



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

航空機の構造エンジニアリングと解析

統合型シミュレーション環境を活用

エグゼクティブ・サマリー

航空機メーカーが予測可能な性能を発揮する革新的な製品を納期どおりに出荷するためには、製品ライフサイクル全般にシミュレーションを活用するエンド・ツー・エンドのプロセスを取り入れる必要があります。それによって、短時間でのモデル準備、設計と解析の反復作業の短縮、複数の設計領域をまたぐトレードオフ調査、開発の合理化を実現し、期日内の出荷と設計品質の向上につながるからです。

目次

- エグゼクティブ・サマリー3
- 航空機業界が直面する課題4
- 高まるコスト圧力.....5
- 航空機構造の開発プログラム6
- 制御構造解析プロセスへの影響7
- 航空機構造解析の難しさ8
- 典型的な航空機の開発プロセスと課題9
- シーメンスによる航空機向けソリューション 11
- まとめ.....12
- 参考文献.....13

エグゼクティブ・サマリー

航空機メーカーのエンジニアリング部門はほぼ例外なく、根本的な課題に直面しています。なかでも、製品の複雑化と安全性/認証要件の厳格化に対応しなければならない航空機構造に課題が突きつけられています。航空機構造の解析は、自動化、標準化、トレーサビリティ、グローバルな展開に難しさがあります。

グローバルなシミュレーションプロセスとはつまり、コンピューター支援設計 (CAD) を使用した概念設計、コンピューター支援エンジニアリング (CAE) を使用したモデリングと応力解析など、多数のエンジニアリングが緊密に連携するプロセスを指しており、その自動化には、設計とシミュレーションの反復作業をいかに迅速化かつ効率化できるかが鍵です。

また構造寸法を最適化して認証を得るため、コンピューターを使用して何千回もの構造解析を実施しなければなりません。応力解析プロセスには適切なデータの収集、正しいエンジニアリング手法の選定、業務の分担、応力レポートの出力といった作業が含まれますが、そこに一貫性が欠けていると認証までの道のりが長く困難なものになります。一方、プロセスの一貫性を高め、エラーのリスクを低減することでこの問題に対処するアプローチがプロセス標準化です。

プロセスの自動化と標準化は、航空機の構造解析の大きな課題であると同時に、コンセプト設計段階から最終の製品化までのすべての段階で個別のデータ、モデル、プロセス/手法を可視化し、追跡できるようにすることも同様に難しい課題と言えるでしょう。

最後のポイントとして、グローバル企業は競争力を維持するためにモデルをサプライヤーと共有することもあり、そうするとデータのセキュリティが大きな課題です。

航空機をグローバルにシミュレーションするプロセスの実装

シーメンスデジタルインダストリーズソフトウェアは、グローバルな一貫性のあるプロセス制御を維持しつつ、追跡可能なデータと結果を得られる完全な航空機構造シミュレーション・ソリューションを提供しています。

Simcenter™ポートフォリオは、シミュレーション、試験、データ管理を包括的 (かつ高度) に集約したツールであり、CAD環境で定義したジオメトリの活用からCAE環境まで、グローバルに展開されたシミュレーションプロセスを合理化します。

