設計者向け CAE

岡 部 俊 一*

1. はじめに

3次元CADの普及とともに、CAEも設計者が行う時代になりつつある。設計者がCAEを行うことにより、結果を素早く、タイムリーに設計に反映することが出来る。また、CAE専門家がより高度なCAE技術開発に取り組み、開発された技術を設計者が活用するという好循環を生み出し、社内のCAE技術レベルをステップアップすることが出来る。

設計者向けCAEの最近の傾向として、CADとの統合・一体化の動きが目立つ^{1)~3)}。使い慣れたCADと同様の操作環境でCAEを行うことが出来るため、設計者が違和感無く利用できることが特徴と言える。もう一つの傾向として、CAE機能の高度化が進んでいる⁴⁾。設計者向けCAEのコンセプトは、単純なCAEを簡単に行うことであったはずであるが、近年の利用者の増加・多様化により、高機能化が求められるようになった。非線形解析や周波数応答解析など、従来はCAE専門家が行っていた解析を、容易なインタフェースで利用出来るようになりつつある⁵⁾。

著者らの研究開発グループにおいても、10年程前から、設計者へのCAE展開の試みを行ってきた。いくつかの試みの中で、短期間のCAE教育やOJT(On The Job Training)研修は失敗することが多かった。1度はCAEを利用しても、設計者自らの意志で2度目が行われることは少ない。特に、3次元CADを通常の業務で利用していない場合に、この傾向が強い。設計者にCAEを定着させるためには、3次元CADを通常の業務で利用していることが必要であり、以下においても、このことを前提としている。教育およびOJTの成功事例について述べる。まず、組織としてCAE導入を決断したことが成功へと導いた。その上で、CAE専門家が設計現場に入り込み、徹底した教育とサポートを行った。この組織では、今や通常にCAEを活用しているが、ここまでには多くの月日を要している。

失敗および成功事例を含めた様々な経験から、設計者がCAEを活用するための最重要ポイントとして、以下の2点にたどり着いた。①とにかく簡単に『使用』出来ること。②設計に『活用』出来る結果を出せること。①に関しては読んで字の如しである。専門家が使用しているCAEの操

作方法を設計者に教えたとしても、使用頻度が少ない程忘れるのが早く、使用しなくなる傾向が強い。②に関しては補足が必要であろう。CAEを行う目的は応力分布を出力すること自体ではない。得られた応力分布(一例)を見て、製品を評価することである。具体的には、「この形状の方が良さそうだ」、「この応力分布ならこの荷重でも大丈夫そうだ」という判断材料を得ることである。CAEの初心者である設計者にとって、このような判断材料が得られる結果を出すことは簡単ではない。CAEの専門家が有しているような、CAEノウハウが必要となるからである。しかしながら、このことを解決せずしてCAEの定着は有り得ない。「CAE結果は実験結果と逆だった」、「CAEでは降伏応力以下だったのに実験では割れてしまった」、ついには「CAEなんて時間がかかるだけで信用出来ない、使えない」ということになりかねない。このようなことが起これば、間違いなく2度目の使用はないであろう。

本稿では、①および②について、著者らの研究開発グループが開発した設計者向け構造CAEソフト「NAVISTRUCT」(以後、本ソフトウェアと呼称する)を例として取り上げながら、解決策を述べる。また、プラスチック製品の設計者向け構造CAEに関しても、簡単に解説する。

2. 設計者がCAEを活用するための最重要ポイント

2.1 とにかく簡単に使用出来ること

簡単に使用するためには、利用手順の存在が必要不可欠である。では、操作マニュアル100ページにわたって利用手順が記載されており、それを見ながら、画面中に分散かつ階層化されているコマンド名から必要なコマンドを順次探り当て、CAEを行う場合はどうであろう。日々設計業務に多忙な設計者にとって、簡単に使用出来るとは言いがたい。初めて利用する人が、マニュアル無しで操作出来ることが重要である。そのためには以下の3点が必要と考えられる。①全ての手順が明確に規定されている。②マニュアル本ではなくソフトの画面の中で、各手順において必要な操作内容を簡潔にナビゲーションしている。③1つのウィンドウにのみ注目していれば良い。本ソフトウェアの画面を図1に示す。これは、起動アイコンをダブルクリックした直後の画面である。右側中央のナビゲーションウィンドウのみで必要な操作内容を全て説明しており、この画面の指示に従って操作するだけで、次の手順に進むことが出来る。図2は、図1において「新しいCAEを開始する」を選択した直後の画面を示している。ここでは画面の指示通

* Okabe, Syunichi

積水化学工業㈱ 環境・ライフラインカンパニー京都研究所 ESSプロジェクト
京都市南区上鳥羽上調子町 2-2 (〒601-8105)
2003. 3. 26 受理

図1 スタート画面

図2 ファイル名入力画面

図3 解析結果表示画面

り、ファイル名を入力し、適用ボタンを押せば良い。このように、ナビゲーションウィンドウのみが次々と切り替わり、その指示通りに操作すれば良いという、直感的に解り易い構造となっている。図3は結果表示まで進んだ画面を示している。図のように、左側のウィンドウにはCAE進

