

解説・展望

車両開発における構造・機構のCAE

小島芳生

Mechanical CAE in Automotive Design

Yoshio Kojima

要 旨

現在の車両開発においては、開発期間の短縮やコストの削減が急務とされている。この目的のため、試作や実験を肩代わりできる数値実験的なCAEは有効な手段として定着している。数値実験CAEは実験ではとらえにくい現象を再現させるような用途から始まって、所望の性能を得るための設計パラメータの最適化機能まで備えるようになった。さらに、設計者CAE (FOA : First Order Analysis) の必要性も議論され始めている。これは今まで必ずしも顧みられることのなかった、企画・概念設計のプロセスに合致するようなCAEであって、新しい設計案の創出や開発期間のさらなる短縮に寄与する。本稿では、CAEが車両開発の効率化にどのように貢献してきたかを概観しつつ、今後どのように貢献していくべきかの考えを述べる。

キーワード 自動車, 構造, 機構, 設計, CAD, CAE, シミュレーション, FOA

Abstract

The urgent issues for automobile companies today are how to reduce the time and cost required for developing a new car. CAE (Computer Aided Engineering) has been regarded as an efficient way to solve these issues, and as a numerical experiment to replace prototypes and experiments. CAE was first introduced to reproduce phenomena that are elusive in regular experiments. Now it is even capable of optimizing the design parameters to achieve the desired performances. Moreover, the necessity for FOA (First Order Analysis) is under current discussion. This refers to the CAE that covers processes such as project planning and grand design, which have not been paid much attention so far. This new CAE is expected to help designers create basic design and to reduce eventually the entire production time. This paper will briefly overview how CAE has contributed to vehicle development and address its future applications.

Keywords Automobile, Body, Structure, Mechanism, Design, CAD, CAE, Simulation, FOA

1. CAEのあるべき姿とは

Computer Aided Engineering (CAE) は、設計・製造分野にタイムリーに解析情報を供給し、これによって今までにない製品や生産を考えたり、既存のものへの大幅な改良を可能にするべく、1980年にSDRCの創設者であるJ. Lemonによって提唱された概念と聞く。彼は次のような言葉で、その理想を謳っている¹⁾。

「今日、CADやNCの導入で迅速な開発が可能になったとしても、現在の状況は依然として“作ってみて試す (built-and-test)” ことに変わりはなく、全ての工程

がコンピュータ上で行われる活動、すなわちCAEによって、初めて抜本的な改革がもたらされると考える。CAEの定着には10年近い期間を要すであろう。さらに、毎年の開発経費の1割に達する多額の投資が必要である。したがって、CAEを推進することは、単なるコンピュータを使う部署の業務にとどまらず、仕事の進め方や会社の組織をも変えることになる。これによって、製品の差別化や開発期間の効率化が加速される。」

1980年代は大手メーカーにCADが入り始めた時期である。ドラフターが設計室から完全に駆逐されるの

は、その後10余年を経た90年代初頭になる。そのような時代に、LemonはCAEという言葉を用いて、CAD-CAMを統合した形のバーチャルプロトタイピング（virtual prototyping）を想定していた。先に述べたように、設計室の完全CAD化は90年代初頭にずれこむが、Lemonの想定する全ての工程がコンピュータ上で行われるようなCAEのコンセンサスが得られるようになったのはむしろ90年代後半に入ってから、3次元CADの導入以降ではないだろうか。

さらに言えば、我々が今日、バーチャルプロトタイピングとCAEとを無意識のうちに使い分けていることに、Lemonが掲げた理想のCAEと今日のそれとの差異を垣間見ることもできる。すなわち、今日、コンピュータハードの発展に引きずられるように、CAEはその解析精度の向上やモデル開発の効率化、ならびに解析結果のディスプレイ技術、等に大半の努力が傾けられてしまっていないだろうか。もちろんそれによる数値実験的な貢献には大いに賞賛されるべきものがある。しかし、CAE本来の創造的な活動を支援する目的が必ずしも省みられていない状況が見受けられはしないだろうか。設計概念の具体化やその妥当性を容易に検証できるような新たな枠組みによるCAEを考える時期にあると思われる。

