ノート

オープンソース CAE ソフトウェアの利活用促進に向けた精度検証

片山　聡*　櫻井　貴文*

Research on the Utilization of Opensource CAE Software

KATAYAMA Satoshi* and SAKURAI Takafumi*

1. 緒　　言

製造業の DX(Digital Transformation)推進において，CAE(Computer Aided Engineering)技術は従来求められていた製品開発期間の短縮や試作費用の削減といった効果だけでなく，人工知能(AI:Artificial Intelligence)技術を用いたデータ分析・最適化やモノのインターネット(IoT:Internet of Things)技術と連携したデジタルツインの構築など，設計プロセスを革新する技術の中核としてその重要度が増している [1]。しかし，中小企業においては導入費用や維持費用が高額であることや，人材確保や人材育成が困難であることなどの問題から，その導入が大企業ほどには進んでいないのが現状である。

これらの問題を解決するものとして注目されているのがオープンソース CAE ソフトウェア（以下，オープン CAE）である。オープン CAE は，ソースコードが無料公開されている CAE ソフトウェアで，商用利用可能なものも多く存在する。また近年ではコマンド入力（記述）式ではなく，CAD 画面のような GUI(Graphical User Interface)を搭載したプリポストや操作方法に関する学習コンテンツのネット公開も進んでおり，中小企業への導入も容易となっている。

そこで本研究では中小企業におけるオープン CAE の利活用推進を目的に，その解析機能や計算精度がどの程度のレベルにあるのか，商用 CAE ソフトウェアとの違いを確認した。

* 下越技術支援センター

2. オープン CAE の計算精度検証

2.1 使用ソフトウェア

主な構造系オープン CAE を，対応するプリポストとともに表 1 に示す。本研究では Windows 上での環境構築が容易な PrePoMax2.0.1 および Calculix 2.21 を用いた [2]。比較対象となる商用 CAE ソフトウェアには，当所が所有する Ansys Mechanical Enterprise 2022 R2（以下，Ansys）および SOLIDWORKS Simulation Premium 2022 SP2（以下，SOLIDWORKS）を用いた。

PrePoMax の解析機能を表 2 に示す。ソルバーである Calculix には流体解析機能や電磁場解析機能も備わっているが，PrePoMax は主に構造解析機能が中心となっている。PrePoMax の解析機能のうち，動解析機能は商用 CAE ソフトウェアの下位グレードよりも豊富であり，すでに Ansys や SOLIDWORKS を導入している企業であっても，別途導入する意味はあると考えられる。境界条件設定としては，ボルトプリテンション機能やサブモデリング機能，接触面の自動探索機能が備わっているほか，ジオメトリ基準の条件設定も可能となっており，プリ処理においては商用ソフトウェアと遜色ないレベルとな

表 1　主な構造系オープン CAE

ソルバー	対応プリポスト
Calculix	PrePoMax FreeCAD
FrontISTR	EasyISTR
CodeAster	SALOME
OpenRadioss	LS-PrePost (Pre) ParaView (Post)

表 2　PrePoMax 2.0.1 の解析機能

解析分野	詳細
静解析	材料非線形解析 接触非線形解析 幾何非線形解析
動解析	固有値解析（初期応力付与） 調和解析 モーダル時刻歴解析 時刻歴応答解析
伝熱解析	定常解析 非定常（過渡）解析 構造連成解析
その他	摩耗解析 座屈解析

っている。一方，商用ソフトウェアの多くに搭載されているトポロジー最適化や疲労解析については搭載されていない（FreeCAD を使用する場合には実施可能 [3]）など，新しいテクノロジやポスト処理については実装が遅れている。

2.2　計算精度の検証結果

2.2.1　計算内容

当所職員が講師を務める「長岡モノづくりアカデミー・CAE コース，フォローアップ講座」の例題を用いて，PrePoMax と商用 CAE ソフトウェアの違いを確認した。各検証モデルにおける境界条件は各 CAE ソフトウェアのデフォルト設定のほか，Ansys と SOLIDWORKS にはアカデミーでの推奨設定を適用した。また，要素分割密度と収束判定値は設定可能な範囲でソフトウェア間に差が出ないよう設定した。

2.2.2　薄板部品の曲げ変形解析①

図 1 に計算モデルを示す。本来であれば部品単体で計算するのが妥当なモデルであるが，接触問題に対する収束性を確認するため，アセンブリモデルのまま計算した。

表 3，4 に計算結果を示す。併せて，本モデルにおける推奨設定を表 5 に示す。表に示すとおり，PrePoMax ではデフォルト設定で Ansys および SOLIDWORKS の推奨設定と同程度の結果が得られていることがわかる。