行状況に応じて、モデル、メッシュ、解析結果などが表示されるだけであり、シンプルな画面構成になっている。そのため、良好な適用結果が確認されている。CAE 初体験の設計者がほぼ独力で操作を行い、起動から10分程度で応力分布結果を見れるような状態になっていた。この事実が重要である。設計者向けCAEを利用するのは設計者であり、CAEの専門家ではない。CAEソフトに慣れている部署の判断のみで設計者向けCAEを導入するのではなく、直接利用する設計者が、これなら簡単に使用出来ると判断したソフトを導入すべきである。

2.2 設計に活用出来る結果を出せること

前節で述べたように、CAEを行う目的は応力分布を出力することではない。その結果を判断し、設計に活用することが目的である。簡単な事例を1つ紹介する。設計担当のA氏が、上司から指示を受けた。「B氏がC製品の強度CAEを2年前に行ったが、クレームが多く、形状を一部変更することになった。2年前は引張強度の80%で設計したが、今回は60%を目標にCAEで形状を決めて欲しい。」この場合、最も注意する必要があるのは、2年前と同じメッシュ密度、同じ材料物性値、同じ境界条件（固定条件および負荷条件）でCAEを行い、結果を比較することである。2年前のCAEを参照することなく、引張強度の60%を達成したとしても、現状製品よりも改善されている保証はない。メッシュ、材料物性値、境界条件の内1つでも異なれば、同じ形状でも結果は異なる。形状的に劣っていたとしても、引張強度の60%の結果になり得るのである。今回の設計で重要なことは、CAEの結果として引張強度の60%を達成することではなく、現状製品よりも優れた形状にすることなのである。CAE初心者の方は、是非ともこのことを頭に入れておいて頂きたい。図4は上記の簡単な例を示している。aとbはほぼ同じ形状であるが、コーナー部のRが若干aの方が大きい。従って図の境界条件に関してはaの方が優れている。しかしながら、メッシュに違いがあれば、得られる応力は $a > b$ となり得る。一般的にメッシュが細かい程、応力集中をより正確に求めることが出来るからである。設計者にCAEを定着させるためには、このようなことが起こらないように、標準化されたCAE結果を出せる工夫が重要である。そのためには以下の3点が必要であると考えられる。①過去の事例を蓄積出来、操作中に参照出来る。②各製品毎などの標準化されたCAE設定内容を、操作中に参照出来る。③FEMではなく、CAEの学習が出来る。以下では、①～③の考え方について順に述べる。

2.2.1 過去事例データベース

本ソフトウェアは解析報告書（以後、レポートと呼称する）を自動で出力するが、そのレポートをデータベースに

図4 形状的に優れていても応力が高くなる事例

登録し、操作中にいつでも過去の事例として参照することが出来る。先の例では、過去の事例データベースを参照することにより、2年前に行われた解析と同じメッシュ密度、材料物性値、境界条件で解析を行い、結果を比較することが出来る。引張強度の60%を達成出来たならば、現状製品よりも優れた製品を送り出すことが出来るであろう。その他にも、操作上の判断に迷ったとき、過去に行われた近い事例を参照しながら判断出来る。CAE経験が少ない場合、特に境界条件について迷うことも多く、事例参照の効果は大きい。図5に本ソフトウェアのデータベース構造を示す。図5のナビゲーションウィンドウは、メッシュ分割の最初の画面である。メッシュ分割以降は、全てのページに「過去のレポートを見る」ボタンがある。ボタンを押すと検索画面が登場し、製品名、担当者、作成年、フリーキーワードなどで検索することが出来る。検索結果が別ウィンドウに表示されるので、ファイル名を選択後、表示ボタンを押すことにより、参照したいレポートが表示される。このように、いつでも過去の事例を参照しながら操作(判断)を行うことが出来る。また、図に示すように、設計関連ファイルとして、設計仕様書、実験結果報告書、製品カタログなどをリンクし、データベース上で管理することも出来る。CAEデータのみではなく、設計事例データベースとして活用出来る。