本稿では、車両開発で用いられる構造・機構系CAEの現況と今後の課題を述べる。具体的にはCAEによって可能になった開発の流れの変革を概観しながら、設計の上流側にさかのぼるべきCAEについての考えを表す。なお、CAEの中身に関する詳しい研究解説は本誌の後の号を予定している。

2. CAEで何が可能になったのか

Vitz, Platz, Fun-Cargo, そしてWiLL-Vi, bB (Fig. 1) は先頭のVitzをベースにしていることは良く知られているが、カローラとスプリンター、マークとチェイサー、クレスト等々に見られる兄弟車的な関係とはやや趣を異にする。Vitzから生まれたPlatz以降はデザイ



Fig. 1 Vitz, Platz, Fun-Cargo, Will-Vi and bB²⁾.

ンや使い方がかなり異なっている。ユーザーにしても、ファミリー、シングル的女性と男性と類別される傾向にあると聞く。このことはトヨタに限ったわけではない。VW GolfとNew-Beetle, Ford LincolnとJaguar S-type, 等々、共通部品の多かれ少なかれの違いこそあれ、その類型は枚挙にいとまがない。このような、ボデーのデザインやパッケージングが異なる派生車が、Vitz発売以来ものの1年を経たないで、市場の反応やモードの先端を反映するがごとく、タイムリーに開発できるようになってきている。乗り心地や操縦性といった従来からある尺度に加えて、最近では、低燃費のための軽量化、衝突安全性、等々、自動車に求められる性能は高度化、複雑化する一方であるにもかかわらず、開発のスピードは上がっている。

3. 開発の迅速化を支える技術

3.1 開発の流れの変革

先のVitzシリーズにおいてはアンダーボデー、サスペンション、エンジン、ならびに駆動系から構成されるプラットフォームと呼ばれる基本台車を共通化し、アッパーボデーを交換している (Fig. 2)。Table 1はVitz派生車の基本諸元であってホイールベースやトレッド等のプラットフォームに関わる寸法はほぼ同様である

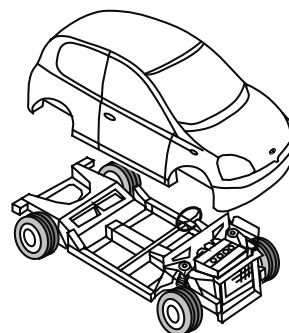


Fig. 2 Passenger car upper-body and platform.

Table 1 Specifications of Vitz, Platz, Fun-Cargo, Will-Vi and bB²⁾.

Main Spec.	Vitz	Platz	Fun-Cargo	WiLL-Vi	bB
Overall Length (mm)	3610	4145	3860	3760	3825
Overall Width (mm)	1660	1660	1660	1660	1690
Overall Height (mm)	1500	1500	1680	1575	1640
Wheelbase (mm)	2370	2370	2500	2370	2500
Tread Width Front (mm)	1450	1450	1440	1450	1450
Rear (mm)	1430	1430	1420	1430	1435
Ground Clearance (mm)	150	150	150	155	165
Interior Length (mm)	1800	1855	1905	1705	1955
Width (mm)	1380	1380	1370	1385	1375
Height (mm)	1265	1265	1290	1330	1355
Suspension Front	Strut/Coil Torsion beam/coil				
Rear					
Delivery year	Jan/1999	Aug/1999	Aug/1999	Jan/2000	Feb/2000

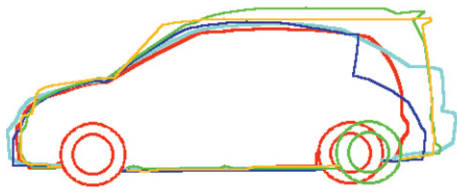


Fig. 3 Outlines of Vitz, Platz, Fun-Cargo, Will-Vi and bB²⁾.

