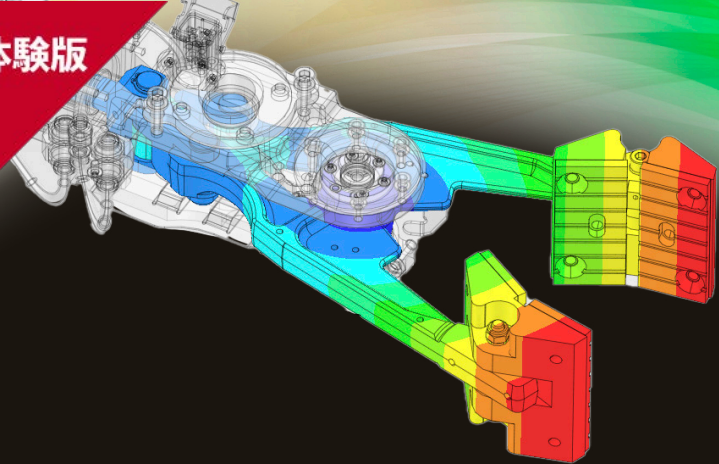


体験版



IT BOOKS 無料で使える「物理シミュレーション」ソフト

プリポマックス

PrePoMax

ではじめる

実践構造解析 **[3訂版]**

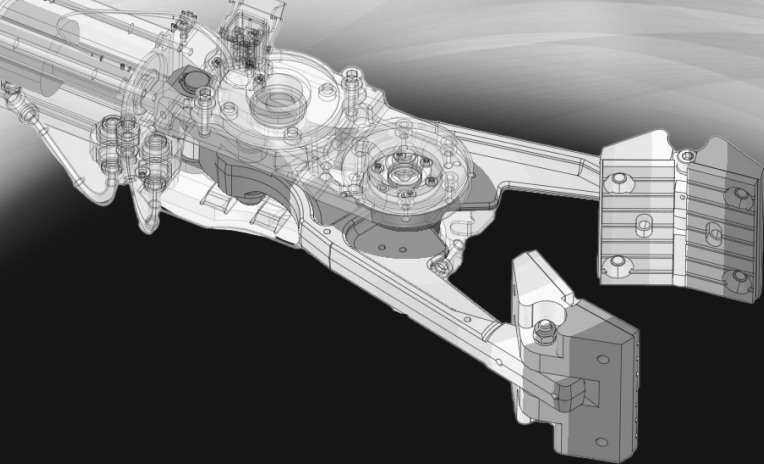
【著】 岐阜高専 柴田 良一 Ryoichi Shibata 工学博士

最新版の環境[※]に対応 ※Ver.2.4.0

商用の「**CAEツール**」に匹敵!

フリーの「**構造解析ツール**」解説本!

工学社



プリポマックス
PrePoMax

ではじめる

実践構造解析 [訂版]

はじめに

これまで、「オープンソース」による「CAE」（コンピュータによるものづくり支援システム：Computer Aided Engineering）の研究開発を進めてきて、「解析機能」や「計算性能」については「商用CAEツール」に迫るものがあると思います。

ところが、「使い易さ」に関しては、残念ながら充分とは言えないとよく指摘を受けました。第3版を執筆する今でも、PrePoMaxの開発は積極的に進んでいますが、商用CAEツールに比べると、状況の改善は今後に期待するという感じです。

本書で紹介する「PrePoMax」（プリポマックス）は、「構造解析」を行なうツールバーに「CalculiX」というオープンCAEで評価の高い定番のツールを組み込み、「Windows 専用ツール」とすることで、「商用CAE」に匹敵する、非常に使い易い操作を実現しています。

この「PrePoMax」は、2016年に最初のv0.3.0が公開されてから、本書で活用する2025年10月のv2.4.0まで着実に進化しています。その高い完成度への期待が、この第3版の出版に繋がったと思います。

操作性も機能性も向上しており、更なる活用を支援するために、第3版を作ることにしました。

これまでの「オープンCAE」による「構造解析」が難しいと感じる方でも、「PrePoMax」ならば、誰でも簡単に使いこなして、手軽に構造解析の結果を得ることができます。

