設計から抜け出すことができるでしょう」と Hahn 氏は話しています。

詳細は以下をご覧ください
www.ixent.de

テキサス A&M 大学、自己折り畳み構造のシミュレーションに Abaqus を利用

形状記憶合金研究チーム（SMART）、形状記憶合金（SMA）を利用した自己折り畳み構造を解析

図 1. 折り紙の原理によって作られた紙モデルの例 principles.

折り紙は数十年にわたって工学的構造物の設計にアイディアを提供してきました。一枚の平らな紙を折ることで無数の形状が得られる無数の形状によって、折り紙はエンジニアや科学者にとって非常に興味深いものになっています。たとえば、図 1 は一枚の紙を折り畳むことによって得られる無数の形状のごく一部を示したものです。

折り紙の基本原理は普遍的なものであるため、ナノスケールデバイスから大規模な展開宇宙構造物に及ぶさまざまな応用につながっています。エンジニアは近年、自己折り畳み構造の折り目を折るために、さまざまな形態のエネルギーを機械的な仕事に変換するアクティブマテリアルの利用に関心を持ち始めています。アクティブマテリアルによって、エンジニアは自己折り畳み構造を作ることが可能になります。つまり、外部からの荷重によって操作されなくても、折り畳みおよび展開プロセスを実行することができるのです。このような構造は、遠隔操作システム（宇宙および水中）、小型装置、自己組み立てシステムなどの多くの応用のために役立ちます。

この研究では、形状記憶合金（SMA）を利用した自己折り畳み構造のシミュレーションに重点が置かれています。SMA とは、適切な温度や応力の変化によって誘発される固相 - 固相変態が生じるアクティブマテリアルであり、この変態の過程で見かけ上の永久ひずみを生じたり、元に戻ったりすることが可能です。このような特性によって、SMA は航空宇宙や生物医学などの広範囲にわたる分野でのさまざまな既存の応用と潜在的な応用が可能になります。SMA では大きな応力（数百 MPa）の下で相当なひずみ（最大 10%）を生じることができます。これは構造のモーフィング（変形）において非常に有用な特性の 1 つです。

Dimitris Lagoudas 博士と Darren Hartl 博士をリーダーとするテキサス A&M 大学の***形状記憶合金研究チーム***（SMART）（(http://smart.tamu.edu/)）には、SMA の構成モデル化と SMA を利用した構造の構造解析の分野において蓄積された長年の専門知識があります。SMART によって開発された、世界的に有名なテキサス A&M SMA 構成モデル用の Abaqus ユーザ定義材料サブルーチン（UMAT）は、長年にわたる進化を遂げ、有限要素解析における SMA 構造の最先端シミュレーションを提供します。

SMA を利用したモーフィング構造のモデル化では 2 つの問題が生じます。すなわち、モーフィング中に生じる大回転の考慮（例：ある形態から別の形態への折り畳み）と SMA 内の非弾性現象を考慮する変数の発展方程式の数値計算法（例：マルテンサイト体積分率および変態ひずみ）です。大回転を考慮するため、Abaqus ではほとんどの種類の解析ステップに NLGEOM オプションが提供されています。このオプションによって、応力やひずみなどの正しい回転が与えられ、大回転を受ける構造の正確なシミュレーションが可能になります。このような回転は、検討している解析ステップの中で NLGEOM オプションが有効であれば、応力とひずみに対して自動的に適用されますが、UMAT 内で解依存変数として保存されている非スカラー量（例：変態ひずみテンソル）は、UMAT コード自体の中で回転させることが必要です。そのために、Abaqus では UMAT 内で使用可能な変数として剛体回転増分マトリックス DROT とテンソルの回転計算を行う組み込みユーティリティルーチン ROTSIG が提供されています。材料点の座標系が構造と一緒に回転するシェル要素の場合、UMAT 内の変数を回転させる必要はなく（DROT は単なる恒等マトリックス）、大回転を考慮するには解析ステップの中で NLGEOM を有効にするだけで十分です。

この UMAT 内では非線形な熱機械的に連成した SMA 構成方程式を解くために、弾性予測子 / 変態修正子のフレームワークが使用されます。UMAT 内での最初のステップは、ROTSIG ユーティリティルーチンを使用して解依存の非スカラー変数を回転することです。次に、マルテンサイト体積分率および変態ひずみは直前の全体イテレーションから変化しないと仮定され、弾性予測が実行されます。古典的な速度に依存しない塑性と同様に、変態面（応力、温度およびマルテンサイト体積分率に依存）が評価され、SMA が変態しているかどうかが決定されます。しかし、古典的な塑性とは異なり、SMA モデルには確認しなければならない 2 つの変態面があり

ます。1 つはオーステナイトからマルテンサイトへの変態のものであり（変態ひずみはこの変態中に発生する）、もう 1 つはマルテンサイトからオーステナイトへのものです（既存の変態ひずみはこの変態中に元に戻る）。変態が発生しないことが確認された場合（変態面が非正の値を持っている場合）、応力の現在値が出力として提供されます。変態が発生すると分かった場合は、変態面の値がゼロになること（または実際問題として所定の許容値の範囲内でゼロに近づくこと）を保証するために、リターンマッピングアルゴリズムを使用して応力、変態ひずみおよびマルテンサイト体積分率が修正されます。ひずみおよび温度に対する適切な応力の接線マトリックス（それぞれ、UMAT 内の DDSDDE および DDSDDT）が導出されており、解の迅速な大域的収束を保証する形で UMAT 内に組み込まれます。SMA 構成モデルおよび数値計算法の詳細については、Lagoudas, D., et al. (2012). Constitutive model for the numerical analysis of phase transformation in polycrystalline shape memory alloys. International Journal of Plasticity, 32, 155-183 を参照してください。

テキサス A&M 大学で折り紙からアイディアを得た SMA 構造を研究しているチームは、Darren Hartl 教授（航空宇宙工学）、Dimitris Lagoudas 教授（航空宇宙工学）、Richard Malak 教授（機械工学）、Ergun Akleman 教授（可視化 / 建築）、Nancy Amato 教授（コンピュータサイエンス）および Daniel McAdams 教授（機械工学）によって率いられています。この研究チームでは、3 層からなる自己折り畳み積層複合材が検討されています。外側の 2 層は予ひずみを与えられた直交メッシュパターンの熱活性化 SMA ワイヤで構成され、積層材の内側の層は断熱性があり熱的にコンプライアントなエラストマーで構成されています。積層材の片面が直線状の領域で特