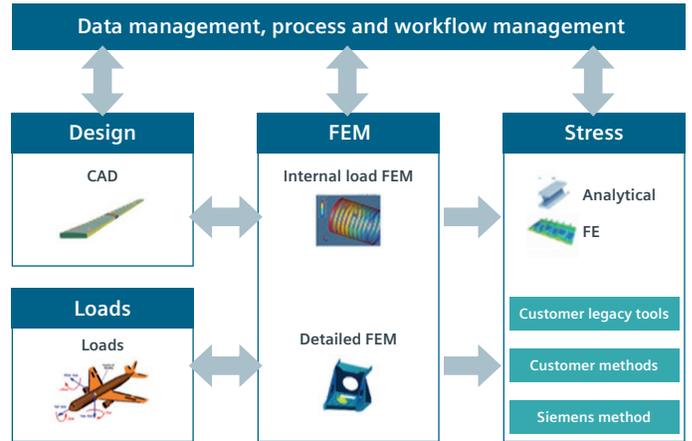


図1: シーメンスデジタルインダストリーズソフトウェアのツールを使用してグローバルなシミュレーションを合理化

詳細有限要素モデル (DFEM) アプローチのほか、解析エンジニアリング手法ライブラリを使用して、航空機のコンポーネントをサイジングできます。応力シミュレーションのデータに基づいて結果レポートを生成する機能もあるため、一貫性のある統合的なグローバルプロセスの利点をエンドユーザーに提供し、設計サイクル全般にわたり、時間を短縮します。

Teamcenter®は、世界各地でシミュレーションを実行しているチーム間で共有・処理される多くのデータ、モデル、ツールを管理・追跡するソフトウェアです。

シーメンスデジタルインダストリーズソフトウェアはグローバル展開に対応しているため、適切な手法とツールを統合した環境をエンジニアに提供することで、航空機OEMが業務の一部外注したり、サプライチェーンに競争原理を持ち込んだりといったことが可能です。

つまり、航空機の構造解析の自動化および標準化を阻む課題は、シーメンスデジタルインダストリーズソフトウェアのソリューションで克服できます。このソリューションは、顧客のデータ、ナレッジ、プロセスを確実に捕捉し、追跡することを主眼とし、完全なシミュレーションチェーンを網羅する統合型シミュレーション環境を提供します。

航空機業界が直面する課題

航空機メーカーは、開発コストの削減、高い成果を発揮する開発プログラム、革新的な製品の導入、製品品質の管理など、いくつもの課題を抱えています。効率性、品質、法令遵守、コストの面で突破口を開くには、モデルベースのエンジニアリングプロセスへの変革が不可欠です。そのためには、複数のプロセス、ツール、組織が相互に依存しあう複雑で多次元の問題に向き合わなければなりません。目指すべきは、的確な意思決定をプログラムの早期に下せるようになること、要件、機能、試験計画、検証、認証などの主要な意思決定要素間の連携とトレーサビリティを高めることです。

最初の要件は、エンド・ツー・エンドのデジタル接続性とチーム間の統合をサポートすることにより、作業プロセスをシームレスにつなぎ、設計サイクルに沿ったコラボレーションと情報へのアクセスを管理することです。もうひとつの主要な側面は、製品アーキテクチャー、設計要件、試験計画と実施、シミュレーションと検証、CAEデータ管理とプロセス管理といった異なる領域を横断した単一のデジタル・スレッドの作製です。

業界に変革を起こす企業や業界トップの企業は、事業目的に沿ったプロセス改善テーマを戦略として策定、実施しており、それに基づいて、短期的な価値の創出と長期的な成長を両立させる施策に取り組んでいます。

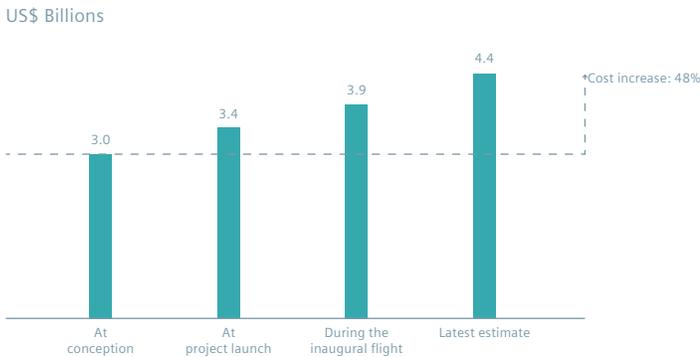
製品の複雑化に加え、安全性と認証に対する要求の高まりに対処し、プログラムの遅延による開発コストの追加を抑えるには、構造面の大きな課題を克服しなければなりません。

