

総 説

内外装部品におけるCAE活用動向

The Trend of Computer Aided Engineering for Interior and Exterior Parts of Automobiles

佐藤 貴彦 *1, 須山 博史 *2, 鈴木 一夫 *3

1. はじめに

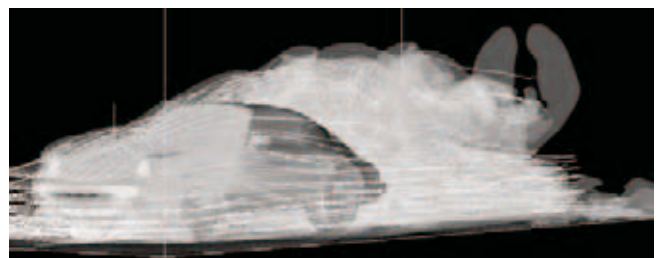
昨今のテレビゲームなどで知られるリアリティの高い画像はコンピュータによるグラフィック技術向上によって本物と見間違えるほどの完成域に達している。また、自動車レース、電車、飛行機などの操縦体験型ゲームではリアルな画像と共に音響、振動などの感覚を交えてあたかも本当に自分が操縦をしているリアリティ感覚を与える。このような情報伝達技術は単にゲームの世界だけではなくパソコンの家庭生活への普及に伴って誰もが身近に使える環境へと整備が進んでいる。

バーチャルリアリティ(仮想現実)技術は自動車業界にも浸透しており自動車の開発～量産における多岐な面で活用されている。近年、自動車メーカーにおいてはカスタマイズ化、グローバル化、コスト競争力強化などの課題が多く、安く、早く、付加価値の高い商品を提供することが求められている。

そのため開発に要する期間(開発工数)短縮が必要となる(図-1)。従来は設計後、試作で実際の物を作って評価し、不具合があれば設計変更して再度、試作、評価というサイクルを何回も繰り返しながら量産までの過程をたどっていた。そこで実際の物や生産工程を作らないで善し悪しを判断できる解析予測技術(CAE: Computer Aided Engineering)は、業務の効率化、高速化、低コスト化といったメリットを生み出すために必要不可欠となっている。



(1) ボディの衝突変形解析事例



(2) ボディの空気抵抗解析事例

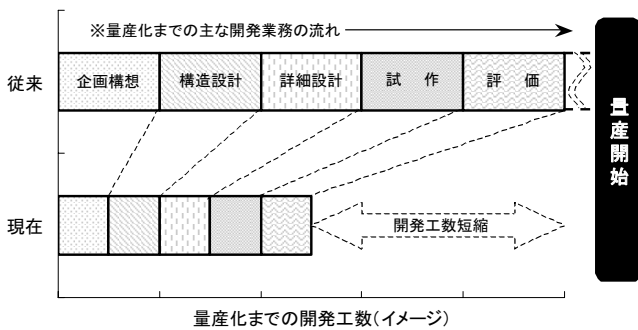


図-1. 開発工数の従来と現在の比較

図-2. 自動車開発におけるCAE結果のコンピュータグラフィック化事例

*1 Takahiko Sato 内外装部品事業部 内外装部品技術部 開発室
 *2 Hiroshi Suyama 内外装部品事業部 生産技術部 成形生技室
 *3 Kazuo Suzuki 内外装部品事業部 生産技術部 成形生技室

例えば衝突時のボディ変形評価やボディの空気抵抗評価では、従来現物ボディを用いた実試験により多大な時間、費用を使っていた。しかし最近では、ボディ変形量や空気の流れを数値解析で算出し、その結果を図-2(1)、(2)のようなコンピュータグラフィック(以下、CG)で確認できるようになり、開発期間の効率化に大きく貢献している^{1) 2) 3) 4)}。CAEは同様に樹脂部品の開発においても設計、評価などの各ステップにおいて其々の目的に見合った手法を利用している。本文では実施事例と共に動向を紹介する。