が、アッパーボデーに関わる全高や全長、その外形 (Fig. 3) においてはかなり異なることがわかるだろう。

自動車に限らず、全てのもの作りにおける開発は企画 (Plan) , 設計 (Design) , 試作 (Prototype) , 実験 (Experimental Evaluation) , 製品化 (Production) の段階取りで進められてきた (Fig. 4) 。

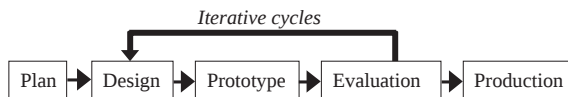


Fig. 4 Conventional development procedure.

すなわち、アイデアを図面化し、実験して失敗を繰り返して良いものを作る、という基本的な順序である。ここで、設計・試作・実験の反復を極力少なくすれば、開発の迅速化が図れることは自明だが、評価・検討項目を省略することはできないし、前述のようにその検討項目は近年、増加傾向にある。そこで、CAEによる検討をその前段に加えることによって、試作前の設計案の完成度を十分に高めることができれば、試作・実験を伴う反復の回数を減らすことができるだろう (Fig. 5) 。

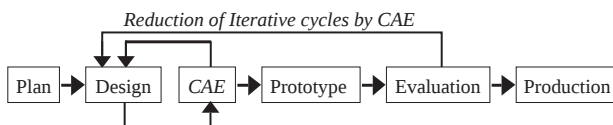


Fig. 5 Development procedure with reduced iterative cycles by CAE.

究極には試作・実験のプロセスを単発近くにもってくることが可能になるだろう (Fig. 6) 。

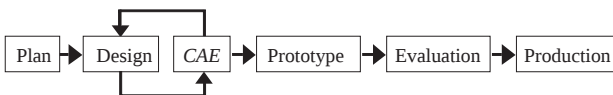


Fig. 6 Development procedure with single prototype step.

ここで用いられるCAEは実験の代替が役割であることから、本稿では数値実験CAE (CAE as numerical experiment) と呼ぶことにする。その対象は自動車の場合、衝突安全性能、NVH (Noise, Vibration, and Harshness) 性能、強度・耐久性能、運動性能などであり、次節ではその中身について概説する。

3.2 数値実験CAE

3.2.1 衝突安全性能

衝突性能については、最近多くのメディアで紹介されているように所轄官庁によるアセスメント³⁾ (いわゆるJNCAP⁴⁾) や各国のアセスメントを参照した社内基準値によって、最も重要視されている項目である。ここで用いられる数値実験CAEは大変形非線形解析であり、最近では、人体モデルと合わせた解析も行われるようになってきた⁵⁾。衝突安全性能では、キャビンは剛で前部のクラッシュアブル域は柔であるような計算上一筋縄ではない弾塑性解析を扱うので、計算に用いる要素数や解析方法も詳細化、複雑化することが避けられない。また、単なる数値実験的な評価から最適化手法を織りこんで所望の性能が得られる設計案を誘導する設計よりの解析⁶⁾へと進展するものと思われる (Fig. 7⁷⁾) 。

3.2.2 強度・耐久性能

衝突性能が剛柔をうまく取り扱う解析を求めたのに対して、強度や耐久性能は局所的な剛性の不連続性を解消することを求める。そのことも手伝い、CAEの導入当初から、例えば応力—ひずみ試験といった単純な試験に置き換わる評価手順として浸透している。ここでも疲労試験のような複雑な現象のCAE化が進んでいる。

3.2.3 NVH性能

衝突や強度に関する性能に比べて、NVH性能は日常の使いやすさに直接つながる要素である。現在、CAE

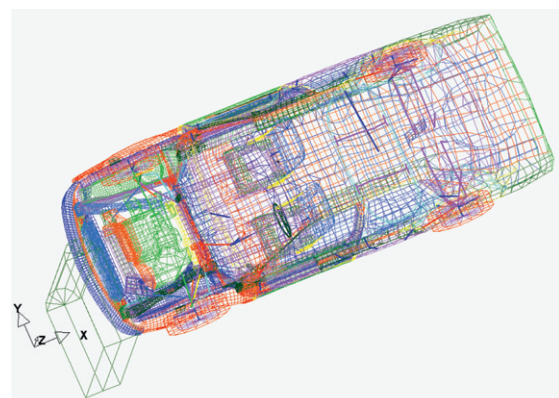


Fig. 7 Crash analysis by FHWA/NHTSA National Crash Analysis Center.

