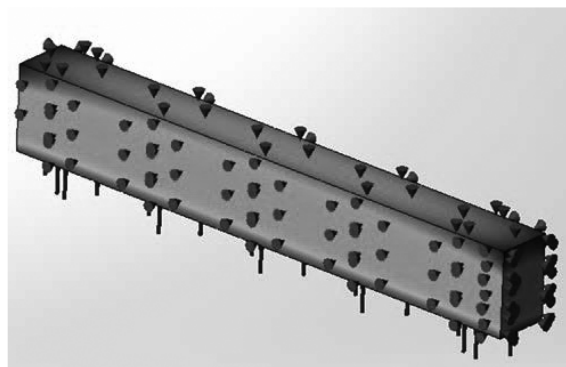
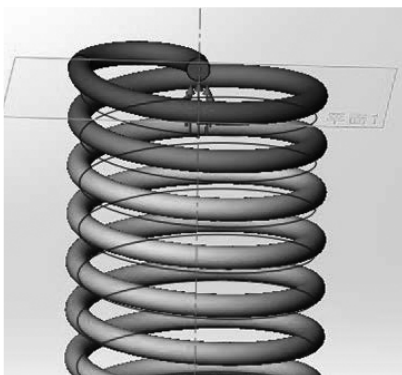


# SOLIDWORKS

## による CAE 教室

— 構造解析/振動解析/伝熱解析 —

篠原主勲 著



コロナ社

## まえがき

大学で機械工学の分野を専攻すると、2年生あたりから、材料力学、機械力学（振動工学）、流体力学、熱力学（伝熱工学）からなる4力などの聞きなれない言葉が講義で飛び交うようになります。教科書を見ると、これらの概念が理路整然とした理論式でまとめられているのですが、このような式が結局のところ、何を意味しているのか、よく理解できずに苦しむ学生を多く見かけます。教える側の教員は、教科書にある挿絵を見せながら、どのような現象かを説明しますが、なかなか学生の理解が得られません。例えば、機械力学（振動工学）の重要なキーワードに固有振動モードという言葉があります。教科書を見ると、必ず梁の振動モードの説明があり、梁のどこが節でどこが腹か？（節は動きがない位置を示し、腹は最も揺れ動く位置）などの詳細な説明があります。しかし、教科書の挿絵（静止した絵）を見ながらの講義では、学生の反応はいまひとつであることが多いように感じられます。

本書の作成のきっかけは2015年ごろで、新カリキュラムにCAE教育を取り入れたいとの教室会議での議論でした。企業でのCAEの役割は“試作や試験の回数を減らして開発コストを削減すること”でした。著者が企業で勤務した20年くらい前は、“CAEソフトの使い勝手が悪い”、“何をやっているかわからない”など、設計現場からのクレームが多く、CAEソフトを設計に役立てる企業は一部に限られていたように思います。また、著者が大学に入学した時代は1990年代であり、当時はパソコンやCAEソフトといったものはありましたが、非常に高価で一般の学生がすぐに入手できるといったものではありませんでした。しかし2020年現在において、20年前のCAEソフトウェアと比較し、思った以上にSOLIDWORKSの操作性が向上し、学部学生でも難なく使いこなせることがよくわかりました。またCAEソフトは非常に安価（もしくはフリー）になり、さまざまなセミナー（CAE懇話会：<http://www.cae21.org/>）や、CAE技術者資格認定（<https://www.jsme.or.jp/cee/>）などが整備されたのも相まって、近年、企業への導入がますます加速しています。企業採用担当者との会話などを通し、著者がイメージする20年前のCAEとまったく状況が異なっていることがよくわかりました。このようなCAEを取り巻く社会背景の中、CAEソフトを利用し、この4力を学生にスムーズに理解させることができなかと考えるようになりました。

CAEソフトがすばらしいのは、グラフィカルな可視化により、どのような物理現象が生じるか、何となくですが、直観的に見てわかることです。また、CAEソフトを用いた演習系の授業であれば、形状やメッシュ、もしくは解析結果のグラフなどを作成する作業が必要になります。それらの作業を通し、座学による講義では集中力が維持できない学生が4力に興味を持ってくれるのではないかと期待し、本書を執筆しました。一般にCAEソフトは製品の改善や改良などに用います。本書では座学で勉強する理論を理解するため、CAEによる解析を実施している点が大きく異なります。そのため、実機形状などの複雑な形状の解析は行いませ