2. CAEとは

20世紀、人間社会における科学技術の急激な進歩はコンピュータの性能向上(計算速度の高速化)という基盤技術進化の賜物であると言える。コンピュータの発達が進捗計算の高速化をもたらした。CAEは有限要素法などの数値解析により諸特性を予測し、結果をCGで表示できる。具体的なCAEの手順を図-3で示す。(1)まず、解析しようとする物の形をコンピュータ上で定義する(モデリング)。(2)次にモデリングデータをメッシュ分割、境界条件設定をする。(3)そしてコンピュータによる計算の実行、(4)最後に計算結果のCG表示が主な流れである。

産業界におけるCAEの利用は1950年代に飛行機メーカーであるボーイング社が翼の振動性能解析に用いたことから始まったようである⁴⁾。それまでは信頼性を確認するために幾度となく実物を使った試験を繰り返していた。

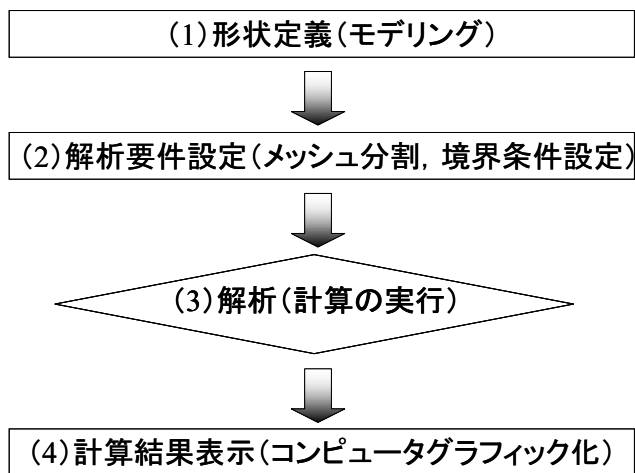


図-3. CAEの主な手順

それが解析モデルをつくりCAEで設計の最適化を図るようになった。一方、自動車業界においては1960年代から本格化の道をたどってきた¹⁾。

現在では、部品単体、コンポーネント系、車両系毎にエンジン・動力性能、操安・乗心地、振動騒音、衝突安全性、ボディ周りおよび室内の風流れ性などの評価項目について様々な解析ソフトを利用することで車両開発に寄与している。

3. 内外装部品で利用されるCAE

弊社においても1980年代後半からハンドルや機能部品などの構造解析のために技術導入した⁵⁾。その後、ショートショットやウエルドなどの成形現象や金型のゲート、ランナー等を最適設計するために金型内の樹脂流動を予測する成形解析技術なども社内展開し浸透している。また近年は車室内へ流れ込む風の指向性能などを予測する流体解析技術(CFD: Computer Fluid Dynamics)や照明部品の明るさなど製品性能を予測する技術も導入された。また、製品間の隙間、段差など建付け状態や組付け工程を予測する解析技術も利用されている。

樹脂部品は金属部品と比較すると、産業界における実用化の歴史が浅いことからわかるようにCAEの応用ノウハウ、数値解析に必要な材料物性

表-1. 主な内外装部品に用いられるCAE分野

解析分類	解析予測項目	主な内外装製品												
		インストルメントパネル	インパネロフパネル	クラフボックス	コンソール	レジスタ(エアコントロール)	テフロウダスル	カフホビダ	ホークキアア	ランエーダリル	サイドモール	バックパネル	ヒューカーニクシ	スカフプレート
構造解析	強度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	剛性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	耐熱変形	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	衝撃強度・割れ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	変形	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
機構解析	動作速度							○						
	移動距離							○						
流体解析	通風時の圧力損失					○	○							
	風速					○	○							
	風流れ指向性					○	○							
照明解析	輝度分布			○	○								○	
音響解析	通風騒音					○								
成形解析	樹脂充填	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	ウエルド	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	型締力	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	圧力	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	温度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

等のデータ蓄積量に大きな差があった。そのため、CAEによる予測精度が悪く、長い間、試作型を製作し実形状の試作品を用いた確認試験を行うことが当然であった。しかしながら、前述したように開発期間の短縮、開発費用の投資減により現物作製廃止の風潮が樹脂部品の分野でも高まってきた。そこで暫くの間は、予測精度の低い解析については同時に実試験を実施し、予測結果を検証することで精度向上を図ってきた。そして弊社独自のCAEノウハウ、物性データ等を蓄積する活動強化により樹脂部品開発へCAEを普及させてきた。