高まるコスト圧力

航空機メーカーは、開発コストの削減、開発プログラムの成果の向上、イノベーションの追求、高い製品品質の維持といったいくつも課題に直面しています。

限られた予算とスケジュールの範囲内で新しい製品を開発、製造する作業は難題です。ときには最長で5年もの納期超過が発生し、膨大な追加エンジニアリング工数と何千万ドルものコスト超過を余儀なくされます。超過コストは48%にまで上ることもあります(図2)。これに加えて、メーカーは数十億ドル規模の違約金を顧客に支払わなければなりません。

Exhibit 1: Recent aircraft program development costs, from preliminary design to 2014



Source: Company reports, Oliver Wyman analysis

Aircraft development project 1

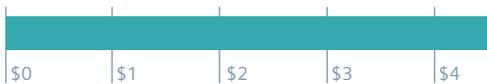
Waiting clients > 50



Delay to date > 42 months



Penalties to date > \$4.5 billion



Aircraft development project 2

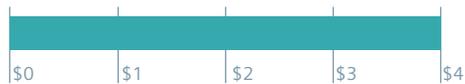
Waiting clients > 20



Delay to date > 36 months



Penalties to date > \$4.0 billion



Source: Company reports, Oliver Wyman analysis

図2: 航空機の開発コストと違約金

航空機構造の開発プログラム

実現可能性調査の段階では、複数の機体構成案とそれに対応する機体アーキテクチャーと技術が探索されます。エンジンはどこに配置すべきか、後方がそれともウイングボックス内かといったことを評価したり、構造材を複合材料にするか、金属製にするかを見極めたりします。

構成が固まったらコンセプト段階へと進み、構造トポロジと設計原則（フレームの数など）を定義します。航空機体は、いくつものトレードオフ調査を通じて、複数の評価指標の最良のトレードオフを判断しながら、徐々に完成されていきます。

全体的な機体フレームを定義したら、詳細構造を定義して、最終設計段階に移行します。最終段階では、積層板のプライドロップオフ部や縦通材の詳細プロファイル（例えばウェブの高さやフランジの厚み）などを検討します。

詳細なサイジングが完了すると、主要書類に基づいて、当局が認証および認定を行います。これが開発工程です。

いずれの段階でも、最適な設計案に到達し、認証要件を満たすまでの間に、設計案や荷重が何度も変更され、そのたびに反復処理や手戻りが発生することも珍しくありません。これにより、さらなる遅れが生じ、全体的な開発工程に影響を及ぼすこともあります。