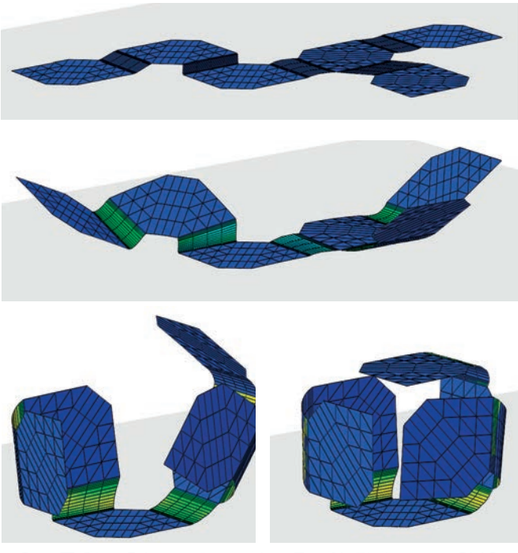


図 2. 自己折り畳みによって立方体になるように形成された、SMA を利用した積層材シートの熱によって引き起されたモーフィングを検討する有限要素解析の結果。等高線図は SMA UMAT で定義された状態変数である局所相変態の進行を示している

「Abaqus が提供する多様な機能がなければ、このように複雑な構造解析問題に取り組むことは想像できません。材料の潜在的なヒステリシス挙動から局所不安定性や自己接触まで、このエキサイティングな新しい分野を研究するにあたって、我々はこのソフトウェアの限界に真に挑戦しています」

- テキサス A&M 大学、Darren Hartl 博士

定の SMA 変態温度まで加熱されると、SMA ワイヤは予ひずみが元に戻って収縮し、加熱されている面の方向に加熱直線上で折り目が作られます。

シートのジオメトリと折り畳みパターンの生成は、複数の専門分野が関係する課題です。このような課題に工学分野と建築 / 可視化分野が協力して取り組んできました。テキサス A&M 大学の可視化学部の教授である Ergun Akleman 博士は、SMA を利用した自己折り畳みシートの研究に取り組むチームの一員です。

Akleman 博士と彼の研究グループでは、エンジニアに折り紙設計用の適切なジオメトリと折り畳みパターンを提供するいくつかのアルゴリズムとプログラムを開発しました。Akleman 博士、Hartl 博士および Lagoudas 博士と学生たちは、シートのジオメトリと折り畳みパターンを生成するだけでなく、これらのシートを解析するために Abaqus にインポートする Python スクリプトと .inp ファイルを開発しました。その .inp ファイルにはメッシュの情報が含まれており、必要であれば後に Abaqus で細分割または修正することができます。また、境界条件の適用時の要素と節点の選択を容易にするために、折り目の加熱領域に対応する要素集合と節点集合についても細分割または修正することが可能です。

研究成果の 1 つは、多面体の展開および折り畳み用のアルゴリズムです。図 2 は、そのアルゴリズムを使用してジオメトリが生成された自己折り畳み立方体の Abaqus 有限要素シミュレーションを示したものです（シートは Abaqus の S4、SR4 および S3 要素を用いてモデル化し、複合材断面を使用）。等高線図はマルテンサイト体積分率（前述の SMA UMAT 内の状態変数）を示しており、1（予ひずみが与えられているマルテンサイト 100% ）と 0（オーステナイト 100%、SMA 内のすべての変態ひずみが元に戻った状態の相）の間で変化します。

SMA の非線形ヒステリシス挙動、さらには折り畳み / 展開動作中の自己折り畳みシートの特定の領域における局所座屈などの構造不安定性によって、研究の遂行は一層困難になります。テキサス A&M 大学の研究者によって開発された UMAT とともに、幾何学的非線形シミュレーション、接触および陰的動的解析法などの Abaqus の各種機能によって、このようなシミュレーションが可能になりました。テキサス A&M 大学における SMA を利用した折り紙構造の Abaqus 有限要素シミュレーションの大半は、宇宙航空工学部に在籍する博士課程の学生である Edwin Peraza Hernandez 氏によって実行されました。

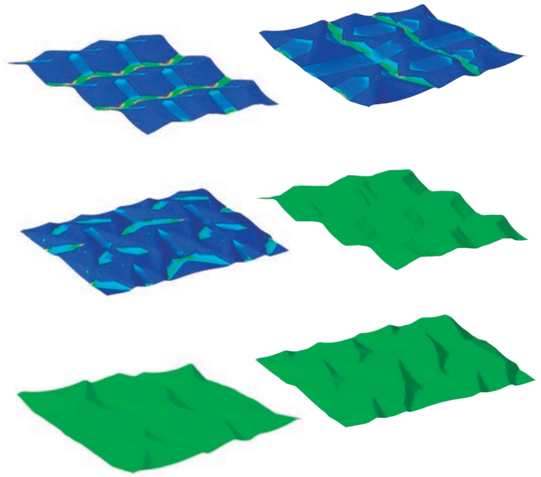


図 3. 解析後の Abaqus によって得られたマルテンサイト体積分率の等高線図およびシェーディング形状変形

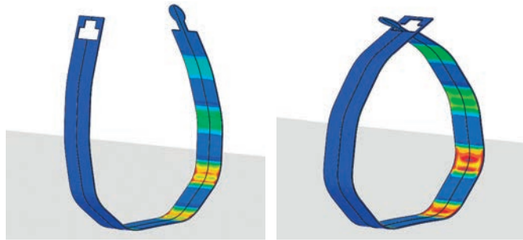


図 4. タブとスロットによる結合部を持つリング状構造の折り畳みに向けた動作。シートが冷却されると、タブが細いスロット部分の中に滑り込み、リングの両端が結合される。等高線図は局所相変態の進行を示している

内製ツールの使用に加えて、研究チームは館知宏氏による Freeform Origami（http://www.tsg.ne.jp/TTsoftware）などの自由に入手可能な折り紙設計ツールも調査しました。Freeform Origami による折り目パターンを Abaqus にインポートするための Python ベースのスクリプトが開発されています。まず、折り畳みパターンが Drawing Exchange Format（.dxf）ファイルとして Freeform Origami からエクスポートされます。このファイルには検討したい折り畳みパターンが線図の形式で含まれています。次に、.dxf ファイルがラインスケッチとして Abaqus にインポートされます。その後、このラインスケッチはユーザによって寸法が決定されるシートの中で方向、縮尺および位置が調整されます。次に、折り目の位置に加熱領域を作るため、折り目線が太くされます。それに続いて、加熱領域が山折りまたは谷折りとして分類されます。最終段階では、シートを有限要素に離散化することが必要です。インポートプロセスが終了した後、材料特性と境界条件が追加されます。図 3 に示した例は、Freeform Origami によって生成され、Abaqus にインポートして解析された折り畳みパターンです。注目すべき点は、応力の制約のために SMA では（折り畳んだ紙のように）鋭い折り目を得ることはできませんが、得られた折り畳み構造によって Freeform Origami の中で示された目的の形状が近似されるような、相当の曲率が折り目部分で得られることです。

