



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

次世代の航空機設計

航空機エンジニアリングへの新たな取り組み

エグゼクティブ・サマリー

航空業界は、今後予測される旅客数の増加による二酸化炭素 (CO₂) 排出の急上昇を回避するために変革が求められます。なかでも推進システムの電化は最優先事項の1つです。しかし、電化に必要な高い電力密度は、熱の問題や電装システム統合の問題を生み、さまざまな物理現象の相互作用を招きます。こうした複雑さに対処するために、航空機インテグレーターは、縦割りで連携のとれていない開発プロセスを改善し、静的なドキュメントベースのエンジニアリング手法から動的なモデルベースのエンジニアリング手法へと変えていく必要があります。Simcenter™ソリューションのポートフォリオは、動的なモデルベースの性能エンジニアリングに対応したソリューションであり、構想設計から認証にいたる航空機開発全体を通して、拡張性と協調性、トレーサビリティに優れた包括的なツールセットを1つのプラットフォームで提供します。これにより、設計サイクル全体で一貫した正確な動作検証と実証が可能です。

目次

概要	3
航空業界の現状	3
航空: グローバル化の基盤.....	3
環境問題	3
燃料消費量と運用コストの関係.....	4
空港の運営.....	5
安全な飛行.....	5
未来の航空機を電化	6
技術工学の課題	6
開発プロセスに伴う課題.....	7
新たな航空機エンジニアリング手法	10
モデルベースのシステムエンジニアリングで縦割りを解消	11
すぐに使える航空機モデルを活用	11
エンジニアリングのニーズに合わせて容易にモデルを拡張	12
幅広い用途に徹底的に対応.....	13
シミュレーションモデルを最大限に活用	13
シミュレーションとテストの相乗効果.....	13
まとめ	14
参考文献	14

概要

化石燃料が環境に及ぼす深刻な影響に注目が集まるなか、輸送業界は電化を最優先課題に掲げています。電動航空機的设计には、革新的な技術と新しい開発プロセスが必要です。このホワイトペーパーでは、航空業界の具体的な課題を示し、モデルベースのエンジニアリング手法を導入することで航空機メーカーとサプライヤーが、性能エンジニアリングに対応した包括的なデジタル・ツインを実現できることを説

明します。モデルベースのエンジニアリング手法は、実際に即したシミュレーションで動作検証と実証をスムーズに進め、領域間やアプリケーション間の縦割り作業を解消して複雑な設計を効率化し、開発期間の短縮とリスクの低減を可能にするものであり、デジタル・スレッドの導入と合わせることで、プログラム実行を成功に導きます。

航空業界の現状

航空: グローバル化の基盤

ひとつの時代を彩る最大の出来事が何になるかを予測することは、いつだって容易ではありません。この50年以上を振り返ると、最大の変化の1つはグローバル化であったと言えるでしょう。今日、世界中のほぼすべての人、社会、企業がかつてないほど相互につながっていますが、これは、さまざまな分野における進歩のおかげです。例えば、内政状態と外交関係が安定した国が増加した結果、教育や公共福祉の水準が大きく上がりました。通信技術はこれまで画期的なイノベーションを繰り返しており、その多くは航空・宇宙産業の功績に端を発するものや関連するものばかりです。

しかし、グローバル化社会をけん引してきた最も大きな原動力は、世界中の人々が直接会えるようになったことであることに違いありません。空の旅が可能になったことで、世界中のあらゆる場所にいる人（とモノ）が事実上、すべての大陸へ移動できるようになりました。50年ほど前は、飛行機による移動は大手の国際企業や一部の恵まれた人だけの特権でした。今日、航空機や航空業界は、人や企業をつなぐ重要な役割を果たしています。

同時に、旅客数は、出張かレジャーかにかかわらず着実に増加を続けています。エアバスの『Global Market Forecast (グローバル市場の予測)』¹とボーイングの『Commercial Market Outlook (商用市場の見通し)』²によると、飛行機による移動者数は2017年から2032年で倍になることが予測されています。Covid-19の影響で一時的に鈍化するにせよ、10年以上の長期的な視点で見るといずれは回復するでしょう。飛行機に乗る頻度や回数が増えた理由の1つとして、アジアの国々の収入が大幅に増加したことが挙げられます。

飛行機による移動は、過去50年間に起こったグローバル化の原動力であり、それは今後も変わらないでしょう。

環境の問題

同時に、批判も起きています。グローバル化、そしてその延長線上にある産業化の多くは化石燃料に支えられており、私たちの地球に多大な負荷を強いるものでした。今すぐ対策を施さなければ、取り返しのつかないダメージを与えると科学的合意に達するところまで来ています。地球温暖化の問題を契機として、人為的なCO₂排出に関する国際的な

取り決めが交わされ、すべての輸送業界を対象とした法律が制定されました。世界の温室効果ガス総排出量のうち、輸送業界全体が占める割合は約15%³です。このうち航空業界の割合は比較的小さいにもかかわらず(全業界の約2%、輸送業界全体の約12%)⁴、航空業界はこの点に関する世間からの否定的なイメージに悩まされています。

航空業界は、エコロジカル・フットプリントや否定的なイメージに対して、新しい技術で今すぐ対処し、航空機の旅をよりクリーンで持続可能なものにする必要があると感じています。図1は、旅客数が予想通りのペースで増加した場合、2010年から2050年に航空業界のCO₂排出量がどのように推移するかを国際航空運送協会 (IATA) が示したものです。何の対策も講じなければ、CO₂の排出量は単純に2倍になると考えられるため、航空機や航空機の推進装置メーカーは、解決策を求めています。軽量化だけでなく、既存の航空機エンジンのさらなる強化、オペレーションやインフラの最適化による改善も模索する必要があります。ただし、既存の技術を少しずつアップデートするだけでは、CO₂の削減には少しもつながりません。2050年までに50%削減という目標を達成するには、まったく新しい技術が必要です。バイオ燃料や水素燃料に加えて、代替の機体構成や、モーフィング翼技術

