



**SIEMENS**

*Ingenuity for life*

シーメンスデジタルインダストリーズソフトウェア

# 圧力損失について学校 では教えてくれないこと

機械解析

# はじめに

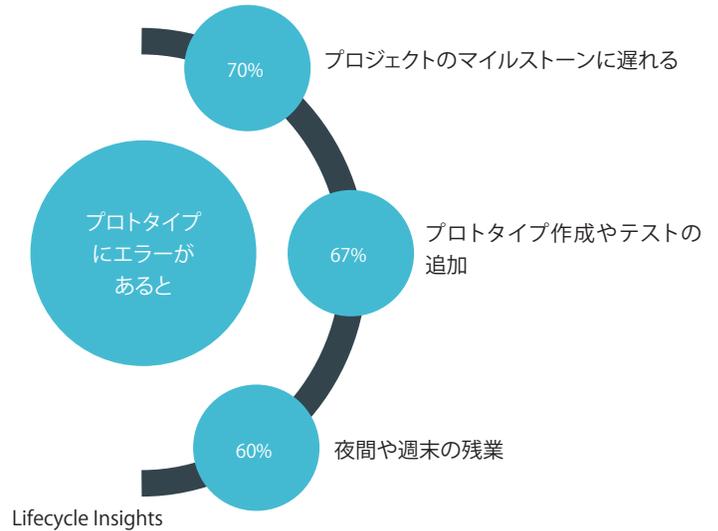
多くの製品の設計において、圧力とその損失は最も重要な検討項目です。最終的に、圧力損失はエネルギーの損失を招き、それを補うために、より多くのエネルギーが必要になります。そのため、最適化されたデザインが最適な圧力状態、そして省エネにつながるのは、理にかなっています。

学校で習ったように、圧力には静圧、動圧、全圧、ポテンシャルなどの種類があります。それに加えて、実際の流体はどのような挙動を示すでしょうか？その流体は非圧縮性でしょうか？摩擦はありますか？流体密度はどれくらいですか？

これらの答えを求めるための数式は簡単に探せますが、複雑な製品を設計し、圧力損失の計算もしながら数式を適用するのは、そう簡単ではありません。このような場面で役に立つのが、数値流体力学 (CFD) です。デザインの傾向を理解し、有望なモデルとそうでないモデルを区別することを可能にする CFD は、設計エンジニアにとって最も重要な設計ツールの 1 つです。

## 早期のシミュレーションで最高の投資利益率を実現 — 設計プロセスでのフロントローディング解析

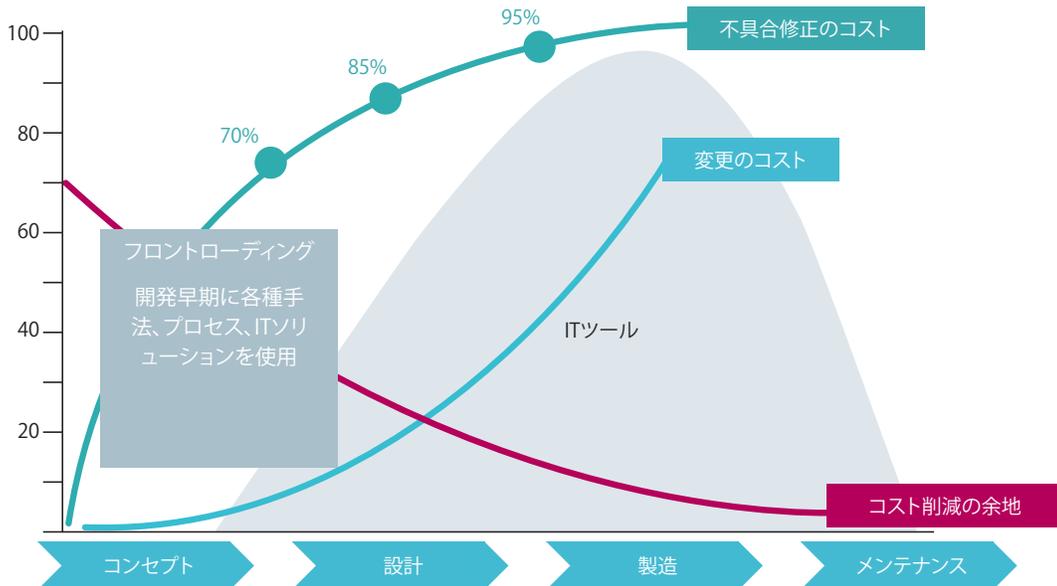
残念ながら、CFD は大学のカリキュラムで力を入れて教えられていません。教えられたとしても、いくつかの単純な問題を解くために使われるだけです。また、最近までは市販の CFD ソフトウェアは専門家を対象にしたものが多く、広く使われるには至りませんでした。これらのツールは非常に高価である上に、使い方が難しかったり、手間や長い時間がかかりました。その結果、圧力損失などの技術的な解析は、設計の主体である設計開発部門ではなく、解析部門の専門家が行って来ました。メカニカル・エンジニアが自身のデザインをテストまたは検証するには物理的プロトタイプに頼らざるを得ず、フローベンチや試験装置でテストする必要がありました。



しかし、デザインを試作段階だけでテストすると、高くつきます。Lifecycle Insights[1] のレポートによると、試作段階でエラーが発生したデザインは、プロジェクトのマイルストーンに間に合わなかったり、テストを追加したり、残業が発生したりしています。

