品質管理手法を活用した3次元 CAD による構想設計の提案

(ビジネスでの成功を担保する設計品質の創出)

Conceptual design on 3D-CAD by utilizing quality control methods

(Development of design quality to guarantee success in business)

戸水晴夫(正, SDI Japan, Haruo TOMIZU) ○ 高橋和樹(3Doors㈱, Kazuki TAKAHASHI)

1. はじめに

近年,多くの設計現場では3次元 CAD や CAE な どの IT ツールが普及し、製品開発リードタイムが大 幅に短縮された.一方で,現場の設計者においては, 設計構想時点でのエンジニアリング検討が不十分な まま、最初から3次元CADで詳細設計に入ってし まい、3次元 CAD で形を作りながら設計を完了さ せてしまうという設計スタイルが多く見うけられる ようになった. その結果, 顧客の要求を理解するこ となく製品設計を行ってしまったという例が数多く 報告されるようになったのである 1),2). それというの も、3次元CAD上で構想設計のプロセスを実行す ることが事実上困難であるためであり、そもそも開 発設計に必要な分析手法を実装した3次元 CAD と いうものが存在しなかったからである3. そこで, 本報では、今後も3次元 CAD が設計業務の主体に なるという認識に立ち、3次元 CAD の中で設計要 件の分析と評価を行えるようにしたらどうかと考え た. 世の中で数多く使用されている 3 次元 CAD に 10種類の品質管理ツールを実装し、顧客要件の分析 から魅力的品質を形成する開発要件を抽出し、複数 の設計候補を3次元 CAD 上で評価できるようにし た. また, 公差解析を元に設計品質の最適化を行い, ロバストな設計を具体的に行う手法を提案する.

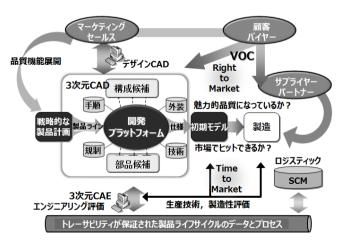


図1 CAD/CAE を利用した製品開発プロセスの例

2. 3次元 CAD を使って製品開発する時の課題

多くの先進的な CAD/CAE ベンダーは、製品開発 のプロセスに 3 次元 CAD や、CAD とデータ連動す る CAE を活用することを勧めている. 特に、モノ を作る前に CAD や CAE で確認できる仮想の製品開 発環境を構築することが、製品の QCD を大きく改 善することに繋がると説明している. 図1は、一般 に製品開発のプロセスとして示される例である. こ れは, 実体のある試作品を何度も作り直して, 製品 仕様を作りこんでいく従来のやり方に比べれば, 明 らかに効率的でスマートなやり方に見える. また, 情報をキチンと管理するので、間違いも圧倒的に減 ることが期待できる. 但し、こういった CAD/CAE を活用したシステムをうまく運用するためには,初 めに戦略的な製品計画が立案されていることが前提 となる. 戦略的な製品計画があるということは、す でに製品の機能やシリーズが絞りきれているという ことを意味している.従って、この IT 化手法という のは、製品開発のためのプラットフォームが明確に 存在し, 部品のモジュール化が可能であるような製 品に適している. 言い換えれば、従来の製品開発プ ロセスの IT 化は、製品の標準化と一体をなすものな のである.一方で、新しい独創的な製品を生み出す ことが必須となる場合には、プラットフォーム化や モジュール化が設計者の創造力を阻害する要因とな ってしまう場合があることに注意したい.