ん。円柱や長方形などの簡易形状を対象に FEM 解析を行います。それらの解析結果の理解を深めてもらうため、解析結果を必ず、理論値と比較します。

本来ならば、理論を実証するために実験を通して計測する方法が一般的で、中学校などでは実験を行うことが義務付けられています。中学校で実施する実験は限定的な簡易実験であるため、限られた時間内で実施することができます。一方で大学は、幅広い分野で内容も高度であるため、限られた時間内で、教科書記載の理論式を 1 つ 1 つ実験で実証する時間はありません。しかし CAE 機能を駆使すれば、実験器具を用いずに、短時間で簡単に美しいアニメーションやコンター図で 4 力の物理現象を再現できます。このような実験を CAE で実施したいということで、本書のタイトルを CAE 教室としてみました。

ソフトウェアとして SOLIDWORKS を用いた理由は、教育機関であれば非常に安価な価格設定であるからです。CAE のみならず、CAD のマニュアルも豊富でユーザー数も多く、使い勝手がよいからです。また 2018 年においては SOLIDWORKS に CAM 機能が搭載されました。そのため SOLIDWORKS は、2 次元図面、3 次元図面、解析・シミュレーション・評価、機械工作までの作業を一貫して実施できる CAD/CAM/CAE ソフトウェアになりました。すべて SOLIDWORKS にて実施できるということは、煩雑な操作方法の学習時間を軽減し、効率的に CAD/CAM/CAE の本質について学生への教育を施すことが可能であることを意味します。SOLIDWORKS は、CAE 初心者が取り組みやすいソフトだと思います。煩雑なパラメータの設定を必要とせず、SOLIDWORKS がすべて自動的に処理します。そのため必要最低限の操作手順さえ行えば、何かしらの結果が得られます。ただし一方で SOLIDWORKS のデメリットもあり、解析ができないものもあります。例えば、衝突解析はできません。すでに部材と部材が接触しているような接触解析については、解析可能です。しかし、初期状態において、部材と部材が接触しておらず、時間が経過した後に、それらの部材がたがいに衝突し、接触するような弾塑性解析を SOLIDWORKS で実施することはできません。また大規模並列解析などの機能がないため、計算精度の向上にも限界があります。実際のものづくりの開発現場で用いられる高機能 CAE ソフトについて、参考までにいくつか挙げておきます。

ANSYS, Nastran, Marc, LS-DYNA, ABAQUS, Altair RADIOSS

本書を通して、一人でも CAE の分野に興味を持ってもらい、CAE の普及促進の一助になればと思っています。

CAE 教育においてソフトウェアの使い方に終始するのではなく、各種力学の知識の重要性を前提に、シミュレーションを体感しながら、知識の定着を図るというコンセプトを理解し、本書出版に尽力いただきましたコロナ社に感謝申し上げます。

2020 年 1 月

篠原主勲

# 目 次

## 1. CAE

1.1 CAE とは	1
1.2 CAE 専門用語	1
1.2.1 FEM	1
1.2.2 メッシュ	1
1.2.3 節点と要素	2
1.3 なぜ相対誤差が生じるのか？	2
1.4 ベクトルと行列	2

## 2. 共通操作

2.1 マウス操作	4
2.2 プリントスクリーン	4
2.3 SOLIDWORKS の画面構成	5
2.4 メニューバー	5
2.5 Command Manager メニューバー	5
2.6 ビューツールバー	6
2.7 共通操作	6

## 3. 引張り（線形静解析）

3.1 円柱の引張り	28
3.2 応力とひずみ	28
3.3 静解析（線形静解析）	28
3.4 線形静解析による円柱の引張りを解析してみましょう	29
3.5 操作手順	30
3.6 課題解答例	37

## 4. 引張り（非線形静解析）

4.1 材料非線形解析による円柱の引張り	39
4.2 非線形解析	39
4.3 線形と非線形	39
4.4 陽関数と陰関数	41

4.5	材料非線形の計算	42
4.6	非線形静解析による円柱の引張りを解析してみましょう	44
4.7	操作手順	45
4.8	課題解答例	49

## 5. 梁のたわみ (線形静解析)

5.1	梁のたわみ	50
5.2	梁のたわみの理論	50
5.3	梁のたわみや曲げ応力を求めてみましょう	51
5.4	操作手順	52
5.5	課題解答例	61

## 6. 円柱のねじり (線形静解析)

6.1	円柱のねじり	64
6.2	ねじり応力の理論	64
6.3	ねじり応力と最大主応力	65
6.4	円柱のねじり応力とねじり角を求めてみましょう	68
6.5	操作手順	69
6.6	課題解答例	77