SMA 積層材で作られた自己折り畳み構造の場合、折り畳まれた構造の形状を維持するために、作動させた SMA 領域で恒久的な加熱を持続することは非効率的です。この恒久的な加熱を回避するための結合システムも提案されています。結合システム用のさまざまな設計が、Abaqus 有限要素解析によって検討されました。図 4 に示したものはその一例であり、タブとスロットによる自己折り畳みリングの結合動作が検討されています。この問題は、タブとスロットによる結合部での法線方向の接触と接線方向の摩擦を含む非線形な境界条件を伴います。これらのシミュレーションには、Abaqus および Abaqus の接触シミュレーション用の複数のオプションが必要不可欠でした。

有限要素シミュレーションの実験検証は必須です。そのために、Aaron Powledge 氏、Darren Hartl 博士および Richard Malak 博士はデジタル画像相関法（DIC）を用いて、SMA を利用した自己折り畳みシートの実験試料の変形を調査しました。実験データとの比較および有限要素法の検証のために、Abaqus で有限要素モデルが作成されました。

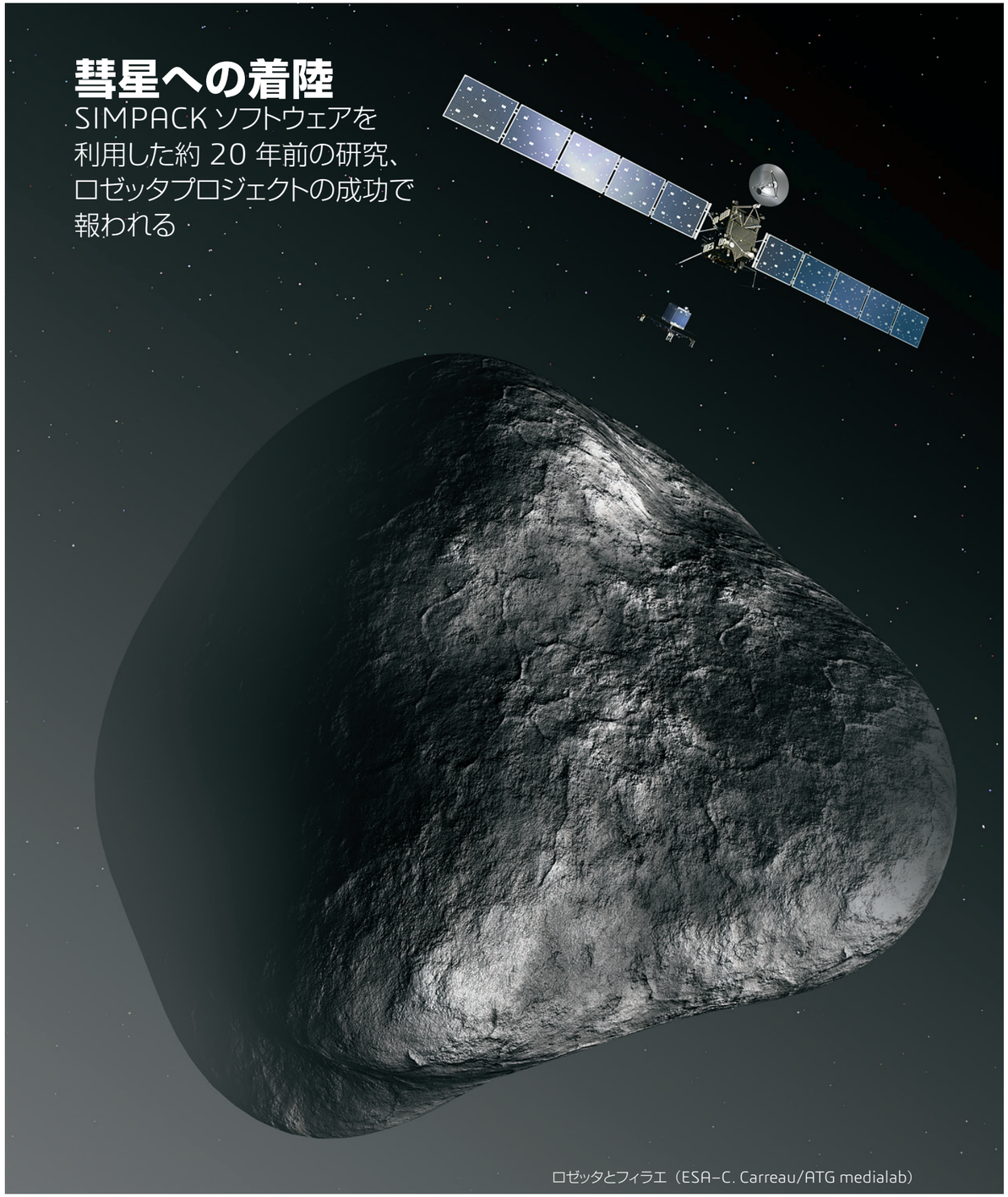
実験試料の場合、全体の曲率はシート上の複数の点における曲率を平均化することによって求められます。この操作は、シート全体またはシート上の局所領域で実施されます（シートの欠陥が曲率の局所半径に影響を及ぼしている領域を含めないようにするため）。その結果、有限要素モデルによって予測された曲率半径がさまざまな方法で得られた実験データと良好に一致していることが示されました。

SMA を利用した自己折り畳みシステムのシミュレーションでは、他にも複数の取り組みが行われています。詳細については、http://origami.tamu.edu/ をご覧ください。この研究は、助成金番号 EFRI-1240483 の下で米国国立科学財団および米国空軍科学研究局による援助を受けており、有限要素解析は SIMULIA からテキサス A&M 大学に与えられた研究用ライセンスを使用して実行されました。

詳細は以下をご覧ください
http://smart.tamu.edu

彗星への着陸

SIMPACK ソフトウェアを利用した約 20 年前の研究、ロゼッタプロジェクトの成功で報われる



ロゼッタとフィラエ（ESA–C. Carreau/ATG medialab）

10年間にわたる 40 億マイル（約 64 億キロ）の旅を終えて、昨年の 11 月に着陸機フィラエが欧州宇宙機構（ESA）の彗星探査機ロゼッタから分離され、彗星の表面に着陸する様子を科学者たちは息を殺して見ていました。画面に釘付けになっていた研究者の中には、着陸機フィラエの当初の設計者の一人である Martin Hilchenbach 博士がいました。Hilchenbach 博士のチームでは、1996 年からロゼッタが地球から発射された 2004 年までの間、SIMPACK シミュレーションソフトウェア（現在は Dassault Systèmes の SIMULIA ポートフォリオの一部）を利用して、フィラエの着陸シナリオをモデル化し、フィラエが長旅の間に故障しないこと保証するのに役立つ設計変更を導きだしました。ベルリンで開催された 2015 年 SCC の発表者である Hilchenbach 博士は、今年の早春に SIMULIA Community News のインタビューでいくつかの質問に答えています。