などの構造・材料技術、航空機用電動・ハイブリッド推進システムにも可能性があります。

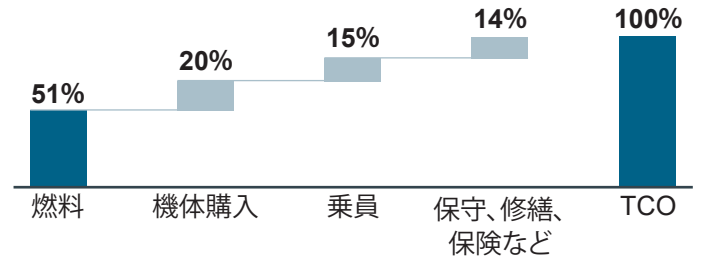


図2 一般的な単通路型航空機の総所有コスト⁶

燃料消費量と運用コストの関係

環境問題のほかに、航空業界、特に民間航空機の分野では、エネルギー効率を向上させ、化石燃料への依存を減らすべき別の動機があることも言及しておくべきでしょう。図2は、代表的なボーイング737-800型機の総所有コスト (TCO) を示していますが、50%以上が燃料に直接関連するコストです。化石燃料の価格は地政学的紛争などの問題で変動しやすく、航空会社には大きな経済的負担であるばかりか、リスクでさえあります。この点を改善すれば、航空企業の経営に

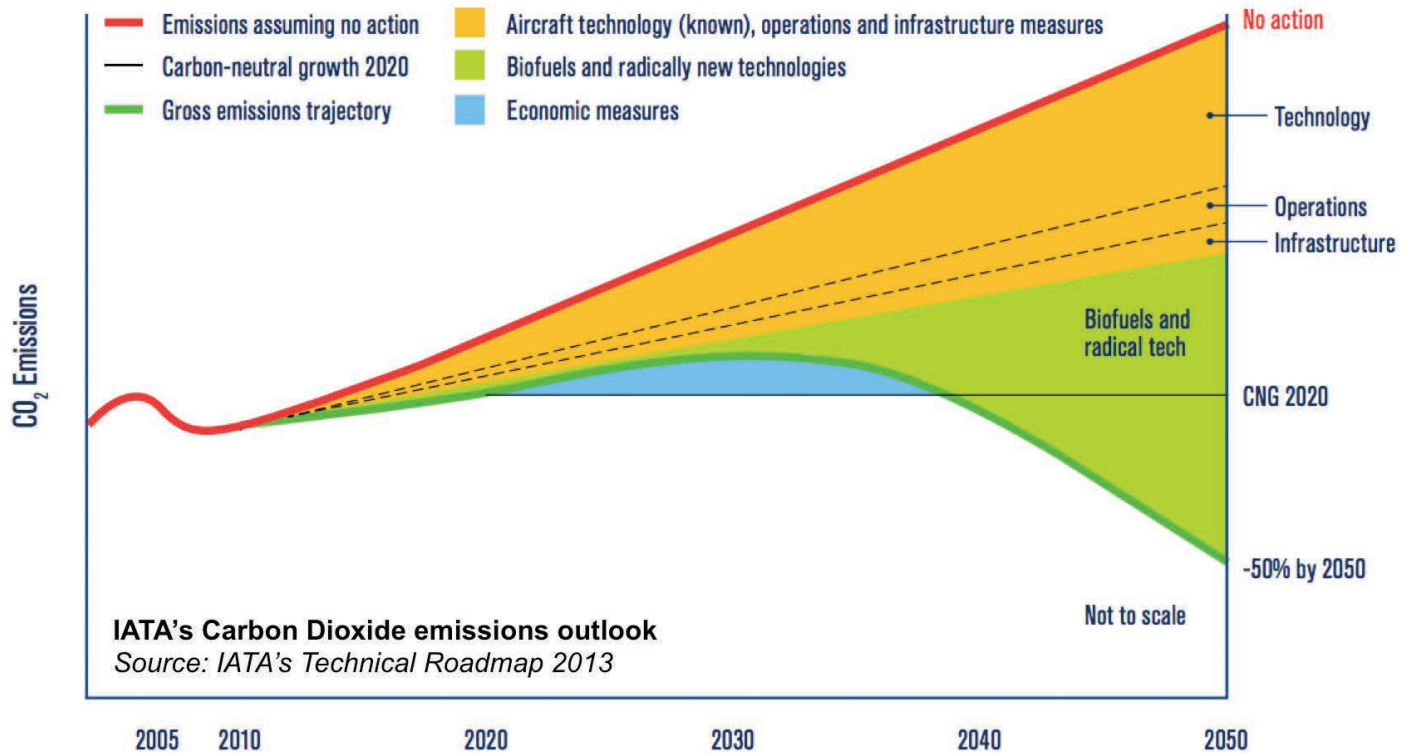


図1 技術の進化を考慮したCO₂排出量の推移⁵

プラスに働きます。そのため、電化は興味深い道筋であると言えます。IATAは、ハイブリッド電気技術により、小型機（15～20席）では2030年までに10～40%、中型機（50～100席）では2045年までに40～80%の化石燃料の消費量を削減できるとしています。しかもこれは、完全な電化までの通過点に過ぎません。

空港の運営

燃料消費や排出ガスの問題に加えて、騒音や空港近隣の空気品質も、航空業界が環境に及ぼす影響の一部です。例えば、夜間や早朝の運航に関して多くの現地規制があるのは、航空機による騒音のためです。既存の空港を拡張したり、新しい空港を計画したりする際も騒音が問題視されます。航空業界が空港近隣住民の賛同を得つつ、持続的な成長を続けるには、こうした点にも配慮しなければなりません。まったく新しい技術の導入にあたっては、インフラの変更を伴うかどうかにかかわらず、航空機メーカーと空港運営会社は、連携して環境騒音を許容レベル以下に抑える必要があります。

航空機の電化には、利点もあります。電気駆動は、推進力を保ちながらプロペラやファンの回転数を下げることができ、分散型推進も実現できる可能性があります。エンジニアはいずれ、周囲環境に騒音が直接伝播しないようにファンを遮蔽した構造の機体を考案するようになるでしょう。

安全な飛行

最後に、安全について触れずに航空機を語ることはできません。航空業界では今も変わらず一番重要な設計基準は安全性です。飛行機の旅がますます安全になってきたとはいえ、事故がゼロにならない限り、改善の余地はまだ残っています。特に瞬く間に情報が世界中に広まる今日では、どんなに軽微な事象であっても業界全体の問題として否定的に受け止められかねません。また、航空機に自動化機能が増えれば、それだけ人は疑いを抱くようになります。一般的に今日の自動化システムの機能は人間の操作よりもはるかに信頼性が高いことを考えれば、少し矛盾した話です。しかし、こうした自動化システムに対する漠然とした認識のために、エラーに対する人々の許容度が低くなっているように思えます。

とはいえ、自動化システムは人が作ったものであり、故障がまったく起きないわけではなく、航空機およびその開発プロセスにこれまでにない次元の複雑さをもたらします。航空機の電化には、多様な技術を組み合わせた新たなシステムが大量に必要になり、特に、グローバルな組織でさまざまなチームが関わるような環境では、航空機の統合を間違いなく難しくします。