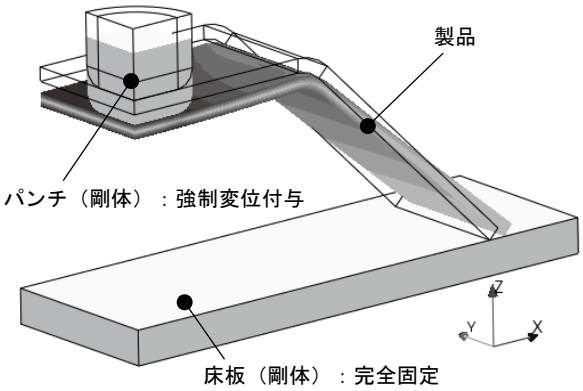


図 1　計算モデル（曲げ変形解析①）

表 3　計算結果（最大相当応力：MPa）

ソフトウェア名	デフォルト設定	推奨設定
Ansys	収束せず	164
SOLIDWORKS	148	164
PrePoMax	164	

表 4　計算結果（X 方向変形量：mm）

ソフトウェア名	デフォルト設定	推奨設定
Ansys	収束せず	0.75
SOLIDWORKS	0.68	0.74
PrePoMax	0.75	

表 5　推奨設定詳細

ソフトウェア名	推奨設定
Ansys	ターゲット面基準で接触検出
SOLIDWORKS	床板を仮想壁で定義

2.2.3　薄板部品の曲げ変形解析②

図 2 に計算モデルを示す。薄板部品の構造解析はシェル要素を用いて実施されることが多いが，本研究では板厚オフセット機能を用いて CAD モデル表面位置にシェル要素を作成した。

計算結果を表 6 に示す。曲げ解析①と同様に PrePoMax と Ansys および SOLIDWORKS の結果に大きな違いは見られなかった。ただし，計算時間には大きな違いがあり，PrePoMax の計算時間は Ansys の 10 倍程度となった。中立面を基準としたシェル要素の場合には同程度の計算時間であったことから，PrePoMax では別途作成した

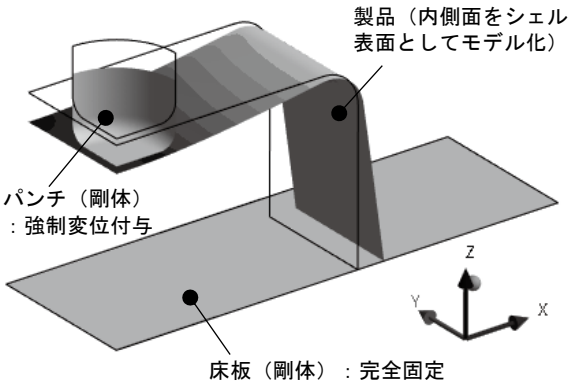


図 2　計算モデル（曲げ変形解析②）

表 6　計算結果（最大相当応力：MPa）

ソフトウェア名	最大相当応力 (MPa)	X 方向変形量 (mm)
Ansys※	72.0	1.08
SOLIDWORKS※	70.8	1.07
PrePoMax	70.5	1.09

※アカデミー推奨条件適用

中立面モデルを用意するほうが効率的であるといえる。なお，CAD モデルに対するシェル要素作成の自由度は SOLIDWORKS が最も高く，CAD モデル表面からシェル要素を作成することが可能となっている。Ansys ではソリッドシェル要素という独自の要素モデルを用いて，ソリッドモデルのままシェル要素と同等の計算を行えるアルゴリズムを有している。シェル要素ではその定義の中で各々の部品の板厚値を入力しなければならないが，ソリッドシェル要素ではその必要がなく，部品点数が増えた場合に作業効率が向上するという利点がある。当所においてもソリッドシェル要素の適用事例は多い。

2.2.4　アセンブリ解析

図 3 に計算モデルを示す。本モデルにはボルト締結部と曲面接触部が含まれており，Ansys と SOLIDWORKS との間でも，異なる計算アプローチをとるものとなっている。