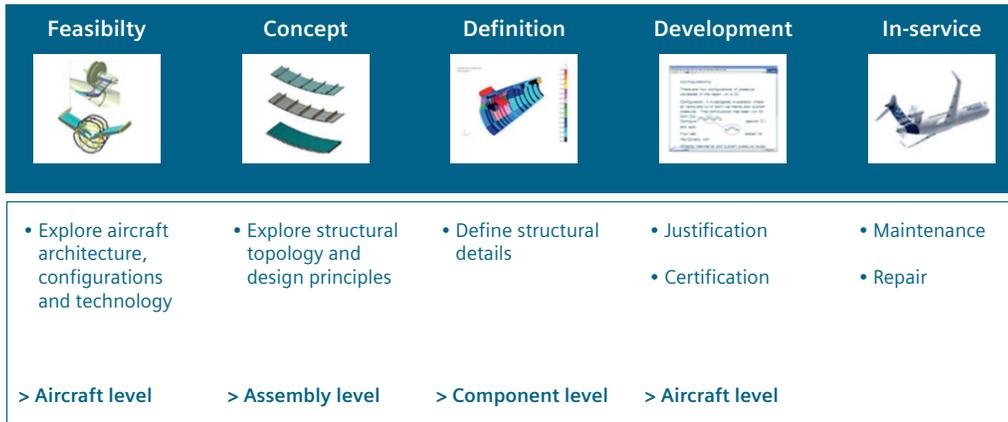


図3: 典型的な航空機構造開発プログラムの流れ

制御構造解析プロセスへの影響

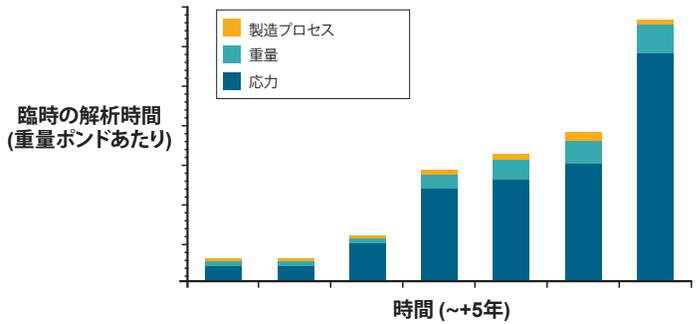
新規参入する航空機メーカーが急増するなか、「さらに短いリードタイム、さらに低い価格で製品を提供しなければならない」という圧力が強くなってきました。

これに加えて、新素材の登場と設計の複雑化によって、構造解析の必要性が高まっています。エンジニアの比率を見てみると、設計者と応力解析エンジニアの割合が5:1から1:1-1:2へと大きく変わってきました。

環境と安全の基準も厳格化が進んでいます。



図4: 商用航空機のサイズ別メーカー勢力図(A.T. カーニー パートナー Cay-Bernhard Frank氏)



設計者と解析エンジニアの比率が5:1から1:1-1:2まで変化

図5: ボーイングでリードエンジニア兼プロジェクトマネージャーを務めるKeane Barthenheier氏によると、複雑化により解析の需要が増加

航空機構造解析の難しさ

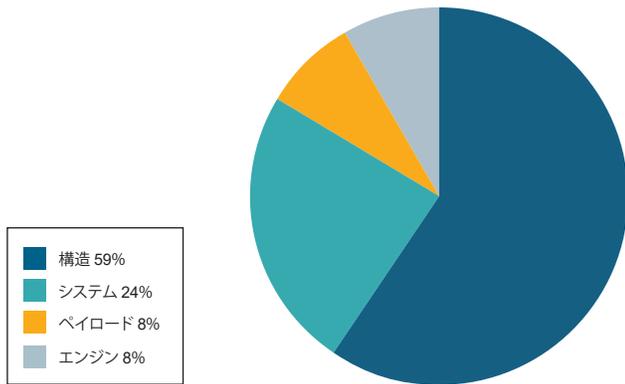


図6: 商用航空機の臨時費用の内訳 (Jacob Markish)

商用航空機の臨時費用 (予定外のコスト) の60% (軍用機では30%) が構造関連に充てられているという事実はずまり、構造解析プロセスの改善が遅延とコスト超過の回避にとって大きな影響を与えることを意味します。

構造解析プロセスのどのあたりに改善の余地があるのか、一般的な航空機プロセスを例に挙げて考えてみましょう。

典型的な航空機の開発プロセスと課題

下図は、CADを使用したアーキテクチャー設計、内部の荷重FEMモデル (またはグローバルな有限要素モデル) の生成と応力解析、構造評価までのプロセスを示したものです。

典型的な航空機プロセスは主に4つの領域から構成されます。4つの領域とは、設計/CAD、荷重解析、有限要素解析 (FEMモデル生成とFE解析)、安全マージン (MoS) の計算です。

設計 – 企業の所定プロセスにしたがって、CADモデルを手動またはパラメーター設定により更新します。しかし、CADデータはそもそもシミュレーションを目的としていません。

そのため、シミュレーション用に形状を変換する作業はときとして全解析時間の最大20%を占める大仕事です。同時に、設計変更が全体のプロセスに与える影響を速やかに理解できるかどうかも重要です。