## 7. ばね (線形静解析)

7.1	ばね	79
7.2	ばねの理論	79
7.2.1	ばね断面に負荷するせん断応力	79
7.2.2	ばねの伸び	80
7.3	ばねのせん断応力および伸び量を求めてみましょう	81
7.4	操作手順	81
7.5	課題解答例	90

## 8. ヘルツ接触応力 (非線形静解析)

8.1	接触解析	91
8.2	ヘルツ接触理論	91
8.2.1	球と球が接触している状態	92
8.2.2	球と板が接触している状態	92
8.2.3	円柱と円柱, 円柱と板が接触している状態	93
8.3	接触する構造物を解析してみましょう	94

8.4 操作手順	95
8.5 課題解答例	102
8.6 付録 (メッシュサイズの調整)	103

## 9. 一自由度系の振動 (過渡応答解析)

9.1 振動解析	107
9.2 線形動解析	107
9.3 一自由度系の減衰自由振動	107
9.4 減衰がない一自由度系の振動	108
9.5 減衰係数の求め方	109
9.6 ばね定数の求め方	111
9.7 一自由度系の自由振動を解析してみましょう	112
9.8 操作手順	113
9.9 課題解答例	120

## 10. 一自由度系の振動 (周波数応答解析)

10.1 周波数応答解析	123
10.2 一自由度系の減衰強制振動	123
10.3 一自由度系の強制振動の減衰の求め方	124
10.4 一自由度系の周波数応答を解析してみましょう	125
10.5 操作手順	126
10.6 課題解答例	135

## 11. 梁の振動 (線形動解析)

11.1 梁の振動解析	137
11.2 梁の固有振動数	137
11.3 梁の振動を解析してみましょう	138
11.4 操作手順	139
11.5 課題解答例	146

## 12. 円環の振動 (線形動解析)

12.1 円環の振動解析	147
12.2 円環の固有振動数	147
12.3 円環の振動を解析してみましょう	147
12.4 操作手順	148

12.5	課題解答例	157
------	-------	-----

### 13. 斜面を滑る物体の運動 (非線形動解析)

13.1	非線形動解析	158
13.2	斜面上を滑る物体の運動方程式	159
13.3	斜面を滑る物体の解析モデルを作成してみましょう	160
13.4	操作手順	161
13.5	課題解答例	171

### 14. 熱の伝わり方 (伝熱解析)

14.1	伝熱解析	173
14.2	3次元伝熱解析における支配方程式	173
14.3	熱伝導率 (フーリエの法則)	174
14.4	熱伝達率 (ニュートンの冷却の法則)	175
14.5	窓ガラスの解析モデルを作成してみましょう	176
14.6	操作手順	177
14.7	課題解答例	179

### 15. 熱応力 (構造-熱連成解析)

15.1	熱応力	181
15.2	構造-熱の連成解析	181
15.3	熱応力の定式化	181
15.4	三層帯板	181
15.5	三層帯板の解析モデルを作成してみましょう	183
15.6	操作手順	183
15.7	課題解答例	191

索 引	193
-----	-----

# 1章 CAE

## 1.1 CAEとは

CAEとはComputer Aided Engineeringの頭文字をとった造語で、日本語ではコンピュータ支援工学などと訳されます。これまで、宇宙、航空、自動車などのメーカーでは、安全な“もの”を作るため、試作機を何台も作成し、実験を行っていました。しかし、現在では、コンピュータの発展により、実際に起こる物理現象をコンピュータの画面上で行い、“もの”の安全性を確認することができるようになりました。実験と比較し、CAEは、実際の“もの”を作成せずに、仮想空間の中で、コンピュータ環境の資源がある限り、何度も実験を繰り返すことができます。そのため、ものづくりの開発期間短縮と低コスト化に直結するため、さまざまな企業がCAE技術を取り入れるようになりました。