変更コストを削減し、コスト削減できる余地を増やすことが、最大の投資利益率をもたらします (図 1) [2]。マルティン・アイグナー教授が名付けた「フロントローディング (前倒し)」は、CFD を含む多数のソフトウェア・シミュレーション・ツールを設計の初期段階で使用する手法全体を指しています [2]。

さまざまな業界アナリストや CAE ベンダが行った調査では、最も成功している企業はデザインのパフォーマンスを開発の初期段階で評価し、解析の専門家と設計エンジニア間のコラボレーションや知識の共有を積極的に推進していることが示されています。



出典: カイザーズラウテルン工科大学仮想製品開発学部マルティン・アイグナー教授

図1: シミュレーションのフロントローディングによるコスト削減

### CFDのフロントローディングがもたらした設計プロセスの変化

20年ほど前に、設計の初期段階で応力解析を実行する手法が導入され、応力解析はすぐに開発に欠かせない要素になりました。現在では、主要なMCADソフトウェアは必ずデザインレベルで応力解析を行います。しかし、応力解析を前倒して、設計の初期段階で実行するようになっても、検証段階でのシミュレーションがなくなったわけではありません。シミュレーションは傾向を精査して、望ましくないデザインのアイデアを早めに却下するための1つの手法になりました。

検証段階と異なり、設計段階ではスピードが肝心です。エンジニアは早めにシミュレーションを行うだけでなく、設計変更のスピードに遅れずに何回もシミュレーションしなければなりません。迅速にシミュレーションを繰り返すことで、好ましくないアイデアをとりやめて、開発を前進させることができます。デザインの検討が終わり、実現可能であることが確定すれば、検証に移ります。

このやり方はCFD解析などの他分野にも広がっています。現在では、設計者が使いやすいCFDツールがCADツールと一体化して、便利な形でリンクしています。これらの一体型ツールを使って、プロトタイプデジタル・ツイン(製品の仮想表現)を作成できます。

CADに組み込まれたCFDツールを使ってフロントローディングする利点は、以下のとおりです。

- 製品開発コストの削減
- Time-to-Marketの短縮
- より革新的でパフォーマンスのよい製品
- 設計プロセスにおける業務上の大きなボトルネックの解消

- ますます厳しくなる規制を遵守することによる業務上リスクの軽減

#### フロントローディングに CAD でのシミュレーションが必要な理由

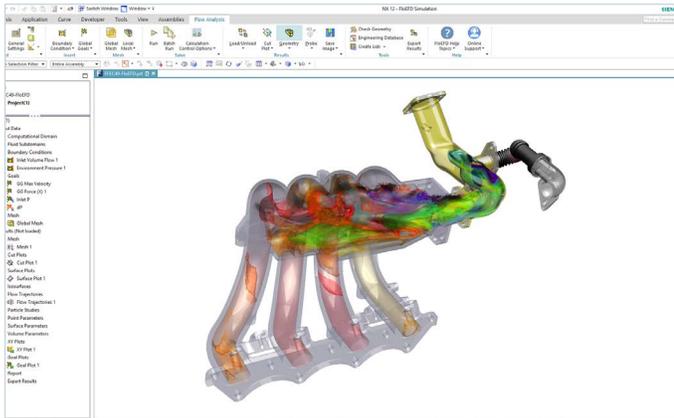
従来の CFD ソフトウェアプログラムのインターフェースは、CAD に内蔵されていない、独自のものが多くあります。CAD から CFD ソフトウェアにモデルを移行するためのデータ変換ツールがある程度です。そのため、解析が必要となったモデルは、その都度 CAD の中で CFD に使えるように準備をしてデータをエクスポートし、CFD ツールにインポートする必要があります。

また、CFD ソフトウェアに詰め込まれている技術は、高度なトレーニングや教育を必要とするので、専門の解析担当者がその仕事を任されています。例えば、従来の CFD ツールの多くは、いろいろなタイプのメッシュに対応しています。特定の用途や、物理特性、流れのタイプにはどのメッシュが最適か、ユーザーが分かっていなければなりません。さらに、そのモデルと用途に最適なメッシュが作成できるように、メッシュを調整する必要もあります。簡単に言ってしまうと、従来の CFD ツールは設計段階で使うにしては、極めて時間がかかり、設計段階で要求されるスピードに追

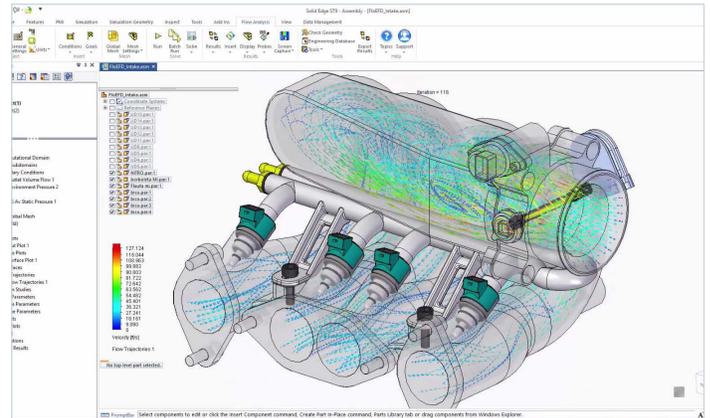
できません。そのため、デザインの圧力に関する部分は製品の重要な動作に影響を及ぼしますが、その解析作業は専門性が必要とされ、設計開発部門から切り離されてきました。