ロゼッタチームに参加し、彗星に着陸する着陸機を設計することになった経緯をお聞かせください。

Hilchenbach 博士：私はアポロ月面着陸の時代にドイツの工業地域で育ち、オーストリアと英国で物理学、原子物理学、免疫学、レーザー物理学、そして光化学を学びました。最終的には、マックス・プランク宇宙物理研究所で衛星データと計器ハードウェア開発に基づくプラズマ研究の分野で理想の仕事に就きました。現在のマックス・プランク太陽系研究所に異動した後、ロゼッタの着陸機フィエラの研究員としてサブシステム開発に従事するようになったのです。ロゼッタプロジェクトのことを聞いたときの最初の感想は、「素晴らしい。いまだかつて行われたことがなく、新たな研究分野だ。何よりも、モデル化やデータ分析だけの場合とは異なり、自分たちが正しかったかどうかをいつか知ることができる」と思いました。

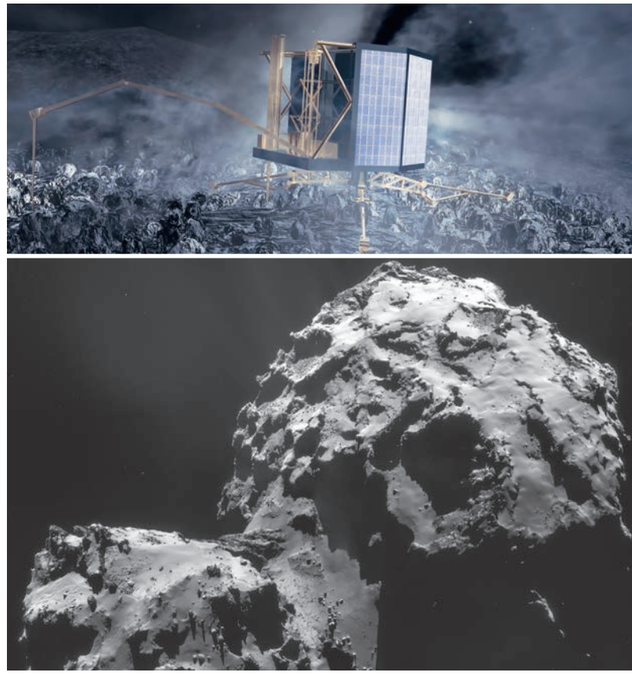
SIMPACK を利用することで研究はどのように支援されましたか？

Hilchenbach 博士：マルチボディシミュレーション用プログラムパッケージ SIMPACK は極めて有用でした。安定性の高いソルバと確かなコンセプトに加えて、CAD データを簡単に取り込み、さまざまな SIMPACK シミュレーションを 3D ビデオとして表示して、提案した技術手法のメリットとデメリットを可視化することが可能でした。ロゼッタ開発プロジェクトの間に、SIMPACK ソフトウェアは申し分なく進化し、インタフェース（さらにコンピュータハードウェアおよび処理速度）は大幅に改善されました。現在も SIMPACK を利用している同僚たちから私が理解しているところでは、全体的な設計がさらに改善され、インタフェースも一層良くなっています。

シミュレーションは実際のハードウェアおよび工学的設計環境と密接に関連して実行されることが必要であるという原則は現在でも有効です。我々は地球の重力環境で試験を実施して、自分たちのモデルの荷重、結合部、その他の仕様を得た後、重力環境だけを地球のものから彗星のものに切り替えました。これにより、地球上では実際に試験することができない環境の中で、本物の着陸機がどのような挙動を示すかについての良好な、願わくは現実的な結果を得たのです。

フィラエが実際に着陸しているときの感想を教えてください。実施されたシミュレーションを比較してどうでしたか？

Hilchenbach 博士：とても興奮しました。長年にわたるシミュレーションの後に、（30 分間の遅れはありましたが）実際の着陸を最終的に目撃したのです。探査機ロゼッタのカメラのおかげで、フィラエの自由落下を撮影することができました。彗星のすぐ隣に座って、現実が明らかになるのを見ているようでした。我々のシミュレーションから、私はフィラエの 3 つのサブシステム、すなわち減衰機構、ホールドダウンスラスタ、そして最も重要なハープーン（銛）によるアンカー機構が完全に機能することが必要になるだろうとかなり正確に予想していました。およそ 20 分後、フィラエは良好な状態で着陸に耐えたものの、ハープーン / アンカーシステムは機能せず、彗星の核の上をバウンドしたことが明らかになりました。4 回目の着地で、着陸機は最終的な静止位置にはまり込み、ハープーン / アンカーの作用がなくても着陸機を彗星上に固定できることが確認されました。しかし、フィラエが無傷であり、前もってプログラムされた活動が継続されていた事実は、フィラエの設計を仕上げるために我々が使用したソフトウェアの安定性を実証するものです。



（上）チュリュモフ･ゲラシメンコ彗星（67P）の表面で活動するフィラエ着陸機。
（下）2015 年 1 月 10 日のチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星 - NavCam
Copyright ESA/AOES Medialab

現在はどのような研究を行われていますか？

Hilchenbach 博士：現在もマックス・プランク研究所に所属する科学者であり、過去 10 年間は彗星探査機ロゼッタの COSIMA 計測器チームの研究責任者として彗星のダストの現場分析に集中してきました。しかし、5 月に彗星が太陽に接近するにつれて、フィラエにも注目しています。過去数か月間は、フィラエが耐えるように設計された温度よりも低い環境が続きましたが、フィラエが目覚め、追加データを送信してくる可能性がわずかにあるためです。

詳細は以下をご覧ください
www.mpg.de/8323582/wakeup-Rosetta

図 1, クレムゾン大学の 7.5 MW テストベンチ。左から順に駆動モーター、ギアボックス、荷重負荷ユニットおよびナセル

実物大の風力タービンナセルの仮想試験

クレムゾン大学、巨大風力機械を理解し、十分に活用するために SIMULIA の SIMPACK を主要ツールとして利用

システムレベルの風力タービンの挙動を検討する際の最大の課題は、自然の駆動力である風の確率的性質です。多くの設計荷重ケースに相当する風速分布は、一般にまれな事象です。幸運にもプロトタイプのタービンを使用して現場でその 1 つを経験したとしても、それとほぼ同じものに再び遭遇することは決してないでしょう。

そのため、エンジニアはテストベンチを作成し、実物と同じレベルの荷重を風力タービンのコンポーネントに制御可能な状態で、繰り返し適用できるようにしています。風力エネルギー変換システムは、その商用化と実用規模での発電における利用によって絶えず大型化しています。しかし風力タービンのサイズが増大するにつれて、風力タービンのテストベンチも大きくすることが必要です。風力タービンのテストベンチはかつてないほど大きく、複雑になり、それ自体が巨大な動的システムです。