本書では、問題解決手段としての活用を優先するために、難しい「構造解析」の理論は省略して、“実践的な解析ツール”として「PrePoMax」を活用することを目指しました。

読者諸氏の、構造解析を用いた研究開発の助けとなれば幸いです。

最後に、本書の作成にあたって、PrePoMaxの開発者であるマリボル大学のMatej Borovinsek氏によるシステムの継続的な開発と公開に対して敬意を表し、オープンCAE活動の展開において辰岡正樹氏と藤井成樹氏に感謝申し上げます。

また本書は、公益財団法人JKA「2020年度補助事業」による支援を受けた研究活動成果の一部となっています。

PrePoMax ではじめる 実践構造解析 [三訂版]

CONTENTS

はじめに	3
第1章 フリー構造解析ツール「PrePoMax」の概要と導入	
[1-1] 「PrePoMax」に関する色々な情報	8
[1-2] 「PrePoMax」の導入前の準備	16
[1-3] 「PrePoMax」の導入と動作確認など	23
第2章 基本となる「構造解析」例題の実行と分析	
[2-1] 「構造解析」の「形状モデル」と「メッシュ」	36
[2-2] 「構造解析」の「材料」と「条件」の設定	50
[2-3] 「構造解析」の「実行」と「可視化」と「分析」	58
第3章 各種「形状データ」からの「メッシュ」作成手順	
[3-1] 「STL形状モデル」からの「メッシュ」作成	68
[3-2] 「STEP」形状モデルからの「構造解析」	78
第4章 「スクリプト」を修正する「弾塑性解析」の例題	
[4-1] 「PrePoMax」の「マウス操作」による「解析設定」	92
[4-2] 「弾性解析」の「実行」と「結果」の「可視化」	100
[4-3] 「弾塑性解析」の「設定」と「実行」「可視化」	107
第5章 「簡単な接触」を考慮した基本的な「接触解析」	
[5-1] 解析に必要な「ツール」の更新	120
[5-2] 「接触解析」の「形状設定」と「材料特性」	123
[5-3] 「接触解析」の「解析条件」と「境界条件」	137
[5-4] 「接触条件」を設定した「接触解析」	147
第6章 「複数部品」の「アセンブリモデル」の解析方法	
[6-1] 「アセンブリモデル」での解析対象	158
[6-2] 「アセンブリモデル」の「構造解析」	171
[6-3] 「アセンブリモデル」の「実行」と「可視化」	180
第7章 「精度向上」や「形状変化」に対する「メッシュ更新」	
[7-1] 「メッシュ更新」を検討する「解析モデル」	190
[7-2] 「メッシュ更新」の「解析条件」の設定	199
[7-3] 「メッシュの更新」と再計算の方法	207
[7-4] 補強形状を用いた解析設定の更新の方法	215
索引	220

●各製品名は、一般的に各社の登録商標または商標ですが、®およびTMは省略しています。

第1章

フリー構造解析ツール「PrePoMax」の 概要と導入

この章では、実践的な「ものづくり」で必要とされる「構造解析」の機能を備えた、Windows 専用のフリーツールである「PrePoMax」の概要を説明し、さらに解析に必要な関連ツールも含めて、導入手順を説明します。

また、「PrePoMax」は、「解析機能」の紹介情報が、YouTube 動画で公開されているので、その内容を紹介しながら、本書作成時点での基本的な機能の紹介とします。