これに対して、設計者が使いやすい CFD ソリューションには、以下の特長があります。

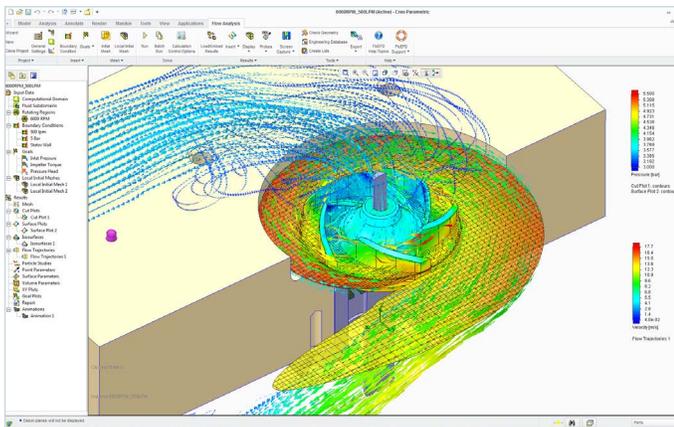
- CAD に完全に組み込まれていること。CFD ツールに CAD プログラム側から簡単にアクセスでき、同じジオメトリを解析にも使用するため、解析用にデータをエクスポートする必要はなくなりました。さらに、CFD ソフトウェアが CAD と一体化しているので、まったく新しいインターフェースを学習する必要もありません。CFD 解析は CAD パッケージで提供される機能の 1 つにすぎません。
- インテリジェントな自動化。CAD に組み込まれた CFD プログラムには、より簡単、迅速、正確な解析を行うためのインテリジェントな自動化機能が内蔵されている必要があります。例えば、流体の問題を検討するとき、設計者は流体の通る空間で何が起きているかを知りたいことがあります。従来の CFD ツールでは、流体領域を表現するために、ジオメトリを追加で作成しなければなりません。CAD に組み込まれた CFD ソリューションは、その空間が流体の領域であることを認識でき、ソフトウェアに合わせてジオメトリを作成する手間がかかりません。また、従来の CFD ソリューションでは、解析の開始前にモデルのメッシュを作成します。このとき、流れの現象を最もよく表現できるメッシュの生成方法について、エンジニアが精通している必要があります。CAD に組み込まれた CFD は、完全に自動化されたメッシュ作成機能を使っています。これによって、設定された問題に対して、最善のメッシュが自動的に生成されます。



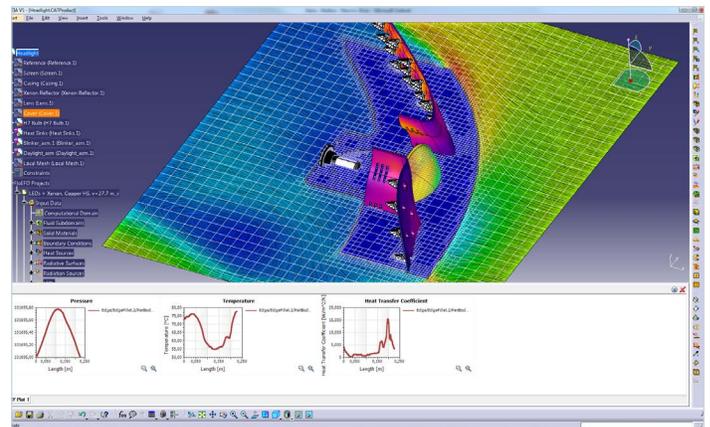
Simcenter FLOEFD for NX



Simcenter FLOEFD for Solid Edge



Simcenter FLOEFD for PTC Creo



Simcenter FLOEFD for CATIA V5

図2: 主要なMCADプログラムに組み込まれているSimcenter FLOEFD

- スピードと精度の両立。CAD 内部で使用でき、設計プロセスでフロントローディングが可能な CFD ソリューションを採用すると、全体のシミュレーション時間を大幅に削減できます。75% も時間を短縮でき、生産性が 40 倍も向上した企業もあります。

### 先進的なフロントローディング CFD ソリューション

Simcenter FLOEFD™ は CATIA® V5、Creo™ Elements/Pro™、NX™、および Solid Edge® などの MCAD ツールセットに組み込まれています。Simcenter FLOEFD を使うと、設計者は流体の圧力分布と、製品の固体への負荷を詳しく解析することに集中できます。「what-if」シナリオを実行し、圧力損失と流量などの複雑な物理的関係を解析できます。

Simcenter FLOEFD では 3D モデリングから、問題の設定、計算実行、結果表示、検証、およびレポートにいたる圧力損失解析の全段階が、1つのパッケージにまとめられています。圧力損失が検討される典型的なアプリケーションとしては、バルブや、マニホールド、熱交換器、濾過システム、

電子機器筐体、ダクトを通る流れなどがあります。実際には、流れを作り出したり、流量を最大にするために必要なエネルギー量を減らすことを目指している、すべてのシステムに適用されています。

Simcenter FLOEFD を使う設計者は、気体や液体の流れの圧力が技術的仕様で許されている圧力よりも高すぎたり低すぎたりする理由を、詳細に解析することに集中できます。設計者が必要な知識は、MCAD システムと、設計している製品の物理だけです。Simcenter FLOEFD をインストールすると、完全な CFD 流体解析に必要なすべてのメニューやコマンドが、使い慣れた CAD パッケージのメニューシステムに作成されます。MCAD システムと Simcenter FLOEFD は緊密に連携しており、極めて使いやすいのが特長です。実際、8 時間以内のトレーニングで、ほとんどの設計者が Simcenter FLOEFD を使えるようになっています。

