

Amcor 社、リアリスティックシミュレーションを利用した軽量化によりプラスチック容器市場におけるトップの座を維持

Abaqus FEA、業界最大手企業において設計期間の短縮、製品重量の軽量化および製品性能の向上を支援

一般消費財（CPG）産業の活発で競争の激しい市場環境においては、敏捷性と適応性のある戦略が必要とされます。PET（ポリエチレンテレフタレート）プラスチック容器メーカー各社は、事業の整理統合、増加し続ける政府による規制、企業責任および社会的責任を実証する必要性に巧みに対処しています。同時に、絶え間なく変化する消費者の好み、さらにエネルギーおよび原材料のコストによって、プロダクトポートフォリオの指数関数的な拡大が促進されています。PET の顧客は、メーカーがこれまでにない短期間でさらに低コストで最高品質の革新的な容器をより幅広い種類で開発することを求めています。

これらの課題を達成するために、世界最大の PET 容器のサプライヤーである Amcor 社の Rigid Plastics Division（親会社社が 2009 年後半に Alcan を買収した後に Amcor PET 社から改名）は、厳格な業界の性能規格を順守しつつ、製品設計から材料パラメータ、生産方法まで、コストを大幅に削減する方法を見つけました。Amcor 社は、Dassault Systèmes 社のプロダクト・ライフサイクル・マネージメント（PLM）ソリューションを使用して、3D 仮想設計、有限要素解析（FEA）および協調製品開発ソフトウェアを自社の製品設計および開発プロセスに統合しました。

その結果は、設計期間の 50 パーセント短縮、設計者とエンジニア間のコミュニケーションの強化、試作数の削減、および開発期間の短縮でした。さらに、新しいアイデアに対する顧客の要求への迅速かつ創造的な対応、また原材料から輸送までのサプライチェーンのすべてにおける関係者のコストを削減する軽量化で高性能な製品が実現されました。

数グラムの軽量化が数トンの節約に

Amcor 社の Rigid Plastics Division には、12 か国に 63 の生産施設があり、炭酸清涼飲料、ジュース、紅茶、水、調味料、サラダドレッシング、スポーツ飲料、石けん、シャンプー、医薬品およびヘルスケア製品の世界的



画像提供: Amcor

な一流ブランドの多くで使用されている容器を供給しています。米国ミシガン州にある Rigid Plastics Division では、年間約 250 億個のボトル、瓶、缶およびその他の製品が生産されています。この数字に 1 個あたりで節約される数グラムを掛けると、影響は莫大なものになります。Amcor 社のアドバンストエンジニアリング・サービスグループのマネージャである Suresh Krishnan 氏は次のように話しています。「過剰または過少な材料で作られている容器は、非常に高価なものになる可能性があります。材料が過少な場合は容器の破損につながる可能性があります、材料

が過剰な場合は莫大な費用がかかる可能性があります。製品の軽量化は、これまでの厳しい時期に当社が競合他社よりも支持された重要なポイントであり、PLM 環境内におけるコンピュータ支援エンジニアリング（CAE）は軽量化を達成するために非常に重要なものでした」

軽量化という目標は、航空宇宙から携帯電話まで、あらゆる産業のエンジニアに共通するものです。しかし、ガラスからのプラスチックによる軽量化によって、ここ数十年間で液体用容器ビジネスは劇的に変化しました。ガラスは数世紀にわたって使用され、その物理的性質も詳細に知られていましたが、1970 年代における PET への移行によってメーカー側に高度化への進歩が必要とされました。

単純な製品でありながら複雑な設計上の課題

Krishnan 氏は、「PET 容器は単純な製品ですが、それを軽量化することは複雑な設計上の問題です」と話しています。たとえば、どのスーパーマーケットの陳列棚にも見られる一般的な 2 リットルの炭酸清涼飲料用のボトルは、個々のブランドの仕様に対して特注設計しなければならず、低温充てん、炭酸ガス注入、密封、ラベル貼り付け、包装および出荷の間、ブロー成形による形状が保持されることが必要です（高温充てんされた容器は、さらに温度、真空および圧力変動に耐える必要があります）。誤って落としても破損する容器があってはならず、積み重ねても過度にくぼんだり、傾いてはなりません。

このように高性能な製品をコスト効率よく作り出すために、Amcor 社のアドバンストエ



設計された潰れのために PET 容器に設けられている「折り紙」コンセプトの減圧パネル。このパネルにより、冷却時の収縮が補正され、構造的な強度と一体性が維持される。元の形状は透明、最終形状は緑色。