このような施設の 1 つが、米国サウスカロライナ州ノースチャールストンの South Carolina Electric & Gas（SCE&G）社エネルギーイノベーションセンター（EIC）にあるクレムゾン大学の風力タービンドライブトレイン試験施設（WTDTF）です。WTDTF には 2 台の風力タービン動力計テストベンチが設置されており、1 台は定格が 7.5 メガワット（MW）（図 1）、もう 1 台は定格が 15 MW です。これらのテストベンチは、非トルク荷重（スラスト力、鉛直力、せん断力、ピッチモーメントおよびヨーモーメント）を適用しつつ、実物大のナセルを回転させるように設計されています。さらに、同じく EIC にある Duke Energy 社の eGRID（配電網研究イノベーション・開発）センターでは、配電網シミュレータを用いてナセルに荷重を電気的に加えることが可能です。

EIC にあるこれらの施設は、陸上および洋上風力産業に試験機能を提供し、クレムゾン大学と提携大学の学生および教員に研究開発の機会を提供しています。しかし、これらのシステムは運転コストが高く、安全な運転のためには高度な技能を必要とします。そのため、工学系の学生やその他の非専門家には理想的な環境ではありません。

この状況を改善するため、クレムゾン大学ではマルチボディのリアルタイム風力タービンテストベンチのシミュレーション実験室を構築しています。このシミュレーション実験室は、純粋なシミュレーションベースの解析と実物実験の中間段階としての機能を果たします（図 2）。この実験室は、2 台の主要装置で構成されています。1 つは RENK Test Systems 社の多重試験制御コンピュータです。もう 1 つは Concurrent Real-Time 社のリアルタイムシミュレーションコンピュータです。この制御コンピュータは試験装置とのヒューマン・マシン・インタフェースであり、このコンピュータ上で試験エンジニアが試験方法のプログラミング、試験の実行、およびテストベンチの挙動の監視を行います。

リアルタイムシミュレーションコンピュータは、テストベンチの動的モデルを実行するためのものであり、多重試験制御コンピュータとリアルタイムで相互作用します。実際のシミュレーションは、リアルタイムの HiL（ハードウェア・イン・ザ・ループ）シミュレーションを開発および実行するための完全なフレームワークである Concurrent 社の SIMulation Workbench によって管理されます。このツールによって、SIMPACK マルチボディシミュレーションモデルを特定の CPU コアに割り当て、その他のモデルまたはプロセスから孤立させ、厳密な振る舞いを保証することができます。

このシミュレータは、試験制御コンピュータからの入力信号を受け入れ、テストベンチの動的応答をシミュレートし、フィードバックを試験制御コンピュータに提供します。これは基本的に仮想テストベンチであり、提案された試験方法を評価し、予想外な挙動のトラブルシューティングを実施し、実物のテストベンチを使用することを必要とせずに人員を訓練する機能をエンジニアに提供するものです。また、実験室の設定で試験フロアの構成をエンジニアが再現できるように、この実験室には制御機器、I/O ハードウェアおよびデータ収集ハードウェアが装備されます。

シミュレーション実験室では、実際のテストベンチを使用する場合とは対照的に、リスクなしにテストベンチの動的特性を学生および教員が利用できるようになります。シミュレーション実験室の実際の運用には、試験方法の開発、システムのトラブルシューティング、訓練および試験前の通信検証などが含まれます。

シミュレーション実験室は、被試験デバイス（DUT）と試験装置（ハードウェアとソフトウェア）の両方を含むテストベンチ全体の動的挙動を再現し、検討するために特別に設計されています。他にも多くの研究者および製造業者によって風力タービンの動的応答が研究されてきました。クレムゾン大学のシミュレーション実験室は、ナセルを含むテストベンチシステム全体の動的応答の理解に重点が置かれています。

SIMPACK によるマルチボディモデリング

テストベンチ全体の動的応答の理解を深めるために、テストベンチのマルチボディ動的モデルが SIMPACK と Simulink® で作成されました。テストベンチ全体には、試験装置に加えて DUT が含まれています。SIMPACK でモデル化されたコンポーネントには、駆動モーター、高速カップリング、7.5 MW 減速ギアボックス、低速シャフト、

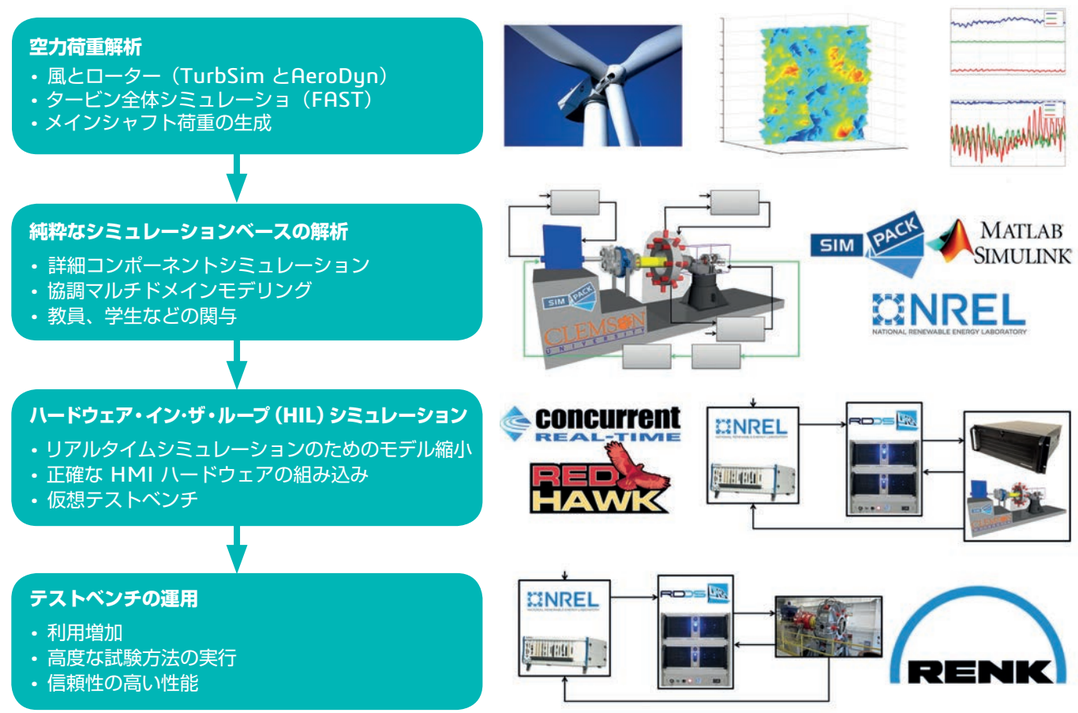


図 2. 空力荷重解析、純粋なシミュレーションベースの解析、HiL シミュレーションなど、さまざまなモデリングおよびシミュレーション作業が進行中。これらの作業はすべて、テストベンチ上で実施される実物試験を直接サポート