CAD形状モデルをパラメーター化して、設計意図を切り離れたシミュレーションモデルとして変換する機能があれば、短時間のモデル準備を可能にする強力な手段になるでしょう。

外部荷重の計算 (空力弾性を含む飛行科学) – 主要構造の強度と重量効果を調べるため、外部負荷のFEMモデルを使用して線形静解析、動解析、フラッター解析を実行します。このとき、荷重データに詳細な内部荷重FEMを紐づける機能が必要です。

通常の航空機開発プログラムでは、外部荷重が3~5回程度、更新されます。荷重の変更が与える影響とその不確実性を素早く理解する手段の有無が鍵になります。

荷重FEMは、グローバルな有限要素モデル (GFEM) ともいいます。これは、CADモデルから直接作成したものか、以前の航空機プログラムで作成したFEMモデルに修正を加えたものです。内部荷重FEMは複数を組み合わせることもあるため、その場合には、管理するモデルとデータが多くなります。

このモデルは主要な構造荷重パスの線形静解析のほか、主要構造の詳細応力解析に役立つ自由物体の荷重データを得るときにも使用されます。

内部荷重モデルは、詳細有限要素モデル (DFEM) とともにFE計算の入力データとすることもあれば、(顧客の内製ツールまたは標準ハンドブックを使った) 解析計算に活用されることもあります。

このとき、処理を加速させる自動化、複数のサブモデルを扱うアセンブリ管理、社内規定に即したメッシュ生成 (メッシュ生成のルール、品質チェック基準など) が課題です。

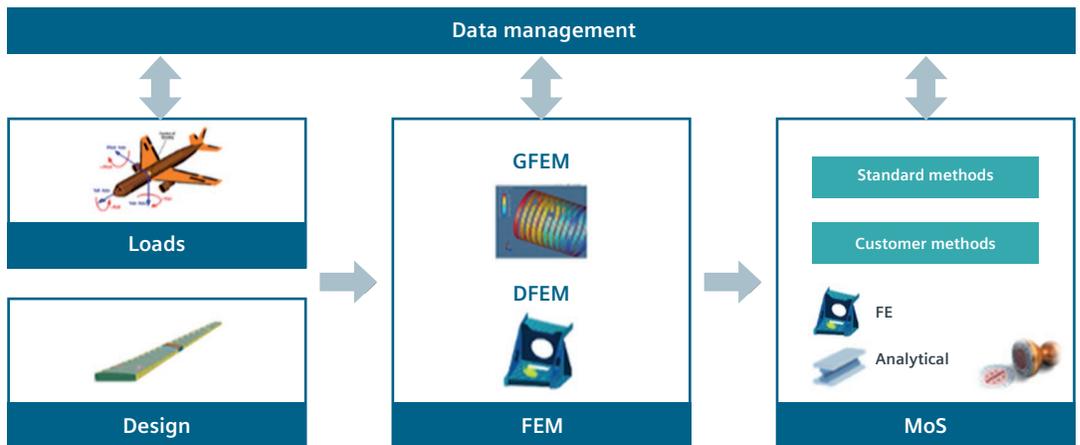


図7: 典型的な航空機開発プロセス

詳細FEMは通常、複雑なジオメトリ構造に対して生成されるものであり、非線形解析を通じて複雑な現象を捕捉するために使用されます。

安全マージンの計算は、構造コンポーネントの解析を目的としており、主として、何らかの解析手法（標準の航空機ハンドブックまたは企業が定めたもの）と組み合わせて使用します。

内部荷重データと形状データをCADモデルまたはFEモデル内部から直接抽出し、ハンドブックで定めた解析メソッドを使用してMoS計算を実行します。入力データ、解析手法、MoS計算の結果は完全に追跡可能でなければなりません。