で扱うことができる振動域はおおよそ200Hz以下であって、乗り心地領域の車両低周波振動、エンジン・アイドル振動～低速こもり音、路面ハーシュネス～中高速度こもり音が対象となる。NVH性能は車両全体を計算の対象とすることから、車両をいくつかの部分構造に分離・自由度縮退したのち、それぞれをつなぎ合わせて解析するCMS (Component Mode Synthesis) の手法が多く用いられるようになってきた。さらに、縮退・再生成したモデルからいかに効率よくNV低減策を見出すかが課題となっている^{8,9)}。

3.2.4 運動性能

これまでの構造解析をベースとするCAEに、運動解析を加えることで自動車としての特徴が表れる。ところで、かつて、バイアスタイヤの頃はタイヤ力の限界も小さく(すぐスリップする)、サスやボデーへの入力も小さかったので、タイヤ反力をばねと見たた質点系の運動方程式の時代が長く続いた。ここではin-house (社内製) のプログラムで用が足りていた。ラジアルになると、タイヤの大きな姿勢変化でも相応のタイヤ力が維持され、その結果、大きなタイヤ力を保持できるサス機構やボデー構造の剛性も考慮しなくてはならない。そこで、タイヤの運動、サスペンションの機構学的な運動、ボデーの運動、等の多体運動(マルチボデーダイナミクス)を扱う機構解析ソフトが常用されるようになってきた。それを用いたフルビークルシミュレーション¹⁰⁾も盛んに行われるようになり (Fig. 8¹⁰⁾)、ボデー剛性をいかに効率的に運動と連成させるか¹¹⁾、ブッシュなどの非線形特性をどうモデル化するか¹²⁾など、どれだけ実車、実走行を模擬するかに関心が集まっている。一方、こういった走行数値実験CAEから入力値を算出して、サスペンション部材の強度解析やボデーの振動解析といった、別の数値実験CAEにつなげることも行われている。

3.3 より効率的に

開発のプロセスを早く進めるために、お金と時間のかかる試作を伴う実験解析が数値実験CAEに置き換わってきていることを述べた。次に、図面を描くことと計算をすることの「設計 (CAD)」と「CAE」のループ部分をいかに効率化するかが課題となる。

まず、設計からCAEの向きは自動化 (Automatic modeling) という言葉で表されよう (Fig. 9)。

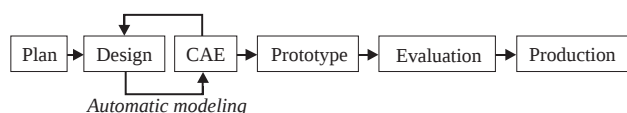


Fig. 9 Automatic modeling function in development procedure.

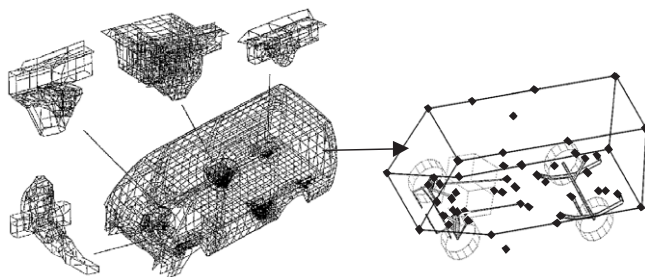


Fig. 8 Multi-body dynamic analysis with body FE model.