荷重負荷ユニットディスク、さらにメインベアリング、ギアボックスおよび発電機を含むナセルが含まれています。DUT の動的特性はシステム全体の応答に大きく影響するため、モデリング作業に含めることが必要です。クレムゾン大学では、最初の顧客である General Electric 社と連携して、GE 社の風力タービンナセルの代表的な動的モデルについても SIMPACK で開発しています。

多くのコンポーネントモデルにはさまざまなレベルの詳細度を持つ複数のバージョンがあり、全体モデルの複雑性を特定のモデリング用途に合わせることができます。システムモデルは、SIMPACK と Simulink の両方で自然発生的にサブシステムに分割されています。SIMPACK ではセンダー、レシーバーおよびサブストラクチャが大量に使用され、モデルの再構成および取り扱いが容易になりました。ギアボックスモデルのさまざまなバージョンはすべて同じ入力、出力およ支持マーカーを持っているため、詳細度の高い / 低いシミュレーションのためにモデルを再構成することが容易になります。

マルチボディシステムに加えて、システム全体の応答を作り出すためにすべてが同時に機能する油圧、電気および制御システムのモデルがテストベンチに含まれています。

これらの各種サブシステムに対する支配方程式は、解析的に開発され、Simulink 内でコーディングされました。これらのモデルは、SIMPACK のコ・シミュレーション機能または S-function モデルエクスポート機能を使用して相互に作用します。モデル全体では、マルチボディおよび非マルチボディシステムの挙動が連成されます（図 3 参照）。

実物と同じレベルの機械的および電気的応答のシミュレーション

最終目標は、制御された繰り返し可能な環境で、実物と同じレベルの機械的および電気的荷重に対するナセルの応答を再現することです。そのような応答を再現するには、同時に作動する 2 つの HiL（ハードウェア・イン・ザ・ループ）シミュレーション（1 つは機械的、もう 1 つは電気的）が必要です。これは高度な試験方法であり、実現することが困難になります。

eGRID のエンジニアは施設の電力系統の動的モデルを現在開発中であり、将来的な目標には機械的（WTDTF）モデルと電気的（eGRID）モデルを連成させ、施設レベルの単一の動的モデルを構成することが含まれています。このようなモデルを利用できることは、この試験方法を実現するために役立ちます。

詳細は以下をご覧ください
http://clemsonenergy.com

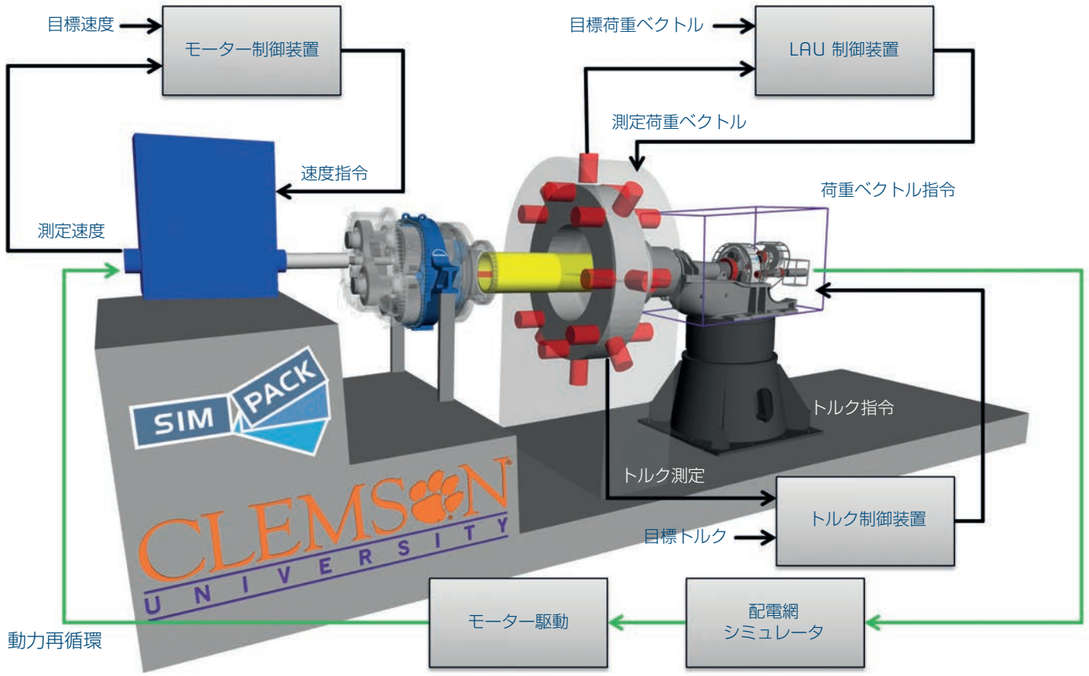


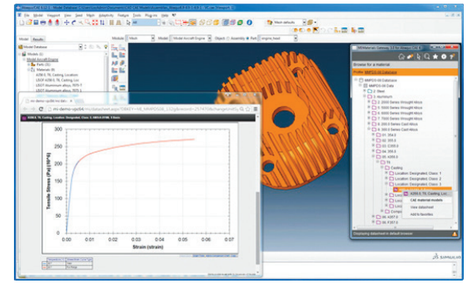
図 3. マルチボディモデルと非マルチボディモデル、それらの相互作用を示した統合試験装置 interact with one another.

最新のGRANTA MI:Materials Gateway バージョン 3.0

今年の SIMULIA Community Conference では、Granta 社による GRANTA MI:Materials Gateway™ for Abaqus/CAE のバージョン 3.0 のデモが実施されました。

Granta 社はエンジニアリング企業における材料情報管理のための先進システムを提供しています。GRANTA MI ™ によって、エンジニアリング企業は材料データライフサイクルを管理することができます。具体的には、Granta 社によって提供されている関連する参照データと一緒に、複雑な独自の材料データ（例：金属、複合材およびプラスチックの特性データ）をすべて保存し、この情報資源を進行中の研究、試験、解析またはシミュレーションによるデータ変更に合わせて管理することができます。

GRANTA MI:Materials Gateway ™ for Abaqus/CAE は、この系統的に管理された材料情報を SIMULIA ソフトウェアに統合する実績のあるテクノロジーです。Abaqus/CAE ユーザーは、使い慣れたシミュレーション環境の中から、検証済みの CAE 材料モデルに直接アクセスできます。ユーザーは Abaqus/CAE の中で MI:Materials Gateway のウィンドウを開き、自社データベースにある利用可能な材料を検索および閲覧し、データシートを表示して、適用可能な CAE 材料モデルを選択した後、ボタンを 1 回クリックするだけでモデルをインポートすることが可能です。ユーザーが自分たちの使用しているデータに自信を持てるように、バージョン管理および通知に加えて、完全なトレーサビリティが提供されています。これらの操作は対話形式で素早く行うことができ、データ転送中にエラーが発生するリスクもありません。