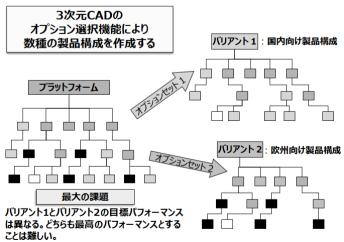


図2 組み合わせ設計による製品構成の生成

2.1 プラットフォーム化による品質の課題

3次元 CAD の理想的な使い方は、標準化の設計 思想を前提にしている。図2は、3次元 CAD が製 品のプラットフォームとなる基本的な部品構成ツリ ーを持ち、そこから組み合わせ設計で幾種類もの製 品構成 (バリアントと称される) を生み出す仕組み を表している. 近年は多くの企業でこういった設計 システムが採用され、効率的に製品シリーズを拡大 することに貢献してきた. しかし、組み合わせ設計 によって生み出されたバリアントは、必ずしも最高 のパフォーマンスを持つものではないということを 認識しておく必要がある. 製品のプラットフォーム を設計した当初は、部品やモジュールの組み合わせ で製品のパフォーマンスを検証して、ベストになる ように調整されていたかもしれないが、製品構成の 種類が増えるにつれて、組み合わせ設計だけでは製 品のパフォーマンスがベストにはならない場合が生 じてくる. 理由は、最初の組み合わせ設計を検証す る際に、品質的な擦りあわせ作業によって最良の条 件を見つけて, 部品やモジュール個々の許容値を固 定してしまったことによる. これら特定の許容値を 持った部品やモジュールを別の組み合わせに適用し ようとしても、個々のバリアントが全てベストにな ることはない.

3. 設計品質を担保する手法

独創性が要求される製品を開発する場合や、常に 最高の品質となる製品シリーズを生み出す構想設計 のプロセスを実現したい場合は、製品のライフサイ クルを通して設計品質を高く維持することが求めら れる4.ここでいう設計品質とは、製品が良品か不 良品かを言及する際に使う品質の意味とは異なり、 経営の質を経営品質というのと同じように、設計の 質のことを設計品質と定義している.従って、設計 品質は市場における製品の品質や価値を決定するも のである.そのような設計品質を作り込むためには、 より上流工程での構想設計、さらには製品企画から、 きっちりやることが望まれる.具体的には、品質管 理の手法を利用すればよいと考える.そして、品質 管理における分析や評価の手法を,標準ツールとして製品開発時のエンジニアリングのプロセスに対応させると図3のように表せる.

従来から、エンジニアに対する教育においては、 構想設計に品質工学に基づくパラメータ設計が重要 だと教えてきたり、パラメータ設計は、安価な部品 を使って、高性能でより信頼性の高い製品を作るこ とを考える技法である。一方で、パラメータ設計は 3次元 CAD や CAE から始めることはない。それは、 形状による先入観が自由なエンジニアリングの発想 を阻害すると考えるからである。設計者は、構想設 計時に行うパラメータ設計と許容値設計を通して、 目的機能や基本機能を満足するシステムの機能性の 検証と改善を行うことを最優先とする。

- 一般には、パラメータ設計は次のステップとなる.
 - a) パラメータ設計 (第一段階): 市場の様々な使用条件下でも,長い間機能が変わらないようにする.
 - ・・・ロバストネスの確保
 - b) パラメータ設計(第二段階): 標準条件で目的機能に合わせ込む設計値の調 整をおこなう...・・チューニングの実施
 - c) 許容値設計: 品質改善とコスト改善の両者のバランスをと る.・・・トレードオフの検討

製品開発のエンジニアリングでは、いろいろな場面を想定して製品の機能をパラメータに定義していく、そして、パラメータを目印にして最適化と安定化を図っていく。もちろんコストも考慮されていなければならない。このようなステップを経ることで、実際にモノを作り始めるときに、より手戻りの少ない設計仕様とすることができるのである。

4. 構想設計に品質管理手法を導入

品質管理手法や品質工学のパラメータ設計を実際の設計現場に適用することは、従来から試みられてきた.しかし、航空機や自動車、特別な開発品を除いて広く一般に構想設計手順として普及することは

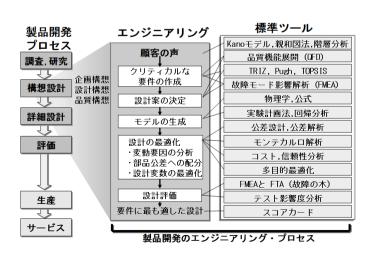


図3 製品開発のエンジニアリング・プロセス

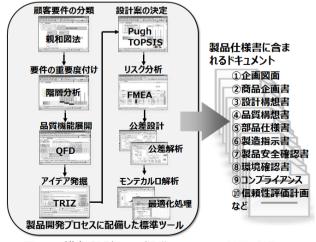


図4 構想設計での標準ツールの利用手順

少なかった. 理由は、設計者の負担が大きすぎた為 であり, 分析や評価をしているうちに設計納期がき てしまうおそれがあったからである. また, 手法や 結果の書式に個人差があったために, 上司が以前の 結果や開発プロジェクトメンバー間での検討結果を 比較できなかったことも理由のひとつである. それ で、解決策として図3で示された中の標準ツールの うちの 10 種類を取り出し、製品開発エンジニアリ ングのプロセスに配備することにした. 図4に、製 品開発プロセスの構想設計に関わるエンジニアリン グ用に構成した標準ツールの利用手順を示す. 設計 者の負担が少なくなるように必要最小限のツールを 選択した. それぞれのツールは全て Microsoft® Excel の上で開発し、ワークシートのデータはツー ル間で連動するものとした. データの分析計算やシ ミュレーションは全て自動で行われるようにして, 構想設計作業を支援するツールの位置づけとした. 結果、構想設計で数々の製品仕様書のドキュメント を生成するときの標準手順として、実用的でかつ有 効なものになったと考えている.