詳細なCAEほど精巧な格子データ (メッシュ)、その作成技術、ならびにその技術を有したメッシャーと呼ばれるスタッフが必須になる。優れた試作品とそれを作り出す熟練工と同じこと。実際、メッシュ作成を自動化する機能が市販のCADには備わってきているし、CAE用の格子データからCADデータを再生する機能も出始めている。今日では、むしろこういったCAD/CAEのインターフェースがどれだけ優れているかでCADの優劣が問われるようになってきたといってもよからう。ただし、CADの3D化や要求精度の高度化につれて、CADとCAEのデータ定義方法の溝をいかに埋めていくとか、扁平でない素性の良い形の計算格子をいかに自動生成できるか等の研究は依然として重要であり、このことは幾何学的に解決されるべき問題とともに、FEMの要素開発にも及ぶ基礎的な案件を含む。

次にCAEから設計の方向だが、これは最適化 (Design optimization) という言葉で表せられる (Fig. 10)。

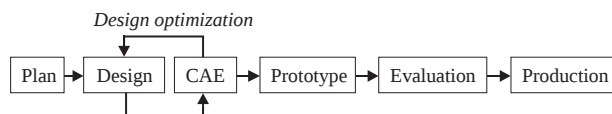


Fig. 10 Design optimization function in development procedure.

最適化 (Optimization) は、最近のCAE研究の大きな潮流である。そこには二通りの考え方があって、まず第一に、設計変数を扱う手法がある。具体的には、設計変数を順に変更しながら、より良い製品性能を導き出すパラメトリック解析と呼ばれる手法や、それらパラメータのうち製品性能に最も効くものを誘導する感度解析などが含まれる。さらに、多数の設計変数を、

どのような範囲とその組み合わせで用いるかを求める実験計画法や、設計変数と製品性能の離散的な関係を、多項式近似して得られる連続的なマップから最適パラメータを導き出す応答曲面法などもその範疇にある。これらは、実験解析を端緒にしたものであるが、CAEの世界でも欠かせないツールとなってきた。

こうしたパラメトリック解析やそれを効果的に行うための感度解析、実験計画法などは、最近の構造解析汎用ソフトには備えられているし、専門に扱う最適化専用ソフトも広く使われている。さらに、こういった最適化専用ツールの強力なインターフェース機能を用いて、異種のソルバーを同時に流せば、空力弾性問題などの連成解析も可能になる。このことは、実用面では重要なこと。つまり、製品性能の向上を目指し、ある現象の支配方程式の解を極めると、往々にして別な支配方程式に関する現象には背反となってしまうからである。周知のように空力弾性問題は航空宇宙分野で発達してきた。連成問題が普通の工学で扱われるようになってきたということは、私たちが手に取る製品でも、今日、その性能は極限化され、単一現象の最適化では済まされなくなっているということになる。

次に、設計しようとする製品の形を直接求める最適化の方法もある。均質化法を基本にしたトポロジー最適化計算法^{13, 14)}であり、条件に応じた最適な形状を生み出すことから、創成技術とも呼ばれる。これらを用いて、例えば、サスペンションアームやパネルの裏に貼る補強材など、荷重の方向がおおむね既知で、軽量化が強く求められ、なおかつ、形状自由度の大きい部品に試行され始めた。ただ実用的には、重量を決めて剛性最大化をねらうという機能に今のところは限られる。先の第一の最適化手法と同様に、今後、構造解析汎用ソフトにもこういった創成機能を具備するものが増えてくると思われる。

4．今後は企画・設計の段階へ

4．1 設計者の視点に立ったCAE

数値実験CAEによって試作と実験の反復を減らし、さらに最適化の機能を用いることで設計案の洗練も可能になることを示した。一方で、数値実験CAEは各種の自動化・最適化機能が拡充されてきたとはいえ、実験的な精度を期待されている以上、計算時間がかかるし、専門的な知識も要求される。すなわち、解析専任部隊の仕事であって、設計者自らが使うには未だにむずかしすぎる。また、実験的な精度は詳しいモデル、つまり製品形状の詳しい情報も求める。そこで、あくまでも設計してCAEにかけるという順となる。冒頭に述べた「設計者の創造的な活動を支援する」というこ

とは、図面として確定する前やその作成途上に適したツールが必要ということに他ならない。企画から構想設計に至る開発の初期段階で、力学的に素性の良い構想設計案を創出したり、その案を評価したりするCAEである。

この役割を果たすCAEを設計者CAE (CAE for designers) と呼ぶことにする。

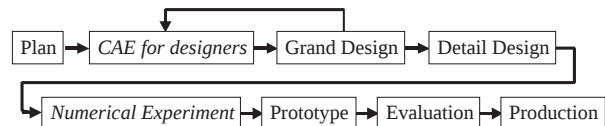


Fig. 11 CAE for designers in the first stage of development procedure.