GRANTA MI:Materials Gateway for Abaqus/CAE

GRANTA MI:Materials Gateway バージョン 3.0 は Abaqus 6.14 で動作します。今回のリリースの重要なポイントは操作性の最適化であり、パフォーマンスの向上、キーボードショートカットの「元に戻す」/「やり直し」の使用など親しみのある操作、およびユーザーの要件を反映した検索条件の組み合わせの保存および再利用のための機能が実現されています。

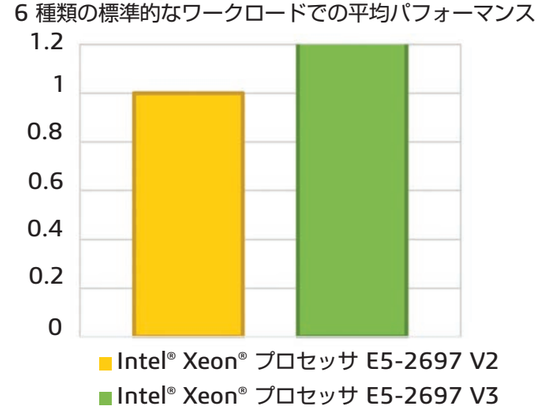
Intel 社と Nor-Tech社、最新クラスターテクノロジーのワークロードを試験

クラスターハードウェアのアップグレードは、高速かつ正確なシミュレーションへの道を提供します。このことはエンジニアリングおよび設計チームが開発サイクルを加速させ、製品の挙動に対する知見を深めるために役立つでしょう。Intel 社と Dassault Systèmes は、Abaqus FEA ソフトウェアを最新の Intel® Xeon® プロセッサ E5 v3 製品シリーズに対して最適化しました。これによるパフォーマンス上のメリットは相当なものになる可能性があります。

一般的なガイドラインを示すため、Intel 社と Dassault Systèmes は、さまざまな設計シナリオを反映した 6 種類の標準ベンチマークについて SIMULIA の Abaqus FEA のパフォーマンスを測定しました。その結果、前世代のプロセッサを使用したシステムと比べて最新の Intel® Xeon® プロセッサ E5 v3 製品シリーズに基づくシステムでは、パフォーマンスが平均で 22 パーセント向上することが示されました。

ユーザーの皆様の社内におけるパフォーマンス向上は、設計モデルの規模と複雑さ、既存システムの構成によって異なります。実際のワークロードを最新世代の試験クラスター上で実行することによって、メリットを定量化することが可能です。Intel 社、Dassault Systèmes および Nor-Tech は、Intel® Xeon® プロセッサ E5 v3 製品シリーズに基づく 2 ～ 10 ノードの Windows または Linux クラスター用の仮想試験ドライブを提供しています。これは比較的簡単なプロセスであり、特定のビジネスおよび計算上のニーズに基づいて、情報を得た上で意志決定を行うために役立ちます。

SIMULIA Abqus Unified FEA
6 種類の標準的なワークロードでの平均パフォーマンス



「新しい Intel® Xeon® プロセッサ E5 v3 の能力向上によって、より大規模な問題をより短時間で効率的に実行することが可能になります」

- Dassault Systèmes、ソフトウェア・アーキテクチャー・ディレクター、Matt Dunbar

CD-adapco™、CFD イノベーションの 35 周年を迎える

CD-adapco 社は、CFD にフォーカスしたコンピュータ支援エンジニアリング (CAE) ソフトウェアの世界最大級のプロバイダーであり、今年で創業 35 周年を迎えました。エンジニアリングおよび設計用シミュレーションツールの最大の独立系開発企業として、CD-adapco 社は 1980 年に屋根裏部屋から出発した社員 3 名の組織から成長し、今や世界各地に 34 のオフィスを構え、2 億ドルに迫る収益を誇る国際的な多角的な複合企業体になりました。

1980 年、Steve MacDonald 氏、Bill Wheeler 氏および Marc Whittlesey 氏は、乱流、伝熱および燃焼を含む困難な問題を短時間で正確に解くことを必要としているエンジニア向けの市場があると判断しました。

「複雑な産業上のエンジニアリング問題を解くには、複数のエンジニアリング分野を横断するシミュレーションツールが必要です」と、CD-adapco 社の共同創立者であり、社長兼 CEO の Steve MacDonald 氏は話しています。「当初から、私たちの信条はシミュレーションの境界を関心領域からできる限り遠くに広げ、関連するすべての物理現象を捉えて、近似を最小限に抑え、使用期間中に製品や設計の性能に影響を及ぼす可能性があるあらゆる要因を考慮に入れることでした」

「このビジョンを完全に実現するためには 35 年間に及ぶ大変な作業が必要であり、産業界の最も有能なエンジニアと開発者が携わりました。私は当社が成し遂げてきたすべてに誇りを持っています」

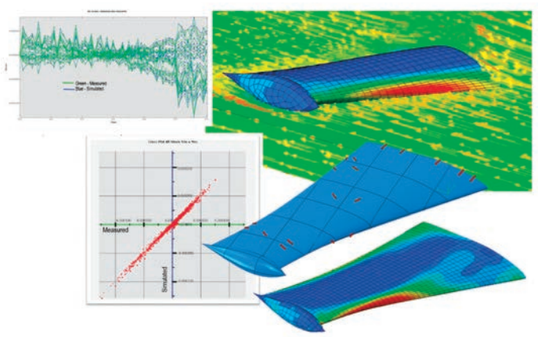
35 年の後、CD-adapco 社はシミュレーションソフトウェア開発の業界標準となりつつあります。主力ツールである STAR-CCM+ によって、CD-adapco 社は独立系企業であり続け、長年にわたって持続的に成長している稀にみる高成長の技術系企業です。

CD-adapco 社は 5 月にドイツのベルリンで開催された SIMULIA Community Conference のプレミアスポンサーであり、Integrated Solutions のセッションでは同社の各種ソリューションに関するプレゼンテーションが行われました。