現在では、企画開発～量産までの開発業務において多岐な技術分野(表-1)にわたってCAEを活用している弊社の予測技術レベルは業界の中でも高い位置にあると言える。

4. CAE活用事例

それでは弊社の内外装部品における各種CAEについて、その主な活用事例を説明する。

4-1. 強度・剛性解析における活用事例

一つの製品に対する要求性能は製品毎にいくつも設定されている。全ての項目の目標値を満足しなければ量産化することは出来ないため、如何に設計段階で目標性能をクリアした設計ができるかがその後の開発期間短縮の大きな鍵となる。

例えば、運転席と助手席の間に設定されるコンソール(図-4)では、図中の横方向(矢印方向)から乗員による負荷がかかり破損することが危惧される。表-2で示すようにA、B、Cのポイント毎に横方向から荷重をかけた場合の変形量を色別に表示することができる。この違いを予測することで予め決められた変形目標値を達成できているか確認できる。

また助手席の膝元に設定されるグラブボックスのような収納部品では機能として開閉動作がある。



図-4. コンソール

この時に心配される現象として、ねじった状態で負荷を掛けた時の変形や誤って収納物を挟んだまま閉めた時の変形がある。このような場合の剛

表-2. 荷重ポイント別の変形解析結果

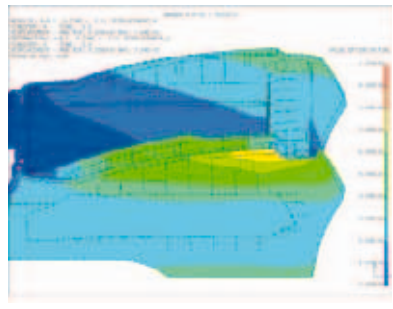
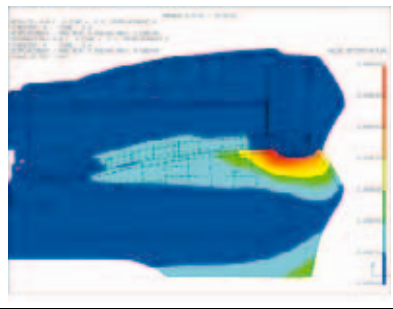
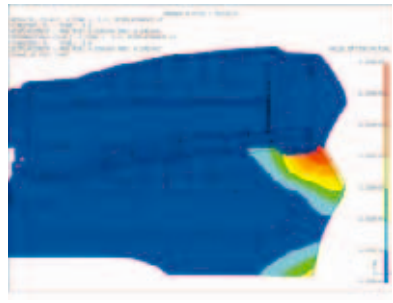
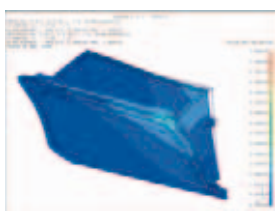
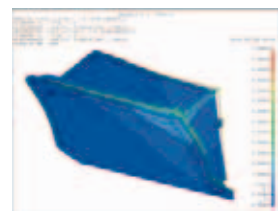
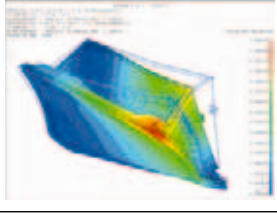
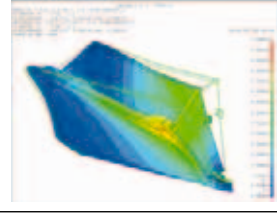
		表示事例
荷重ポイント	A	
	B	
	C	