1-1 「PrePoMax」に関する色々な情報

■「PrePoMax」とは何か

「CAE」は、以下に示すように「プリ」「ソルバ」「ポスト」の3つの機能を組み合わせて、ものづくりに必要な解析を実行します。

本書では説明を簡単にするために、「有限要素法」(Finite Element Method : FEM)による構造解析を対象として説明します。

プリ : 解析対象の構造物を「モデル化」して「メッシュ」を作る。

ソルバ : 構造物の状態を表わす連立方程式を解いて「計算値」を出す。

ポスト : 解析の計算値を「画像表現」して「構造物の挙動」を調べる。

ここで「メッシュ」(網の目)とは、複雑な形状の構造物を、単純な「四面体」などの「有限要素」で分割することです。

本書ではこれらの「構造解析」の理論については省略しているので、「有限要素法」に関する用語などが不明な場合には、ウェブ検索するか、下記の拙著で確認してください。

『オープンCAE「Salome・Meca」ではじめる構造解析』工学社、柴田良一著

本書で活用する「PrePoMax」は、上記の「プリ」「ソルバ」「ポスト」を全て含んだ「統合ツール」になっており、利用者が「解析環境」の構築において、さまざまなツールを組み合わせる必要はありません。

ただし、「プリ機能」において、形状を作る「3次元CAD」の機能はないので、別に「CADツール」を用意する必要があります。

本書では「解析形状」の作成にフリーの「FreeCAD」を用いますが、所定の「形状データファイル」を出力できれば、他に商用の3次元CADを利用することも可能です。

*

「解析結果」を確認する「ポスト機能」については、非常に分かりやすい可視化が可能です。

*

「構造解析機能」を実現する「ソルバ」については、オープンソースで公開される「オープンCAE」の「構造解析ツール」の中で、評価が高く定番として利用されている、「CalculiX」を用います。

この「CalculiX」は、1998年から“Guido Dhondt”(CCX : Finite Element Solver)と、“Klaus Wittig”(CGX : Pre-Postprocessor)によって開発が開始されました。

「CalculiX」は「GPLライセンス」で公開されていますが、入力ファイルの形式が、高性能な商用構造解析ツールである「Abaqus」の「INPファイル」と類似していることから注目されています。

ちなみに、「Abaqus」は、非線形現象に対する構造解析の商用ツールとして、「ものづくり」で定番となっています。

なお、この「Abaqus」で利用される入力ファイル「INP形式」を流用していることについては、「CalculiX」のウェブに、「「Abaqus」の開発元である“Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc”より許可を得て使用しているが、「CalculiX」の結果と「Abaqus」とは関連していない」と記されています。

*

また「CalculiX」は、実装がコンパクトなことから、さまざまなツールで「FEM」の「バックエンドソルバー」としても利用されており、たとえば「FreeCAD」の「FEMモジュール」として統合されて、「3D-CAD」ベースの「設計者用CAE」を実現しています。

*

解析システムの「CalculiX」(CCX)は、「FEMソルバ」(CalculiX CrunchiX : ccx)と、「プリ・ポスト」の「GUIツール」(CalculiX GraphiX : cgx)の2つから成り立っています。

ただし、CGXは非常に素朴な機能と表示であり、この「CCX」を用いた解析では“コマンドライン操作”で実行することが多いです。

それぞれについて詳しい情報を得たい場合には、以下のリンクを参考にしてください。

CCXについて⇒ http://www.dhondt.de/ov_calcu.htm

CGXについて⇒ http://www.dhondt.de/ov_prepo.htm

CalculiXの公式サイト⇒ <http://www.dhondt.de/>

*

この「CalculiX」による構造解析では、次のようなファイルの流れになります。

【INP ファイル：解析入力データ】



構造解析ソルバ：CCX

【FRD ファイル：解析結果データ】



可視化ツール：CGX

【目的となる可視化画像データなど】

この「CCX」の「入力ファイル」である「INP形式」は、構造解析の入力情報のすべてを含んでいます。

解析形状を表わす「メッシュ情報」も含まれることから「FreeCAD」でも利用できますし、本来の対象である構造解析ソルバの「Abaqus」にも若干の修正によって流用できます。

*

次に、「CCX」の「出力ファイル」である「FRD形式」は、基本的に“CGX専用”の形式です。

しかし、「FreeCAD」の「FEMモジュール」に使われていることもあって、「FreeCAD」で利用できますし、基本的な「テキストデータ」形式なので、「変換ツール」で必要な形式に直して利用することも可能です。

*

なお、「オープンCAE」の「多機能可視化ツール」である「ParaView」では、FRDデータを直接には利用できませんが、「CalculiX-extras」の拡張機能を用いることで、「CCX」から「Exodus形式」の「結果ファイル」を出力