流体解析アプリケーションでよくある技術的課題は、流体が A 点から B 点に流れるときの圧力損失をシステムの中で

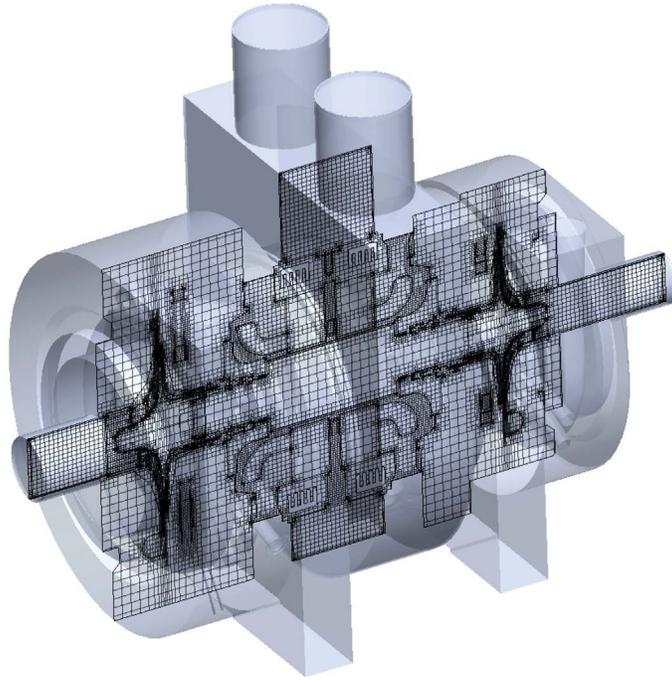


図3: SmartCellsで粗いメッシュを使い、精度を落とさずに迅速に解析

最小化することです。基本的には、特定の圧力損失に対する流量をどれだけ大きくできるか、または特定の流量に対する圧力損失をどれだけ小さくできるかが課題です。ポンプやファンで発生させた流れの場合、圧力がどれほど低下するかが分かれば、ファンやポンプのサイズを最適化できます。

流体解析の出発点は、機械システムのジオメトリを明確に表現することです。Simcenter FLOEFDでは、既存のMCADモデルを解析に利用することによって、追加データのエキスポートやインポートが不要となり、工数と時間を大幅に節約できます。組み込まれたSimcenter FLOEFDツールセットは、新規または既存の3D CADのジオメトリ、および固体モデル情報を使用でき、実際のデザインがシミュレーションされます。設計者が境界条件を設定した固体モデル内部の空き空間に基づいて、適切な流体領域がSimcenter FLOEFD側で認識されます。

Simcenter FLOEFDはさまざまな流体の解析も可能です。これには気体（亜音速領域から、遷音速超音速、および極超音速流まで）や、液体と樹脂の流れなどの非ニュートン流体、および食品加工のための流れが含まれます。蒸気の流れもシミュレーションが可能です。二相キャビテーションモデルに対応しているほか、可燃性混合気と自由表面のシミュレーションも提供されています。

作成したモデルについて、メッシュを作成します。メッシュの作成技術は従来、メカニカル・エンジニアとCFDの専門家を区別するスキルでした。Simcenter FLOEFDでは、基本的なメッシュが数分のうちに自動的に作成されます。領域やセルを何時間もかけて分割する必要はありません。Simcenter FLOEFDのメッシュ自動生成は数分で終わります。CADに組み込まれたCFDツールは、必要に応じてセルを細分化するアダプティブメッシュによって、解析の分解