図5 レポートデータベース構造

2.2.2 ノウハウデータベース

簡単な事例をもう1つ紹介する。設計担当のA氏が、上司から指示を受けた。「D製品のリブ配置を改善したい。現状の製品は基準荷重の2倍で割れてしまう。割れないよう、かつ軽量化を頼む。」A氏は過去に行われたD製品の事例を参照しながら、同じメッシュ密度、材料物性値、境界条件でCAEを行い、応力が低くなるようにリブ配置を改善した。最大応力も引張強度以下になっている。ところが実際に製品を試作し、実験してみると割れてしまった。今回の設計で重要なことは、現状製品よりも優れた形状にすることではなく、基準荷重の2倍で割れない形状にすることなのである。実験と同等の結果を出すことは、CAE専門家でも苦勞が絶えない。メッシュや境界条件を工夫してCAEのノウハウを作り上げ、実験と比較出来る結果を出すのである。設計者にこの作業を望むことは難しい。そうであるならば、設計者はCAE専門家のノウハウを見ながら操作(判断)することが望ましい。本稿における例では、実験と比較出来る定量的な結果を出すにはメッシュが粗すぎたことが原因として考えられる。「D製品の定量的なCAEを行うためには、メッシュ数5万が必要である」などという記述を設計者が参照出来ていれば、今回のような失敗は防げたはずである。本ソフトウェアでは、製品毎などのCAEノウハウを登録しておけば、操作中にいつでも参照することが出来る。これにより、誰が行っても専門家が指定するメッシュ密度、材料物性値、境界条件で、CAEを行うことが出来るようになる。図6に示すように、メッシュ分割以降は、全てのページに「ノウハウを見る」ボタンがある。ボタンを押すとリンク先のHTMLファイル呼び出すことが出来る。HTMLファイルの内容は自由に記述出来る。図6のナビゲーションウィンドウは、メッシュの平均要素長を入力する画面である。ここで「ノウハウを見る」ボタンを押すことにより、「D製品の定量的なCAEを行うためには、メッシュ数5万が必要なので、平均要素長は10を入力する」というノウハウが示されれば、設計者は指示通りに入力を行えばよいことになる。これにより、基準荷重の2倍で割れない設計が可能になる

図6 ノウハウデータベース構造

図7 メッシュ分割によるCAE結果の差異の体験学習例(ステップ3)

であろう。この仕組みは、CAE 専門家を有している企業が、設計者にCAEを普及させる場合に有効である。専門家がその知識をノウハウに書き込んでおくことにより、設計者は専門家の知識を活用しながらCAEを行うことが出来る。また、ノウハウという形ではなく、CAE 指示書という形で利用することも出来る。専門家が定型のCAE 指示書を書き込んでおけば、設計者は、設計の内容に応じて指示通りにCAEを行えば良いことになる。

2.2.3 CAE 体験学習

CAE 専門家を有していない企業では、設計者が1からノウハウを蓄積することになる。これはさすがに時間と労力を伴う。本ソフトウェアには、設計でCAEを活用するために最低限必要と思われるCAEノウハウを、体験的に学習出来る仕組みが付属されている。一例のみ紹介する。メッシュノウハウは、最も重要なCAEノウハウの1つである。どのようなメッシュを作成すれば、どのようなCAE結果が得られるということを、理論解と比較しながら体験学習出来る。図7にこの様子を示す。CAE 専門家を有している企業においても、CAE 研修に活用することにより、同時に多くの設計者が、基本的なノウハウを理解することが出来る。

3. プラスチック製品の設計者向け構造 CAE

これまで設計者向けCAEの一般論を述べてきたが、ここではプラスチック製品に焦点をあてる。プラスチック製品と金属製品のCAEにおいて、大きな違いのひとつは材料特性である。金属製品の場合、降伏以前の線形領域でCAEを行う場合が多いようである。プラスチック製品の場合、金属のように明確な降伏点は存在せず、はじめから非線形性を示す材料が多い。そのため降伏以前というよりも、破損までの全非線形領域でCAEを行う場合が多い。CAEの業界では、非線形は難しい解析であり、設計者が安易に踏み込む領域ではないという意見も多い。しかしながら、線形解析だけでは評価出来ない場合が多いのも事実である。設計者が一般的に行いたい材料非線形解析は、最も簡単なもので十分ではないかと考えられる。本ソフトウェアでは、操作性を何ら落とすことなく、材料非線形解析を行うことが出来る。アセンブリ非線形接触および大変

図8 塑性歪み—応力曲線

形解析についても同様である。線形解析との具体的な違いは、材料データとして、図8のような塑性歪み—応力データが必要なのである。このデータはCAEに特有なものではなく、設計者が普通に目にしているものであり、むしろCAE 専門家よりも詳しいはずである。このデータを用意するだけで非線形解析を行うことが出来るならば、設計者は必要に応じて用意するであろう。ただし、非線形解析の場合は、2.2節で述べた『活用』が、より重要になることを付け加えておく。

4. 終わりに

今後ますますCAEを行う設計者の数は増えることが予想されている。しかしながら、CADとの親和性・一体性のみが脚光を浴びている今日の風潮には、一抹の不安を覚える。設計者にはFEMではなく、CAEを行っていただきたい。設計者向けCAEが設計において『活用』され、なくてはならないツールとして定着することを願う。

最後に、実際の設計は本稿の中で紹介したいいくつかの例のように単純なものではないが、わかりやすくするために、単純化させていただいた。

参考文献

- 1) 吉田：日経デジタルエンジニアリング，48（2002.12）
- 2) 中山：日経デジタルエンジニアリング，49（2003.1）
- 3) 中山：日経デジタルエンジニアリング，49（2003.3）
- 4) 中山：日経デジタルエンジニアリング，117（2003.1）
- 5) 中山：日経デジタルエンジニアリング，57（2003.4）