Fig. 11において、設計者CAEは設計の前に位置することに注意してほしい。ものを形作するためのツールであり、数値実験CAEのような形作られたあとの解析ではない。このことを強調するために、設計段階を概念 (Grand design) と詳細 (Detail design) の二つに分けて表している。設計に概と詳のフェーズがあるのは今に始まったわけではないし。概の段階でしっかり考えておけば、詳に入っても仕事はかどることは、日常よく経験することである。

4．2 設計者CAEの役割

設計者CAEを、次のような設計室の風景をもとに具体化してみたい。

新入社員のA君に「耐荷重1トンで軽量な部材」の企画を与え、設計を担当させたとする。翌日、設計案が提出され、その形状にした理由を試問してみる。彼に尋ねるたびに、その回答が「最適設計ツール○○○ (なんらかの製品名) の結果です」に終始していたら、検図する側は不安にならないか。一方、「○○○で計算しましたが、最終的には大学のノートを引っ張りだして検証しました」と言ってくれたら、安心して検図欄にサインできるはず。つまり、「最適設計ツール」を使ったとしても、その結果を再度、基礎式にもどって検討し、あるいは既存の設計例に照らし合わせて確認したプロセスが、構想を具体化するような設計の作業には求められている。

では、A君の使った最適設計ツールの役割はどこにあったのかというと、新入社員である彼の経験の少なさを補い、期限通りに図面化できた点にある。設計部署では、一人で悩むよりも、早く同僚や先輩に見てもらうことが大切となる。図面という誰でも見えるかたちにしなくては、設計から後続くすべてのプロセス

能になる。

4.3.2 設計対象の特性解析

上記の手順から設計対象の形ができあがったら、スプレッドシートのホームにもどり、解析ボタンをクリックすれば、梁・せん断パネル要素を用いた有限要素モデルを自動作成の後、計算処理から結果の表示を行う。途中、必要に応じて固定位置や荷重の負荷位置、

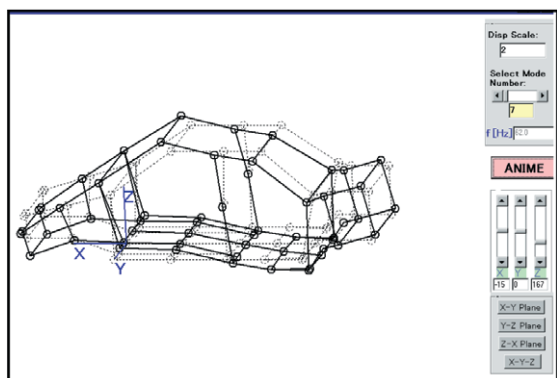
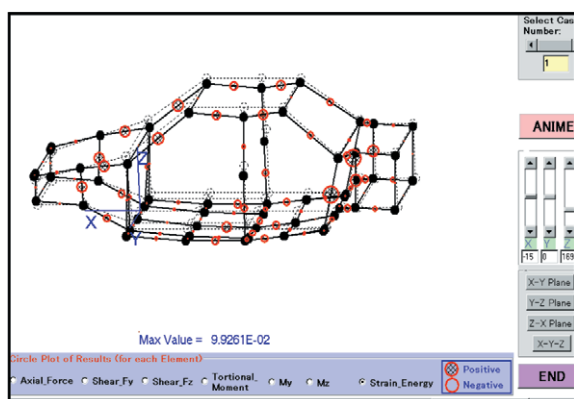


Fig. 15 Static and eigen-value analysis.