## 1.2 CAE 専門用語

CAEによる解析を実施すると、CAE特有の操作が必要になります。この操作を理解してもらうための専門用語をあらかじめ理解しておく必要があります。

### 1.2.1 FEM

FEMはFinite Element Methodの頭文字をとった造語で、日本語では**有限要素法**となります。微分方程式を解くための数値解析手法になります。材料力学、機械力学、流体力学、熱力学（伝熱工学）などの分野では、自然現象による法則をさまざまな微分方程式を用い、表現します。一般にそれらの微分方程式では厳密な正解を得ることができません。しかし、数値解析を用いれば、厳密な正解は得られないのですが、ほぼ正解に近い値になる近似解を得ることができます。FEMは近似解を得るための代表的な手法の1つになります。FEMは数学的に理路整然とした数値解析手法ですが、この方法を理解するためには高度な数学をよく理解する必要があります。SOLIDWORKSはこのFEMによる数値解析手法をブラックボックス化し、ユーザーに意識させないような仕組みになっています。

### 1.2.2 メッシュ

CADで作成した形状は、線、面積、体積などの組合せで作成されます。この線、面積、体積には空間方向の領域があります。FEMによる数値解析を実施するためには、CADで作成した形状、すなわち空間領域を一定の規則に従って分割していく作業が必要になります。四面体や六面体などを用いることで形状を細かい小領域に分割します。この小領域を要素と呼びます。この分割された格子状のものをメッシュと呼びます。当然ですが、形状がない場合は解析領域もないため、メッシュを作成することはできません。



### 1.2.3 節点と要素

SOLIDWORKS では、一定の規則に従って形状を分割する方法として四面体を用います。メッシュを作成すると、形状全体は小さい四面体で埋め尽くされます。別の言い方をすれば、メッシュ形状は、四面体をうまく組み合わせることで、CAD 形状を表現していることとなります。四面体には4つの頂点があります。有限要素法ではこれらの頂点を**節点**と呼び、四面体自体を**要素**と呼びます。

## 1.3 なぜ相対誤差が生じるのか？

本書では、SOLIDWORKS 解析による**解析値**が、**理論値**よりどの程度離れているかを示す**相対誤差**を用い、定量的に解析値と理論値を比較します。

ところで、なぜ相対誤差が生じるのでしょうか。さまざまな理由が考えられますが、一般にはメッシュの粗密に依存しています。**メッシュの粗密**とは、大きい要素を用いて解析領域を分割した場合にはメッシュは粗であるといい、解析値の精度が低下します。小さい要素を用い、解析領域を分割した場合には、メッシュは密であるといい、SOLIDWORKS 解析値の精度が向上します。

ではなぜメッシュの粗密でこのようなことが生じるのでしょうか。CAD 形状を構成する線、面積、体積は空間方向に連続です。例えば、無数の点を一直線に並べると線になります。無数の点ですから、点の数は無限にあります。SOLIDWORKS による解析を実施するためには、連続であるものを**メッシュ分割**することで、有限の個数に分割する作業が必要になります。有限の個数で線を分割すると、線を分割した点と点の間は、解析に考慮されません。その間の情報は消えてなくなります。部分的に情報が消失した状態で解析を実施するため、正しい解が得られなくなります。そのため、SOLIDWORKS 解析値と理論値に差が生じます。この差を、**離散化誤差**あるいは切り捨て誤差と呼びます。本書では、相対誤差を誤差と略記します。

ではなぜ常にメッシュを密にしないのでしょうか。それはメッシュを密にすればするほど、解析時間やデータ容量が増大するためです。特に流体解析では数週間の計算時間を必要とするケースが多いため、パソコンが高性能であることが要求されます。

## 1.4 ベクトルと行列

メッシュ分割を行うと、CAD 形状に複数の節点が作成されます。有限要素法では、解析終了後に、それぞれの節点に対してそれぞれの値を出力します。節点数分の大量の数値データを出力するため、これらの値をうまく整理する必要があります。各節点の値を  $f_1, f_2, \dots, f_n$  とします。これらの値を1つのセット  $\{f\}$  として次式のように扱ってみましょう。

$$\{f\} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{Bmatrix} \tag{1.1}$$

このように縦に1列に並べた数値をベクトルと呼び、記号  $f$  に括弧  $\{ \}$  をつけます。次に材料の剛性について考えてみましょう。この剛性を簡単に考えてもらうため、“ばね”とみなし、イメージしてもらえばいいでしょう。ばねを表現するためには2つの端点が必要です。図 1.1 に示すようにメッシュ分割後に複数の節点で作成されます。