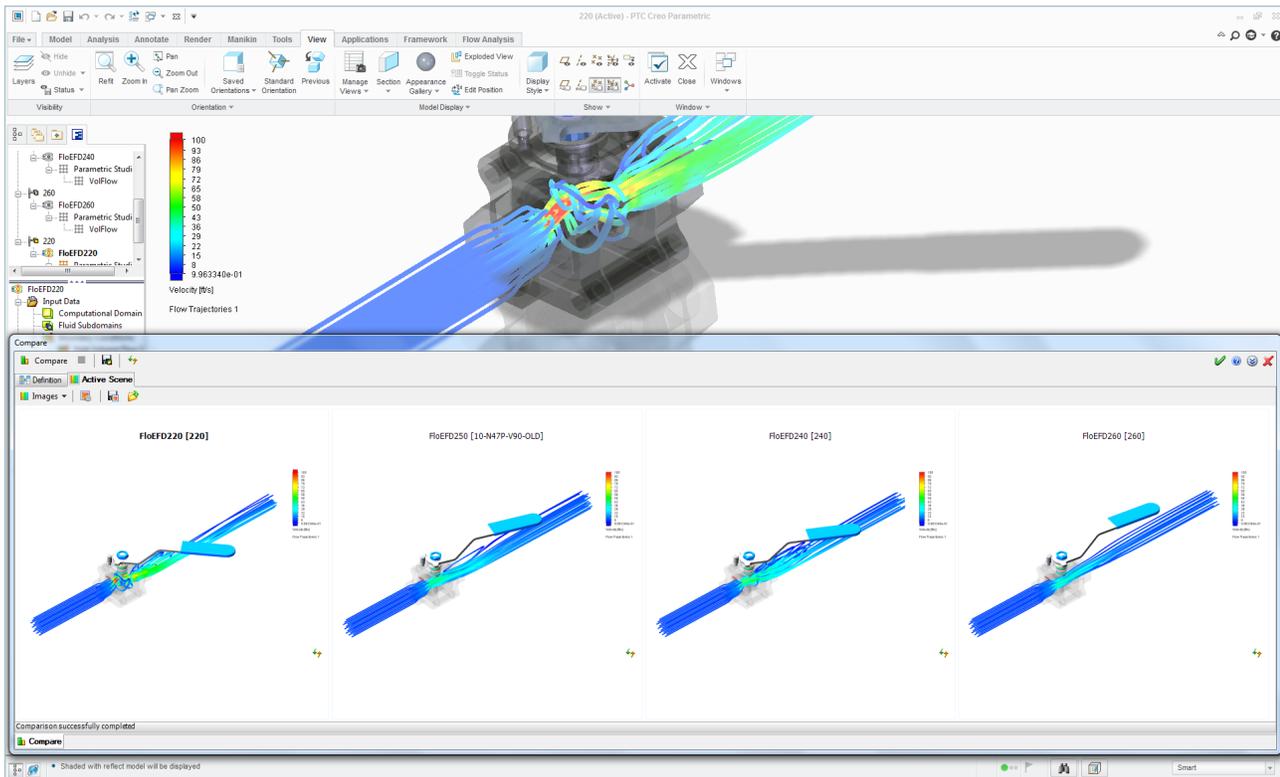


図4: Simcenter FLOEFDのコンフィギュレーション比較とパラメトリックスタディ機能を使うことで、ジオメトリや境界条件を変更した場合に、結果にどのような影響があるかをエンジニアが把握できる

能が高くなるため、モデルの複雑な部分について、より高精度なシミュレーション結果が得られます (図 3)。このメッシュ生成技術である SmartCells について詳しくは、「迅速で正確な電子機器の熱設計を実現する SmartCells」を参照してください。 [www.mentor.com/products/mechanical/resources/overview/smartcells-enabling-fast-and-accurate-electronics-thermal-design-7f63cb88-7671-49ad-891f-ca921b9037c3](http://www.mentor.com/products/mechanical/resources/overview/smartcells-enabling-fast-and-accurate-electronics-thermal-design-7f63cb88-7671-49ad-891f-ca921b9037c3)

### 圧力損失の複雑な課題を解決

Simcenter FLOEFD にはデザインの流れの状況を可視化する、優れた機能が幅広く備わっており、エンジニアはデザインを正しく理解して設計判断をすることができます。可視化機能によって、デザインを徹底的に調査し、CAD 環境のまま流れを視覚化できます。

例えば、圧力損失の解析では、デバイスの大部分よりも、サイズがかなり小さい流路が多数含まれたものを扱うことがよくあります。バルブのデザインとしては、流体が通過する細かい穴の空いた板が挿入されているような形も取り得ます。設計反復が行われるたびに、このやや複雑なジオメトリを取り込んで、メッシュを再生成することは、従来

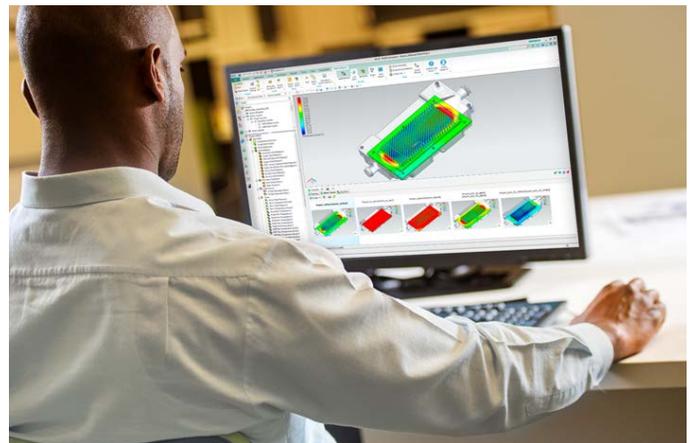


図5: Simcenter FLOEFDのパラメトリックスタディとデザイン比較機能によってデザインを迅速に最適化する

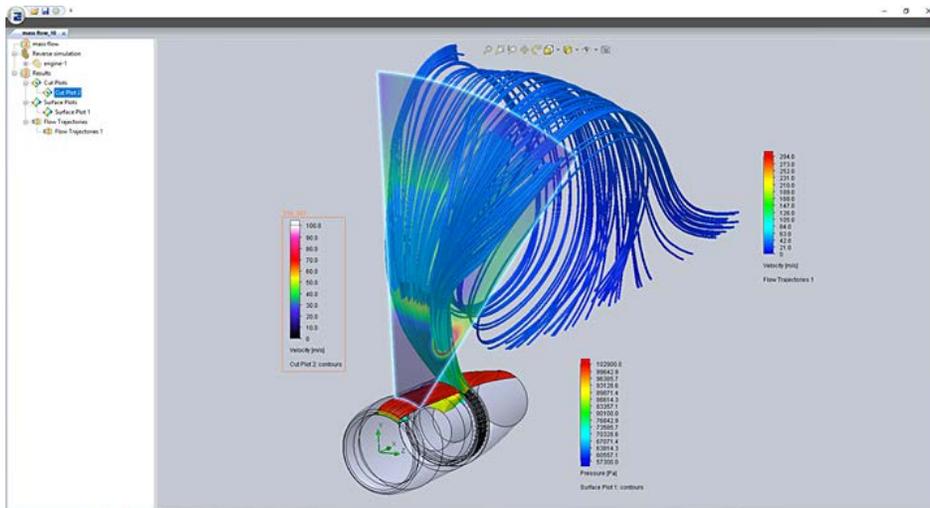


図6: 2D画像ではなく、インタラクティブな3D環境で結果のプロットを共有できる、無料のスタンドアロン型表示ツールのSimcenter FLOEFD Viewer