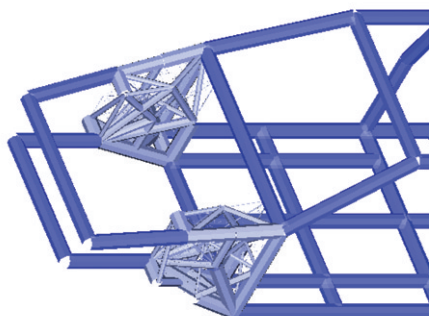


Fig. 16 Optimal design of front frames.

その量等の境界条件を設定する。Fig. 15はその結果の一例であって、ボデー構造の振動特性（モードのアニメーション）と剛性評価時のひずみエネルギー分布を示したものである。こういった特性解析と前段階のモデル作成（設計変更）を、ほぼ同時並行的に進めることによって、設計者は例えば構造物にかかる応力分布の均等化や振動モードの適正化を逐次観察しながら、任された部位の寸法なり、断面形状なりを適正化していくことができる。

4.3.3 トポロジー最適化による構造創成

設計対象の全体あるいは一部分について、新たな形状を求める必要も出てくるだろう。その場合、骨組構造のトポロジー最適化を用いて推奨構造の創成を可能としている。Fig. 16はボデー前端部と車室部の結合部分の計算結果を示したものである。計算方法はグラントストラクチャ法をベースにしている。すなわち、設計領域内に多数の節点を作成し、節点間を梁要素で結合させ、境界条件等を入力後、最適化計算にて不要な梁を除去し、有効な梁のみを残し、作用する力に応じて細・太径化させる。その結果、最適な梁構造が得られる。ここで、設計者は設計領域と境界条件を設定すれば、グラントストラクチャの作成から結果の表示まで自動的に進行する。得られた梁構造を再度、前段階の解析にかければその特性の理解や妥当性をチェックすることも可能となるだろう。

4.3.4 FOAで何を可能とするのか

上記がFOAの基本的な構成となる。ボデー構造を扱うFOAは材料力学の知識をパソコン上に構築し、設計手順に沿った形で、部品・製品（全体）性能の計算結果を逐次、設計者に提供できるようなユーザーインターフェースを備えたものである（Fig. 17）。

FOAは今まで必ずしも顧みられなかった設計の初期段階に向けられた設計者のためのCAEである。設計者

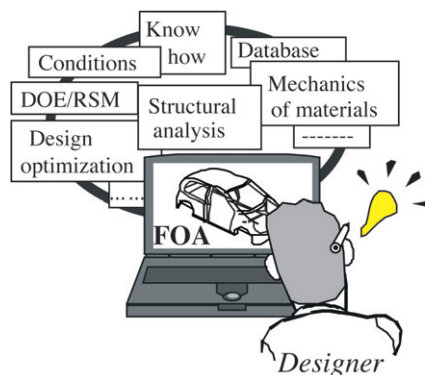


Fig. 17 FOA for automotive body structure design.

自らが使え、解析時間が極めて短く、設計の手順に沿った形態であることが求められる。設計案AとBを比べて、Aの方が良いと力学の知識を用いて即座に判断できることが重要であり、さらに、自分が設計している部分が製品としての最終性能にどれくらい影響するかとか、革新的な構造・機構設計へのチャレンジ等、各自のモチベーションにも応えられるものとしたい。数値実験CAEが実現象に近づくことを第一とするならば、FOAは設計者の思考プロセスに近づくことが主眼目となる。

我々が今後の課題として考えていることに衝突性能や運動性能などがある。これらは設計者によって、どのように構想されてどのように形に置き換えられているのか、そのプロセスをトレースするところから考えていかなければならないだろう。さらに、今までに蓄積された既存の設計ノウハウとの親和性も備えたものでなくてはならない。これは、データベースから所望の事例を取り出し、その事例にノウハウや理屈付けなどの加工を施しながら、設計者に提供するという機能として実現されるだろう。

