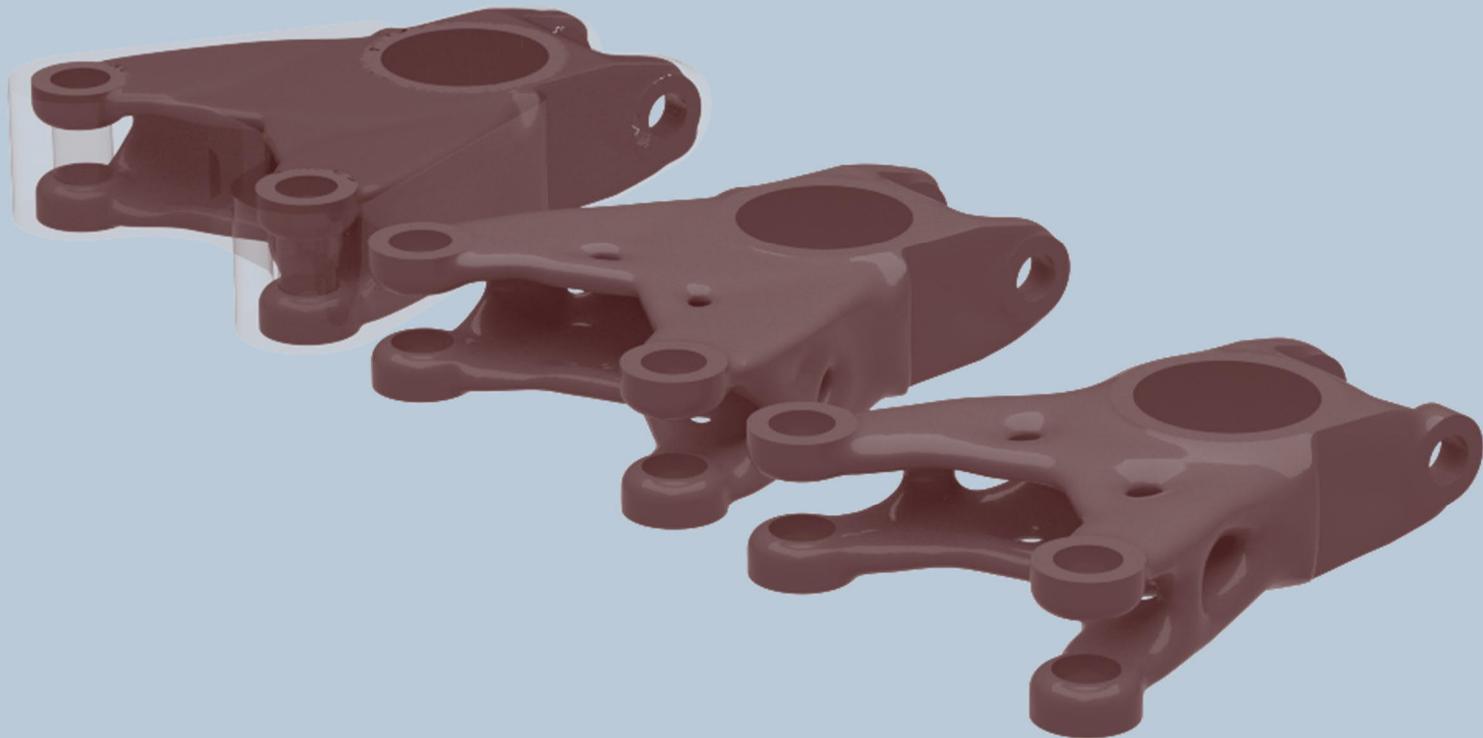


# エンジニアに力を与える ジェネレーティブ・デザインとファセット・モデリング



LIFECYCLE

INSIGHTS

## はじめに

今日、製品の設計は非常に難解な作業です。製品に実装される技術の数が増え、複雑化の一途をたどっています。これまで以上に多くのサプライヤーが製品開発プロセスに関与するため、相互の連携もこれまで以上に重要になってきました。さらに、少しでも早い商品化を目指してスケジュールも削られる一方です。数々の責任がのしかかるエンジニアには、実現可能な設計案を1つでも見つけるのがやっつであり、より良い選択肢を検討する時間はほとんどありません。