前述のように，PrePoMax にはボルトプリテンション機能が備わっているが，これには CAD で

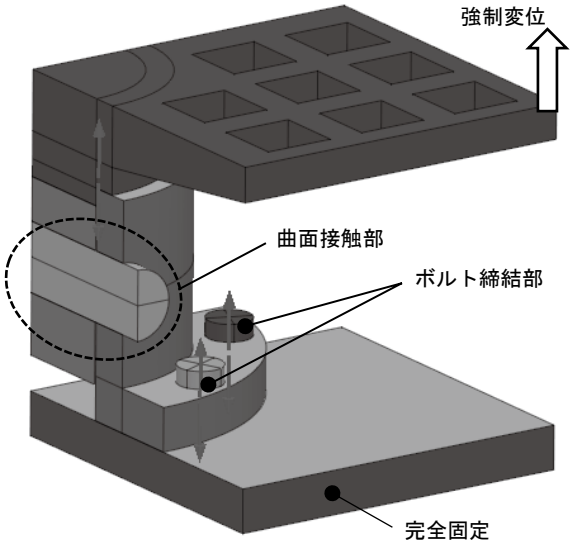


図 3　計算モデル（アセンブリ解析）

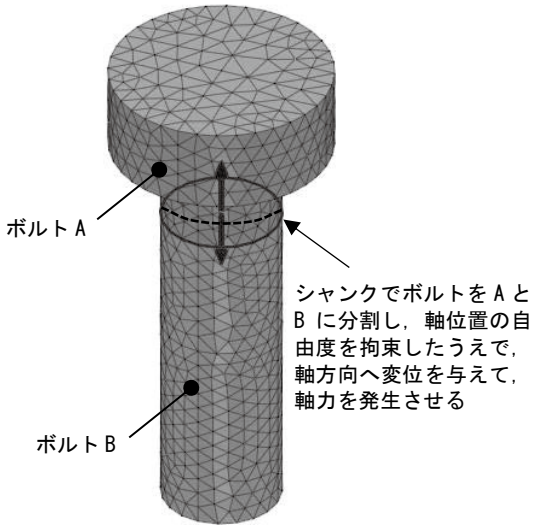


図 4　ボルトプリテンション機能の概要

モデリングされたボルトをシャンクで分割し，内部的な変位を与えることで軸力を発生させるというアルゴリズムが採用されている（図 4）。このアルゴリズムは Ansys と同じものであり，ボルト締結を第 1 ステップ，その状態を維持して目的とする境界条件下での構造シミュレーション（第 2 ステップ）へ移行するという手法も同じである。PrePoMax のボルトプリテンション機能は Ansys ほどには自動化されていないが，本モデルの計算においては同傾向の挙動を得ることができた。一方，SOLIDWORKS ではボル

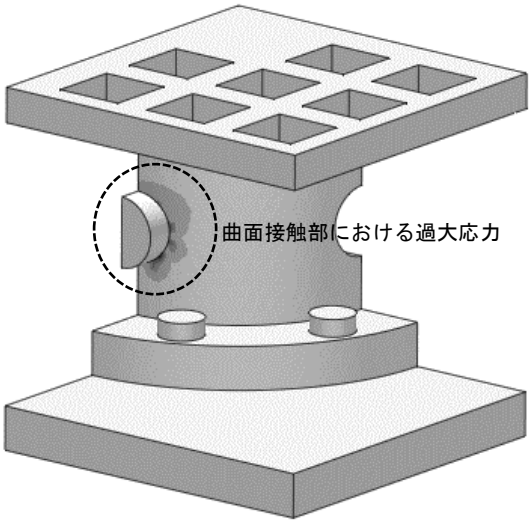


図 5　PrePoMax の計算結果（相当応力分布）

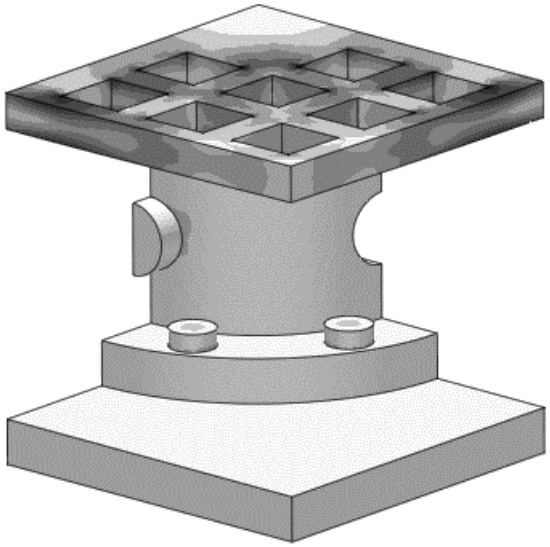
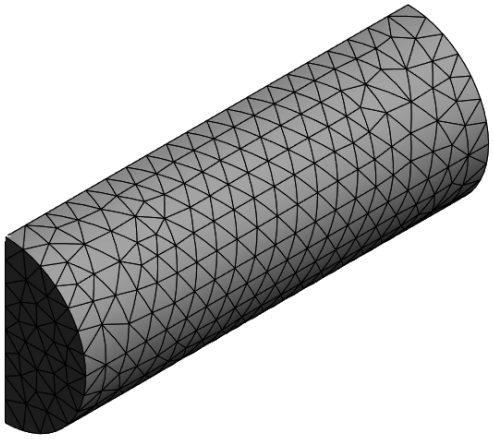
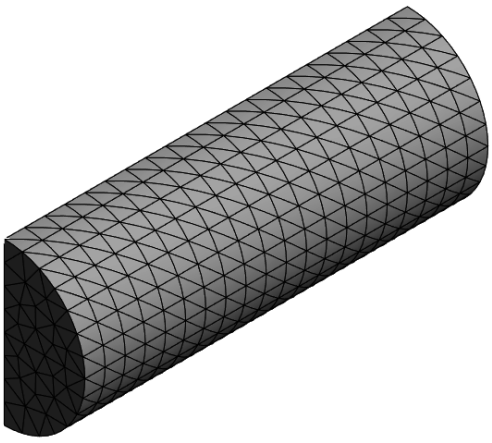


