

教育用トポロジー最適化プログラム  
**OPTISHAPE-ES**  
説明書

2020年7月1日

東京都府中市府中町1丁目14番1号  
朝日生命府中ビル10F  
株式会社くいと

# 目次

1. 開発の背景	3
2. 概要	3
3. システムの利用法	
3. 1 2次元平板のトポロジー最適化	4
3. 2 3次元平板のトポロジー最適化	10

## 1. 開発の背景

新聞やTVで‘ものづくり立国’の重要性が幾度となく強調されていますが、近年の‘ゆとり教育’による授業時間の短縮により、大学工学部における「材料力学」、「構造力学」のカリキュラムは以前に比べ大幅に少なくなっているといえます。

‘ものづくり’の原点は構造物の強さを知ることであり、設計の原点は軽くて強い構造を素早くつくることです。

コンピュータがなかった頃、設計者は材料力学、構造力学の豊富な知識と、培った経験と勘を駆使して素晴らしい設計をしました。しかし、材料力学を勉強してこなかった者でさえ設計や解析を担当する今日に於いては、何らかの形でこれらの基礎を補う必要があると思われれます。

このような背景を考えると、初心者でも構造物の力の流れを容易に知ることができ、かつ軽い構造物を作るために、不要な部分を削ぎ落とす指針を示すソフトウェアがあれば有用であろうことは簡単に想像できます。

今回、(財)東京都中小企業振興公社の平成17年度東京都中小企業新製品・新技術開発助成金により、本目的に合致する「教育用位相最適化プログラム」を開発致しました。

本ソフトウェアを利用すると、制約した重量で最も剛性の高いトポロジー形状を簡単に知ることができます。このトポロジー形状は、力の伝達経路であるロードパスを示し、初心者が本ソフトウェアを繰り返し使うことにより、‘剛性の高い形状’、‘効果的な補強材の配置’を創造する力が自然と養われるでしょう。

## 2. 概要

本ソフトウェアは、平面応力場および3次元平板のトポロジー最適化を行うものです。3次元平板のトポロジー最適化には、基本となる板の裏表にそれより厚い設計空間を備えて最適な補強を行う機能が含まれます。

本ソフトウェアは教育用に的を絞ったため、構造設計を行う際に最も基本となる、拘束と荷重を設定したモデルの重量(体積)を制約した場合の最適なトポロジー形状(材料分布)を求める機能のみを実装しています。

また、本ソフトウェアはほとんど力学の知識がない者でも、遊び感覚で使え、繰り返し使ううちに、構造力学の基本である、力の流れ、重要な形状(カタチ)を自然に学べるように設計されています。

何度でも楽しみながら、出てくる‘カタチ’を見て、何故そうなるのかを考えましょう。10回もやれば、なんとなくこんな‘カタチ’が出てくるだろうと想像ができるようになります。そうなればしめたもの。あなたも構造設計者としての第一歩を踏み出したのです。

### <注意>

楽しさのあまり、‘やり過ぎて視力が落ちた’、‘手計算をしなくなって馬鹿になった’などというクレームには一切当方は関知いたしませんので、どうぞ自己責任の範囲においてお楽しみ下さい。

### 3. システムの利用法

#### 3. 1 2次元平板のトポロジー最適化

縦：320mm，横：540mm，厚さ：1.0mm の平板領域の左辺の中央部 1/2 を拘束し，右辺の真ん中に下向きの荷重を掛けた時に，体積を領域全体の 40% に制約した場合の最も剛性の高いトポロジー形状を求める問題を例に，使用方法を説明いたします。