こうした状況のもと、多くのエンジニアが処理能力を高めたいと考えるようになってきました。幸運にもジェネレーティブ・デザインという新たな技術が生まれ、期待を集めています。この技術は、エンジニアが定義した一連の制約条件に基づき、トポロジー最適化や自然界に存在する形状をヒントにするなどのアルゴリズムを用いて、多数の設計案を自動的に生成します。ジェネレーティブ・デザインはさながら、エンジニアに設計案を提示する役目を果たすソフトウェアという1スタッフといえます。結果として、エンジニアはこれまでよりも多くの代替案を検討できるようになりました。構想設計と詳細設計に適用できるジェネレーティブ・デザインのアプリケーションは数々あります。

しかし、ジェネレーティブ・デザインの出力結果を扱うには、ファセット・モデリングと呼ばれる専門の形状処理機能が必要です。コンピューター支援設計 (CAD) アプリケーションはようやく、従来のパラメトリック・モデリングとダイレクト・モデリングに加え、この専門機能を提供するようになってきました。非常にすばらしいことですが、一方で、ツールを緊密に連携させる必要性が見過ごされがちなこと事実です。

この電子ブックでは、これらのトピックについて考察します。まず、今日のエンジニアにはどのような制約事項があり、設計品質にどのような影響を与えられるのかを見ていきます。次に、ジェネレーティブ・デザインの用途、技術的な考慮事項、構想設計と詳細設計にどう活用するかを詳しく説明します。最後に、現在利用可能なソリューションとして、2つのアプリケーションを使用したものと単一アプリケーションによるものをそれぞれ紹介します。本稿は、Lifecycle Insights 社の調査結果を参考にしました。

今日、製品設計が難題であることに疑いの余地はありません。しかし、ジェネレーティブ・デザインのような新しい機能を活用することで、多大な労力をかけずに1人ひとりのエンジニアの処理能力を拡張できます。これにより、エンジニア自身も組織自体もメリットを得られます。

## エンジニアリングの制約と設計品質

設計プロジェクトは常に綱渡りです。スケジュール、予算、材料原価目標、機能要件などでがんじがらめになる一方、機能要件を満たすだけでなく、より画期的で競争力の高い製品を生み出したいと思うからです。最近では、両者のバランスを採るのが難しく、より保守的な設計が増えてきました。これでは、企業のイノベーション力が損なわれてしまいます。

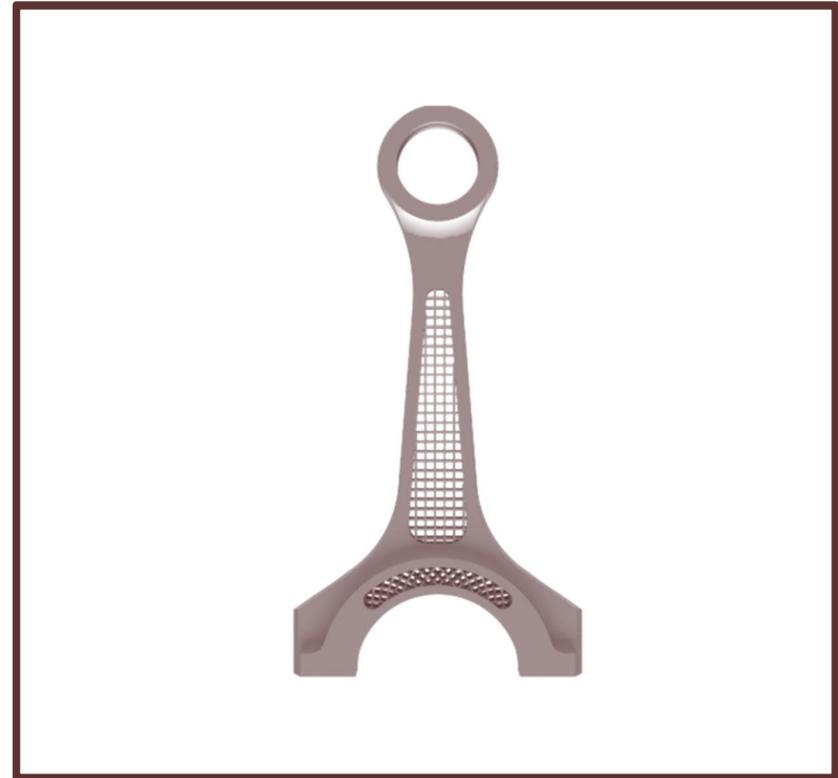
### バランスのとりにくいエンジニアリング作業

新規開発プロジェクトはリスクだらけという現実がエンジニアをさらに保守的にしています。設計エラーを見逃したままリリースされてしまうと悲惨であり、特にエンジニアは苦境に立たされます。エンジニアの手元に設計変更が戻ってくると、本格的な緊急事態です。すべてを廃棄してやり直さなければならず、試作品も作り直しが必要です。それだけではありません。これまで設計に費やした時間、工数、リソースすべてが無駄になり、プロジェクトが遅延します。実際、[Simulation Driven Design Study 社](#)の調査によると、回答者の60%が、試作品の失敗によりプロジェクトのスケジュール遅れを経験しています。