して、「ParaView」で直接に可視化することができます。

「CalculiX」は、開発されて30年近く経過しており、コマンドライン操作を基本とする「研究開発用のFEMツール」として活用されていました。

しかし、「プリ・ポスト」に十分な機能がなく、解析作業全体を支援する統合環境がないため、「ものづくり」の現場での活用は難しいと考えられています。

しかし、「入力ファイル形式」が「Abaqus」の「INP形式」に類似しており、部分的には「入力データ」を移行できるため、潜在的な関心が高い状態でした。

「ソルバCCX」としては多機能でコンパクトな特徴をもっていることから、後は使いやすい「GUI操作」可能な「プリ・ポスト機能」を備えた「統合支援ツール」が望まれていました。

*

そこで本書では、Matej Borovinsek (マティ・ブロヴィンシェック) 氏の開発した「CalculiX」を「ソルバ」とした、「統合構造解析ツール」である、「PrePoMax」を活用した「FEM構造解析」を説明します。

なお、同じ開発者による最適化ツール「OptiMax」も解析ソルバに「CalculiX」を活用出来て、同じサイトで公開されています。

この「PrePoMax」の開発者Matej Borovinsek氏は、Linkedinの情報では、「Assistant Professor at University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering」となっているので、スロベニア共和国のマリボル大学の機械工学科の助教とのことです。

著者は本書の作成にあたり、開発者ともメールで情報交換しており、日本での「PrePoMax」の活用をMatej先生も喜んでいます。

*

それではさっそく、「PrePoMax」の以下の「公式サイト」に接続します。

キーワード「PrePoMax」で検索してもリンクを見つけることができます。

・PrePoMaxの公式サイト

<https://prepomax.fs.um.si/>

最初の概要説明では、図1-1に示すような解析例題が表示されますが、商用ツールに迫る「GUI操作」と「設定表示」が可能になっているので、その高い機能が期待がもてます。

なお「PrePoMax」のプリ機能は別の3D-CADで作られた、「形状データ」を読み込んで「メッシュ」を作るところからです。

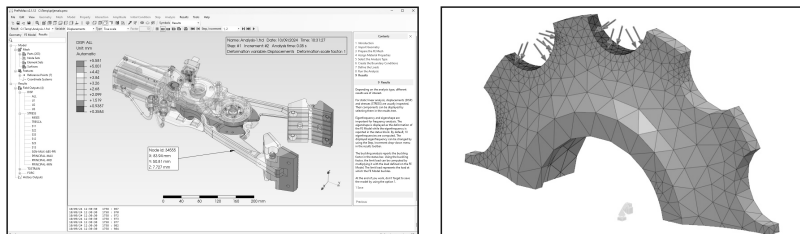


図1-1 「PrePoMax公式サイト」の解析事例

この公式サイトには、以下の内容がまとめられています。

・「PrePoMax」のトップページ

ここでは、「PrePoMax」が、CalculiXソルバを活用したFEMワークフローを高速化するための、現代的な「グラフィカルユーザーインターフェイス」(GUI)に基づく、オープンソースのプリプロセッサ、およびポストプロセッサであることを、以下に示すいろいろな特徴から説明しています。

CAD geometry support : さまざまな3D-CAD ファイル形式に対応
Solid and shell geometry meshing : ソリッドおよびシェル要素での自動メッシュ作成
Geometry and mesh based feature definitions : 境界条件の設定対象は形状やメッシュに自由に設定
Results visualization : 解析結果を履歴情報グラフや3次元可視化で表示

• News

最初の「ver0.3.0」(2016/12/09) から最新の「ver2.4.0」(2025/10/13) までの、ツールの公開の情報がまとめられています。

各項目の「Read More >」より詳細な情報が確認できます。本書では執筆時点での最新版を利用します。

• Features

「Analysis types : 解析種類」「Geometry based mesh creation : メッシュ生成の種類」「Finite element types : 利用可能な有限要素」「Assembly connections : 部品結合の方法」「Material models : 利用可能な材料モデル」などの解説があります。