ここで，材料定数の縦弾性係数（ヤング率）は 21,000Kgf/mm<sup>2</sup>，ポアソン比は 0.3 がそれぞれプログラム内で自動設定されます。

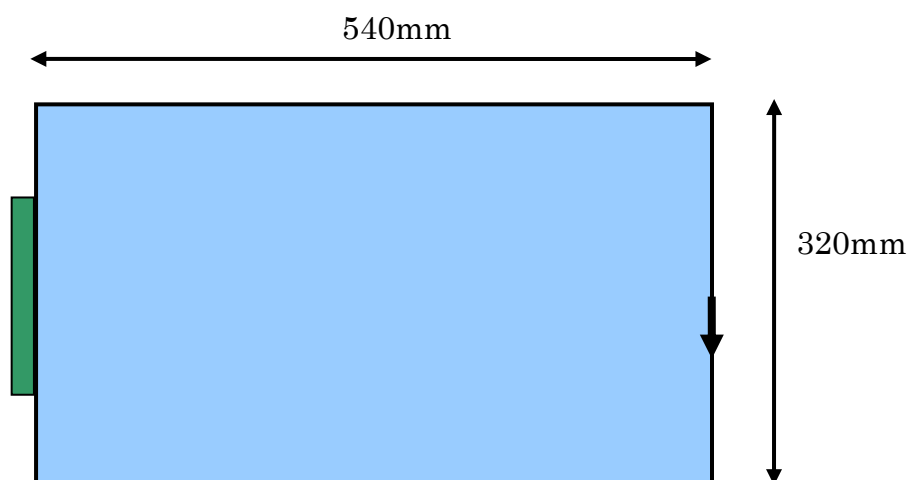


図 3.1 問題

#### 1) スタート

はじめに OPTISHAPE-ES.EXE をダブルクリックすると，図 3.2 の画面が表示されます。

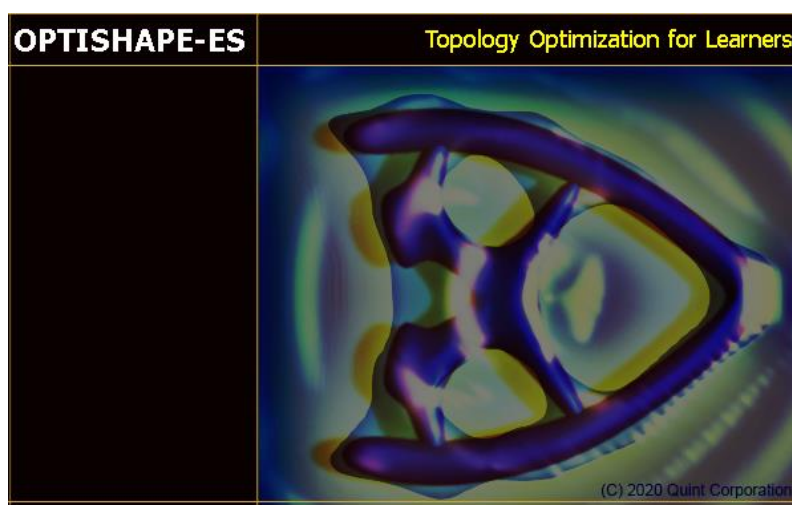


図 3.2 ご挨拶画面

しばらくすると，図 3.3 に示される画面が現れます。

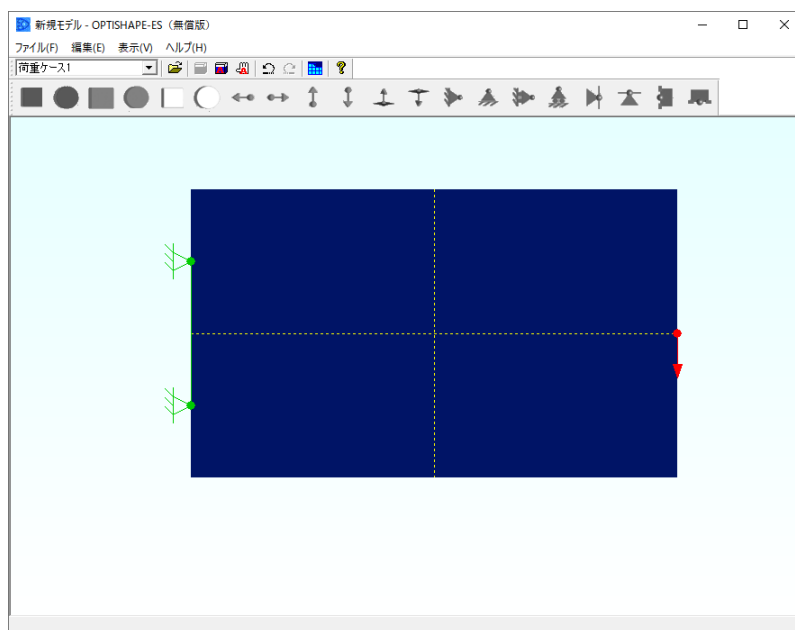


図 3.3 OPTISHAPE-ES の形状作成画面

この画面の構成は以下の通りです。