### さらなる技術の複雑化

設計が保守的になりがちなもう1つの要因は、今日の製品に採用される技術の複雑化です。エレクトロニクス製品の最近の傾向として、小型化、省電力、高い熱放散などがあり、製品に求められるコンピューティング処理能力も大きくなってきました。製品に搭載される多数のソフトウェア・アプリケーションを電気ハードウェアや他のシステムとシームレスに連携させなくてはなりません。またIoT (モノのインターネット) の台頭は製品開発を一層困難なものにしています。企業は、センサーで正しく製品を調製する方法、正しいデータを取り込む方法、正しい場所にデータを保管する方法、データの正しい処理方法を理解したうえで製品を開発しなければならないからです。これらを

機械設計として網羅し、システムに統合していくことは非常に複雑で難解な作業です。



## 多岐にわたる関係者との連携

エンジニアが多くの関係者とやり取りしなければならない点も忘れてはいけません。最新技術の波に乗り続けられないメーカーは、競争についていけず、後塵を拝する羽目に陥ります。つまり、エンジニアがニッチな分野の専門家と協業する必要があります。しかも、フォーム（形状）、フィット（適合度）、ファンクション（機能）の仕様要件を満たす設計案を出すだけでは不十分です。それ以上の役割がエンジニアに求められています。今日の製品には、設計ソリューションに影響を与える運用上 / ビジネス上の多くの制約があります。このため、購買、サプライヤー、製造、顧客、サービス部門などさまざまなところからフィードバックが寄せられます。

## いくつかの担当業務のバランスをとる

問題の複雑化に拍車をかけるのが、今日のエンジニアはすでに限界に来ているという事実です。Lifecycle Insights のハードウェア設計エンジニアに関する調査 ([Hardware Design Engineer Study](#)) は、現状を定量的に評価しています。設計に関わる 13 の中核 / 補助業務のうち、いくつかの業務を担っているかを尋ねました。エンジニア 1 人あたり平均で 4.4 の中核業務を担当していました。これには、要件の管理、製品性能の予測などが含まれます。また、平均 2.9 の補助業務が発生していました。プロジェクト管理、サプライヤーとの折衝などがこれに含まれます。合計すると、エンジニア 1 人あたり平均で 7.3 業務を担当しています。設計判断は業務の 1 つでしかありません。

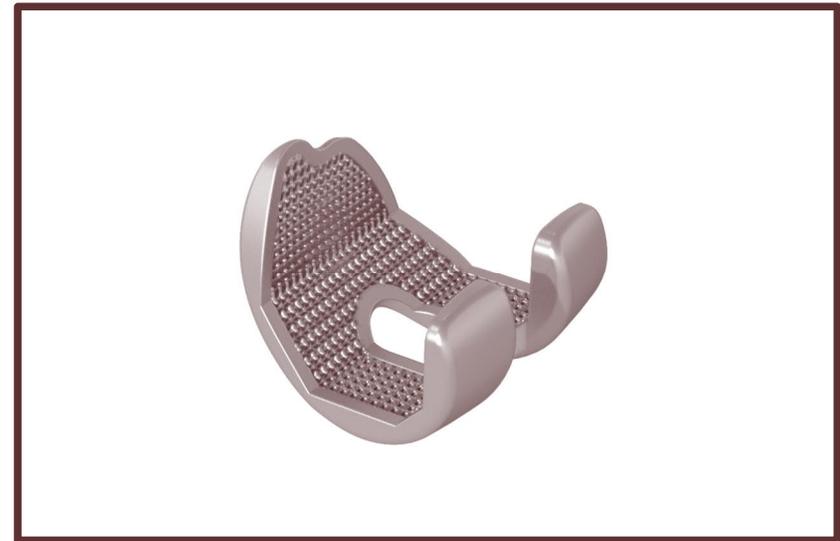
## 短縮されるスケジュール、最初の実現可能な設計案

最後の要素として、製品開発のスケジュールはこれまでにないほど短くなっています。短いスケジュールのなかでは、最初に見つけた実現可能な設計案を選ぶしか方法がありません。場合によっては、プロジェクトの目的をかるうじて達成しているだけのものになります。その結果、もっとコストを削減できないか、より高い性能を発揮できないか、