ここでは、データを迅速に準備できるか（応力解析エンジニアの時間の30%がデータ準備に費やされている）、正しいメソッドを使用し、入力データとMOS結果が認証時にも追跡可能かどうかが課題です。

また、プログラムの成果を高め、開発コストの増加を抑えるには、異なるスキル（荷重/CAD/CAE/MoS）を統合することが求められます。その際の主な要件を次にまとめます。

1. 構造解析プロセスを合理化する → プロセス自動化
2. 形状データを提供し、設計を更新する → 設計とシミュレーションの統合で生産性を向上
3. 手法とプロセスを標準化する → 企業のプロセスと手法を実装するオープン性
4. 追跡性（トレーサビリティ）を確保する → 構成管理（材料、荷重、FEMモデル）

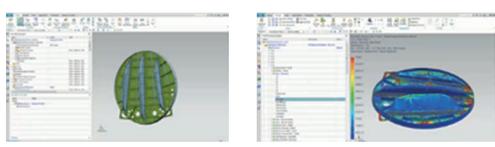
このほかにも、エンド・ツー・エンドのシミュレーションワークフローを通じてシミュレーションデータを管理する機能についても触れておきます。次の課題があります。

- すべてのシミュレーションデータ（形状、シミュレーションモデル、入力デッキ、荷重値、結果、レポートなど）を取り込み、管理すること
- シミュレーションファイルと関連するメタデータをインポートすること
- レガシーデータ、仕掛り（WIP）データ、提供済みシミュレーションデータを保存および管理すること
- 大規模なデータベース・ファイルを管理すること。場合によっては、外部のデータベースでデータを維持、監視できるようにすること

今日の構造解析プロセスは、専門分野に特化した内製手法 / ツールと商用（COTS）ツールを組み合わせたアプローチが主流です。次の機能が必要です。

- 形状データへのアクセスと設計更新
- 荷重データへのアクセスと反復ループ計算
- プロセスの標準化とトレーサビリティ

1. Aircraft component focus



- CAD link for geometry parameters
- Load extraction from FEM

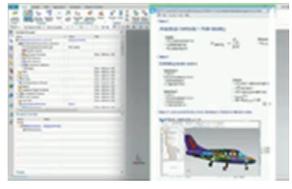
2. Margin of safety calculation



- Compute local simulations from analytical methods
- Customer or reference hand book methods

3. Margin of safety postprocess

- Report generation based on a template
- Results and pictures



4. Stress report generation

- Dedicated MoS post-process
- Critical load case
- Critical criteria
- Critical MoS