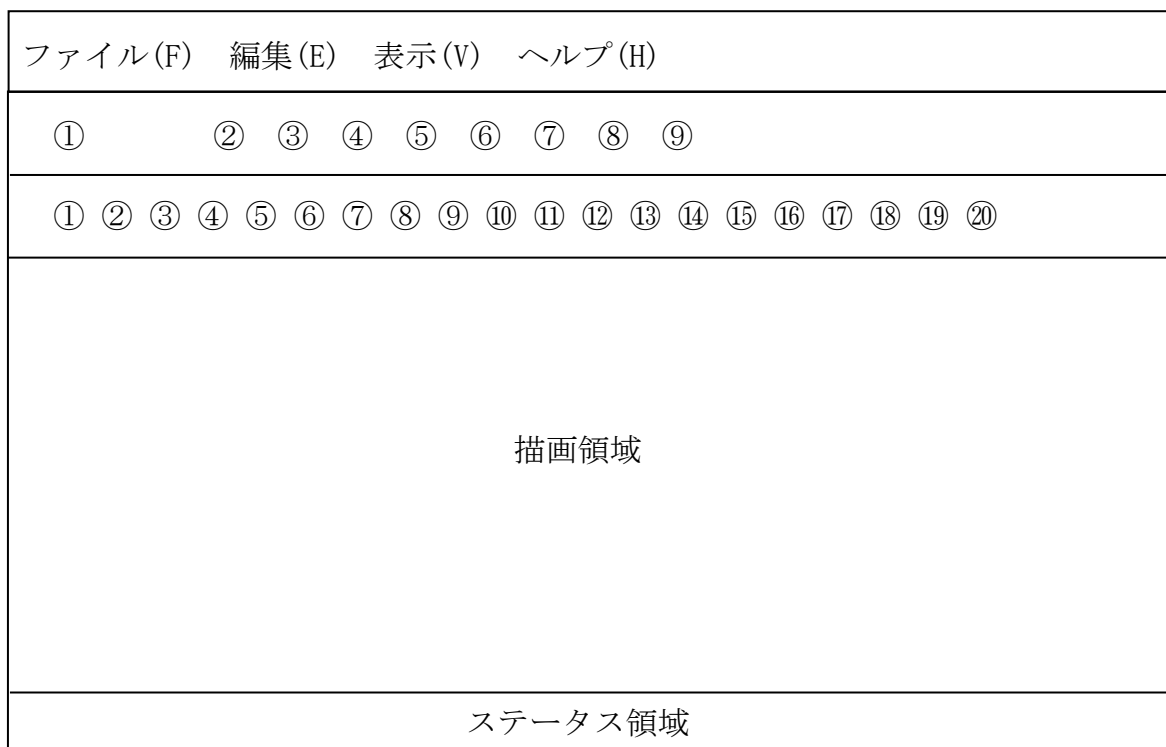


図 3.4 解析モデル

表 3.1 画面説明

A① 荷重ケースの設定	A② ファイルのオープン	A③ 選択した図形の消去
A④ 全ての図形の消去	A⑤ 全ての図形を選択	A⑥ 変更を元に戻す
A⑦ 変更を繰り返す	A⑧ 解析を実行	A⑨ バージョン情報
B① 矩形設計領域	B② 円形設計領域	B③ 矩形非設計領域
B④ 円形非設計領域	B⑤ 矩形無効領域	B⑥ 円形無効領域
B⑦ 面内左向き荷重	B⑧ 面内右向き荷重	B⑨ 面内上向き荷重
B⑩ 面内下向き荷重	B⑪ 面外上向き荷重	B⑫ 面外下向き荷重
B⑬ 完全拘束 (縦)	B⑭ 完全拘束 (横)	B⑮ スライド拘束 (縦)
B⑯ スライド拘束 (横)	B⑰ ピン拘束 (縦)	B⑱ ピン拘束 (横)
B⑲ 対称軸拘束 (y)	B⑳ 対称軸拘束 (x)	