顧客要件を完全に満たすものはないか、といった可能性が検討されることはありません。

## 要点

エンジニアは、いくつかの要素を考慮に入れつつ、ますます複雑化する製品をより短い期間で開発しています。設計ミスがあれば、企業もエンジニアも予想以上に深刻な打撃を受けることになります。より保守的な設計案に落ち着くとしても不思議はありません。



## 開発プロセスにおけるジェネレーティブ・デザイン

今日、エンジニアは、より保守的な設計へと駆り立てるいくつかのプレッシャーと対峙しています。こうしたプレッシャーを克服するには、エンジニアの処理量を上げる必要があります。少ない労力でより多くの成果を出すことも求められています。それをかなえるのが、ジェネレーティブ・デザインと呼ばれる新しい技術です。

### ジェネレーティブ・デザインとは何か

ジェネレーティブ・デザインの概略は比較的単純です。CAD アプリケーションが提供する能力の 1 つであり、決められた制約条件に基づいて、アプリケーションが自動的に多数の設計案を提示してくれます。その間、エンジニアの指示や操作は不要なため、エンジニアは別の作業に時間を割くことができます。完了すると、エンジニアは複数の候補から精査する設計案を選びます。つまり、エンジニアが細かく注意を払わなくても、設計プロセスを加速できます。

ジェネレーティブ・デザインは、トポロジー最適化などの機能を活用し、構造シミュレーションを実行したり、耐荷重のない材料を除外したりします。とはいえ、これはジェネレーティブ・デザインの 1 つの工程にしかすぎません。また、細菌集落の成長や骨構造の進化といった自然界のふるまいを模倣して、重量と強度の比率を最適化することもできます。これらのアプローチはいずれも、新製品の設計領域を探索するためのものです。興味深いことに、ジェネレーティブ・デザインによって人間が思いつかないような設計案が提示され、まったく新しい可能性が見つかることもあります。

### 技術的な考慮事項

ジェネレーティブ・デザインの開始点は非常にシンプルです。構想設計または詳細設計の 2D / 3D モデルを入力データとして用います。その後、エンジニアがジェネレーティブ・デザインの制約条件を指定します。制約条件は、ソリッド形状のような境界条件でもかまいません。または、過剰作図を許可しない、特定の形状を維持する（たとえばある地点ではシリンダー形状のソリッド形状を維持する）など、形状に制約を持たせることもできます。ジェネレーティブ・デザインで最も頻繁に利用するトポロジー最適化機能が構造的有限要素解析 (FEA) に依存していることから、材料の属性や荷重などはそれ以外のシミュレーション項目で定義しなければなりません。

ジェネレーティブ・デザインを実行したときに材料が考慮されないの、実際、応力 / ひずみレベルの低い一部の要素は除外されます。モデリングの観点から言うと、このプロセスによって、解析の 4 面体要素から生成されたメッシュ形状が出力されます。モデルの表面が平面であるということは、この形状の表面もやはり平面だということです。出力結果はメッシュ形状と呼ばれます。メッシュ形状は、パラメトリック・モデリングやダイレクト・モデリングで処理することはできず、ファセット・モデリングでなければ修正できません。