• Downloads

ダウンロードからインストールまでの情報として、「Prerequisites : 動作の前提条件」「Installation : インストール方法」「Downloads : ダウンロード一覧」「Source Code : ソースコードの公開」の要点が提示されています。

これらに関しては、「PrePoMaxの導入解説」のところで詳しく説明します。

• Documentation

「PrePoMax」を活用するための情報として、「Documentation : 解析機能や操作方法の解説文書」「Translated Documentation : 翻訳された解説文書」「Video Tutorials : 操作手順の動画情報」「Additional Resources : 検引用例題の解説をファイル」などが公開されています。

これらに関しては、「PrePoMaxの動作確認」のところで詳しく説明します。

• Forum

掲示板形式の情報交換ができます。

「General Questions : 全体的な質問」「Bug Reports : バグの報告」「Feature Requests : 開発の希望」「News : 各種の公開の情報」などが、まとめられています。

・Contributions

「PrePoMax」の開発に貢献している方々が紹介されています。

ツールの開発はMatejさんに加えてJasonさんも参加しており、解説文書はJakubさんが担当し、経費的支援はKorean Institute of Machinery & Materialsや、Smart Design Optimizationが行っているようです。

■「PrePoMax」の動作に必要な「ハードウェア」

本書では、「Windows 10/11」が動作する一般的なPCを前提にして、「PrePoMax」の解析環境を構築してから、開発者が公開した動画Tutorialに基づいた例題演習を行ないます。

*

まず「PrePoMax」は「64bit」アプリケーションなので、上記のWindowsも64bitが必須ですが、Windows 11ならば対応しています。

確認手順としては、[1] タスクバーの「スタートボタン」から、「設定」を選択して「システム」を選び、[2] 項目の最下段の「バージョン情報」を押すと、項目「Windowsの仕様」で、Windowsが「64bit」であるかどうか分かります。

※ 本書では、Windows 11のみで例題などの動作検証を行っており、本書の以下の説明では、「Windows 11 Home」を使って説明していきます。他のWindows 11のバージョンの場合にも、問題なく動作します。

解析対象の規模によりますが、メモリ実装は「4GB以上」が必須と想定しています。

HDDの空き容量は、各種の解析を実行するのに「6GB程度」は必要です。

なお、解析環境の構築において、「PrePoMax」自体は「ZIP解凍のみ」です。そのためインストーラを起動する必要がなく、管理者権限が不要で手軽に導入できます。

ただ、関連ツールでは、インストーラの起動によりシステム部分に導入するため、管理者権限のあるユーザーとしてPCを利用できる必要があります。

なお、第1～7章の構造解析では、「CPU」は「Intel Core i7-13620H 2.5GHz」を、「RAM」は「32GB」のノートPCを用いています。

■ 「PrePoMax」の他に必要な「ソフトウェア」

- **Lhaplus** : ファイルアーカイブツール

「PrePoMax」のインストールファイルはZIP形式の圧縮ファイルで、Windowsの機能でも展開できますが、大規模ファイルの対応や使い勝手を考えて任意で導入します。(他の同様機能のツールも可)

- **FreeCAD** : フリーの3次元CAD

オープンソースで開発された3次元CADとしては、さまざまな機能と拡張性をもっています。

「PrePoMax」は「形状作成機能」がないため本書ではライセンスフリーの3次元CADである「FreeCAD」をお勧めします。

ただし、商用を含め「STL形式」や「STEP形式」などの形状データが出力できるツールがあれば利用可能です。

また、「FreeCAD」はさまざまな形状データを読み込み、必要な形式(ここでは「PrePoMax」が読める「STL形式」や「STEP形式」など)に変換してファイル出力することが可能です。

「PrePoMax」は、CADデータだけでなく、UNV形式のMeshデータを読み込むことで、構造解析を実行できます。よって外部のプリ処理ツールをCADツールの代わりに用いることができます。