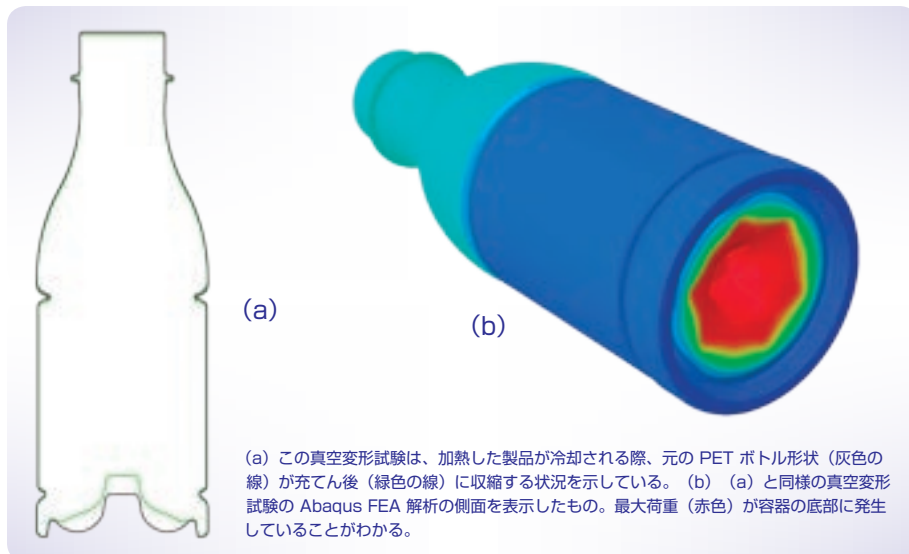
エンジニアリング・サービスグループでは、設計段階において、さまざまな荷重および応力の下におけるボトルの挙動をシミュレート、すなわち仮想試験するためにコンピュータモデリングが使用されています。ツールの中核は Abaqus Unified FEA ソフトウェアです。Amcor 社では、顧客と規制要件の両方を満足させる最も軽量な結果を得るために、Abaqus を採用し、設計変更や材料厚さパラメータ、さらに製造プロセスをも誘導することが可能なシミュレーションデータを作成しています。

課題の視覚化

インダストリアルデザイン部門が顧客と共同で決定した初期コンセプトに基づき、設計エンジニアは CATIA で 3D 仮想モデルを作成することから始まります。次に、CATIA 内でカスタマイズされたスクリプトとナレッジテンプレートを使用して、ボトルの最終設計において非常に重要な表面積、体積および重量を正確に決定します。Krishnan 氏は次のように話しています。「CATIA の機能によって多くの時間が節約されています。解析により設計を変更する必要があると示されたときはいつでも、変更を行うことが可能であり、モデルはそれを反映するように自動的に調整されます。そして、新しい設計を最初から始めるのではなく、既存の設計から始めて、それを素早く変更することが可能です」

次に、エンジニアは Hypermesh または Abaqus/CAE を用いて仮想ボトルの形状をメッシュ分割してから（「当社では CATIA に似た外観で作業しやすい Abaqus/CAE を使用する設計者が増えている」と Krishnan 氏は言います）、物理学に基づく性能シミュレーションのために Abaqus Unified FEA に転送します。上部からの荷重解析（ボトルのキャップ締め付け、または容器の積み重ねなど）用の一般的な Abaqus モデルには、約 150,000 のシェル要素と約 350,000 の自由度があります。より複雑な連成 Euler-Lagrange 法による落下解析（容器、内容物および床の間における流体-構造相互作用が同時に示される）用では、800,000 自由度にもなる場合があります。解析は Microsoft 社の Windows HPC Server 上で実行されます。

Amcor 社では別の FEA ソフトウェアを過去に試しましたが、満足のいく結果が得られないことが分かったため Abaqus に切り替えました。この変更によりアドバンストエンジニアリング・サービスグループでは、設計課題のあらゆる範囲を総合的に調査、検証できるようになりました。Krishnan 氏は次のように話しています。「Abaqus は当社にとって良い選択でした。その理由は、PET 容器に対するより多くの重要な性能要件をカバー



(a) この真空変形試験は、加熱した製品が冷却される際、元の PET ボトル形状（灰色の線）が充てん後（緑色の線）に収縮する状況を示している。(b) (a) と同様の真空変形試験の Abaqus FEA 解析の側面を表示したもので、最大荷重（赤色）が容器の底部に発生していることがわかる。