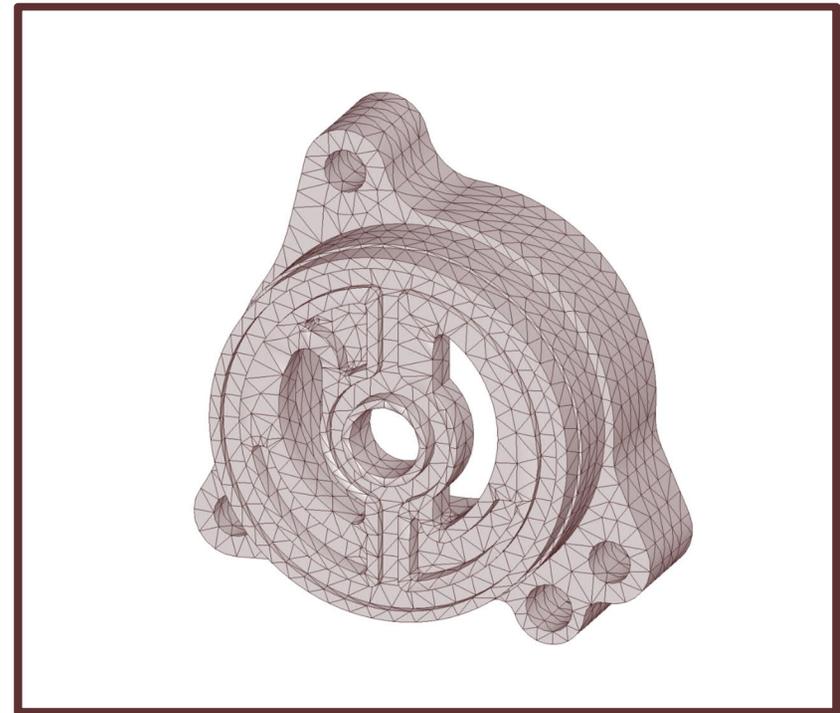
## 構想設計段階のジェネレーティブ・デザイン

構想設計段階では、フォーム（形状）、フィット（適合度）、ファンクション（機能）の要件範囲内に含まれそうな設計案を考えます。まずは、要件を満たす現実的な設計案を検討します。実現可能な設計案が1つでも見つかり、かつてないほど厳しい開発スケジュールで動いているほとんどの設計者はその設計案の別の側面の検討に入ります。これでは、要件を満たしたより良い設計案を探す機会を得られません。最初に見つけた実現可能な設計案よりもさらに良い設計案を見つけるには、より多くの探索と試行錯誤が必要です。

設計案に含まれる形状をデジタルに表現する手法は多岐にわたります。トップダウン設計手法で、個別のコンポーネントの体積と必要な空間を確保する方法もあります。または、曲線、直線、表面といった単純な形状を描いた2D / 3Dのスケッチに肉付けしていく方法もあります。いずれにしても、この段階の表現は通常、完全に詳細化された3Dモデルではありません。詳細モデルは、詳細設計の段階で作りに上げていきます。

製品開発の観点から言うと、ジェネレーティブ・デザインは構想設計に非常に適しています。この段階では、製品を実現するいくつかのアイデアを探索する柔軟性があるからです。この段階で複数の制約条件を定義し、ジェネレーティブ・デザインを実行すると、ほとんど労力をかけることなく多くの設計案を得られます。エンジニアは、ジェネレーティブ・デザインのソフトウェアから提示された設計案をレビューするという、通常はマネージャーが行う業務を手掛けることができます。いくつかの設計案の性能を比較し、トレードオフ解析を進めても良いでしょう。最終的には、主要なパラメーターをさまざまに変化させることで、性能がどのように変わるのかをより深く知ることができます。特筆すべきは、これらを2Dスケッチ、抽象化した3Dモデル、さらには完全な詳細設計に適用できることです。

重要な点は、ジェネレーティブ・デザインの出力結果はメッシュ形状であることです。このスケッチに反復作業を施して、製品としての実現性を探索します。このシナリオでは、ファセット・モデリングでメッシュ形状を直接処理できると非常に便利です。パラメトリック・モデリングとダイレクト・モデリングで使用できるように形状を境界表現に変換する工数が不要となるからです。結果として出力された構想設計を以降の開発作業で利用することを考慮し、最終的にはファセット表現を境界表現に変換する機能が欠かせません。ファセット・モデリングであれば、非常に簡単に変換できるため、最適です。



## 詳細設計におけるジェネレーティブ・デザイン

この段階で、精査した構想設計を完全に詳細化し、リリース可能な設計案としてフォーム（形状）、フィット（適合度）、ファンクション（機能）の要件を満たしていることを検証します。性能を向上させるため、複数の側面から選択肢を検討する必要があります。重量と耐荷重、コスト、自然周波数など相反する要件の最適なバランスを探しているエンジニアには特に必要な作業です。

形状表現をデジタル化したモデルは、完全に詳細化した 3D モデルです。多くの場合、これらのモデルは、円形を滑らかに表現できるパラメトリック・モデリングかダイレクト・モデリングの機能で作成されます。

最初に見つけた実現可能な設計案を改良できる機会は貴重です。詳細化した複数の形状と寸法パラメーターの異なる構成を試すことで、製品性能、コスト、製造性に大きな違いが生まれます。構想設計の段階であれば、さまざまなパラメーターを検討する時間を長くして、相互関係を見ながら要件を満たしていくことができます。これにより、より適切に要件を満たすように詳細設計に微調整を加えることができます。