Wolf Star Technologies 社:構造荷重を詳細に理解するための新手法

製品を開発するためには、荷重を詳細に理解することが必要です。Abaqus/CAE のような今日の FEA プリプロセッシングツールを使用することで、高度なジオメトリおよびメッシュの忠実性を実現することが可能です。また、Abaqus の高度な材料モデリングおよび解析機能によって、設計反復は迅速で効率的かつ効果的なものになっています。唯一欠けているものは、構造荷重に関する正確な知識です。従来の手法では、一般に構造変更を必要とする高価な荷重変換器を使用することが必要です。荷重変換器を取り付けるためにコンポーネントを変更することは、コストも時間もかかります。荷重変換器を取り付けることによって、大抵は荷重経路と構造応答が変化します。多くの場合、コンポーネントは通常の構成では作動させることができません。これにより、忠実性の高い FEA 解析の価値は大幅に低下することになります。簡単に言えば、解析者が荷重を理解していなければ、FEA 解析は推測にすぎないのです。

Wolf Star Technologies 社の True-Load™ ソフトウェアは、荷重を理解するための新たな手法を提供するものです。ひずみゲージを計画的にコンポーネント上に配置することで、構造物が多軸荷重変換器になります。ひずみゲージの配置は、ユーザーに固有の単位負荷ケースによって決定されます。単位荷重ケースは、点荷重、単位変位、圧力荷重、熱荷重、慣性荷重、さらにはモード形状など、解析者によって想定される任意の荷重にすることが可能です。相関マトリックスは下記の関係に基づいて作成されます。



$$[\varepsilon]\,[C] = [F]$$

図示の例は、航空機の翼に加わる空力荷重の計算を示したものです。相関の結果より、シミュレーションによるひずみと測定によるひずみの最大誤差が 4.95% RMS であることが示されています。

Arek Bedrossian 氏（工学学士、DMS、DipM）は、石油およびガスサービスを提供する巨大な多国籍企業である Petrofac グループの、KW Subsea 社のチーフエンジニアであり、先進エンジニアリンググループのグループ長です。Bedrossian 氏は自分の業務を支援する多くのソフトウェア製品を利用し、各種ツールの 1 つとして Abaqus を長年にわたって利用しているユーザーでもあります。今日シミュレーションが果たしている重要な役割を強く信奉していますが、次世代のエンジニアに対しては、それらの力を利用することについて警告を発しています。

「若い世代のエンジニアをシミュレーションソフトウェアの利用および進化における将来のイノベーターにするための指導と育成は極めて重要です」

- Petrofac グループの KW Subsea 社、チーフエンジニア、先進エンジニアリンググループグループ長、Arek Bedrossian 氏（工学学士、DMS、DipM）

どのようにして Abaqus を知りましたか、また使用し始めた時期はいつですか？

Bedrossian 氏：最初に Abaqus のことを耳にしたのは、1980 年代初期に英国の原子力産業で働いていたときです。主要企業の一部ではすでに Abaqus が利用されていました。BP 社の研究センターに転職した後、私の後から入社した同じく原子力産業出身の同僚と協力して、Abaqus を導入するまでに数年間かかりました。Abaqus ユーザーになったのは 1989 年ですが、それまでに 10 年間 FE の経験があったので、Abaqus の機能を最大限に利用することができました。

これまで以上にデジタル化されている世界についての展望はどのようなものでしょうか？

Bedrossian 氏：エンジニアリングシミュレーションに関する限り、人間の介入なしに、プログラム自体によってコンポーネントの設計や評価が完全に自動化された方法で実行されるほど進化したデジタル世界を見ることは素晴らしいだろうと思います。しかし、そうなるのはまだ遠い未来のことだと考えています。次世代のエンジニアをシミュレーションソフトウェアの利用と進化における将来のイノベーターにする指導および育成は極めて重要です。

一緒に働いている次世代のエンジニアは、あなたが若かったときとどのように違いますか？彼らに教えることができる最も重要なことは何でしょうか？

Bedrossian 氏：現在は楽になったのではないでしょうか。1979 年に私が FEA 業務を始めたときは、方眼紙を取り出し、手でモデルを描き、その上に節点番号と要素番号を書き込むといった具合でした。特定のパッケージで運が良かった場合は、それらを生成する機能を利用しました。その後で解析用にメインフレームコンピュータに転送するファイルに節点番号や要素番号をパンチしていました。新人エンジニアや将来のエンジニアが教わることが必要な最も重要なことの 1 つは、彼らが画面上で確認するシミュレーションから得られた結果に対してどのように批判的になるか、また別の簡易手法を利用して絞り込みチェックをどのように実施するかということです。KW Subsea 社の私のチームにいる若いエンジニアの大半も、使用しているソフトウェアツールの中で既存機能を適用する新しい方法を思いついたり、既存機能の改善を提案したりすることによって、革新する欲求によって動かされています。

仕事以外でする好きなことは何ですか、またその理由も教えてください。

Bedrossian 氏：19 世紀末から 20 世紀初頭の世界の歴史について読み、現在を理解しようとするために、当時起こった一見すると無関係な出来事を違った角度から考え、意味を理解しようとすることが好きです。おそらく研究活動として好きなのです。なぜなら、特殊な問題を解くためにエンジニアリングシミュレーションの分野における自分のキャリアを通して行ってきたのと同じ方法で水平思考を適用するという点で似ているからです。これは問題の根底にある物理現象の理解、批判的な評価、創造的に思考すること、正しい答えをもたらす現実的なモデルを構築することに基づくものです。

詳細は以下をご覧ください
www.kwltd.com

SIMULIA
2015 地域別ユーザー会

2015 年 9 月〜12 月

SIMULIA 地域別のユーザー会は、SIMULIA ユーザーコミュニティの長年にわたる伝統です。それぞれのユーザー会では、産業界と学界の皆様が一緒になって、製品開発を加速・改善する最新のシミュレーション技術や手法を学ぶための貴重な場を提供しています。参加者の皆様は、Abaqus の新機能や SIMULIA の将来戦略を聴き出すことや、ソフトウェアの今後の機能拡張について意見を述べること、そして他の地域ユーザーとの交流を通じて経験やアイデアを共有することが可能です。詳細については、www.3ds.com/rums をご覧ください。

北アメリカ

9 月 22〜23 日	中部
10 月 14〜15 日	南部
10 月 20〜22 日	五大湖地域
10 月 29 日	西部

ラテンアメリカ

10 月 20 日	サンパウロ
10 月 22 日	リオデジャネイロ

ヨーロッパ/中東/南アフリカ

10 月 8〜9 日	ポーランド
10 月 12〜13 日	北欧
10 月 14〜15 日	フランス
10 月 29〜30 日	ベネルクス
11 月 3〜4 日	英国
11 月 5〜6 日	トルコ
11 月 9〜10 日	オーストリア
11 月 11 日	スペイン
11 月 12〜13 日	ドイツ
11 月	イタリア

アジア太平洋

10 月 13〜14 日	インド
10 月 16 日	シンガポール
10 月 20 日	中国
10 月 22 日	韓国
10 月 27 日	日本（東京）

3DEXPERIENCE®

詳細は以下をご覧ください,
visit www.3ds.com/rums