のCFDツールでは面倒な作業であり、メッシュ作成についての高度な知識が必要だったことでしょう。それに対して、Simcenter FLOEFDの自動メッシュ生成機能を使うと、設計者が穴のサイズを入力するだけで、メッシュ生成ツールによって正しいサイズの流路のメッシュが作成されます。正確な答えを返す高品質なメッシュが自動生成され、設計者はシステムの全体的なパフォーマンスに圧力損失が与える影響を正しく評価することができます。

Simcenter FLOEFDで流れ場を2Dで精査するときにはカットプロットが使われます。これは流れがモデルの断面上に描き出されるものです。どのカットプロットも結果パラメータと一緒に表示でき、コンタープロット、アイソライン、またはベクタとして表現することも可能です。速度マグニチュードと速度ベクトルなどを組み合わせた表示もできます。カットプロットのほかに、特定の3D表面プロットを簡単に表示させたり、流れ領域全体の3D表面プロットを自動的に表示させたりできます。

Simcenter FLOEFDには、圧力損失解析に関するもう1つのパラメータである全圧を効果的に調べる方法もあります。実際の粘性流では、流路を流体が流れる際に全圧が失われます。全圧の勾配が見られる部分は、回復できない粘性エネルギーの損失が生じる場所を表しています。

このような圧力流の問題解決は、反復しながら進めていきます。最初の解析結果が表示されると、ほとんどの設計者はモデルを修正して、別のシナリオを検討し、流れを最適化できないかを確認します。Simcenter FLOEFDを使うこと

で、このような「what-if」解析を簡単に実行できるようになります。詳細なデザインや試作品を作成するよりも前に、設計者はほかのデザイン候補を検討し、設計上の欠陥を検出し、製品のパフォーマンスを最大化できます。

このプロセスによって、設計者はどのデザインが有望で、どのデザインがうまくいきそうにないかを、早めに見極めることができるのです。

デザインのいくつかの候補を検討する際、設計者はSimcenter FLOEFDで固体モデルのクローンを複数作成するだけでかまいません。クローンには目標値や材料特性などのプロジェクトの定義が、すべて自動的に含まれています。エンジニアが固体モデルを修正し、それをすぐに解析できます。

Simcenter FLOEFDはパラメータの最適化も支援します。例えば、さまざまなデザインのパラメータを使って実験計画法を自動で実行し、最適な厚さなどを確定できます。このようにして、Simcenter FLOEFDでは解析で得られた知識をエンジニアが迅速かつ簡単に取り入れてデザインを改善でき、複数の設計バリエーション検討を繰り返す工程がスピードアップするのです。

Simcenter FLOEFDには設計の妥当性検証に有効な機能が備わっています。メンターのエンジニアはSimcenter FLOEFD新バージョンリリースの前に、300種類のテストが

ら成る検証スイートによる検証を行っています。この厳しい検証を経た Simcenter FLOEFD には、20 種類のチュートリアルと 32 種類の検証サンプル、およびそれらのドキュメントが、すぐに使える状態で提供されています。例えば、これらのサンプルを使って、バックステップ流れを検証できます。あるいは、3D 立方体ダクトの直角エルボまたはコーンバルブを通る流れで、CFD の典型的な圧力損失ベンチマークを検証することもできます。

Simcenter FLOEFD のコンフィギュレーション比較とパラメトリックスタディ機能を使うことで、ジオメトリや境界条件を変更した場合に、結果にどのような影響があるかを把握できます。計算結果を数値やグラフ、画像やアニメーションで確認することによって、デザインの性能と限界を評価し、プロジェクトのさまざまなケースを比較検討できます。このようにして、Simcenter FLOEFD ではシミュレーションで得られた知識を迅速かつ簡単に取り入れてデザインを改善でき、繰り返し進めるバリエーション検討がスピードアップするのです。

シミュレーション結果の共有方法は簡単です。Simcenter FLOEFD は Microsoft® Word® および Excel® と完全に統合されているため、どのプロジェクトでもレポート作成や重要なデータのグラフィック表示が可能です。さらに、解析結果をまとめた Excel ファイルも自動で作成され、解析の最後に行うレポート作成に苦労することがありません。

Simcenter FLOEFD を使うと、設計者が見たい部分を簡単に特定でき、改善作業に集中して、デザイン全体の流れを最適化できます。解析結果は、無料の Simcenter FLOEFD Viewer を使って顧客やマネージャーと共有可能です。Simcenter FLOEFD Viewer は Simcenter FLOEFD のユーザーでなくても結果のプロットを共有できる、無料のスタンドアロン型表示ツールです。プロットは 2D 画像やアニメーションではなく、インタラクティブな 3D 環境で表示されます。

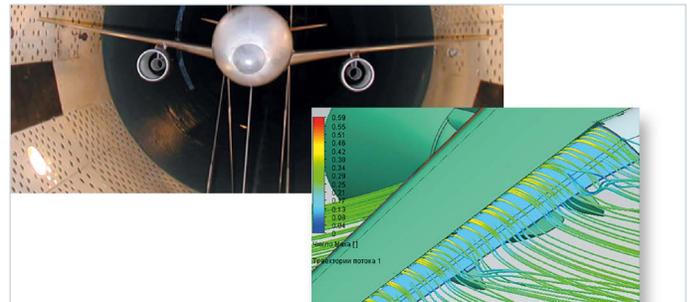
設計者が使用している CAD プラットフォーム上で圧力に関する問題を解決するための理想的なソリューション、それが Simcenter FLOEFD なのです。