開発の観点からみると、ジェネレーティブ・デザインは詳細設計に非常に適しています。ジェネレーティブ・デザインの手法は、複数の設計案を評価しながら設計の詳細化を進める過程に幅広く、創造的に適用できるからです。実際、ジェネレーティブ・デザインによって、人間が思いもつかなかった設計案が生まれることもあります。相反する要件の適切なバランスをとりつつ、設計を改良できる価値あるツールです。

ジェネレーティブ・デザインの出力結果を詳細設計モデルと統合する作業は不可欠です。最終的には、詳細設計を購買部門や製造部門に展開して、部品の購入や製造に進みます。メッシュ形状を滑らかな境界形状に変換するファセット・モデリング機能が生産性に大きく貢献するのはまさにこの部分です。

メッシュ形状から滑らかな境界表現への変換は必要ないケースもあります。エンジニア自身がメッシュ形状を直接修正したり、最終化されたものをそのまま保存したりすることもあります。これは、アディティブ・マニファクチャリングの手法でコンポーネントを作成している、つまりメッシュ形状に依存している組織に当てはまります。この場合、そのまま 3D プリンティングに移行します。



## 2つのアプリケーションによるソリューション

ジェネレーティブ・デザイン手法は、構想設計と詳細設計において非常に強力な手段です。しかし、ジェネレーティブ・デザインに対応したこれまでの技法は、ほかのソフトウェアと統合されておらず、デジタル・ワークフローをスムーズに進めることができません。

### 2つの形状タイプ、3つのモデリング・タイプ

形状をモデリングする従来の方法には、パラメトリック・モデリングとダイレクト・モデリングの2つの形式があります。パラメトリック・モデリングは、パラメーター形式で寸法を制御することで、フィーチャーごとにモデリングする手法です。ダイレクト・モデリングは、モデルを押す、引く、ドラッグするなどして形状を変更していく手法です。これらの両モデリング・アプローチは、フラットな平面または滑らかな曲面で形状を表す「境界表現」形状を扱います。

それとは対照的に、メッシュ形状は外形を無数の点で表したものです。一部の CAD アプリケーションでは、三角錐や四角錐を作成し、それを縫い合わせるようにして、メッシュ形状を「完全に隙間のない」ソリッド形状にします。ファセット・モデリングでは、材料を追加または除去することで、エンジニアがメッシュの品質を微調整したり、形状を変更したりします。

前述したように、場合によっては、メッシュ形状のほか、滑らかな円形状を作成する必要があります。構想設計では、スケッチ形状とスキャンしたコンポーネントのメッシュ形状周辺の指定空間を扱います。詳細設計では、メッシュ形状を考慮した詳細な 3D モデルを作成します。

### 2つのアプリケーションによるソリューション

3D モデルなどのモデルを構築する従来の CAD アプリケーションは、パラメトリック・モデリングとダイレクト・モデリングを組み合わせたものが多く、いずれも境界表現を使用します。この2つのモデリング機能を強気に組み合わせることで、構想設計と詳細設計を素早く簡単に作りこみ、物理コンポーネントを生成できます。その一方で、ファセット・モデリング機能も備えたアプリケーションとなると、あいにく、ほとんどありません。

大半の CAD アプリケーションは、メッシュ形状を扱えないため、他のソリューションを併用する必要があります。スタンドアロンの専用アプリケーションのなかには、レーザースキャン・ハードウェアが付属していたり、ファセット・モデリング機能を含めた CAD のように動作するものがあります。従来の CAD アプリケーションと CAD 類似のこうした専門アプリケーションの両方をエンジニアが使うことは、理論上は可能です。しかし、この手法には多くの欠点があります。

## 単一環境の欠如

構想設計と詳細設計の段階では、パラメトリック・モデリング、ダイレクト・モデリング、ファセット・モデリングを行き来しながら作業することもめずらしくありません。たとえば、ファセット・データで作業してから、パラメトリック形状を作成し、ダイレクト・モデリングで変更を加えてから、ファセット・モデリングにまた戻るといったケースです。これらの3つのモデリング機能を提供できる単一ソフトウェア環境がない状態では、設計者やエンジニアは完結したワークフロー内で作業することができません。その場合、従来のCADアプリケーションとCAD類似の専門アプリケーションとの間で設計データをやり取りする手段が必要です。