図 7　Ansys のメッシュを読み込んで
計算した結果（相当応力分布）



(1)PrePoMax



(2)Ansys（面メッシング適用）

図 6　メッシュ形状の違い

トのモデル化は不要で，内部処理で仮想的なボルトを作成し，その剛性や座面接触面積を接触面に反映させるアルゴリズムとなっている。ただし，座面の変形を小さく見積もる傾向がある点に注意が必要である。

本モデルに対する PrePoMax の計算結果のうち相当応力分布を図 5 に示す。変形量については Ansys，SOLIDWORKS と同等であったが，図に示すように，PrePoMax では曲面接触部には大きな応力が現れた。これは接触面における節点の初期貫入の影響と考えられる。PrePoMax の接触設定には，初期貫入処理用の Adjust 機能が備わっているが，この現象を完全に解消することはできなかった。そのため，根本的な解決には曲面接触部における要素モデルの調整が必要となる。

PrePoMax に搭載されるオートメッシャー（要素分割機能）では一部の押し出し機能を除き，SOLIDWORKS と同じ高次四面体要素が基本となっている。メッシングアルゴリズムとして各種の分割サイズ，分割数指定は存在するが，図 6(1)に示すように，曲面全体に対して分割位相を揃えるような機能は備えていない。一方，Ansys は Workbench 環境において可能な限り高

次六面体で要素を作成する設定となっており，また四面体要素においても，面メッシング（マップトフェイスメッシング）機能やバイアスを設けた細かな分割指定機能を有しているため，図6(2)に示すようにPrePoMaxやSOLIDWORKSよりも高品質な要素を作成することが可能となっている。接触問題はCAE技術（FEM：有限要素法解析）共通の課題であるが，PrePoMaxではソフトウェア側の自動チューニングが施されていないため，正しい設定を行うためには，CAE技術に関する一定の知識が必要とされる。

なお，PrePoMaxでは他のメッシャーで作成した高品質な要素モデルをAbaqus形式で読み込むことが可能である。今回 Ansys で使用した要素データを読み込ませて計算したところ，図 7 のように初期貫入の問題を解決することができた。

2.2.5 考察

PrePoMaxは数多くの計算分野に対応しており，計算精度も十分実用的であることから，CAE 技術に関する一定の知識や経験を有する技術者であれば，商用CAEソフトウェアの代替ツールとして活用できるものと考えられる。

その一方で，CAE 初心者や未経験者にとっては接触設定や要素品質など，トラブルが発生した際にその対応に苦慮することが予想される。ただし，計算設定がブラックボックス化された商用 CAE ソフトウェアとは異なり，計算設定（内部アルゴリズム）と計算結果の関係を整理しやすく，トラブル対応を重ねることによってCAE 技術に関する知識を深めることが可能になると考えられる。その点において，実務よりもまずはCAE技術者の育成ツールとして導入することもひとつの選択肢になると考えられる。

3. 結　　言

(1) PrePoMax の機能について，プリ処理の機能は商用ソフトウェアと同程度であること，ポスト処理機能は若干少なめであることを確認した。

(2) PrePoMax を用いて接触問題を計算し，平面接触では十分な結果が得られる一方，曲面接触では要素品質に起因するトラブルが発生しやすいことを確認した。

(3) オープンソース CAE ソフトウェアの学習ツールとしての有効性を見出した。

参考文献

1) 平野徹, “CAE と AI の融合によるデジタルツイン開発とスマートサービスのモデル化”, 計算力学講演会講演論文集，2019，F01-1.

2) 柴田良一，「PrePoMax」ではじめる実践　構造解析 改訂版.

3) https://www.youtube.com/watch?v=JkDAnEF2d_4，FreeCAD によるトポロジー最適化，オープン CAE 学会 動画チャンネル，2024 年 3 月 29 日.