5. 3次元 CAD に品質管理ツールを配備

設計現場で3次元 CAD や CAE などが、主要な設 計ツールになっていることから、それら3次元 CAD や CAE と連動するように図 4 で示した品質管理の ツールが使えれば、より利便性が増すと考えた、特 に、3次元CADの中で使えて、設計品質が担保さ れるような仕様値を, 設計者が詳細設計時に参照で きるようにしてしまえば、エンジニアリング検討が 不十分なままに製品の詳細な形状を作ってしまうと いう過誤をおかすことは避けられると考えた. また, 設計した形状寸法や公差の最適化が同じ設計環境で 行えれば,より信頼度が高く手戻りの少ない設計と することができるであろう. 図5に、一般的な3次 元 CAD のメニューに標準的な品質管理のツールを 配備した状態を示す. ここでは、品質管理のツール は SDI Tools を、一般的な 3 次元 CAD としては SolidWorks を使用している.

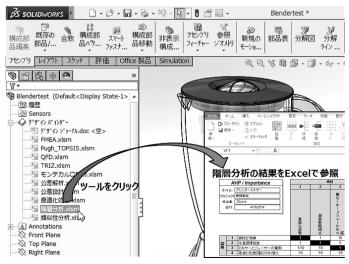


図5 3次元 CAD と連動する品質管理のツール

5.1 3次元 CAD で設計品質を確保する手順

ここで、 3 次元 CAD に配備された品質管理ツー ルの使用例について説明する. ある日, 経営者から 『従来の半分のコストで製造できる次期製品を設計 すること』というチャレンジがあったとする. 設計 者はすぐに、この課題が今までの類似設計の延長で は解決できないと気付くであろう. そのため、製品 が具備すべき要件を洗い直し、技術的イノベーショ ンが必要になると考えるかもしれない. しかし, 革 新的技術がすぐに生み出されることはないので,最 初にやるべきことはムダを極限まで省く作業になる. 具体的には、顧客が望んでいない機能まで実装して いないか、あるいは実現方法を機構から電気回路や ソフトウェアに変えることで安くできないかと現状 の設計仕様に関して検討を重ねることである. その とき、親和図法を使って製品に必須となる要件を抽 出し、階層分析で必要となる要件の優先度付けを行 う. 目的は、優先度の低い要件を順次はずしていく ためと考えれば良い. いくつかの機能要件を組み合 わせて数種の設計候補を作り出した後、Pugh や TOPSIS を使って評価を行い、数値で結果を得る. また、製品のライフサイクルに沿って開発要件を部 品要件や製造要件、調達要件に至るまで、QFD を使 ってブレークダウンする. その一連の作業によって. より明確な要件に構造化することができる. 以上の 開発要件の絞込み作業の流れを図6に示す.

通常,既存製品や部品の設計品質に関するデータの見直しは,3次元 CAD 内から直接的にスプレッドシートを開いて行うことができる.その結果,容易に製品の形や設計仕様のバージョンの確認ができ,人的な間違いを抑制した確実な見直しが期待できる.

6. 3次元 CAD 設計における最適化

コスト削減を目的として開発要件を絞るだけでは、 製品が目的とした機能や商品としての優位性が失われる可能性がある。そのため、製品のコスト削減に は、設計品質の最適化が伴わなければならない。例 えば、製品を構成する部品の品質グレードを下げて

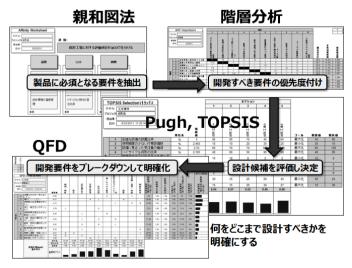


図6 設計候補の開発要件を絞る

いくとコストは下がるが、一方で製造歩留りの低下、市場での故障の要因を潜在させる可能性が高くなる.結局、製品ライフサイクルで見てみると、部品のバラツキによる不具合が製品ライフサイクルのいたるところで発生するために、全体としてのコストを押し上げてしまう結果になるであろう. つまり、単に製品コストを半分にするという目標を達成するだけでは、結果的に良い製品を作り出したとはいえないのである. この品質とコストのバランスを取ることを最適化するという. 設計した結果が、最良なパフォーマンスを維持し、最適なコストであることは、ビジネスを成功させる基本的な要件となる.