表-3. グラブボックスのねじり変形解析結果

		小←	板厚	→大
荷重	小→			
	大←			

性評価項目の一つとして「ねじり変形」がある。この現象を防ぐために製品板厚を大きくすることが考えられるが、重量アップなどの相反する問題が発生するため、最適肉厚を決めなければならない。表-3で示すように板厚と荷重の関係で水準をとって計算することで目標値を満足し、かつ軽量であるというバランスの取れた製品形状を求めることができる。荷重が小さい場合は変形量が小さいためCG上での色の変化が少ない。しかし荷重が大きくなると色表示が青から赤へと変化する。そこで比較のため、グラフボックスの板厚を大きくしてみると同じ荷重でも変形量が小さくなるのが色

の変化が少ないことから見てわかる。

CAEでは、更にいくつもの水準に対する計算が簡単に出来るため、図-5で示すようなガイドラインを設定することが出来る。この結果は、タイヤに取り付けられるホイールキャップの中央部側面からかかる荷重に対する変位量を荷重毎に計算し、板厚別(a, b, c)にグラフ化した。例えば同じ板厚で比較すると、図-6(1)は低荷重のため変位量が小さく、図-6(2)は高荷重のため変位量が大きいためCGから定性的に見てわかる。図-5では、これらの結果をグラフでわかりやすく表示したことで、設計者は板厚のガイドラインを一目で確認することができるようになった。

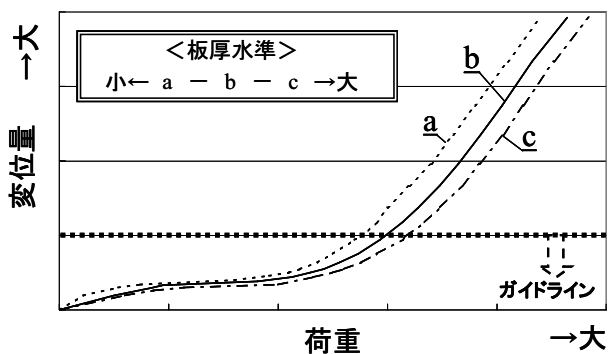


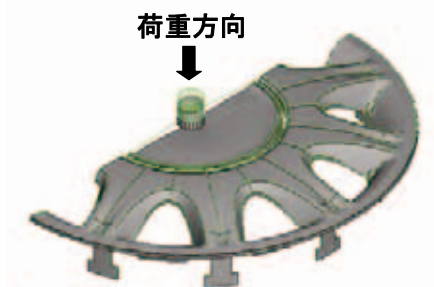
図-5. ホイールキャップ板厚別の荷重×変位量の関係とガイドライン化事例

4-2. 空調性能解析における活用事例

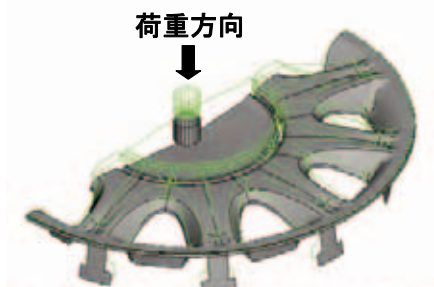
車室内に風を吹き出す機能を有する部品としてレジスタ(エアアウトレットとも呼ばれる：写真-1)がある。この部品に要求される性能の代表項目に指向性がある。レジスタ内部に組み付けられた上下方向、左右方向のフィン角度を変化させて乗員に対する風向きを変えることができる。指向性の目標値はフィンを最大限に角度を振った場合に目標エリアに達することである。そのため設計的にはフィンの断面形状やレジスタ内部形状などの寄与が大きいことがわかっている。

表-4では、上下方向のフィンを上限、下限位置そして中心であるニュートラル位置で風の流について、流体粒子が通過する軌跡(流線と呼称)で示して比較している。レジスタの出口から車室内へ吹き出した流線は、フィンが上方向に向くと上へ、逆に下方向へ向くと下へ、そしてニュートラルでは真直ぐ流れることを確認できる。

レジスタから送り出される風は、ブローと呼ばれる空調装置からダクトを介して出てくるため送風圧力が減衰する。それはダクトの断面形状、長さ等により異なることがCAE結果からわかる。



(1) 低荷重の場合



(2) 高荷重の場合

図-6. ホイールキャップの剛性解析結果



写真-1. レジスタ(エアアウトレット)

