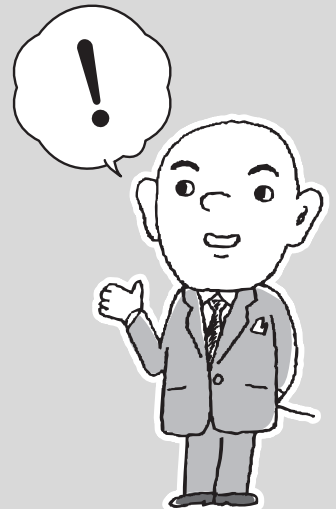


第1章 CAEの概要と 数値解析手法

本章では、“CAEって何だろう？”“CAEって何のために使うのだろう？”“CAEの土台になっている計算はどうするのだろう？”などの疑問をひも解きながら学びたいと思います。

- 1.0 CAE (Computer Aided Engineering) とは？
- 1.1 CAE はなぜ生まれ、何ができるのか？
- 1.2 CAE 活用のメリットは？
CAE を活用するために何が必要か？
- 1.3 CAE の構成式・連続体の力学と数値解析手法



1.0 CAE (Computer Aided Engineering)とは?

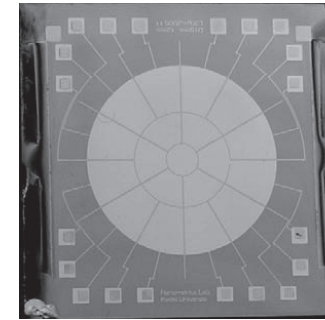
近年 IT (Information Technology) の高度化により、コンピュータ技術を活用して製品の設計・製造や工程設計の検討の支援が行われている。その中でも特にシミュレーションに使われている CAE は、「有限要素法などの数値解析手法を用いて、工学的な計算をコンピュータによって支援すること・またはそれを行うツール全般」を指す。本書では、この CAE について学んでいくが、それでは、なぜ CAE は生まれ、なぜ必要とされているのだろうか？

1.1 CAE はなぜ生まれ、何ができるのか？

そもそも、CAE はなぜ生まれたのか？ その起源は、1950 年代から 60 年代、航空機の翼の剛性計算や機体強度などの複雑な計算をコンピュータでできないかという研究から端を発している。いわば、「**CAE は、複雑な設計形状でも速く計算してくれる高度な計算機**」の役割として生まれたのである。その研究の成果として、有限要素法を用いた CAE が NASA のアポロ宇宙船の開発などで活用され、商用化されるに至った。その後、熱や流体・電磁場など、その他の工学分野へ CAE の計算方法が適用されたこと、グラフィカルインターフェースやコンピュータの処理能力の発達により、CAE は以下のことを行えるようになったのである。

- ・「**CAE は、さまざまな工学計算が可能 (マルチフィジックス)**」
- ・「**CAE は、ミクロのような小さなものから地球規模の大きなものまでの工学計算が可能 (マルチスケール)**」

- ・「**CAE は、現象を可視化してくれる。応力や温度、電磁場や、物体の内部など、通常は見えないものを可視化してくれる。**」



(a) 電極面

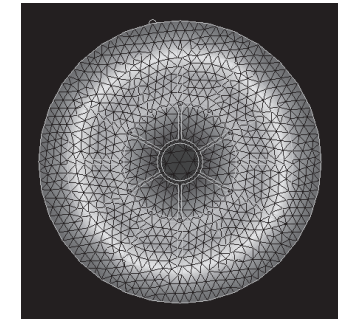
(b) 解析結果
(電圧を印加したときの変位)

図 1.1.1 CAE 解析事例 (Piezo electric MEMS)

出展：京都大学大学院工学研究科 マイクロエンジニアリング専攻
ナノメトリックス工学研究室

使用 CAE ソフトウェア：MemsONE (MEMS Open Network Engineering System of Design Tools。経済産業省/NEDO 技術開発機構の委託を受けた「MEMS 用設計・解析支援システム開発プロジェクト」にて開発。)