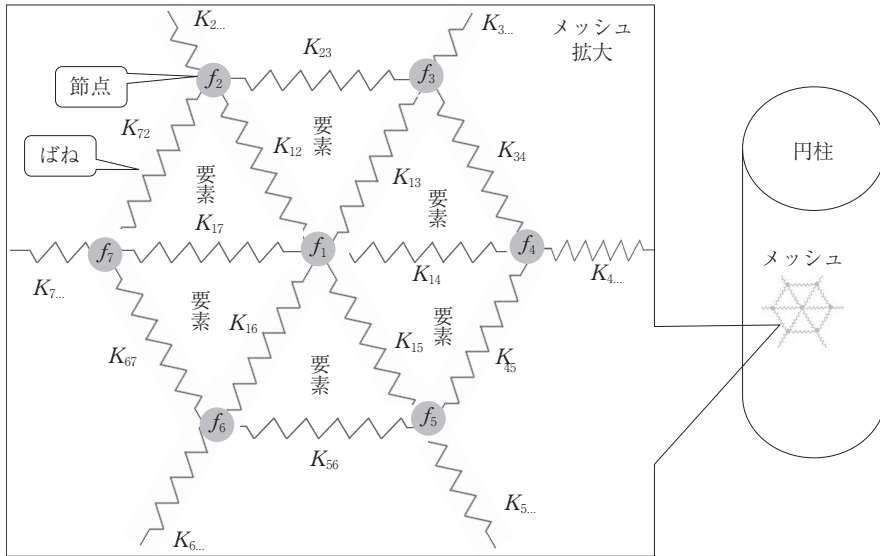


図 1.1 節点および要素

1つの節点が複数の隣の節点とばねで接続されるので、剛性は次式の行列で表現されます。

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \cdots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \cdots & K_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{n1} & K_{n2} & \cdots & K_{nn} \end{bmatrix} \tag{1.2}$$

このように縦と横に並べた数値を行列と呼び、記号  $K$  に括弧  $[ ]$  をつけます。また  $[ ]^{-1}$  の“-1”は逆行列を示します。図 1.1 はイメージであり、図 1.1 の絵と式 (1.2) の記号は必ずしも一対一に対応していないため、注意してください。正確には“要素剛性マトリックスの重ね合わせ”が必要です。詳細については有限要素法に関する書籍を参考にしてください。また、行列の演算方法については線形代数の書籍を参考にしてください。

## 2章 共通操作

本章では、SOLIDWORKS による作業を始める前に必要な用語、および共通操作の説明について述べます。

### 2.1 マウス操作

SOLIDWORKS ではマウス (図 2.1) で画面に現れるポインタを操作し、作業を行います。ポインタ (図 2.2) は一般には矢印の形をしています。マウスには左ボタンと右ボタン、およびホイールがあります。表 2.1 にマウス操作の基本、図 2.1 にマウスの図解をまとめました。

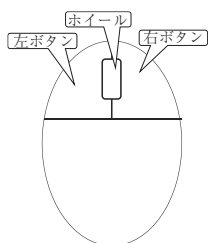


図 2.1 マウス



図 2.2 ポインタ

表 2.1 マウス操作の基本

用語	内容
左クリック	マウスの左ボタン (図 2.1) を指ですばやく押し、すばやくその指を離すこと。本書中に『クリック』との記載があれば、左クリックを行うことを指す。
右クリック	マウスの右ボタン (図 2.1) を指ですばやく押し、すばやくその指を離すこと。
ダブルクリック	マウスの左ボタンもしくは右ボタンのクリックを連続で 2 回行うこと。
ドラッグ	右ボタンもしくは左ボタンを指で押したまま、ポインタを移動し、指を離すこと。

### 2.2 プリントスクリーン

プリントスクリーン (PrintScreen) とはキーボードのキーの 1 つです (図 2.3)。このキーを押すと、コンピュータのモニターに表示された画面を一時的に保存します。Ctrl ボタンと V ボタンの両方を同時に押すことで Word ファイルに画面を貼り付けることができます。



図 2.3 プリントスクリーンと貼付け

## 2.3 SOLIDWORKS の画面構成

本書で使用する Manager およびバーは、**図 2.4** に示す Feature Manager, Command Manager, Menu Manager, メニューバーおよびビューツールバーになります。Feature Manager には形状を作成する過程で行われた操作や作業を時系列に並べます。Command Manager, メニューバーおよびビューツールバーについては次節以降で述べます。