索引

五十音順

《あ行》

あ	アセンブリモデル	157
	アニメーション機能	219
	アニメーション表示	153
い	引張試験	93
え	エクスポート	21
お	応力	61
	応力図	86,211
	応力分布	86
	オープンCAE	8
	オブジェクトブラウザ	36

《か行》

か	解析規模	126
	解析結果	105,182
	解析実行	58,180
	解析データ	36
	解析モデル	181
	可視化	10
	可視化結果	61
	可視化表示	63
	荷重条件	44,55,85,196
き	幾何学的非線形性	53
	旧版	121
	境界条件	33,44,196
	強制変位	95
け	結果可視化	60
こ	公式サイト	10,12
	構造解析例題	30
	拘束条件	95
	降伏	105
	降伏応力	113
	固着	165
	固定条件	33,44,54

《さ行》

さ 最小寸法	73
最新版	121
最大寸法	73
最大変形量	205
材料特性	30,50
し 実験検証	190
指定する点での値	64
自動設定	86
自由度	100,139
主応力	206
出力情報	110
商業利用	120
す 寸法	38,70
せ 静的解析	53
接触解析	119
接触条件	147
接触面	129,155
そ 想定値	74
相当塑性歪	109
増分解析	112
塑性状態	91
ソルバ	8

《た行》

た 大変形問題	53,137
タスクバー	102
タスクマネージャー	102
単位系	122
弾性	50
弾性応力解析	36
弾性解析	30,92
弾塑性解析	29,91
弾塑性状態	105
弾塑性特性	111
ち 逐次処理	181
っ ツールバー	36
て データ・コンバータ	21
デジタルデータ	190

テトラ要素	193
と 動画	152
動画資料	28,123
動画表示方法	33
透明度	185

《は行》

ひ 非線形解析	53,137
必要な「ソフトウェア」	15
必要な「ハードウェア」	14
表現方法	41
表示の可否	161
表面メッシュ	192
物理コア数	102
プリ	8
分布荷重	56
へ 並列処理	102
変形	61
ほ ポアソン比	50,84,97
補強材	215
補強部材	33,215
ポスト	8
保存ファイル名	48
保存フォルダ	21

《ま行》

ま マウス操作	40
摩擦の影響	158
み ミーゼス応力	61,105,109
め メッシュ	8
メッシュモデル	42
メッシュ更新	189
メッシュ作成	30,165
メッシュの粗密	190
メニューバー	36
面対面	131,149

《や行》

や ヤング係数	50
ゆ 有限要素法	8
よ 要素数	73,164

《ら行》

ら ライセンス	120
る 類似形状	196,215
れ 例題解説動画 (YouTube)	28
ろ ログパネル	36
論理プロセッサ数	102

《わ行》

わ 歪度	61
------	----

アルファベット順

《A》

AMS5862	50
Animating results	33
Automatic	61,116

《B》

BCs	54
brep	68

《C》

CAE	8
CalculiX	9
CalculiX keywords editor	107
CalculiX-extras	10
CCX	10
CGX	10
Copy geometry to results	183
Create Constraint	174
Create Mesh	74,194
CrunchiX ユーザーマニュアル	107

《D》

Deformation scale factor	86
Degree of freedom	139
Distance	65
Documentation	13
Downloads	13

《E》

Edit CalculiX keywords	107,147
Elastic	50
Element sets	172
Exodus 形式	10,23

《F》

Face angle	44
Features	13
FEM Features Forum	13
FRD ファイル	10
FreeCAD	19
FreeCAD の対応ファイル形式	22

《G》

GPGPU 技術	23
----------	----

《I》

iges	68
inp	27
INP 形式	9
INP ファイル	32,92
Installation	13

《L》

Lhaplus	15
---------	----

《M》

Master	155,165
Matej Borovinsek	11
Max element size	73

Meshing parameters	71,163
Microsoft .NET Framework	17
Mesh settings	73
Min element size	73
Models	27
Monitor	59

《N》

Name	73
NetGen	27
News	13
Node set	44
Number of processors	102

《O》

OptiMax	11
---------	----

《P》

ParaView	10
Part color	184
Poisson's ratio	50
PrePoMax	8

《R》

Regenerate History Using Other Files	215
Region type	73
Result	113
Rigid body	174
Rigid Constraint	33