表-4. レジスタ通風時の指向性解析結果

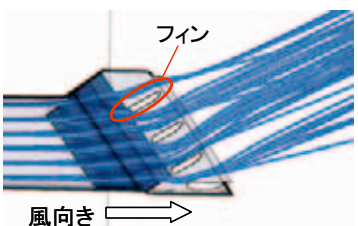
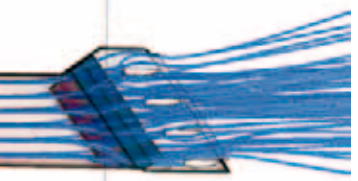
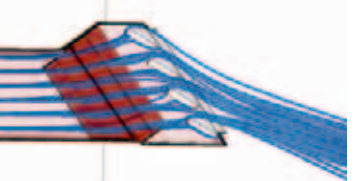
		表示事例
レジスタフィン方向	上限方向	
	ニュートラル	
	下限方向	



図-7. 後席用ダクト経路内の通風時圧力損失解析結果



図-8. 後席用ダクト経路内の風流れ解析結果

目標風量，風速を厳守するためにガイドラインとなる通風時の圧力損失を図-7で示すような解析結果から確認する．これはコンソールの下部に設定された後席用レジスタにつながるダクトの圧力損失を解析した結果である．この製品形状では途中から経路が二股になり一瞬圧力が上がり，再び

圧力が下がっていることが色の変化でわかる．圧力が下がる要因として経路長が長いこと、断面積の変化により風が途中で渦を巻いたりして乱流を引き起こすことなどが考えられる．図-8のような流線図を用いて解析することで，どの部位が設計上のキーポイントであるか導くことができる．

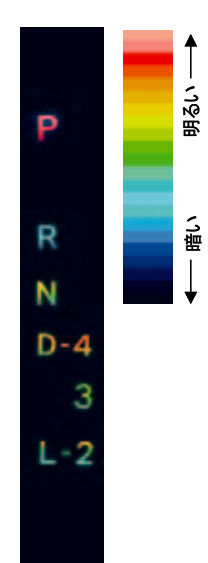
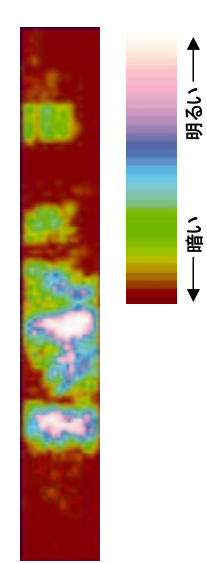
4-3. 照明性能解析における活用事例

照明部品における発光時の明るさのムラ(輝度分布)評価においてもCAEを使った効率化を図っている．表-5では，輝度分布について現物測定結果とCAE結果を比較して挙げている．



(1)はオートマチック用シフトのインジケータ表示部，(2)は車両ドアを開けた時の足元ステップ部分に取り付けられるスカフプレートについて表示している．

表-5. 照明性能の現物測定とCAE結果の比較

(1) シフトインジケータの輝度分布解析結果

	現物測定結果	CAE結果
表示事例		

(2) スカフプレートの輝度分布解析結果

	表示事例
現物測定結果	
CAE結果	

明るさを示す凡例から明るい所、暗い所を判別することが可能であり、現物測定とCAEの結果を比較して見ても輝度分布の傾向は一致していることがわかる。このようにしてCAEを用いることで輝度分布を予測できる。

4-4. 成形解析における活用事例

弊社の内外装部品の基幹技術である樹脂射出成形においては、その成形工程の各段階（樹脂充填→保圧→冷却）と、それらの過程で起こる不具合現象をCAEにより解析し、図面検討段階での品質向上や現物における問題点対策の効果予測などに利用している。

まず「ウェルド」、「ショートショット」のような充填段階での不具合については、ほぼ全数に対して金型加工手配前に確認の上、結果を金型設計に反映している。

その事例として以下にインストルメントパネル助手席の足元に装着されるロアパネルの樹脂充填解析事例を示す。図-9では、充填過程で起こるウェルドの場所の確認や最終充填位置の確認などを行っている。