従来、CAE は航空機や船舶という大きな構造物に適用されていましたが、最近では、ミクロ・ナノの領域にも使われているんだよ。



それでは、CAE を活用する効果はどこにあるのだろうか？

1.2

CAE活用のメリットは？ CAEを活用するために何が必要か？

CAEを活用するメリットとして、最初に挙げられるのが、「現象の解明」である。ものづくり現場で言うと「**A. 不具合原因の解明**」である。

どのような大きさ・複雑な形状でも、応力・温度等の物理現象を計算した上で可視化することができる。しかも、寸法を変更したり、材料を変更した計算が行え、さらには様々な使用条件に対応した計算も可能であるので、それぞれの要因の影響を分析することができる。工学として説明できる現象であること、材料定数などのデータがあるものという前提条件があるが、製品の故障の原因を定量化して評価・予測することができる。このようなCAEの利点を活かし、「重大クレームの撲滅」に大きな効果をあげることができる。

それでは、製作前の「予測」にCAEを活用することはできないか？

そもそも本来のCAE活用の目的でもあったことであるが、これがCAE活用

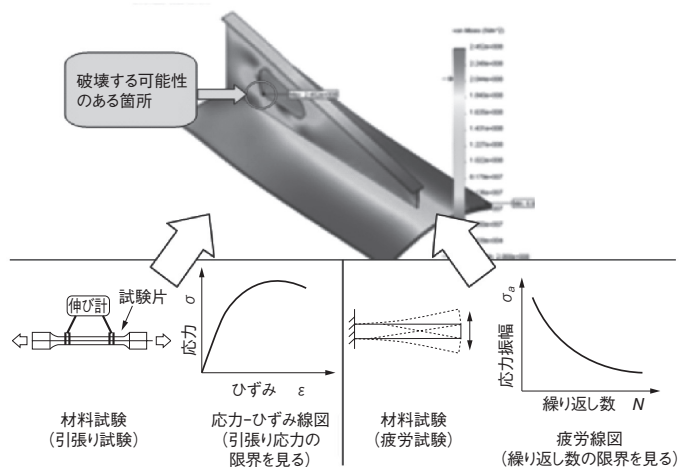


図 1.2.1 CAEによる製品の強度—寿命予測

の2番目の効果、「**B. 材料試験データ（強度・寿命試験データ）などから、製品の強度・寿命を予測する**」ことである。

図 1.2.1 に示すように、使用する材料の強度や疲労寿命に関する基礎データを持っていれば、製品設計を行う際に、仕様やある程度の形状が決まった段階で製品の強度や寿命をCAEで予測することができる。また、CAEはコンピュータ上で形状をフレキシブルに変更することができるので、仮想試作が可能となる。CAEの効果の3番目は「**C. 試作の代わりにさまざまな設計検証が行える（試作の代替）**」である。ロケット、航空機および船舶などの大型設備はもちろんのこと、最近ではコンピュータおよび3次元CADを含むCAEソフトウェアの低価格化により、試作の代わりにCAEを活用する製造業は増えてきている。

以上のA、B、Cの効果が得られるようなCAEの活用ができるようになれば、製品のQCD（Quality：品質、Cost：コスト、Delivery：納期）を向上することができ、図 1.2.2 に示すようなITを駆使したフロントローディング型設計の実現へと近づくことができる。