## 設計データの交換

複数のCADアプリケーション間で形状をやり取りすることが多ければ、この問題はお馴染みのことでしょう。あるアプリケーションで処理していたモデルを別のアプリケーションに移動させると、表面、線、点などがずれたり、消えたりすることがあります。そうすると、正しい設計表現とは言えず、「壊れた」モデルになります。エンジニアは、別のソフトウェアに形状を移動させるたびにこれを解消しなければなりません。

従来のCADアプリケーションとCAD類似の専門アプリケーションの併用でも同じことが起こります。データの受け渡しが問題になるのです。これは、エンジニアにとって時間の無駄であり、開発プロジェクトの遅れの原因になります。

## 要点

従来のCADアプリケーションとCAD類似の専門アプリケーションとを併用してジェネレーティブ・デザインを行うこともできますが、デジタル・ワークフロー内で不整合が生じます。パラメトリック・モデリング、ダイレクト・モデリング、ファセット・モデリングを相互に行き来しながら作業を進めることができないため、設計の自由度が損なわれます。また、データを相互にやり取りする際に生じる不具合の解消にも多くの時間が費やされます。ジェネレーティブ・デザイン手法は数々の大きな利点がある一方、別々のソフトウェアを併用すると余計な時間と手間がかかります。

## 単一アプリケーションによるソリューション

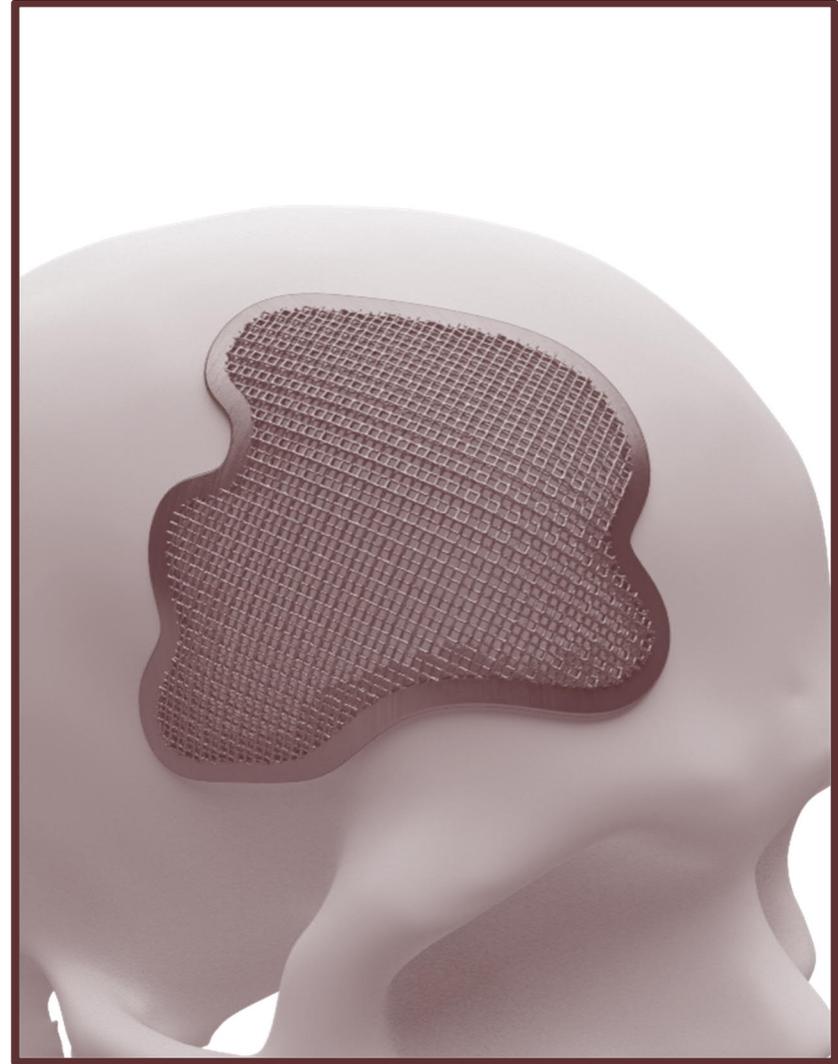
CAD アプリケーションの機能をパラメトリック・モデリング、ダイレクト・モデリング、ファセット・モデリングまで拡張させようという試みがこれまでになされてきました。ここで鍵となるのがジェネレーティブ・デザインの在り方です。