また、充填後の保圧・冷却段階の代表的な不具合である「変形」の事例として図-10にコンソールの側面の倒れを予測した事例を示す。この解析では、

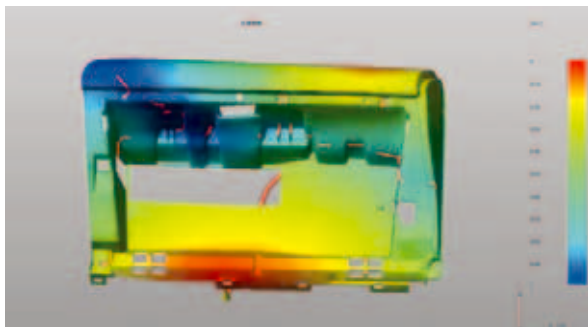


図-9. ロアパネルの樹脂充填解析結果

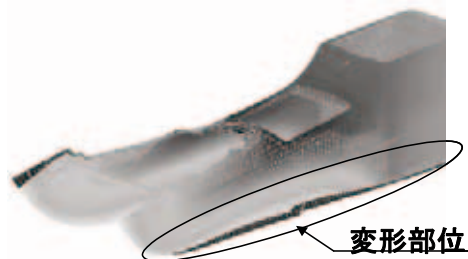


図-10. コンソールの変形解析結果

変形量が1ミリ程度の精度で予測可能である。

保圧・冷却段階での別の不具合として「ヒケ」がある。この現象については、三次元的な樹脂の収縮をモデル化する必要があるが、まだ実用段階ではない。CAEのためには直接、製品でのヒケを予測することはせず、製品設計CADであるCATIA V5の断面確認機能を用いたDR (Design Review) でヒケの元となる厚肉部分が無いかを確認することでその検証を行っている。

さらに金型内の空気や樹脂より発生するガスが原因となって発生する不良「シルバー」は、樹脂の流れだけでなく、樹脂によって押しのけられる空気の流れも予測する必要があるが、その代替としてリブなどの金型内部に空気が閉じ込められないかを確認している。

このようにCAEを直接活用できない現象に対しては、バーチャルな予測が追いついていないため、過去のトラブル経験をノウハウとして蓄積し、その結果を元に予測するという従来のやり方に頼らざるを得ない。

また、物理現象としてミクロンオーダーの表面品質が外観の見栄えに影響している「ツヤムラ」、「転写ムラ」は、樹脂の金型転写レベル、樹脂の収縮による微細なズレなどが原因とされる。現状これらの表面外観については、個々の金型の出来栄などが影響しているため、最終的な現物によって確認している。しかし、それらを支配する物理量を明確にし、金型の材質・構造・表面処理等について設計仕様へ反映出来ると、金型が完成した後で設計変更することなく一度に合格できる究極の開発・生産準備の期間短縮に近づけることができる。

4-5. 金型温調解析における活用事例

射出成形において、金型は目的通りの製品を作るためにキーポイントとなる道具の一つである。この道具の出来栄が部品の完成度に大きな影響を与える。射出成形における金型の役割は、金型内に任意の形状に加工されたキャビティという空間内に射出成形機を用いて熔融した樹脂を充填し、その樹脂を冷却・固化し、金型から離型することにある。その金型に求められる性能は、部品の外観品質を満足させるためにキャビティ面精度が高いこと、部品の形状、寸法を満足させるために金型寸法精度が高いことなどが要求される。早期に金型完成度を高めるため、金型設計段階において

熱効率，熱収支を追求するために金型温調，射出成形時の金型強度，たわみ変形などを解析することがCAE活用の目的である．用途別の解析手段を表-6でまとめる．

事例として挙げる図-11は，ホットランナーノズルの伝熱解析モデルである．既存値に加え，実験値等を加味してホットランナーノズルの温度分布を予測した事例であり，ホットランナーの温度分布など熱源の距離や接触状態，熱源を囲む環境などの条件を考慮した解析を行っている．