する幅広いシミュレーションの専門分野が提供されているためです」

シミュレーションによる容器の各種検討

Abaqus ではさまざまな専門分野が提供されています。アドバンストエンジニアリング・サービスグループは、上部からの荷重および減圧のシミュレーションから着手しました。その後、落下試験、ブロー成形、輸送、へこみ、寄り掛かりのシミュレーションに進みました。現在は、殺菌およびレトルト（殺菌中の加熱）のシミュレーションに取り組んでいます。さらに、容器に圧力を加える人間の手による影響をシミュレートするために、人間工学についての検討さえ開始しています。Krishnan 氏は次のように話しています。「同時に複数の荷重条件をシミュレートできることは、当社にとって非常に重要です。流体-構造相互作用、温度、圧力、材料のひずみ速度など、多くのパラメータを同時に考慮しなければならないからです」

FEA の結果を手にすることで、アドバンストエンジニアリング・サービスグループは、インダストリアルデザイナーと設計の実現可能性を議論するための明確な表現が得られます。CATIA と Abaqus の間における複数回の反復を用いることで、各当事者が協力して特定の容器について外観、性能、および機能性が確認された最適解に到達することが可能です。このようなコミュニケーションの改善は効果を上げています。Krishnan 氏は次のように述べています。「私たちの性能測定基準の目標の 1 つは、1 年間で設計変更の回数を 20 パーセント減らすことでした。現在、この目標を大きく上回っています」

Krishnan 氏は次のようにも述べています。「仮想試験のメリットは、実験室だけでなく製造現場にもあります。シミュレーションに

よって最適な上部からの荷重値を得た後、そのデータを利用して工場のプロセスエンジニアに実際の断面重量を提供できます。これにより、プロセスエンジニアは所定の性能を提供する容器を容易に作るすることができます」

PET プラスチックの複雑な挙動

PET 材料自体がプロセス全体に独自の課題をもたらします。PET は高度に非線形であり、引張り量とともに変化する 2 軸特性を持ちます。半結晶質の熱可塑性樹脂である PET は、およそ 76 °C のガラス転移温度で軟化します。それ以上の温度では弾性を示し、成形が可能になります。これは延伸ブロー成形プロセスで効果的に利用可能な特性の 1 つです。

しかし、PET 容器に高温の液体を充てんすると、「記憶されている」以前の形状（プリフォーム）に逆戻りして収縮する傾向を示します。これは容器の初期形状を設計する際に考慮しなければならない特性の 1 つです。また、高温の液体を充てんした後の冷却に起因する減圧によって、容器はわずかに潰れます。そのため、高温の液体を充てんする PET ボトルの設計には、潰れ用の減圧パネルが設けられています。Krishnan 氏は次のように述べています。「現在では、Abaqus FEA を用いて、これらの物理現象に基づく特性を容易にモデル化することができます。その際は、挙動を正確にシミュレートすることを可能にする静水圧流体要素用にカスタマイズされたスクリプトを使用します」

それぞれのタイプの PET 容器の内容物についても Amcor 社のシミュレーションにおいて考慮する必要があります。具体的には、液体（純水から粘性の高い塗料まで）の密度や粘度値、炭酸清涼飲料に固有の内圧変動などが含まれます。

Amcor 社では、自社のモデル用の高度な材料特性の検討も継続されています。PET は 100 パーセントリサイクル可能ですが、リサイクルされた PET (RPET) から製造された容器では、元の PET と材料特性が微妙に異なる場合があります。エタノールを用いた生分解性 PET を開発する取り組みも業界内で進行中です。Krishnan 氏は、「現時点で、当社ではこれらの材料のシミュレーションは行っていませんが、将来的には確実に考慮されます」と述べています。

すべてのデータの管理

すべてが積み重なるとシミュレーションデータは膨大な量になります。Amcor 社では、Dassault Systèmes の協調製品開発環境の ENOVIA ソリューションを用いており、アドバンストエンジニアリング・サービスグループでは、作成されたすべてのデータをそれぞれで管理しています。ENOVIA ソリューションは、すべてのプロセスが同期するように統計立てて保存、管理し、各容器設計のすべての CATIA および Abaqus データの容易な検索を支援します。

Krishnan 氏は次のように話しています。「アドバンストエンジニアリング・サービスグループの 14 名のエンジニアから製造工場に至るまで当社組織内の誰もが、プロジェクトに関する結果、最新ファイルなど ENOVIA にある必要な情報を、しっかりと定形化されたところから取り出すことができます。これはとても役に立ちます。ENOVIA によって、以前のすべてのイタレーション履歴も自動的に保存され、プロジェクトチーム内での参照、追跡、およびコミュニケーションが容易になります」