## 2.4 メニューバー

**図 2.5** に示すメニューバーはファイル、編集、表示、挿入、ツール、Simulation、ウィンドウ、ヘルプから構成されます。メニューバーの内容を常に表示する操作手順を述べます。最初に**図**に示す「▶」をクリックします。次にピンアイコン「📌」をクリックします。

## 2.5 Command Manager メニューバー

Command Manager を用い、丸や矩形の「スケッチ」をベースに形状を作成します。Command Manager には「フィーチャー」、 「スケッチ」、 および「評価」などのタブがあります。それらのタブにはさまざまなアイコンが用意されています。本書ではそれらのアイコンを用いて操作手順を解説します。作業に入る前にそれらのアイコンを表示してください。**図 2.6** に示す「フィーチャー」タブにポインタを合わせ、マウスを右クリックします。**図 2.7** に示す「説明付大ボタン使用」をクリックします（すでにチェック「✓」がある場合は操作不要です）。

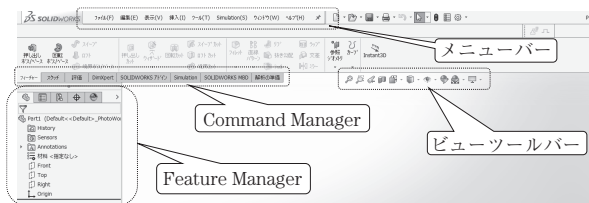


図 2.4 Feature Manager など



図 2.5 メニューバー

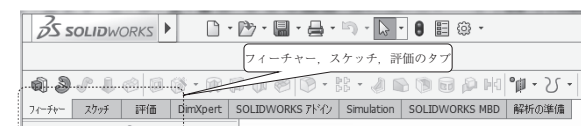


図 2.6 フィーチャーのタブ



図 2.7 説明付大ボタン使用

# 索引

## ▷学術用語◁

<b>【い】</b>		<b>【さ】</b>		<b>【て】</b>	
一自由度系	107	材料非線形	41	定常振動	108
陰関数	41	残差	21, 44	テンソル	65
<b>【う】</b>		<b>【し】</b>		伝熱解析	173
運動方程式	159	支配方程式	28, 173	伝熱工学	1
<b>【え】</b>		四面体	1	<b>【と】</b>	
円環振動モード	159	自由振動	107	等価曲率半径	92
<b>【お】</b>		周波数応答解析	123	等価弾性係数	92
応力	28	重力	16, 165	<b>【に】</b>	
<b>【か】</b>		主応力	68	ニュートンの冷却の法則	175
解析値	2	衝突	16	<b>【ね】</b>	
解析領域	1	振動解析	107	ねじり	64
角振動数	123	振動数	123	ねじり応力	64
重ね合わせ	39	振幅	127	ねじれ角	64
過渡応答解析	108	<b>【す】</b>		熱応力	181
過渡振動	108	数値解析	1	熱通過率	176
慣性項	107	数値振動	18	熱伝達率	175
<b>【き】</b>		スカラー	65	熱伝導	173
機械力学	1	<b>【せ】</b>		熱伝導率	173, 174
逆行列	3, 29	静解析	28	熱放射	173
共振	123	正弦波	153	熱流束	174
強制振動	108	精度	2	熱力学	1
行列	3	接触解析	91	<b>【は】</b>	
曲率半径	92	絶対値	117	ばね	79
<b>【け】</b>		節点	2	ハーフパワー法	125
減衰係数	111	線形	40	腹	156
減衰項	107	線形静解析	28	梁	50
減衰振動	108	線形動解析	107	—の曲げ	50
減衰比	111	せん断応力	50, 79	半値幅法	125
<b>【こ】</b>		せん断力図	50	反復法	44
剛性	3	線膨張係数	181, 192	<b>【ひ】</b>	
剛性行列	28	<b>【そ】</b>		ひずみ	28
構造-熱連成解析	181	相対誤差	2	非線形	41
国際単位系	7	<b>【た】</b>		非線形静解析	39
固有角振動数	108	対流	173	非線形動解析	158
		多自由度系解析モデル	137	比ねじれ角	65
				比熱	173
				微分方程式	1