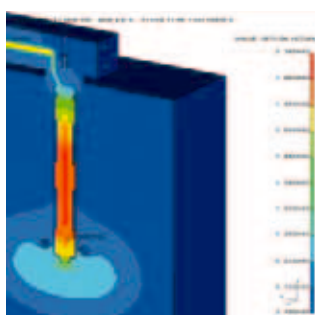


図-11. ホットランナーノズルの伝熱解析結果

普段は見えない熱の流れをCGで見てとれ，定量的に比較できることがCAE活用の最たる理由である．

また樹脂の流動・冷却過程で発生する温度偏差を金型の冷却配管，製品形状，冷却媒体の温度・流量などのパラメータを与えて，最も効率良く樹脂冷却をはかるための金型の冷却性能を予測する事などにも用いられる．

他の事例として金型の強度解析がある．金型キャビティ形状にはグリルラジエータの様に格子状で複雑な断面形状の製品もある．当然ながら金型では凹凸が激しい起伏となるため，量産になってからこの格子部の破損，クラックが生じる心配がある．そこで，この様な形状に繰り返しかかる射出圧力や型締め力を複合的に考えるために金型強度解析を実施している．図-12，13は金型が射出圧力，型締め力に対してどのような応力分布が発生するかを解析した事例であり，この結果を元に金型の破損防止案を検討している．

このように金型加工前に金型性能を判断し，最適な金型仕様を提案することで生産準備業務の効率化につなげている．

表-6. 金型設計に活用される主なCAE手法

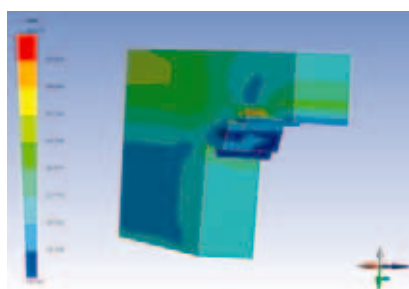
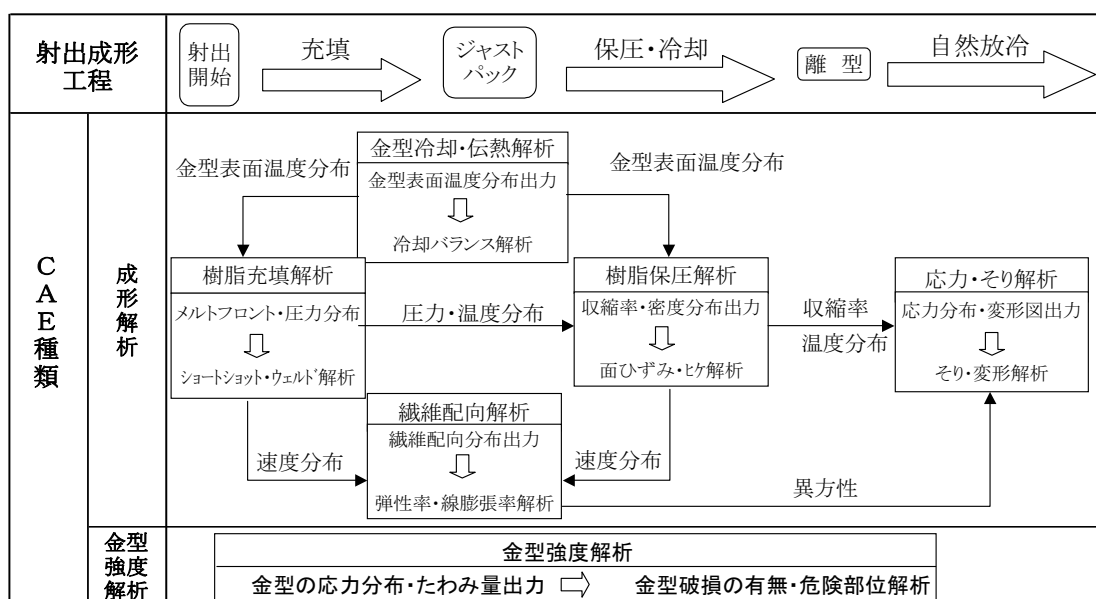


