

# デジタルものづくりに関する研究（CAE ソフトウェアの検討）

高橋 幸嗣<sup>\*1)</sup>

## Research of the Digital Manufacturing (Examination of the CAE Software)

TAKAHASHI Koji<sup>\*1)</sup>

近年、3次元CADの普及に伴い、無償でCAEを利用できるソフトウェア（無償版CAE）が提供されるようになった。そこで本研究では、有償版CAEと無償版CAEについて同程度の強度解析が可能であるかを比較検証した。検証方法として、理論値を基準とした比較が可能となる簡易的な3次元CADモデルを用いて、曲げおよび引張試験をシミュレーションした。その結果、線形静解析において無償版CAEは有償版CAEと比較して同等の精度を保有していることが確認できた。さらに、企業等が無償版CAEを利活用する際の負担軽減に寄与するために、無償版CAE操作マニュアル（簡易版）を作成した。

### 1. 緒言

近年3次元CADの普及に伴い、デジタル技術を駆使したものづくり手法が注目を集めている。その中でもソフトウェアによる3次元モデルを用いた力学的特性に係るシミュレーションの手法（CAE：Computer Aided Engineering）は、試作品の製作回数を大幅に削減可能であるなど、生産効率の向上に寄与することができる。しかしながら、CAEを活用した手法は、ソフトウェアの導入費用（500万円～1,000万円）が大きく製造コストの低減効果が見積もりにくい等の課題も多い。

そのため最近では、無償でCAEを利用できるソフトウェア（無償版CAE）が提供されるようになり、幅広い業界の設計開発業務で活用されることが期待されている。しかし実状では、それらソフトウェアの認知度が低いことやシミュレーション精度が不明確等の理由から、企業における無償版CAEを活用したものづくり手法は普及が進んでいない。

そこで本研究では、有償版CAEと無償版CAEについて同程度の強度解析が可能であるかを比較検証した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 解析環境

本研究を実施するにあたり、表1に示す解析環境でシミュレーション結果を比較検証した。

#### 2.2 解析モデル

有償版および無償版のシミュレーション結果を比較検証する解析モデルとして、曲げおよび引張試験を再現でき、かつ理論値を基準とした比較が可能となる簡易的な3次元CADモデルを作製した。

表1 解析環境

	有償版	無償版
SOFTWARE	SolidWorks Simulation 2011	Salome-Meca 12.4
OS	Windows 7 Professional 64bit	ubuntu 14.04 64bit
CPU	2.93GHz	3.50GHz
RAM	8.00GB	8.00GB

#### 2.2.1 曲げ試験

図1に示すような両端固定による不静定はりにおける曲げ応力 $\sigma$ および断面二次モーメント $I$ は(1)および(2)式から算出される。また、たわみ量 $\delta$ は(3)式から算出した。

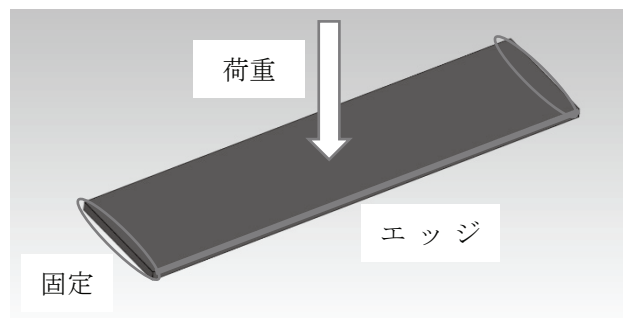


図1 曲げ試験の3次元CADモデル

$$\sigma = (F \cdot l) / (8 \cdot I) \quad (1)$$

$$I = (b \cdot h^3) / 12 \quad (2)$$

$$\delta = (F \cdot l^3) / (192 \cdot E \cdot I) \quad (3)$$

ここで、 $F$ は両端固定されたはりの中心に加える荷重(N)、 $l$ ははりの長さ(=200 mm)、 $b$ ははりの幅(=50 mm)、 $E$ ははりの弾性率(=207 GPa)および $h$ ははりの厚さ(=5 mm)である。そして、この3次元CADモデルの中心位置に対して荷重 $F$ を500～3,000 Nまで500 N間隔で加え、最大曲げ応力および最大たわみ量のシミュレーション結果を(1)および(3)式

\*1) 機械・計測・ITグループ（現 機械・計測・エネルギーグループ）

の理論値と比較した。

さらに、荷重 3,000N におけるはりのエッジ部における応力分布についても、両者のソフトウェアの結果を基に相对比较を実施した。

### 2.2.2 引張試験

図 2 に示すような JIS Z2241 で規定されている 13 号試験片に準拠した試験体の引張応力  $\sigma$  およびひずみ量  $\delta$  は(4)および (5)式から算出した。