図8: 安全マージンの計算

シーメンスによる航空構造向けソリューション

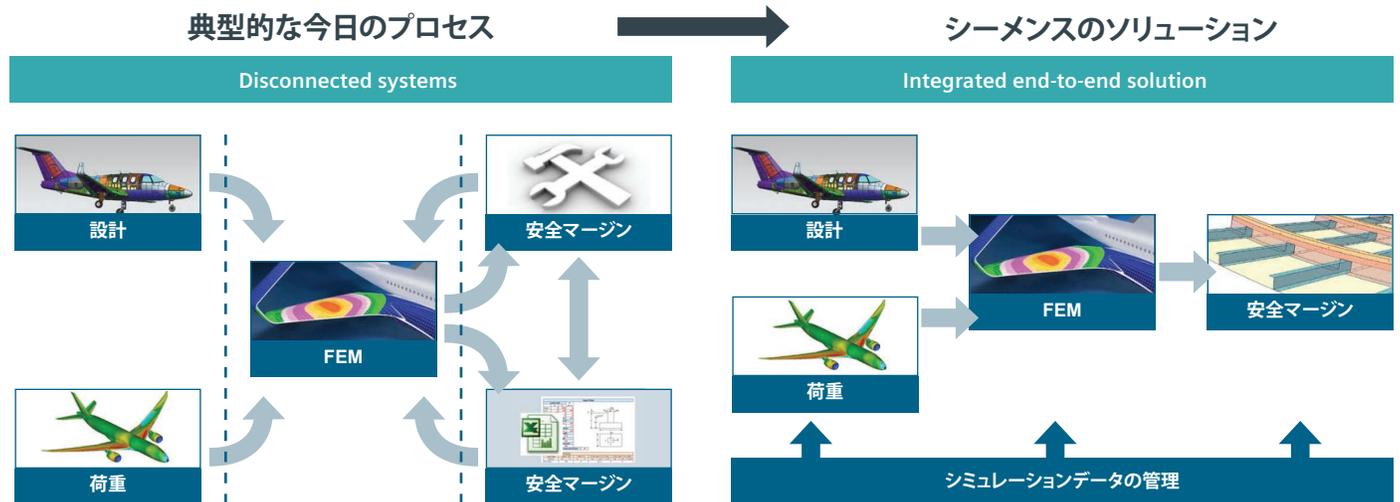


図9: 分断したシステムから統合型エンド・ツー・エンドのソリューションへ

シーメンスデジタルインダストリーズソフトウェアは、グローバルな航空機構造のプロセスを網羅するエンド・ツー・エンドの統合的な航空機ソリューションを提供します。

- CADとCAEの隔たりを埋める (設計更新、FEMアセンブリなど)
- 設計変更の管理と荷重のループ反復処理
- 概念設計から認証までのトレーサビリティを確保
- 応力解析プロセスの合理化および標準化 (解析またはFEM計算)
- 顧客の手法、プロセス、ベストプラクティスを組み合わせて、プロセスをカスタマイズ

図10に示すSimcenter 3Dは、(高度な手法が付属した) シミュレーションツールとデータ管理ツールを統合した包括的なポートフォリオであり、形状を定義するCAD環境からCAE環境にいたるグローバルなシミュレーションプロセスを合理化します。

世界各地に点在する複数チーム間で共有するデータと結果の増加に対応するには、シミュレーションに対応したTeamcenterを使用し、モデル、結果、ツールを管理および追跡する必要があります。

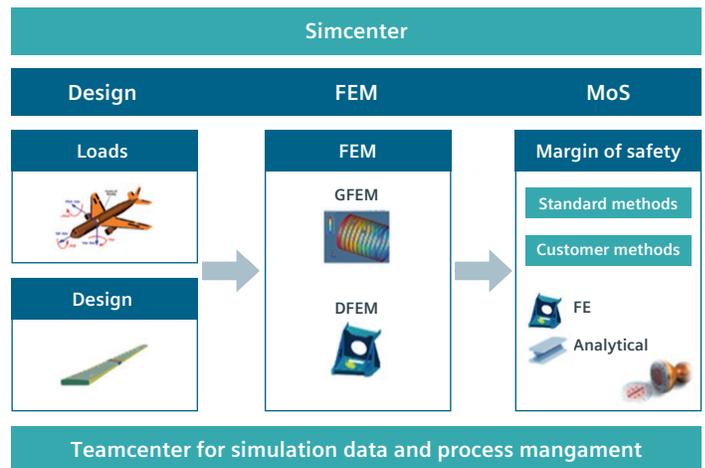


図10: Simcenter 3Dの統合型エンド・ツー・エンドのソリューション

まとめ

航空機構造の統合型エンドツーエンドのプロセスは、製品ライフサイクル全体でシミュレーションを活用することにより、納期どおりに革新的な製品を提供し、次のような成果を高い確度で達成します。