未来の航空機を電化

IATAのAircraft Technology Roadmap to 2050 (2050年までの航空機技術ロードマップ)によると、現在、円筒形の胴体と翼、ジェットエンジンで構成される「Tube-and-Wing」と呼ばれる従来型機体の進化期にあり、(経済的な条件が整えば) 2035年までに抜本的なイノベーションの到来が予想されています。現在は、革新的な構造技術や材料技術を取り入れながら、航空機電化の第一歩を踏み出していますが、本格的な業界変革を語るには、まだやるべきことがたくさんあります。

電気モーターを使用した推進システムは有望であり、徐々に市場に登場すると思われませんが、今のところ小型の一般航空機以外では導入されていません。今日の電気モーターは重すぎて大々的に航空機に適用することができないのはもちろんのこと、電気エネルギー貯蔵システムの電力密度も従来の灯油燃料に比べてはるかに低いという課題があります。次のセクションで、具体的な課題について取り上げます。

間違いなく、多くのものが変化しています。最近、新たな市場セグメントとして生まれつつあるのは、アーバン・エア・モビリティ (UAM) です。電気推進ユニットを使用することで、混雑したエリアでは上空を飛行できるようにした新しい航空機コンセプトです。この市場セグメントは、急成長中のドローンビジネスによって勢いを増しており、まもなく、人員輸送が可能になるまでに技術が成熟するでしょう。UAMが市場における存在感を増すにつれて、一部のサプライヤービジネスの成長を後押しし、必要な技術の準備を加速させています。

技術工学の課題

高出力電装システムの統合

航空機に中・高出力の電装システムを組み込むことは、航空業界では比較的新な試みです。ボーイング787のように、実際すでにある程度の電化を実現している例もありますが、従来の油圧システムに代わって電動アクチュエーターを採用したり、ジェットエンジンの抽気システムに代わって環境制御システム (ECS) に供給する電動ポンプを使用したりする程度です。それでも、長距離のワイドボディ機に1~2メガワット (MW) の発電機が標準装備されることも増えてきました。

今後、電気推進の航空機を実現させるには、大幅な出力アップが必要です。図3は、航空機の浮揚に必要な電力を機体別に示しています。垂直離着陸 (VTOL) 構成で4~6人乗りの比較的単純なUAMでも、長距離のワイドボディ機と同程度のパワーが必要であり、短距離の旅客機には、この10~100倍ものパワーが必要です。これは大変なことです。新しい技術とソリューションによって、これまでにないレベルの大きな電圧と電流を航空機に供給しなければなりません。そのためには、電気ハーネスなども刷新する必要があります。

航空機タイプ	機体イメージ	乗客数	必要電力
短距離用の航空機	A320	150-250	< 50 MW
地域間航空機	BAe146, ATR42	< 150	< 20 MW
通勤・ビジネス航空機	Do228	< 19	< 2 MW
アーバン・エア・モビリティ (VTOL)	CityAirbus	1-4	< 1 MW
小型プロペラ機	Extra 330 LE	1-4	50-300 kW

図3 航空機タイプ別の必須電力

出力密度

航空機では1キログラムでさえ無視できません。産業用の電気モーターの電力密度は一般的に、1kW/kg程度ですが、これではまったく不十分です。電気推進ユニット (EPU) の導入を成功させるには、電力密度を少なくとも10~15kW/kgに引き上げる必要があります。モーターだけでなく、インバーターやその他のサブシステムにも同じことが言えます。



軽量化は不可欠です。幸い、現在の電気モーターやインバーターはさらなる軽量化の余地があります。ただし、熱挙動など、設計の他の側面に大きな影響を与えずに、軽量化を進めることは非常に困難でしょう。今日、私たちが知っている産業用モーターは、電磁・電気・構造・熱の挙動が相互に作用しています。モーターの重量は、相互作用に大きく影響します。

例えば、構造を少なくするとモーターの重量は減りますが、熱容量に対する影響が大きくなるため、より短時間でモーターの温度が上昇します。この結果、電磁システムに熱変形を起こす可能性が生まれ、モーターの効率にも影響することになります。場合によっては、永久磁石の減磁を防ぐために、熱遮断の要件を厳しくしなければなりません。

いずれにしても、電力密度を高くすればそれだけ、関わり合う物理現象やエンジニアリング領域間の相互作用も強くなります。

熱管理

電気システムには、従来の動力システムとはまったく異なる遮熱法が必要です。現在の航空機では、システム間の熱交換は準静的に行われているため、最大熱負荷による開発アプローチが可能ですが、今後の航空機では、熱交換ははるかに複雑で動的なものになり、その量も現在の5倍から10倍も増える可能性があります。このまま現在の開発アプローチを続けていては、システムの巨大化や航空機の重量超過を招くでしょう。

したがって今後は、よりスマートな熱管理システムの設計が求められます。推進システムや環境制御システム、動力装置、燃料、さらには機体構造など、熱源またはヒートシンクとなり得るすべてのコンポーネントを体系的に考慮しなければなりません。そのためには、現在のサイロ化した縦割りの体制から脱却し、システムレベルのエンジニアリング手法によって、開発サイクルの最初から航空機の完成にいたるまで継続して熱管理システムのアーキテクチャを定義する必要があります。

開発プロセスに伴う課題

前述したように、電化はさまざまな物理現象の相互作用を強め、航空機開発を複雑化させます。また、システムの自動化や組み込みソフトウェアといった新技術の導入も複雑化に拍車をかけています。

航空機の開発プロジェクトは、技術的あるいは組織的な課題が多いため、スケジュールと予算が守られることはほとんどありません。開発、認証、生産を手頃な価格に抑え、予測可能なプロセスにするには、現在の開発プロセスにパラダイムシフトを起こす必要があります。

続くセクションでは、典型的な航空機開発プロセスにおける弱点が、いかに革新的な技術の導入を妨げ、遅らせるかを説明します。

サイロ化した組織は性能エンジニアリングの盲点を生む

現在の航空機開発における主な問題は、規模の大きさと複雑さです。そのせいで世界中の多数のパートナーにプログラムが分割されることになり、まるで航空機は分割可能な複数のシステムの集合体であり、あとで統合できるものであるかのように扱われています。航空機製造に携わる担当者の間では当然、コミュニケーションがとられています。多くの場合、組織全体で共有する二次元文書など、必ずしも最新ではないデジタルデータをベースにやりとりしています。電気部門とECS部門間に関わる冷却バジェットが良い例ですが、通常これは単なる数字のやり取りに終始します。