6.1 設計品質をもとにした最適化の例

いま、図5で使用したブレンダーを例とし、商品 としての機能要件を満たすガラスのボトル形状を求 めてみよう. 図7に、3次元 CAD で作り出した3つの設計候補を表示している. 商品企画書には、内 容量が 1.5 リットル以上で最軽量,かつ最も低コス トのものと書かれていたので、この段階で設計者は、 設計候補 B を最良と選択するかもしれない. しかし, 目的の仕様値にいくら近くても、これが最適形状で あるとは限らない. そこで、最適な形状を求めるた めに SDI Tools の最適化処理を利用する。はじめに、 ボトルの寸法値を最適化する. 開口部直径とボトル 高さを変動させて、内容量 V が 1.5 リットル以上で 最軽量となる寸法の組み合わせを求める、その際、 重量を相対的に判定する設計変数はボトル表面積 S とする、次に寸法の公差値を最適化する、一般に、 公差の値によって製造コストは変化し,寸法公差が 厳しければ、ガラス成型の金型は高価となるであろ う、また、内容量によって撹拌時間や効率が異なる ので、バラツキが発生し、製品の品質が左右される. SDI Tools には、このような公差値と品質やコスト とのトレードオフを行うシミュレーターが実装され, 3次元 CAD に装備されていない設計品質に対する 評価機能を補完することができる. さらに、形状寸 法を3次元CADの設計テーブルに定義しておくこ とで、スプレッドシート上の解析結果と連動して自 動的に最適な形状を作り出すことができる. 解析結 果が反映された3次元CADモデルを図8に示す.



図7 複数の設計候補からの選択

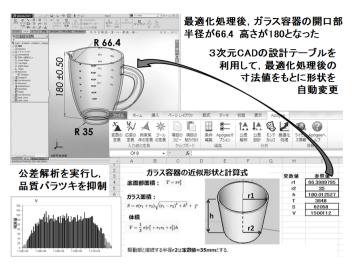


図8 シミュレーションによる最適化

7. おわりに

日本の製造業が、将来に渡って生き残るためには、常に新興国の製品を凌駕する製品品質が必要である。また、顧客から高い信頼を得るだけではなく、従来にない独創的な製品を創出するためには、品質工学に基づいたパラメータ設計や許容値設計を実行することが必要である。しかし、近年取り組んできた3次元 CAD や CAE による開発プロセスの IT 化には、構想設計段階で設計品質を作り込むツールが含まれていなかった。そのため、必要最小限の品質管理ツールを3次元 CAD 内に配備することにした。それらのツールを使用することで、設計者が設計仕様の検討や確認を3次元 CAD から離れることなく行えるようになった。その結果、3次元 CAD を構想設計から使用する場合であっても、より独創的で魅力的な製品設計が行えるようになると考えている。

参考文献

- 1) 吉田修治, 朴英元, 阿部武志: ものづくりの原 点に回帰したトップダウン設計の改革, 東京大 学 COE ものづくり経営研究センターディスカ ッションペーパー, No.435 (2013), 91.
- 2) 朴英元, 阿部武志, 大隈慎吾: コア・コンピタ ンスとアーキテクチャ戦略, 東京大学 COE も のづくり経営研究センターディスカッションペ ーパー, No.376 (2011), 15.
- 3) 戸水晴夫:設計品質を管理するコンセプチュアル BOM の構築,日本設計工学会 九州支部 平成 26 年度研究発表講演会,(2014),3.
- 4) Andrew Sage and James Armstrong: Introduction to Systems Engineering, John Wiley & Sons, Inc., (2000),167.
- 5) 稲垣雄史,立本博文:深層の競争力を構築する 組織能力 品質工学からみた統合型設計・製造 システム,東京大学 COE ものづくり経営研究 センターディスカッションペーパー, No.210 (2008), 11.