### 実世界で設計課題を解決した設計者たち

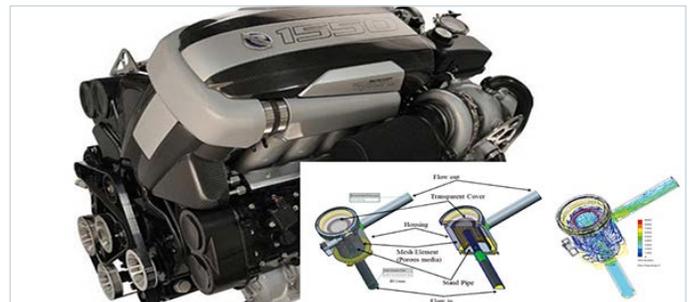
エンジニアが Simcenter FLOEFD を用いて実世界の設計課題を解決し、厳しいスケジュールに対応し、品質向上を実現し、コストを最低限に抑制できた事例を紹介します。



切削工具の液冷ノズル設計に Simcenter FLOEFD を使用した三菱マテリアル



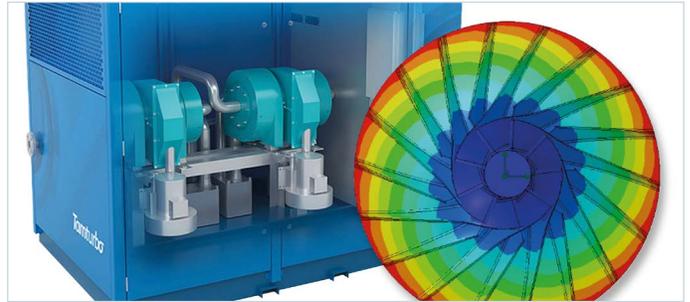
翼が完成! Simcenter FLOEFD で迅速に正確な飛行荷重データを取得し、航空機の翼の高揚力装置に使用したイルコート



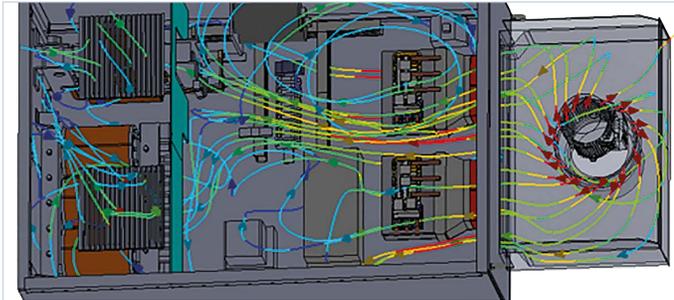
最新のインタークーラーフィルタの設計に Simcenter FLOEFD を使用した Mercury Racing®



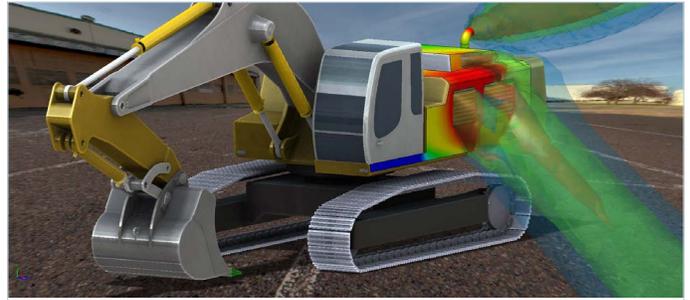
CADに組み込まれたCFDを使ったスポーツカーのブレーキ冷却シミュレーション



Tamturboのオイルフリー・エアターボコンプレッサの空気力学シミュレーション



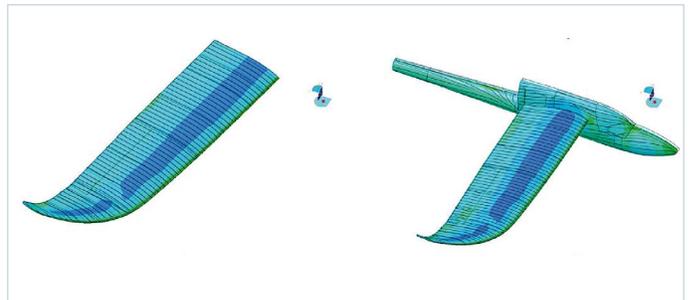
床置き型パワーエレクトロニクスの冷却



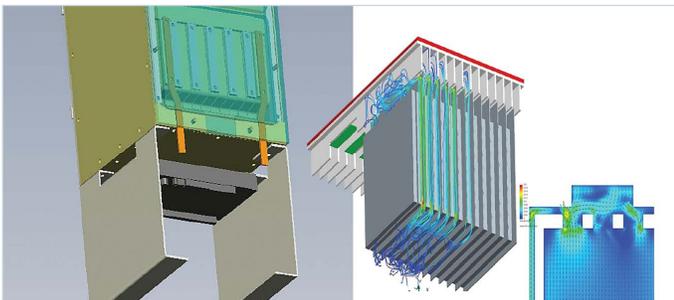
Simcenter FLOEFDを移動式港湾クレーンの設計に使用したLiebherr-Werk Nenzing