<b>【ふ】</b>		<b>【み】</b>		<b>【り】</b>	
フックの法則	28	密度	22,173	離散化誤差	2
フーリエの法則	174			流体力学	1
<b>【へ】</b>		<b>【め】</b>		両対数グラフ	144
ベクトル	3	メッシュ	1	理論値	2
偏微分	174	——の粗密	2		
<b>【ほ】</b>		メッシュ分割	2	<b>【C】</b>	
ポアソン比	67	面積	1	CAD	1
				CAE	1
<b>【ま】</b>		<b>【ゆ】</b>		<b>【F】</b>	
曲げモーメント	50	有限	2	FEM	1
曲げモーメント図	50	有限要素法	1		
摩擦係数	17,160,170	<b>【よ】</b>		<b>【M】</b>	
摩擦力	170	陽関数	41	MKS	7
		要素	1,2	<b>【S】</b>	
				SI	7

▷SOLIDWORKS 操作で使われる用語◁

<b>【あ】</b>		回転	6,15	<b>【こ】</b>	
アニメーション	118	回転軸	64	合金鋼	14
<b>【い】</b>		回転数	82	合成変位	77,117
一様地盤振動	152	外部荷重	16	構造解析	12
一定	127	解法	87	拘束	15,87
移動	6	拡大	6	鋼鉄	14
		荷重ベクトル	28	誤差	30
<b>【う】</b>		加速度	18	固定ジオメトリ	15
ウィンドウ	5	カーソル	168	固定ヒンジ	15
		カーブ	81,104,165	固有振動数表示	24
		カラーバー	30,90	固有値解析	15
<b>【え】</b>		<b>【き】</b>		固有値解析オプション	127,154
エンティティミラー	96	機構解析	12	コンター図	30,90
円筒形/円錐形サーフェス	70	境界表示オプション	71		
<b>【お】</b>		境界条件	173	<b>【さ】</b>	
応答	116	曲率ベースのメッシュ	88	最後のモードの数	154
応答グラフ	128,167	切り捨て誤差	2	最大値の表示	100
応力図プロット定義	100	<b>【く】</b>		材料力学	1
応力-ひずみ曲線作成	47	矩形コーナー	11	参照ジオメトリ	84
応力-ひずみ線図	30	グラフのオプション	118	参照周囲温度	177,178
押し出しボス/ベース	10	<b>【け】</b>		参照面	165
オプション	8	計算する固有値数	127,154	三層帯板	183
温度	173	形状	1	3点円弧	82
<b>【か】</b>		系列の編集	26	散布図	168
開始角度	82	結果	24	<b>【し】</b>	
解析時間	20	結果のマージ	162	時間	173
解析実行	20	ケルビン	175	軸のオプション	118
解析値	22	減衰比	18	時刻歴プロット定義	167,168
				質量	22

質量特性 22  
 周期 109  
 重心 22  
 収束プロット 21  
 周波数応答解析 107  
 終了時間 87  
 縮小 6  
 小数位数 101  
 新規カテゴリ 45  
 振動解析 12

【す】

水平 96  
 スケッチ 5  
 スタディ 30  
 全てのボディに材料を適用 97,114  
 スマート寸法 149  
 スライダーバー 20,171  
 スレープ面 17  
 寸法配置 149

【せ】

静解析 12  
 接合部 16  
 接触圧 92  
 接触セット 16  
 接触幅 93,94  
 接触半幅 93  
 接触面 17  
 接触面積 92  
 設定 71  
 設定/編集材料特性 14  
 節点 2  
 節点数 19  
 節点番号 116  
 説明付大ボタン使用セル 5  
 セル 25  
 セルシウス温度 175  
 線 1  
 線形動解析 13  
 選択エンティティ 106,191  
 選択された方向 56,141

【そ】

粗 2  
 挿入 5  
 測定 101  
 速度 18  
 ソース面 17  
 塑性 43  
 ソルバのメッセージ 21

【た】

体積 1,22

対流 188  
 ターゲット面 17  
 ダブルクリック 4  
 たわみ曲線 51  
 単位/小数位数 101  
 弾性係数 28  
 弾塑性-von Mises 46  
 断熱 173  
 断面クリップ 89  
 断面積 28  
 断面二次極モーメント 65  
 断面二次モーメント 50