このようにサイロ化したやり方では、システム間で変動する物理的な相互作用を正確にとらえることはできません。そのため各部門は、接続部の不確定要素に対応できるように安全マージンを持たせなければならず、結果的に必要以上の重量が加わることとなります。最終的に、統合した航空機の性能低下、統合試験と認証コストの増加、動作範囲の複雑化を招き、最悪の場合、ミッションを果たせなくなります。2つの例を挙げながら詳しく説明します。

熱管理

このサイロ化した縦割り問題を最も顕著に示しているのは、今日一般的に見られる熱検証のやり方です。主要部門の熱エンジニアは、有限要素解析 (FEA) や流体力学シミュレーションなど、さまざまなツールを使って多大な労力を注いでいるのは言うまでもありませんが、ほとんどの場合、構造体やシステム、サブシステムが高温になっているかどうかは、飛行試験を実施するまでわかりません。また、部門間のやりとりは通常、PDFデータで行われるため (図4)、各システム間の動的なエネルギー作用は考慮されません。

このような盲点は、航空機開発プログラム全体に大きな問題をもたらしかねません。開発終盤になって設計やり直しが発生し、問題を修正しなければならなくなります。最悪の場合、新たな試験装置として「Thermos Iron Bird」(耐熱の試験装置) を作らなければならなくなるかもしれません。結果的に、プロジェクトの大規模な中断を招き、莫大な追加コストを発生させてプログラムの実行を停滞させます。

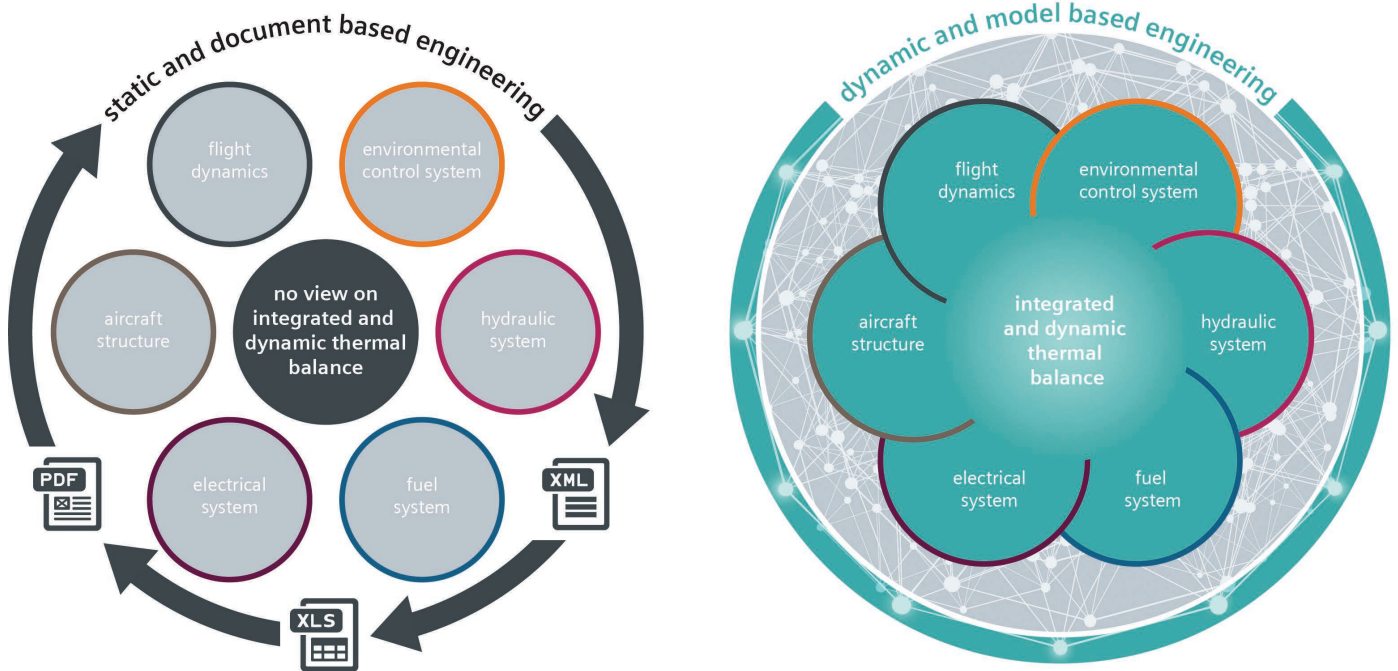


図4 サイロ化したやり方では、システム間の物理的な相互作用を正確にとらえることはできない。動的なモデルベースのエンジニアリング手法を用いることで、性能を統合的に把握できる。

電装システムの統合

2つ目の例は、これまでにないほどの電力、電圧、電流を必要とする電装システムの設計に関連したものです。今日、電装システムの設計や(機械的な)電気ハーネスの設計、性能解析、また電磁干渉/電磁両立性(EMI/EMC)試験などの電装システム統合試験は、縦割りの組織で別々に進められています。プログラム管理者はこのリスクの大きさを認識しています。どこから始めるかはわかっても、いつ終わるのかは決してわかりません。

実際、EMI/EMCの認証はコストがかかり、試行錯誤の繰り返しです。試作機の設計がEMI/EMCの基準を満たしていないことが判明した場合、通常はハーネスの分岐経路を変更します。そのためには、電装システム設計も変更する必要があり、さらにその後、機械設計も変更しないとEMI/EMCの性能改善には至りません。こうした変更が、終わりのないプロセスに陥ります(図5)。