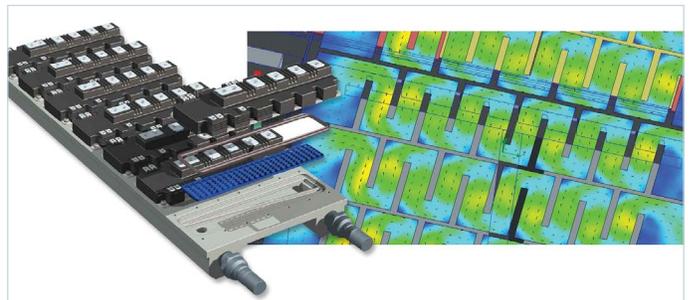
NASCARを走るレーシングカーの最適化



空高く、飛んでいけ - CFDツールを使用したリアルタイム・フライトモデルの開発



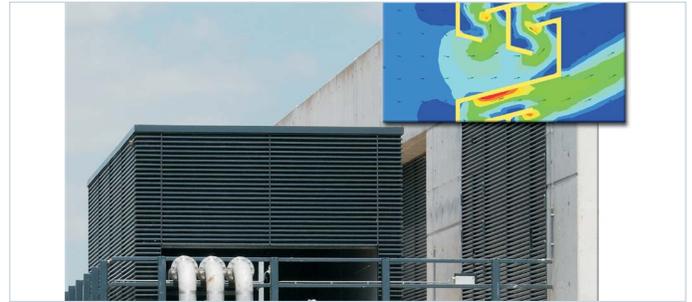
エレクトリック・パワートレインの革新を推進するFlanders



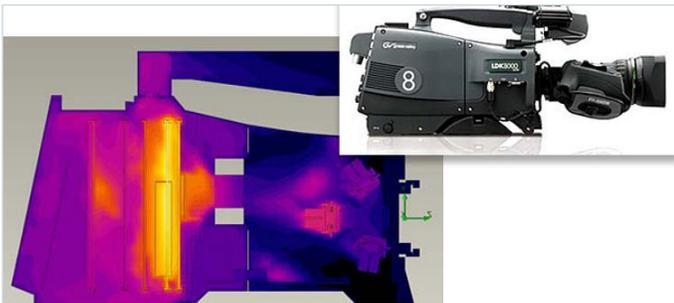
Simcenter FLOEFDを使ったIGBT電源モジュールの効率的な冷却



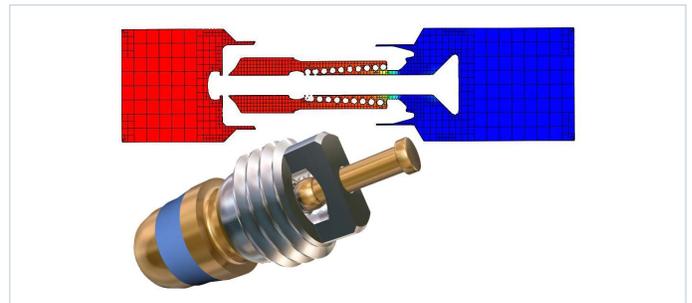
ヘリコプター・ロータのシミュレーションのためのエンジニアリング手法



保護ハウジングの設計を3週間短縮したJazo Zevenaar



Simcenter FLOEFDが製品開発工程に不可欠なグラスバルブ



自動車用バルブの設計を4ヶ月短縮したVentrex

### 参照文献

1. 2013. Driving Design Decisions with Simulation. Lifecycle Insights.
2. 2010. Eigner, M. Future PLM – Trends aus Forschung und Praxis: University of Kaiserslautern Blog

## シーメンスデジタルインダストリーズソフトウェア

### 本社

Granite Park One  
5800 Granite Parkway  
Suite 600  
Plano, TX 75024  
USA  
+1 972 987 3000

### 北米／中南米

Granite Park One  
5800 Granite Parkway  
Suite 600  
Plano, TX 75024  
USA  
+1 314 264 8499

### 欧州

Stephenson House  
Sir William Siemens Square  
Frimley, Camberley  
Surrey, GU16 8QD  
+44 (0) 1276 413200

### アジア／太平洋

Suites 4301-4302, 43/F  
AIA Kowloon Tower,  
Landmark East  
100 How Ming Street  
Kwun Tong, Kowloon  
Hong Kong  
+852 2230 3333

シーメンスデジタルインダストリーズソフトウェアについて  
エンジニアリング、製造、そしてエレクトロニクス設計を  
未来につなげるデジタル・エンタープライズ。それを実現  
するのが、シーメンスデジタルインダストリーズソフト  
ウェアが進めている変革です。弊社ソリューションによっ  
て、あらゆる規模の企業の皆さまがデジタル・ツインを作  
成、活用し、新たな知見と機会を開拓し、より高いレベ  
ルの自動化を実現できるため、イノベーションが推進され  
ます。シーメンスデジタルインダストリーズソフトウェアの製  
品とサービスについての詳細は、[siemens.com/software](https://www.siemens.com/software)  
をご覧ください。または、[LinkedIn](#)、[Twitter](#)、[Facebook](#)  
をフォローして情報をご確認ください。シーメンスデジタル  
インダストリーズソフトウェア – 今日と明日が出会う場所。

[siemens.com/software](https://www.siemens.com/software)

© 2018 Siemens. 関連するシーメンスの商標は[こちら](#)に記載されています。その他の商標はそれぞ  
れの所有者に帰属します。

75930-81176-C8-JA 11/19 LOC