- モデル準備の時間を70%短縮
 - 形状モデルを修正してwhat-if解析を実行する機能をCAEユーザーに提供することで、ボトルネックを解消します。
 - アプリケーションの統合によって生産性を30%向上。旧ソフトウェアと比べて、設計サイクルを1/10に短縮します。
 - 拡張可能なインターフェースとガイド付きシミュレーション機能でユーザーの生産性を向上 (新規ユーザーのツール習得時間を20%削減) します。
- 設計と解析の反復作業を短縮
 - CADの形状モデルと解析モデルを関連付けることで、解析エンジニアが設計変更時に迅速にシミュレーションを更新できます。
- 複数の構造設計案 (リブや縦通材の数など) に対するトレードオフ評価
 - 統合環境を使用すると、設計判断がいくつもの製品性能に与える影響を理解しやすくなります。
- 出荷納期を遵守するための開発プロセス合理化
 - 設計の早期段階から運用後まで、シミュレーションデータを管理します。
 - シミュレーションに正しいデータを確実に使用し、設計とシミュレーションに共通のデータフローを確立します。
 - 全社的にベストプラクティスを実装および自動化することで、シミュレーション速度と品質を向上します。
- 臨時費用の使途の改善
 - 認証プロセスにおいて安全マージン、CAEモデル、CADジオメトリを追跡できるようにします。
 - プロセスと手法を標準化することでトレーサビリティを確保します。

参考文献

1. Norris, Guy (2016), "Boeing's New Midsize Airplane: Low Development Cost, Price Are Key," Aviation Week & Space Technology
2. Wyman, Oliver (2014), "Stop the multibillion dollar delays." <http://www.oliverwyman.com>
3. Markish, Jacob (2002), "Valuation Techniques for Commercial Aircraft program," PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, page 60
4. Gharbi, Aroua (2016), "Geometric Feature extraction in support of the single digital thread approach to detailed design," master's thesis, Georgia Institute of Technology
5. Barthenheier, Keane (2014), "Simulation Process Data Management-Boeing," Global Product data interoperability Summit
6. Malherbe, Benoît; Raick, Caroline; Colson, Benoît (2015), "The Airbus A350 aircraft's structural detailed analysis with Siemens' LMS Samtech Caesam," NAFEM World Congress
7. Cay-Bernhard Frank (2010), Civil Aviation 2025, A.T.Kearney's perspective on success factors for the Civil Aviation business of tomorrow: A.T.Kearney

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

アメリカ

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

ヨーロッパ

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

アジア / 太平洋

Unit 901-902, 9/F
Tower B, Manulife Financial Centre
223-231 Wai Yip 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

Siemens Digital Industries Softwareは、Siemens Digital Industriesのビジネスユニットです。製造業がイノベーションを実現するための新たな機会を創出し、産業のデジタル・トランスフォーメーションを牽引するソフトウェアソリューションを提供して世界をリードするグローバルプロバイダーです。米国テキサス州プラノを本拠地とし、これまで世界140,000社以上のお客さまにサービスを提供しています。シーメンスデジタルインダストリーズソフトウェアは、あらゆる規模のお客さまと協働して、アイデアの実現方法、製品の実現方法、稼働中の製品および設備資産の活用や状況把握の方法を変革できるよう支援しています。製品やサービスに関する詳細はsiemens.com/plmをご覧ください。

siemens.com/plm

Restricted © Siemens 2019. SiemensおよびSiemensのロゴは、Siemens AGの登録商標です。 Femap、HEEDS、Simcenter、Simcenter 3D、Simcenter Amesim、Simcenter FLOEFD、Simcenter Flomaster、Simcenter Flotherm、Simcenter MAGNET、Simcenter Motorsolve、Simcenter Samcef、Simcenter SCADAS、Simcenter STAR-CCM+、Simcenter Soundbrush、Simcenter Sound Camera、Simcenter Testlab、Simcenter Testxpress、およびSTAR-CDは、米国およびその他の国におけるSiemens Product Lifecycle Management Software Inc. またはその子会社、関連会社の商標または登録商標です。その他の商標、登録商標またはサービスマークはそれぞれの所有者に帰属します。

66860-83123-C12-JA 12/20 LOC