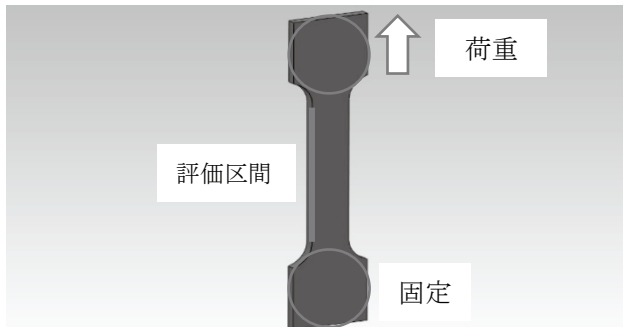


図 2 引張試験の 3 次元 CAD モデル

$$\sigma = F / (b \cdot h) \quad (4)$$

$$\delta = \sigma / E \quad (5)$$

ここで、 $F$  は試験体に加える荷重(N)、 $b$  は試験体の評価幅(=40 mm)、 $h$  は試験体の厚さ(=5 mm)および  $E$  は試験体の弾性率(=207 GPa)である。そして、この 3 次元 CAD モデルを下側のつかみ部を固定した状態で上側のつかみ部に対して、曲げ試験同様に荷重  $F$  を 500~3,000 N まで 500 N 間隔で加えた時の評価区間における引張応力およびひずみ量のシミュレーション結果を(4)および(5)式の理論値と比較した。

また、荷重 3,000N における試験体の評価区間における引張方向の変位量分布についても、両者のソフトウェアの結果を基に相对比较を実施した。

### 2.3 解析条件

有償および無償提供されているソフトウェアのシミュレーション結果を比較するにあたり、表 2 に示す解析条件を同一にした状態で検証を実施した。

表 2 解析条件

	試験体
材料	軟ステンレス鋼
弾性率(GPa)	207
ポアソン比	0.27
メッシュ形状	四面体 2 次メッシュ
メッシュ寸法	最大 2 mm・最小 0.5 mm

## 3. 結果および考察

### 3.1 曲げ試験の解析結果

荷重  $F$  を 3,000 N 加えた際の有償版および無償版の解析結果は図 3 に示すとおりとなり、目視による比較は概ね合致していることが確認できた。

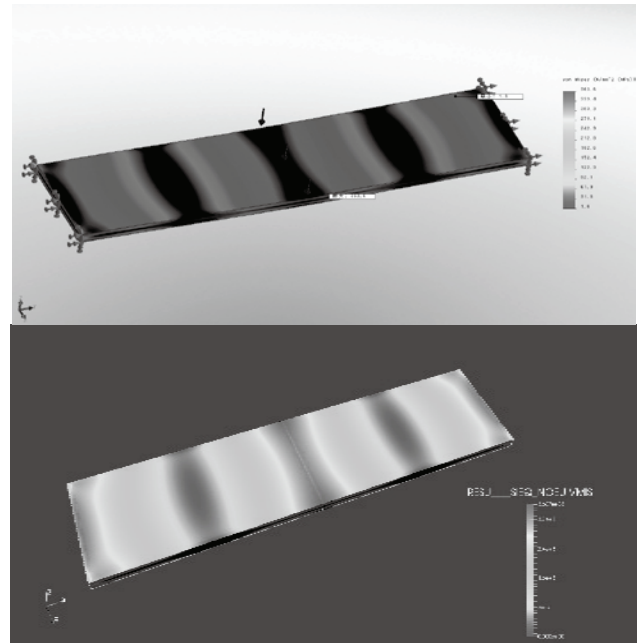


図 3 曲げ試験の解析結果（上：有償版・下：無償版）

#### 3.1.1 理論値を基準とする比較検証

荷重  $F$  に対する最大曲げ応力および最大たわみ量の結果を図 4 および図 5 に示す。これらの結果より、最大曲げ応力における理論値を基準とした場合の有償版および無償版の最大誤差は、1% 及び 0.2% となり、どちらであっても理論値とほぼ一致していることが確認できた。