シミュレーションに基づく軽量化によりトップの座へ

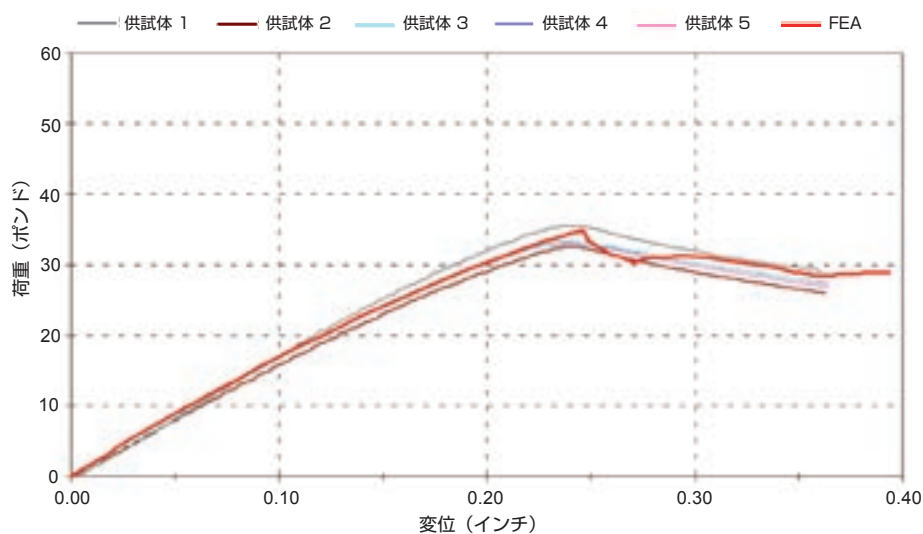
Amcor 社の物理現象に基づくシミュレーション能力の発展は、同社の軽量化への取り組みを支える原動力になっています。Krishnan 氏による 1 例では、63 グラムの容器設計が 43 グラムに軽量化されました。Krishnan 氏は次のように述べています。「当社では、リアリスティックシミュレーションを利用して、自社で開発したさまざまなテクノロジーを試しながら性能を検証し、より軽量で性能要件を最終的に満足する設計をしています。シミュレーションは、通常よりも多くの選択肢を検討し、複数の設計案を相互に比較するのに役立ちました」

Amcor 社では仮想試験の結果をまだ実験で検証していますが、コンピュータ予測のさらなる精度向上と改良があるために、試作を劇的に削減することが可能になってきています。Krishnan 氏は次のように話しています。



Abaqus FEA による容器落下試験では、連成 Euler-Lagrange 解析が使用され、容器、中身の液体、および接触する表面との間の相互作用が示されている。容器を 3.5 フィート (約 106.7 cm) の高さから硬い床に落下させても、上部はそのままではなければならない。

上部からの荷重に対する応答: ES22A



上部からの荷重に対する応答試験結果のグラフは、Abaqus FEA (赤色の線) によって容器の挙動がどの程度正確に予測されているかを示している。

「Abaqus によって得られる曲線と試験結果による曲線が良好に一致しているため、現在ではシミュレーションへの自信を大いに深めています。設計期間は 12~18 ヶ月から 9 ヶ月に短縮され、これにより製品開発コストが大幅に削減されました。さらに、当社の手法に対する多くのマネジメントバイインを獲得しました」

CAE による創造性の促進

CAE の利用は、顧客に新しいアイデアを提案する際、AMCOR の価値を証明しています、と Krishnan 氏は述べています。また、「当社では Abaqus シミュレーションのアニメーションをすべてのプレゼンテーションで使用しています。これにより、当社がどのように設計を作り出し、その設計について FEM を実行し、必要とする数だけの選択肢を試すかが実証できるのです」とも話してい

ます。インダストリアルデザインの提案を迅速にシミュレートすることが可能です。朝方に顧客から要求されたら、夕方にはアニメーションを用意できます。Krishnan 氏は、「設計者は本当の意味で解放され、どのようなアイデアでも検討できるのです」と述べています。

Krishnan 氏はまた、次のようにも述べています。「この業界は変化が速いため、次の新しい設計がすぐ間近に迫っています。常に誰かが新しい設計を実現しようと目指しているため、当社も迅速に対応しなければなりません。そして、CAE を活用している当社は、それが可能です」

詳細は以下をご覧ください

www.amcor.com