【ち】

力 16,141  
 中心線 85,96  
 中心点円弧 95  
 頂点 2  
 調和解析 138  
 調和性オプション 127,142,154  
 直線 148  
 —の挿入 148

【つ】

追加 26  
 つまみ 20,171  
 ツール 5,13

【て】

定義編集 23  
 データの選択 26  
 データ容量 2  
 デフォルトオプション 8  
 点から点まで 101  
 伝熱解析 12  
 点-面 18

【と】

問い合わせ 32,57  
 等角 6  
 ドキュメントプロパティ 7  
 ドラッグ 4  
 トルク 16,70

【な】

流れ/熱効果 189

【ね】

熱荷重 178,187  
 熱伝導解析の温度結果を読み込む 189  
 熱流出 173  
 熱流入 173

【ひ】

ひずみゼロ時の参照温度 189  
 非線形静解析 12  
 非線形動解析 13  
 左ボタン 4  
 ピッチ 81,82  
 非表示 72  
 ビューツールバー 5,6  
 評価 5  
 表示 5,23  
 表示方向 6  
 表面積 22  
 ピン 5

【ふ】

フィーチャー 5  
 フィルハンドル 25  
 節 156  
 物性値 31  
 不等角 6  
 プリントスクリーン 4  
 プロパティ 87,127  
 分割 2  
 分割ライン 104

【へ】

平均圧力 92,94  
 並進加速度 167  
 並進速度 168  
 ベースト 46  
 ヘリカルとスパイラル 81  
 ヘルプ 5  
 変位 15,18  
 変位図プロット定義 116  
 変位ベクトル 28  
 変形図 100  
 編集 5,35

【ほ】

ポインタ 4  
 方向を反転 31,56,127  
 細い 115

【ま】

マウス 4  
 巻き数 81  
 巻き線 81  
 曲げ応力 61  
 マージ 185

【み】

右ボタン 4  
 ミーゼス応力 68  
 密 2

ミラー基準	97	両等角投影	6		
<b>【む】</b>		理論値	22	<b>【M】</b>	
無限長	84			merge	185
<b>【め】</b>		<b>【ろ】</b>		MKS (m, kg, 秒)	7
メッシュ密度	20,154	六面体	1	<b>【O】</b>	
メニューバー	5	ローラ/スライダ	15	Options	144
面-面	17	<b>【A】</b>		<b>【P】</b>	
<b>【も】</b>		Axes	145	Properties	144
モーダル減衰	18	<b>【C】</b>		<b>【R】</b>	
モデルを安定化させるためにソフトスプリングを使用	189	Command Manager	5	Rayleigh 減衰	18
モード形状	121	Comma Separated Values	24	Right	9
モード形状プロット定義	118,142	Computer Aided Engineering	1	<b>【S】</b>	
<b>【ゆ】</b>		CSV ファイル	24	Save As	117,168
ユーザー定義	100	Ctrl ボタン	4	Scale	145
ユーザー定義材料	45	<b>【E】</b>		SI (MKS)	8
<b>【よ】</b>		Excel	6	Simulation	5,8
要素数	19	<b>【F】</b>		solidworks materials	14
<b>【ら】</b>		Feature Manager	5	SOLIDWORKS Simulation	13
螺旋	86	File	117,168	<b>【T】</b>	
<b>【り】</b>		Front	9	Top	9
流体解析	12	<b>【G】</b>		<b>【V】</b>	
		General	145	von Mises 応力	68
		<b>【I】</b>		VON : von Mises 応力	68
		IsLogarithmic	145	V ボタン	4



— 著者略歴 —

2006年 東京大学大学院 工学系研究科 システム量子工学専攻 博士課程修了, 博士 (工学)  
2011年 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 / 情報・計算工学センター (JAXA/JEDI)  
2013年 大同大学工学部機械システム工学科准教授  
現在に至る

**SOLIDWORKS による CAE 教室 — 構造解析 / 振動解析 / 伝熱解析 —**

CAE Training Using SOLIDWORKS

— Structure Analysis / Vibration Analysis / Thermal Analysis —

© Kazunori Shinohara 2020

2020年3月25日 初版第1刷発行



検印省略

著者 <sup>しの</sup>篠 <sup>はら</sup>原 <sup>かず</sup>主 <sup>のり</sup>勲  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 新日本印刷株式会社  
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社  
CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04666-3 C3053 Printed in Japan

(新宅)



**JCOPY** <出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構(電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。