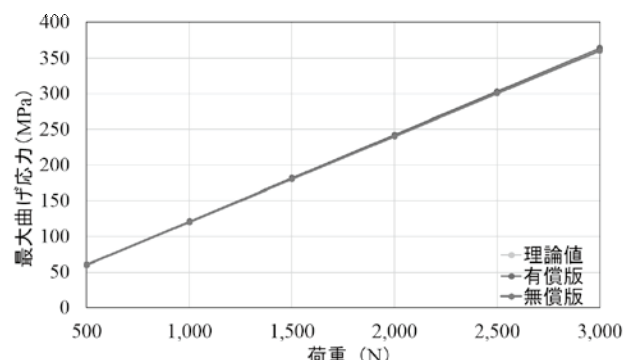


図 4 最大曲げ応力の精度比較

#### 3.1.2 曲げ応力の分布解析結果

図 6 にはりのエッジ部における応力分布を示す。この結果より両端の固定箇所では応力が増大しそこから距離が離れ

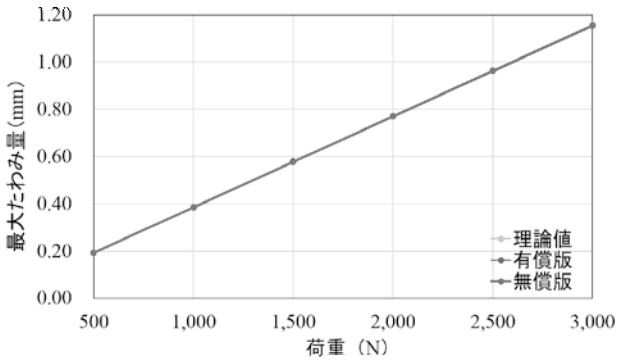


図5 最大たわみ量の精度比較

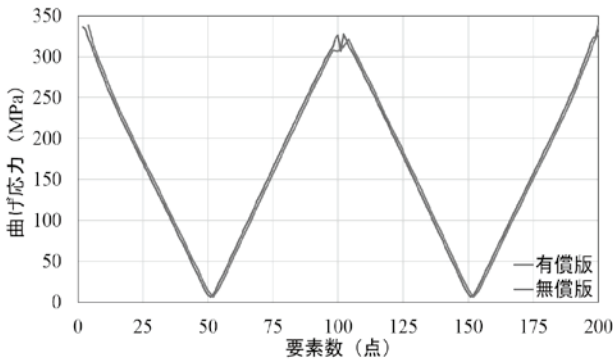


図6 曲げ応力の分布比較

るほど応力値は減少するものの、中心位置で再び応力が増大しており、これは(1)式で示した固定箇所から距離が離れるほど応力が減少する理論と同様であるとともに、有償版および無償版の結果もほぼ一致していることが確認できた。

### 3.2 引張試験の解析結果

荷重  $F$  を 3,000 N 加えた際の有償版および無償版の解析結果は図7に示すとおりとなり、目視による比較は概ね合致していることが確認できた。

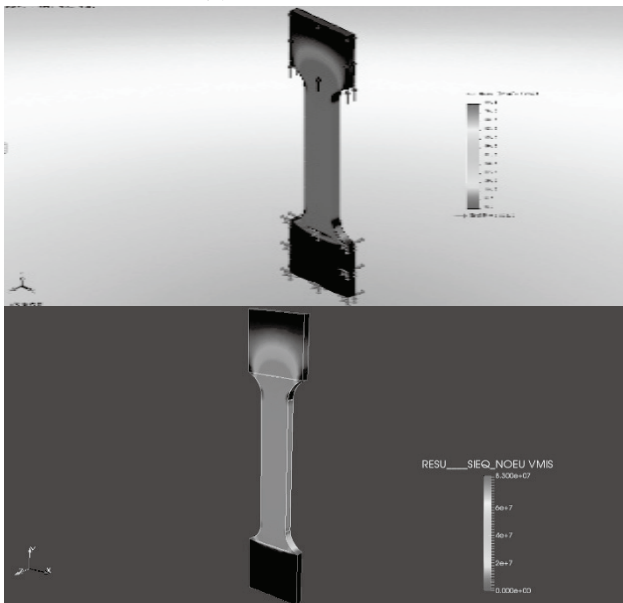


図7 引張試験の解析結果 (上: 有償版・下: 無償版)

#### 3.2.1 理論値を基準とする比較検証

曲げ試験同様に、評価区間における荷重  $F$  に対する引張応力およびひずみ量の結果を図8および図9に示す。これらの結果より、ひずみ量における理論値を基準とした場合の有償版および無償版の最大誤差は、0.02%及び0%となり、どちらであっても理論値とほぼ一致していることが確認できた。