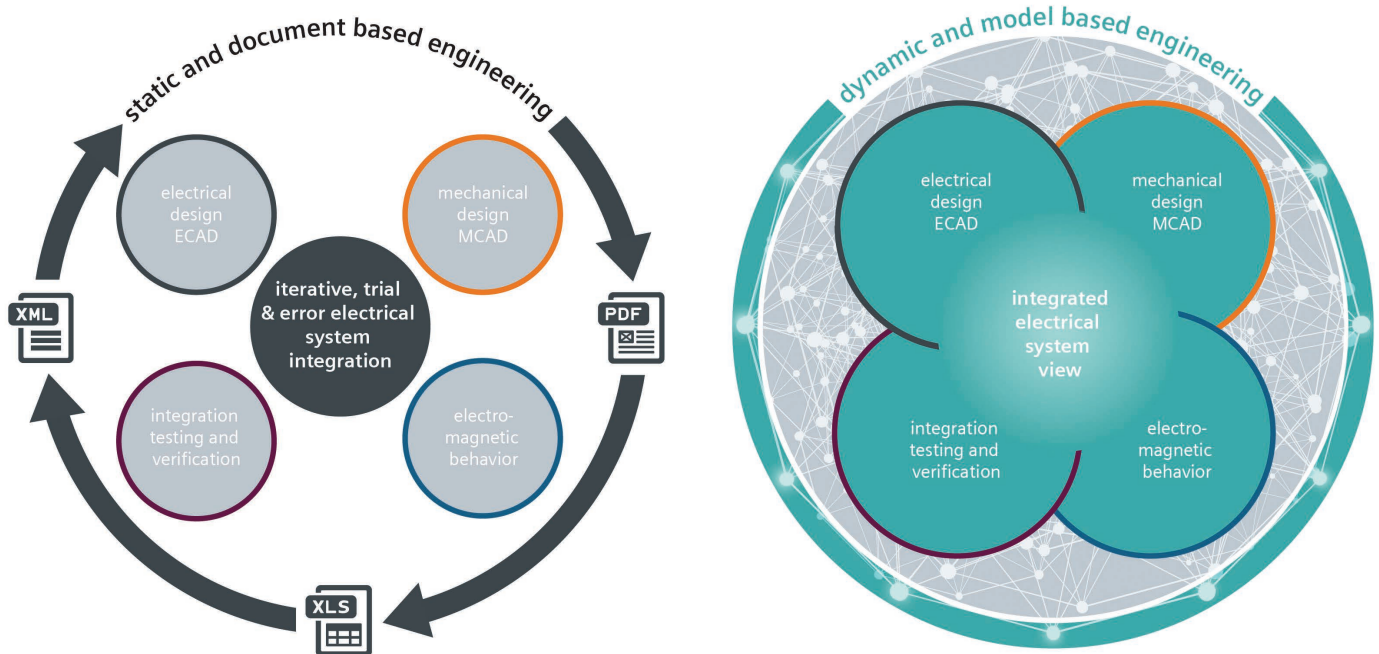


図5 今日、電装システムの設計や電気ハーネスの設計、性能解析、電装システムの統合試験はサイロ化した方法で行われているため、終わりのないプロセスに陥りやすい。動的なモデルベースのエンジニアリング手法を用いることで、性能を統合的に把握できる。

新たな航空機エンジニアリング手法

ここで挙げた技術やプロセスの課題は、今日の航空機開発に付いてまわるものであり、今後電化が進めばその課題はさらに大きくなります。さまざまなレベルでデジタルイゼーションを進めることではじめて対処が可能になります。

- 技術面では、これまでにない電力密度を達成する予測可能な手法、新たな航空機構成やアーキテクチャの試み、あらゆる熱問題に対処できる能力が求められます。プロセス面では、さまざまな領域や物理現象を統合すると同時に、開発ワークフローや設計判断、対処した検証措置を管理・追跡できるプラットフォームが必要です。包括的なデジタル・ツインとデジタル・スレッドを図6に示します。このセクションでは、シーメンスデジタルインダストリーズソフトウェアが提供するソフトウェアとサービスを統合した包括的なポートフォリオであるXceleratorが、必要なインフラストラクチャとソリューションの導入をどのように支援するかを詳しく紹介します。

デジタル・ツインとデジタル・スレッドに対応したシーメンスのこのソリューションは、長年にわたり、航空宇宙関連の開発プログラムを大幅に向上させてきました。シーメンスは、世界的な業界リーダーとして、イノベーションに明確な焦点を当て、航空業界をはじめとする輸送業界全体をデジタルイゼーションにおける次のステップに進ませるソリューションを提供すべく尽力しています。そのために研究開発 (R&D) へ多額の投資を行うとともに、専門的なエンジニアリング技術を長期的に提供できる技術のパイオニア企業と戦略的提携を結び、また買収を行ってきました。

シーメンスが提供する主力ソリューションの1つが、Simcenterのソフトウェアおよびハードウェア・ソリューション・ポートフォリオです。これは、シミュレーションツールとテストツール、性能エンジニアリング・サービスを組み合わせた包括的なプラットフォームです。Simcenterを使用すると、航空エンジニアは、将来の航空機のあらゆる物理的挙動