図-12. 金型の強度解析結果

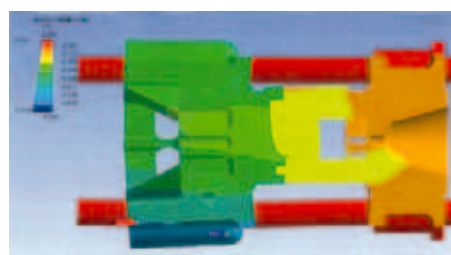


図-13. 金型のたわみ変形解析結果

5. 今後のCAE動向

これまでの「走る」、「止まる」、「曲がる」といった自動車の基本性能に加えて、今後新たに要求される性能の一つとして「快適性」が挙げられる。それは車室内における乗員の視覚・聴覚・触覚といった感覚器官に訴える項目である。例えばドアを開けて車室内を覗き込んでコクピットの色、艶、表面模様を比較して見たり、触ったりした時の印象、次に車に乗り込んでコンソールボックスやグラブボックス等のドアを開閉操作した時の荷重や開閉スピード感覚等である。これからの内外装製品の開発においては快適性能を満足することが必須条件となってくる。

しかしながら、快適性に関わる項目は定量値化する手段が難しく、また評価結果を判断する個人差も大きい。予測評価技術としてなかなか進歩してこなかった。それが最近の定量値化技術の進歩、専門分野毎の予測解析ソフト開発、CG化技術の向上、コンピュータの更なる大容量化・高速



図-14. 見栄え解析結果



図-15. 車室内の見栄え予測イメージCG

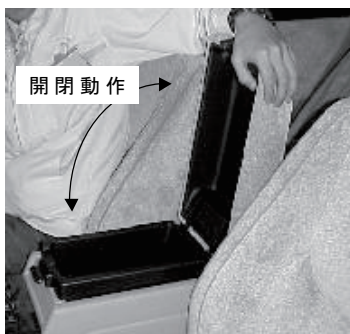


写真-2. 機構部品の開閉動作事例
(コンソールドアの開閉操作)

化が図られてきたことで、これまで不可能と考えられてきた予測分野に対しても将来の実用化に向けた技術検討が始まっている。

例えば、部品の表面に施される模様については事前に見栄えをCG画像(図-14)で予測し、金型設計段階でのシボ加工条件に反映している。将来的には更にこの技術が進化してインストルメントパネルを中心としてグラブドアやドアトリムなど周辺部品全体のコクピット内の見栄えを図-15のように予測することで、デザイナーが内装色や模様を開発初期段階から決定することができる。

また、コンソールドアやグラブドアなどのように機構動作を有する部品では、これまで実物の評価サンプルが出来上がるまで評価することができなかったドア開閉スピード等の評価項目をCAEで予測し、仕様を予め設計図面に反映できる。このようなCAEを活用することで評価そのものをCAEに置き換え開発期間効率化に寄与できるであろう。

そして今後最も必要とされるであろう予測分野の一つとして人体の生理学的機能が考えられる。例えば、写真-2で示すようなコンソールドアの開閉操作などにおいて、体の捻りや腕、肩に掛かる負担は楽か否か。このような予測解析が可能になることが強く要望されている。

6. おわりに

自動車内外装部品における生産のグローバル展開は今後更に広がるであろう。全世界同時に同じ製品を同じ品質、性能を確保するためにもCAEの必要性は高まると考えられる。

今後も開発から量産化までのステップ毎にCAEを活用することで業務効率化を進めていきたい。

参考資料

- 1) 自動車設計と解析シミュレーション, 三浦登, 福田水穂共編, 培風館, p1-6, 1990.
- 2) 自動車技術ハンドブック②設計編, (社)自動車技術会編, 精興社, p607-616, 1991.
- 3) 自動車開発のシミュレーション技術, (社)自動車技術会編, 朝倉書店, p1-4, 1997.
- 4) サイバネットシステム株式会社ホームページ
- 5) 豊田合成50年史「次世代への挑戦」, p51, 1998.