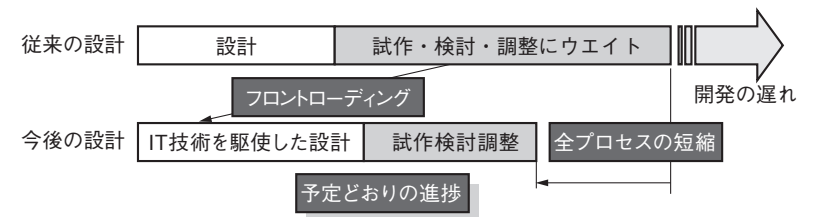


図 1.2.2 技術開発におけるIT化のイメージ

かつては、概要設計から詳細設計・試作へと工程を進めてはじめて、試験・評価を行っていたが、この繰り返しが開発リードタイムを長くし、また、多くのコストがかかっていた。CAEを用いた場合、コンピュータ上でのシミュレーションにより試験を行い、少ない試作回数で、製品の品質評価等が可能になる。また、CAEを活用するためのIT環境は整ってきている。製造業の技術者は、フロントローディング型設計を目指し、ぜひCAEを活用してほしい。

それでは、これだけ効果が期待できるCAEがなぜ、現場に浸透していないのか？かつてはCAEの普及を妨げる要因として投資対効果やCAEの操作性の問題が指摘されていた。しかし最近はそれだけではなく、下記のようなトラブルや課題点が現場で顕在化してきている。

- ・入力ミスによる計算間違い（例えば境界条件や材料定数の入力ミス）。
- ・CAE計算手法特有のトラブル。
 - 計算が収束しない。計算時間がかかりすぎる。
- ・計算結果をどのように評価してよいかわからない。
 - 疲労って何？亀裂って、解析結果からどう評価したらいいの？

上記のようなトラブルを避け、CAEを活用するためには具体的にどのようなノウハウが必要なのか？それを図1.2.3にまとめた。

CAEを活用するには、

- ①設計業務に対するCAE活用ノウハウ
- ②CAE特有のノウハウ
- ③CAE利用環境の構築

設計業務に対するCAE活用ノウハウ

- ・商品の機能検証と、制約条件とのすり合わせ
- ・設計課題を明確にする、仮説と検証型アプローチ
- ・土台となる基礎工学を用いた対策
- ・強度設計、寿命予測、放熱対策、耐ノイズ設計

CAE特有のノウハウ（計算力学に関する基礎知識）

- ・有限要素法、拘束条件の設定方法、メッシュ分割方法
- ・非線形解析設定、収束演算のテクニック

CAE利用環境の構築

- ・CAEソフトの操作性向上、大規模計算への対応
- ・解析結果集計の自動化

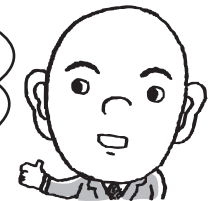
図1.2.3 CAE活用に必要なこと

がある。

①は、その中でも、材料力学・熱工学・流体工学などの基礎工学と、現場での設計ノウハウに分かれる。②は、有限要素法などの計算力学に関する基礎知識とそれを土台としたCAEの設定テクニックになる。③はCAEソフトウェアに関連するITインフラ環境の構築ノウハウになる。③は、CAEベンダー、ITベンダーと各企業のITインフラ担当部門に任せる部分が多いが、製造業の技術者には①は自身が専門とする領域については学習し、②については、基本的な事項について、習得してほしいところである。本書は、製造業の技術者向けを意識して、図1.2.3に示す「設計業務に対するCAE活用ノウハウ」「CAE特有のノウハウ」に必要な数値解析手法についてまとめているので、これらをぜひ習得し、設計現場でCAEを活用してほしい。

1.3 CAEの構成式・連続体の力学と数値解析手法

ここでは、後の章につながる概要のお話をします。ちょっと難しい話もでてきますので、全部理解する必要はありません。流し読みをした後で、もう一度読み返してください。



1.3.1 CAEの構成式

本章では、代表的な構造解析CAEを例に、基礎式とシステムの概要について紹介する。図1.3.1にCAEの基礎式と入出力データを示す。

CAEでは、形状・材料および境界条件（荷重・拘束）などの入力情報をもとに、有限要素法などの数値解析手法を用いて、形状を有限の要素に離散化し、