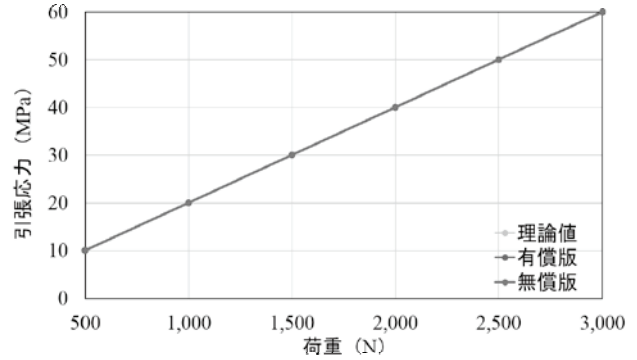


図8 引張応力の精度比較

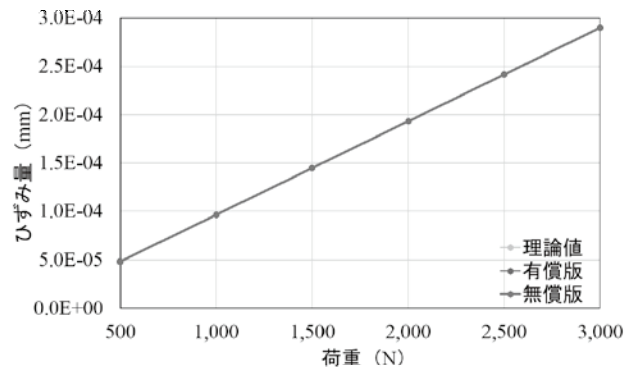


図9 ひずみ量の精度比較

#### 3.2.2 変位量の分布解析結果

図10に評価区間における引張方向の変位量分布を示す。この結果より、引張方向にかけて変位量が比例的に増加しており、有償版および無償版の結果もほぼ一致していることが確認できた。

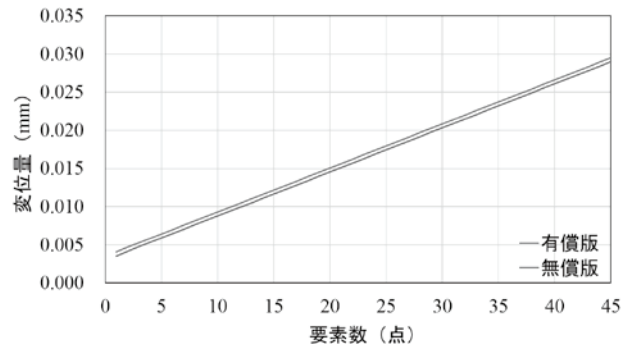


図10 変位量の分布比較

### 3.3 操作マニュアル（簡易版）の作成

線形静解析において、無償版は有償版と比較して同等の精度を保有していることが確認できた。しかし、無償版はオープンソースという形態であるため、メーカーサポートが存在せず自助努力による操作の習熟が求められる。そこで企業等における無償版 CAE の利活用に係る負担軽減を目的に、図 11 に示すとおり無償版 CAE 操作マニュアル（簡易版）を作成した。このマニュアルは、簡易な三次元 CAD モデルを対象として、固定する面や荷重を加える箇所を指定したうえで、メッシュによる要素分割を行い、さらに材料特性のデータを入力することにより、応力やたわみ量のシミュレーション結果を得ることができる内容となっている。



図 11 無償版 CAE 操作マニュアル（簡易版）の一例

今回検証した事例は理論値との比較が可能な単一の簡易な 3 次元 CAD モデルであり、部品を結合させたアセンブリや非線形領域は検証していない。また、無償版では固有値解析や熱解析も可能であるため、有償版と無償版の明確な差はそれらを含めて検証する必要がある。

## 4. 結言

無償版 CAE ソフトウェア（Salome-Meca）を用いて有償版（SolidWorks Simulation）と強度解析に係る精度比較について検証した。その主な結果は、次のとおりである。

- (1) 曲げ試験において、薄板の中心位置に対して荷重  $F$  を 500～3,000 N まで 500 N 間隔で加えたところ、いずれの荷重であっても理論値を基準とした最大曲げ応力および最大たわみ量は無償版と有償版においてほぼ一致した。さらに、エッジ部分における応力分布を相対比較したところ、無償版と有償版の結果はほぼ一致した。
- (2) 引張試験において、荷重  $F$  を 500～3,000 N まで 500 N 間隔で加え、理論値を基準とした場合における評価区間の引張応力およびひずみ量は無償版と有償版においてほぼ一致した。さらに、評価区間における引張方向に対する変位量分布を相対比較したところ、無償版と有償版の

結果はほぼ一致した。

- (3) 曲げ試験および引張試験のシミュレーション結果より、線形静解析において、無償版は有償版と比較して同等の精度を保有していることが確認できた。今後は部品を結合させたアセンブリや非線形領域の検証および固有値解析や熱解析における比較検証も必要である。
- (4) 企業等における無償版の利活用における負担軽減に寄与するために、無償版 CAE 操作マニュアル（簡易版）を作成した。

## 参考文献

- 1) 水谷直弘, “CAE による低コスト設計・開発支援に関する研究”, 滋賀県工業技術総合センター平成 25 年度業務報告, Vol.28, pp.80-82 (2013).
- 2) 榎戸正一, “オープンソース CAE ソフトウェア『Salome-Meca』 Ver.2015.1 静解析 I”, 株式会社ベリテ,
- 3) Code\_Aster & Salome\_Meca 日本語解説, <https://sites.google.com/site/codeastersalomemeca/>
- 4) Jun Tatsuno, “Salome meca トレーニング（初級）「応力解析のはじめかた」”, <https://www.slideshare.net/JunTatsuno/salome-meca-39147801>