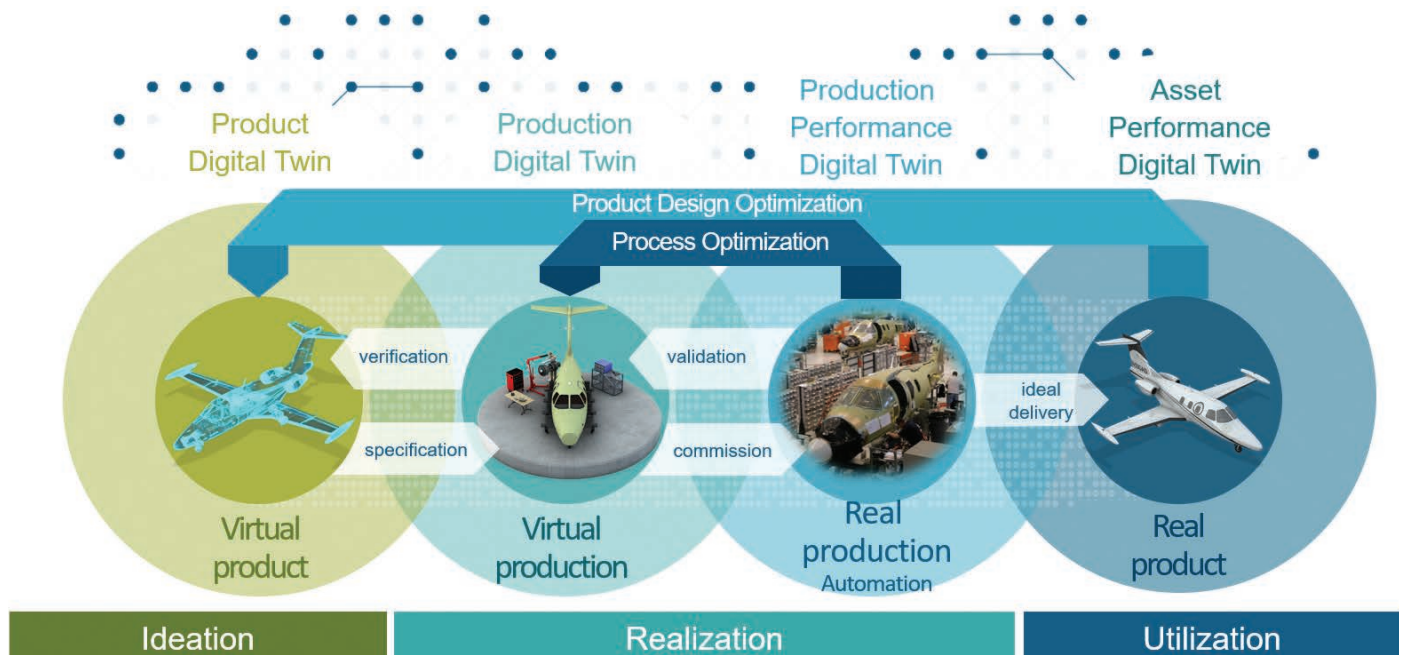


図6 シーメンスのデジタル・ツインとデジタル・スレッドのプラットフォーム

(構造開発、流体・熱伝達、システム開発、熱管理、客室快適性、EMI/WMC、統合、検証、認証試験など)をモデル化し、知見を深め、把握・最適化することが可能です。コンポーネントレベルから航空機レベル、また低忠実度から高忠実度表現にいたるまで、スケーラブルなモデリングを可能にする各種ソリューションがSimcenter環境に統合されています。つまり、Simcenterは、初期のコンセプト段階から、トレードオフ検証、詳細設計、検証段階まで、開発のあらゆる段階に対応しており、関わり合うすべての物理現象や領域を網羅し、デジタル・ツインとデジタル・スレッドのパラダイムを完全にサポートしています。

図7は、Simcenterが得意とする分野を示しています。続くセクションでは、将来の航空機の性能エンジニアリングにおけるSimcenterの重要性について説明します。

モデルベースのシステムエンジニアリングで縦割りを解消

熱管理と電装システムの統合の例でも触れたように、サイロ化した縦割り作業は、プロジェクト全体に深刻な影響を及ぼし、危険にさらす可能性さえあります。統合した航空機全体の動的挙動の把握は、早ければ早いに越したことはありません。特に電化やその他の新技術に伴って複雑化が進み、マルチフィジックスが増加することで、なおさら早期に航空機全体の挙動を把握することが重要になってきました。現在の開発プロセスでは、統合による問題は終盤になって、しかもほとんどの場合は飛行試験の段階にならないと発見されません。今後の航空機開発のコストを抑えるには、この点を改善し、コンセプト段階から航空機の全体像を把握できるようにする必要があります。

これを実現するには、動作モデルを作成して互いに密接に連携させ、それぞれのモデルがどのように作られ、何を表現し、隣接するシステムや他の領域とどのように関わっているかを詳しく確認できるインターフェースを提供し、サイロ化していたすべての部門や領域がアクセスできるようにしなければなりません。多数の物理学や数学を伴う多くのサブモデルが関わるため、統合を成功させるには適切なツールと手法を用いることが重要です。シーメンスは、まさにこの目的を達成する仮想統合航空機 (VIA: Virtual Integrated Aircraft) とバーチャル・アイアン・バード (VIB: Virtual Iron Bird) ソリューションをSimcenterで提供しています。次のセクションでは、こうしたソリューションの特徴や範囲について説明します。

すぐに使える航空機モデルを活用

VIAの構築はそれ自体、かなり大掛かりな作業です。航空機の個別システムの物理モデルをプログラミングすることに時間をかけるより、解析に時間をかける方が重要であることは言うまでもありません。シミュレーションを準備する際に、エンジニアはすでにあるモデル表現に少し手を加えるだけで済むところ、わざわざ一から作り直すことによって時間を無駄にしがちです。Simcenterには、標準的な航空機システムのライブラリが備わっており、主要な航空機インテグレーターやサプライヤー、教育機関のパートナーからも実証済みです。電装システム、空気圧システム、油圧システム、フライトコントロールシステム、着陸装置などのコンポーネントについては、十分に実証されたモデルが用意されているため、ハイブリッド電気推進システムのような新しい航空機構成にも容易に対応できます。

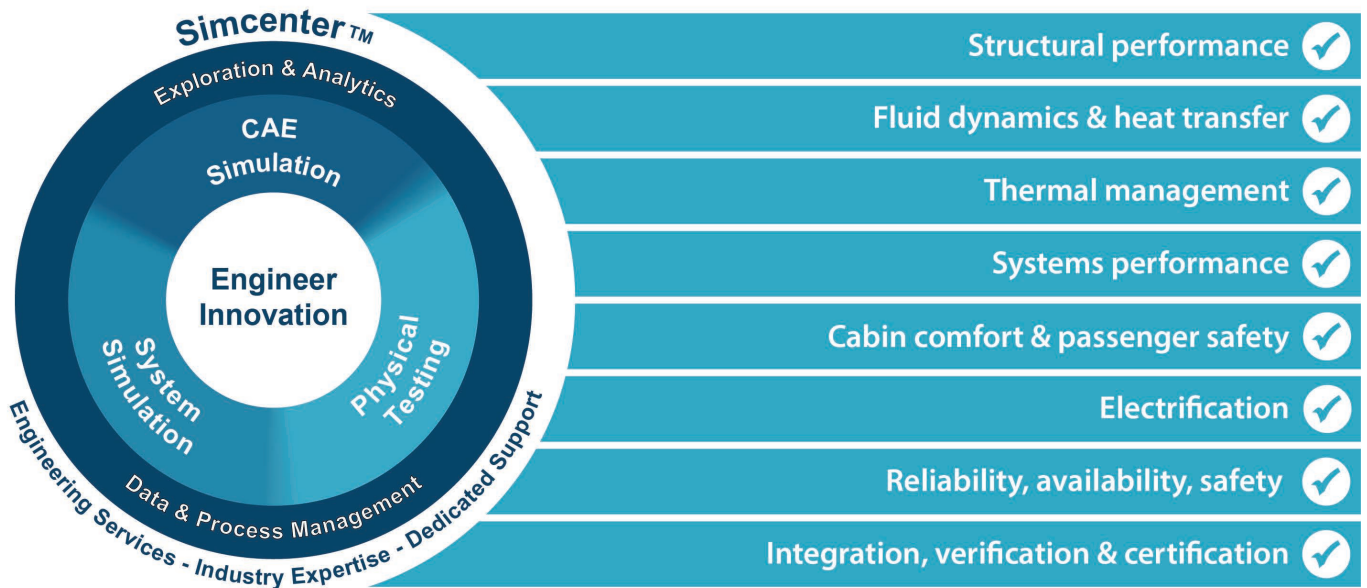


図7 Simcenterの航空機性能エンジニアリングソリューション

このようなライブラリを利用することで、航空機エンジニアは物理モデルのプログラミングではなく、製品設計に専念できます。より多くの詳細なトレードオフ検証を早期に実行して、最適な構造やシステムアーキテクチャを正確に把握する必要がありますが、大規模なプロジェクトでは、それがますます重要です。統合された航空機をより正確に、詳細に、早期から把握できれば、その都度最適な選択肢を選択してプロジェクトのリスクを大幅に下げ、プロセスを通じて修正すべき不具合が蓄積されるのを防ぎます。また、Simcenterはオープンなプラットフォームであり、業界標準の他のツールのデータもシームレスに取り込めるため、標準ライブラリのコンポーネントと自社のレガシーシステムで作成したモデルを簡単に組み合わせられます。