本稿前段で述べたように、CAEの進展によって「もの作り」やそれを取り巻く環境に変革がもたらされ始めている。別な観点からすれば、CAEによる試作や実験工数の低減は、それらの技術の健全な継承と発展を阻害する可能性もある。新たな枠組みをもつCAEによって、少なくとも今までの技術ノウハウが有効活用されるようになり、そして構造・機構の設計が身近なものとなれば、いろいろな人たちが自分のアイデアを具体化し、アピールできるようになるかもしれない。そこから、新しいビジネスの形態も生まれてくるだろうと、私たちは夢見ている。

5. あとがき

本稿では、車両開発の進展を概観しながら、数値実験的なCAEが果たしてきた役割とその課題について考察した。そして、設計の上流側にさかのぼるべきCAEとして設計者のためのCAEを考え、その具体例としてFOA（ファーストオーダーアナリシス）の基本的な形態を紹介した。

本稿の記述内容は当所の理事であって、ミシガン大学教授である菊池昇先生の指導と機械力学研究室の研究スタッフとの議論をもとにしている。

参考文献

- 1) Lemon, J. R., Tolani, S. K. and Klosterman, A. L. : "Integration and Implementation of Computer Aided Engineering and Related Manufacturing Capabilities into Mechanical Product Development Process" (1980), Gi-Jahrestagung
- 2) トヨタ自動車(株)の各社新型車解説書
- 3) 運輸省告示第651号：自動車安全性能評価実施要領 [引用2000-07-01]. Available from Internet : <URL: http://www.motnet.go.jp/carinf/ast/ast_m_f_kok02_.htm>
- 4) 政府出資法人 自動車事故対策センター [引用2000-07-01] Available from Internet : <URL: <http://www.osa.go.jp>>
- 5) Happee, R., et al. : "Body Modeling in Injury Biomechanics", 自動車技術会学術講演会前刷集, No.60-99(1999)
- 6) 吉本, ほか : "自動車衝突安全設計における補強部材の多目的最適化", 自動車技術会学術講演会前刷集, No.57-99(1999)
- 7) FHWA/NHTSA Nat. Crash Analysis Center [Cited July 1, 2000], Available from Internet : <URL: <http://www.ncac.gwu.edu/main.html>>
- 8) Moeller, M. J., et al. : "NVH CAE Quality Metrics", SAE Tech. Pap. Ser., No.1999-01-1791(1999)
- 9) Freymann, R., et al. : "A New Optimization Approach in the Field of Structure-Acoustic", SAE Tech. Pap. Ser., No.2000-01-0729 (2000)
- 10) Sugiura, H., et al. : "Multibody Dynamic Analysis of Vehicle in Consideration of Body Stiffness Using Finite Element Model", Proc. of IPC-9, 1(1997), 151 ~ 156
- 11) 小林, ほか : "CAEを用いた実走行フルビークル仮想試作", 自動車技術, 52-12(1998), 46 ~ 51
- 12) Lim, J., et al. : "Identification of Forces Transmitted onto Car Body through Rubber Bushings in Suspension System under Driving Conditions", SAE Tech. Pap. Ser., No.1999-01-1841 (1999)
- 13) Suzuki, K., Kikuchi, N. : "A Homogenization Method for Shape and Topology Optimization", Comp. Methods. Appl. Mech. Eng., 93 (1991), 291 ~ 318
- 14) Nishiwaki, S., et al. : "Optimal Structural Design Considering Flexibility", Comp. Methods. Appl. Mech. Eng., (to appear)
- 15) Nishigaki, H., Nishiwaki, S., Amago, T. and Kikuchi, N. : "First Order Analysis for Automotive Body Structure Design", ASME DETC2000/DAC-14533 (2000)

(2000年8月1日原稿受付)

著者紹介



小島芳生 Yoshio Kojima
 生年：1958年。
 所属：機械力学研究室。
 分野：設計者向けのCAEに関する研究・開発。
 学会等：日本機械学会，自動車技術会会員。
 1991年R&D100選受賞。
 工学博士。