《S》

S235 鋼	97,105
Second order	73,194
Show model edge	41,125
Slave	149,165
step	68
STEP 形式	15
stl	68

STL Mesh	
STL 形式	15
Surface traction	56
Surfaces	44
Tie	174

《U》

unv	27
UNV 形式	38
User defined	87,105

《V》

Video Tutorials	13,28
-----------------	-------

《W》

Windows	14
---------	----

《Y》

Young's modul	50
---------------	----

《Z》

ZIP 解凍	14
--------	----

記号・数字

《記号》

*.inp	22
*.stl	22
*.unv	22
*.vol	22

《数字》

2 次要素	163,213
3D プリンタ	190
3 次元モデル	38

《著者略歴》

柴田 良一(しばた・りょういち)

1966年 愛知県生まれ
1994年 豊橋技術科学大学大学院 博士後期課程システム情報工学専攻 終了
1994年 岐阜工業高等専門学校 建築学科 助手
2007年～ 岐阜工業高等専門学校 建築学科 准教授
2008年 豊橋技術科学大学 建設工学系 准教授
2011年～ 岐阜工業高等専門学校 建築学科 教授

建設系機械系を含めた広いものづくりにおける構造解析や破壊解析、流体解析、さらにこれらの連成解析を研究分野として、並列処理やクラウドの基盤構築技術の研究も進めている。
またアプリケーションとして、オープンCAE 活用展開に向けたDEXCS プロジェクトを展開し、オープンCAE 学会やCAE 懇談会などで講演や講習の活動を進めている。

オープンCAE 学会理事、前オープンCAE 学会会長、博士(工学)

【主な著書】

はじめてのNVIDIA Modulus
「PrePoMax」ではじめる実践構造解析[改訂版]
はじめての「SonyNNC」改訂版
Structure Synth で描く 3D-CG アート
オープンCAE「Salome-Meca」構造解析
オープンCAE「Salome-Meca」構造解析－「固有値」「熱伝導」解析編
オープンCAE「Salome-Meca」構造解析－「弾塑性」「接触」解析編
はじめてのオープンCAE(共著)
はじめてのWindows HPC システム (以上、工学社)

本書の内容に関するご質問は、

- ①返信用の切手を同封した手紙
- ②往復はがき
- ③E-mail editors@kohgakusha.co.jp

のいずれかで、工学社編集部あてにお願いします。
なお、電話によるお問い合わせはご遠慮ください。

サポートページは下記にあります。

[工学社サイト]

<http://www.kohgakusha.co.jp/>

LOBOOKS

PrePoMax ではじめる実践構造解析 [三訂版]

2026年4月30日 初版発行 ©2026

著者 柴田 良一

発行人 星 正明

発行所 株式会社工学社

〒160-0011 東京都新宿区若葉1-6-2 あかつきビル201

電話 (03)5269-2041(代) [営業]

(03)5269-6041(代) [編集]

※定価はカバーに表示してあります。

振替口座 00150-6-22510

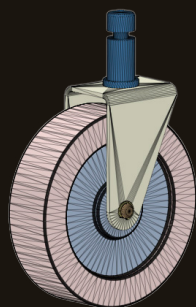
印刷:(株)エーヴィスシステムズ

ISBN978-4-7775-2335-1

ISBN978-4-7775-2335-1

C3004 ¥3200E

定価： 本体 3200 円 + 税



プリポマックス
PrePoMax
ではじめる
実践構造解析 【三訂版】

「PrePoMax」は、高性能なオープンソースCAEソルバー「CalculiX」をベースに、扱いやすいGUIを備えたフリーの構造解析ツールです。

本書は、そのPrePoMaxを使って構造解析を実践的に学ぶための日本語解説書であり、難解な理論よりも、実際に操作しながら結果を得ることを重視しています。

今回の改訂では最新版環境Ver.2.4.0に対応し、現行の利用環境に即した内容へ更新します。