エンジニアリングのニーズに合わせて容易にモデルを拡張

仮想統合航空機 (VIA) は、すべてを組み込んだ1つのモデルではなく、さまざまな表現に変えられるコンポーネントモデルとデータ、パラメーターをセットにしたものであり、開発サイクル全体を通じて常に進化します。VIAに適しているプラットフォームの条件は、用途に最適な形や規模でサブシステムを選択して組み合わせられることです。

Simcenterは、互換性のあるソリューションを幅広く備えており、さまざまなニーズに合わせて拡張可能なVIA向けのプラットフォームです。

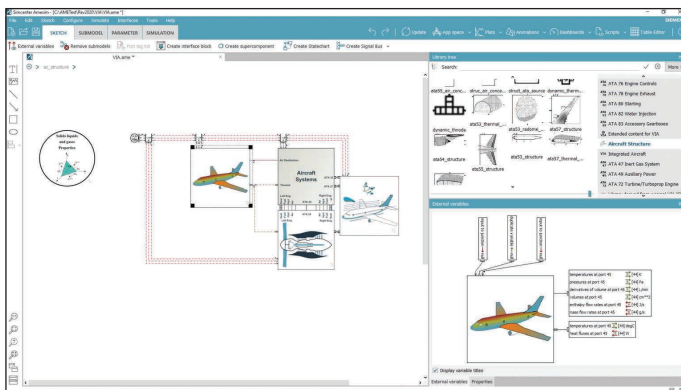


図8 動作モデルを作成して互いに密接に連携させ、それぞれのモデルがどのように作られ、何を表現し、隣接するシステムや他の領域とどのように関わっているかを詳しく確認できるインターフェースを提供し、サイロ化していたすべての部門や領域がアクセスできるようにすることが重要。シーメンスは、この目的を達成する仮想統合航空機 (VIA: Virtual Integrated Aircraft) とバーチャル・アイアン・バード (VIB: Virtual Iron Bird) ソリューションをSimcenterで提供している。

粗いモデルから詳細な開発まで

初期段階のアーキテクチャのトレードオフ検証では、詳細な設計パラメーターが不明な中で、粗いモデルを使って初期的な判断を下さなければならないことがあります。開発サイクルの後半になって、物理特性に関するより詳細な情報が

わかってくると、詳細なシミュレーションを実行してさらに正確な判断を下すことができます。

開発の後半でも、Simcenterはモデルの詳細度の調整で力を発揮します。モデルの詳細情報は多すぎても少なすぎても十分な計算精度を発揮できません。重要なのは、過度に計算時間がかからない、適度な精度です。必要な詳細度は、用途やニーズによって変わってきます。したがって、同じベースモデルを一貫して使用しながらも、エンジニアリングのニーズに応じて詳細度を簡単に換えられるツールを選ぶべきです。Simcenterはもともと、この点に柔軟に対応します。

コンポーネントレベルから統合した航空機レベルまで

航空機のサブシステムとそのコンポーネントを単独の機能としてだけでなく、統合された航空機の一部としてモデル化するためにも、シミュレーション機能とライブラリが必要です。コンポーネントやパラメーターをさまざまな形や抽象度で利用する必要があります。例えば、航空機のブレーキサーボバルブの詳細な物理的挙動を理解することはもちろん重要ですが、そのサーボバルブのモデルを、1つ上のレベルのブレーキシステムに統合し、さらにまた1つ上のレベルの着陸装置に統合することも同じくらい重要です。最終的な目標は、航空機レベルでサーボバルブが離陸中断のシナリオをどのくらい成功させるかを把握することです。

エンジニアは、組み込みアプリケーションの知識だけでなく、業界の専門知識をSimcenterから得て、用途に適したモデル表現を選択することができます。

初期のコンセプト設計から検証段階まで

シミュレーションで対応できる範囲は航空機開発にとどまりません。データの継続性が検証段階まで保証されている場合、シミュレーションは認証コストの削減にも役立つことがわかっています。構造認証やシステム認証だけでなく、モデルインザループ (MiL)、ソフトウェアインザループ (SiL)、ハードウェアインザループ (HiL)、パイロットインザループ試験などの制御戦略やソフトウェアの検証シナリオにもシミュレーションは役立ちます。こうした分野でシミュレーションを活用するには、詳細モデルまたは粗いモデルに限らず、物理モデルを試験に合わせて調整する必要があります。また、モデルをリアルタイムで実行して、V字サイクルに沿ったモデルの継続性を確保するために、モデルを縮約しなければならないことも少なくありません。

Simcenterは、シミュレーションとテストの両方の機能を備えたプラットフォームであり、エンジニアが検証段階でもモデルを使用できるように多くの技術や手法を備えています。ここで重要なのが、これらのモデルを、認定を受けるデザインとまったく同じ構成に保つことです。そのためSimcenterでは、管理環境でデータセット間の比較を加速する機能など、

検証プロセスの機能も提供しており、検証管理のデジタル・スレッドを保持しながら、トレーサビリティを確保しています。

幅広い用途に徹底的に対処

前述したように、今後の航空機開発において、出力密度や熱管理といった技術的課題は決して小さな問題ではありません。イノベーションパートナーとして成功するために、必ずしもすべての分野をマスターする必要はありません。特にサイロ化した縦割りを脱却して包括的なソリューションを採用しようというときは、それとは逆に各分野で最先端のソリューションを利用することが極めて重要です。

シーメンスはそのために、さまざまな用途に必要なすべてのプリプロセス / ポストプロセス機能や、堅牢かつ高性能なソルバーを開発する技術力のある数々の企業に投資し、そのソリューションをSimcenterプラットフォームに組み込んできました。

シミュレーションモデルを最大限に活用

正確なシミュレーションモデルの設定には多大な工数がかかるため、一度モデルが使えるようになったら、最大限に活用すべきです。しかし実際は、意思決定のためにモデルを有効利用するというよりは、事前を選択した設計オプションを精緻化し、検証するためだけにモデルを使うことが少なくありません。