ジェネレーティブ・デザインの結果をもとに、エンジニアが境界表現形状を作成するのであれば、ワークフローは比較的単純です。すべてのモデリング機能が1つの環境に統合されているということは、エンジニアはいつでも必要な適切なツールにアクセスできるのです。

さらに興味深いことに、ジェネレーティブ・デザインで生成した設計データを境界表現形状に変換する必要がありません。ファセット・モデリングで提供されるツールを使用すると、時間のかかる手順を経ることなく、設計データを変換できます。メッシュ形状に依存する3Dプリンティングを使用するコンポーネントでは特に便利です。

どのようなシナリオであれ重要なことは、新しいタイプのCADアプリケーションによって次の作業が不要になることです。それは設計データの変換です。すべての機能が単一環境に統合されているため、3Dデータ、メッシュ形状、境界表現を複数のアプリケーション間で移動させる必要がありません。1つの環境で作業が完了します。形状を整えるための時間は不要になりました。エンジニアは設計作業に専念できます。

ファセット・モデリング、パラメトリック・モデリング、ダイレクト・モデリングを統合したソリューションは、開発プロセスにジェネレーティブ・デザインを活用したいと考えているエンジニアにとって朗報です。ワークフロー内のデータ不整合の多くを解消し、エンジニアは設計作業に専念できます。



## まとめと結論

今日のエンジニアは、多くのプレッシャーのもとで開発作業を進めています。設計作業は、プロジェクトに致命的な遅れをもたらしかねないミスが発生するリスクと常に隣りあわせです。一方で、より多くの複雑な技術が製品に実装されるようになってきました。エンジニアとサプライヤーとの連携はこれまで以上に重要です。そしてスケジュールは短くなるばかりです。数々の責任がのしかかるエンジニアには、実現可能な設計案を1つでも見つけるのがやっとであり、より良い選択肢を検討する時間はほとんどありません。

### 開発におけるジェネレーティブ・デザイン

ジェネレーティブ・デザインは、一連の制約条件に基づいて、多数の設計代替案を自動的に提示してくれる CAD アプリケーションの機能です。完了したら、エンジニアは、精査する設計案を選びます。エンジニアが細かく注意を払わなくても、設計プロセスを加速できます。ジェネレーティブ・デザインの結果として生成されるモデルはメッシュ形状です。これは、ファセット・モデリングでしか扱えません。生成されたデータをその後の工程で使うことを考えると、ここが重要なポイントです。

ジェネレーティブ・デザインは構想設計段階で大きな強みを発揮します。設計要件に柔軟性が残されている初期段階から、多数の設計案を検討できるからです。詳細設計の段階になると、ジェネレーティブ・デザインによって設計案を微調整していきます。重量、耐荷重、コスト、自然周波数など競合する複数の要件のバランスをとります。

### 技術ソリューション

3D モデルなどの構築にこれまで活用されてきた CAD アプリケーションは、パラメトリック・モデリングとダイレクト・モデリングを何らかの形で組み合わせたものが多く、ファセット・モデリングの機能はありません。

メッシュ形状を扱う機能がないことから、ファセット・モデリングのための専用アプリケーションを別に用意する必要がありました。2つのアプリケーションを併用することは可能でも、機能に互換性がなく、データ変換の問題が常につきまといます。

対応策として、パラメトリック・モデリング、ダイレクト・モデリング、ファセット・モデリングを単体環境で提供する CAD アプリケーションが登場しました。このソリューションであれば、2つのアプリケーションによるソリューションの問題を回避できます。

### まとめ

ジェネレーティブ・デザインは、今日のエンジニアの処理能力を拡張する強力な手法です。それにもかかわらず、モデリングに複数のアプリケーションを使用するという煩わしさのために、エンジニアはそのメリットを十分に享受できていません。パラメトリック・モデリング、ダイレクト・モデリング、ファセット・モデリングのすべての機能を備えた CAD アプリケーションがあれば、エンジニアは、ジェネレーティブ・デザインの潜在能力を存分に生かすことができます。



チャド・ジャクソン氏は CAD、CAE、PDM、PLM などのエンジニアリングを可能にする技術を考察する [Lifecycle Insights 社](#) のアナリスト / 調査員 / プロデューサーです。 [chad.jackson@lifecycleinsights.com](mailto:chad.jackson@lifecycleinsights.com)

© 2017 LC-Insights LLC