最先端の技術を用いれば、エンジニアは完全にパラメトリックな方法で製品を定義することができ、シミュレーションベースの性能解析をデザインに簡単に関連付けて、徹底した設計探索が可能です。このようなプロセスに、トポロジ最適化や、アーキテクチャおよび統合システムを選択する際のジェネレーティブデザインといった新しいオプション機能を追加すると、コンセプト設計や事前サイジング / 詳細サイジングなどで大きな利点が得られます。

設計探索ツールも備えているSimcenterは、シミュレーションと設計機能を組み合わせられるプラットフォームを備えているため、航空エンジニアに最も効果的で高性能な設計プロセスを提供します。

シミュレーションとテストの相乗効果

電化とともに、ソフトウェアやエレクトロニクスを使ったイノベーションを進めると、最適化したり、その後認証を受けなければならないパラメーターの数は急増し、航空機の複雑化が進みます。これに対処するために、さらに多くのシミュレーションが必要になりますが、同時にテスト部門の作業負荷も増え続けます。デジタル・ツインやデジタル・スレッド

の話とは矛盾して聞こえるかもしれませんが、そうではありません。むしろ、製品設計と認証段階において、包括的なデジタル・ツインの中心に位置するのがテストです。予測的手法としての包括的なデジタル・ツインを成功させるには、シミュレーションとテストをより緊密に統合することが重要です。



図9 Simcenterは、物理的なテストとシステムシミュレーション、3D CAE (コンピューター支援エンジニアリング)、3D CFD (数値流体力学) を直接結びつけた市場で唯一のポートフォリオであり、非常にユニークな環境を提供している。

開発の初期段階では、デジタル・ツイン手法の価値は通常、モデリングがどの程度実物に近いかで決まります。この段階では、モデリングの精度を裏付ける実測データが不可欠です。現実的なシミュレーションを実現するには、コンポーネントや材料、境界条件などを継続的にテストする必要があります。単に標準的な構造相関解析やモデルのアップデートに使用する正確なデータを測定するだけにとどまりません。航空エンジニアは、テストを通じて未知の設計領域を探索し、メカトロニクス・コンポーネントに必要な新たな材料や追加パラメーターに関する知識を得ていきます。複数の物理現象が関わっていることが多いため、革新的なテスト手法が必要です。

開発サイクルの後半、特に認証段階になると、テストが主体となり、これまで以上にプレッシャーが重くのしかかります。試作機や試験装置はコストが高く、終盤になってからの不具合の発覚は納入遅れを招くこともあるからです。また、納入後のアップデートを含め、製品バリエーション、パラメーター、動作点などの増加による航空機の複雑化に伴って、この分野での作業比率は増加することが予想されます。一方、認証段階のシミュレーションは、従来のテストプロセスを補完する優れた手法になりえるでしょう。

実際、認証プロセスにおいては、(シミュレーションによる) 仮想テストが重要な役割を担いつつあるものの、限界もあります。というのも航空当局から耐空証明を受けるには、航空機インテグレーターは、シミュレーションのモデリング条件が正しかったことを証明しなければならないからです。そこでシーメンスは、物理的なテストと(シミュレーションによる) 仮想テストを組み合わせ、両者の相乗効果によってより安価で優れた検証・認証プロセスを実現できるような手法を追求することが重要であると強く確信しています。例えば、シミュレーションは、最適なテスト構成を定義するうえで役

立ちます。物理的なテストベンチを簡素化したり、シミュレーションで測定したデータでテストの一部を補完したりすることで、より安価なテスト・セットアップを実現し、テストのリスクを減らすことができます。以上は、ほんの一例です。

Simcenterは、物理的なテストとシステムシミュレーション、3D CAE (コンピューター支援エンジニアリング)、3D CFD (数値流体力学) を直接結びつけた市場で唯一のポートフォリオであり、非常にユニークな環境を提供しています。

まとめ

Xceleratorの一部であるSimcenterソリューションのポートフォリオは、構想設計から認証にいたる航空機開発全体を通して、モデルベースの性能エンジニアリングに対応した、拡張性と協調性、トレーサビリティに優れた包括的なツールセットを1つのプラットフォームで提供します。

Simcenterは、開発サイクルの初期段階から、航空機全体の包括的なデジタル・ツイン、つまりVIA (仮想統合航空機) を作成できるようにすることで、縦割り作業を排除します。Simcenterのモデルは柔軟性に優れ、詳細なデータが追加されるにつれて容易に詳細化でき、シミュレーションのニーズに合わせて変えることができます。開発が進み、詳細な性能エンジニアリングや要件検証の段階になると、Simcenterはあらゆる領域の各用途に対応した最先端のソリューションを提供します。これらのソリューションを高性能なテストソリューションと組み合わせることで、モデルの妥当性を評価し、リアリティを高める(現実近づける)ことができます。最終的に、Simcenterのシミュレーションモデルは仮想テストのベースとなり、航空機の認証段階やそれ以降の物理的なテストを補完します。

これらのソリューションはすべて1つのプラットフォームに集約され、設計ともつながっているため、Simcenterを使って開発サイクル全体をつなぐデジタル・スレッドを実現します。より詳細な設計探索が可能になり、トポロジ最適化や、アーキテクチャおよび統合システムを選択する際のジェネレーティブデザインといったアプリケーションも利用できます。Simcenterは、従来の検証中心の開発プロセスを、予測に基づいた包括的なデジタル・ツイン手法に変え、シミュレーションを最大限活用できるようにしています。

参考文献

1. Global Market Forecast – Cities, Airports & Aircraft 2019-2038, Airbus, 2019.
2. Commercial Market Outlook 2019-2038, Boeing, 2019.
3. <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>
4. <https://www.atag.org/facts-figures/>
5. Aircraft Technology Roadmap to 2050, IATA, 2020
6. "Electric and Hybrid-Electric Aircraft: A pragmatic view."CEC/ICMC Conference 2019, Plenary Talk, 23.07.2019 – Connecticut Convention Center, Dr. Mykhaylo Filipenko
7. <https://news.aviation-safety.net/2019/01/01/>

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

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。Xceleratorは、あらゆる規模の企業がデジタル・ツインを構築して活用できるよう後押しすることで、新たな知見と機会、さまざまなレベルの自動化をもたらし、イノベーションを推進します。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](#)、[Instagram](#) 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
– Where today meets tomorrow.

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

© 2021 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。

82126-83371-C5-JA 1/21 LOC