## 2) 設計領域の作成

はじめに、A④のアイコンをクリックして図 3 に示されている例題を消去します。

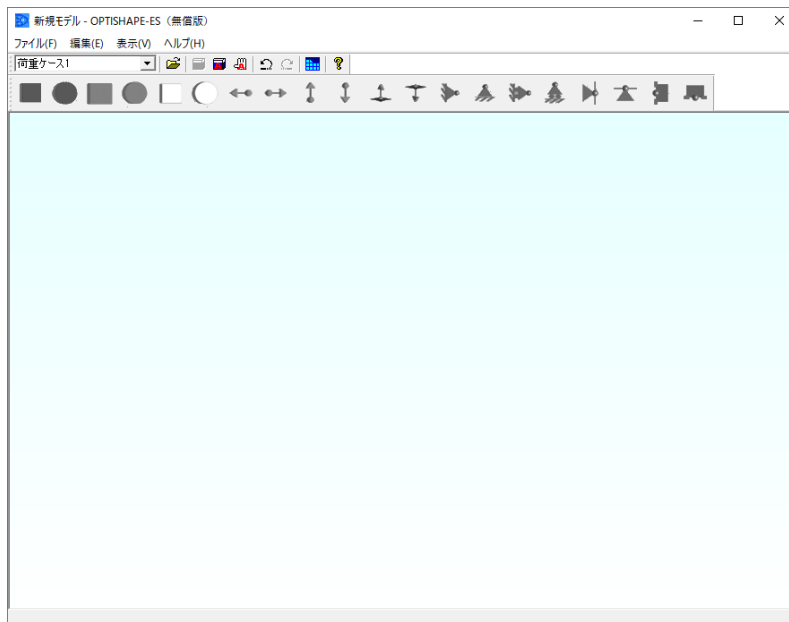


図 3.5 初期画面

<注意> 初期画面で設計領域を作成する時や、拘束、荷重を与える際、作図は2ピクセル単位で行われます。図の中心が真ん中からずれる場合は、図形の端をマウスでつまみ、図形の大きさを1ドット分拡大または縮小して調整して下さい。

次に B①のアイコンをクリックし、描画領域の任意の位置でマウスの左ボタンを押したままマウスを移動し長方形(縦:320mm×横:540mm)の設計領域を作成します。(図 3.6 参照)

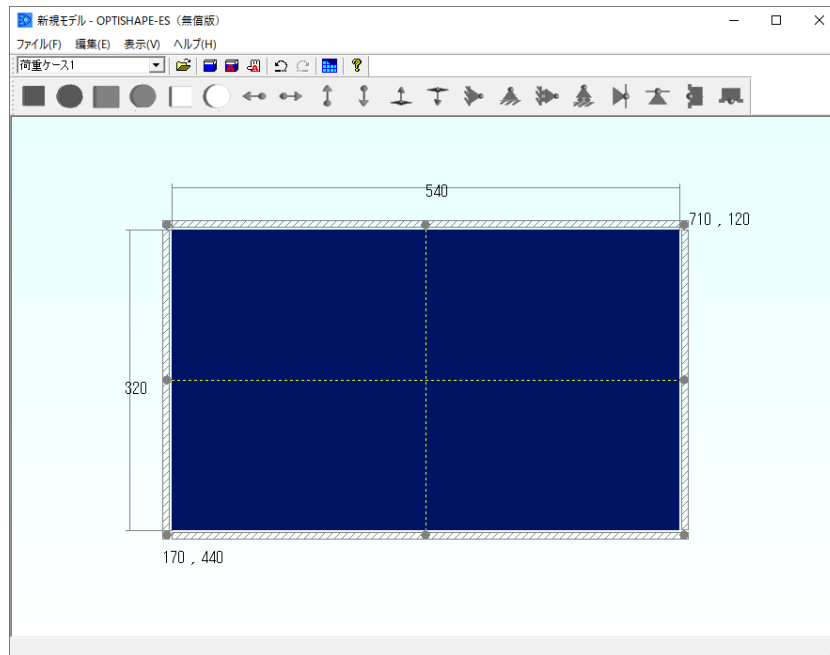


図 3.6 設計領域の作成

### 3) 境界条件 (拘束, 荷重) の設定

B⑬のアイコンをクリックし、モデル左辺の上に置き、拘束マークの外側にある8つの○印の下側をつまみラバーバンドで伸ばして、拘束を与えたい場所に移すことで、図 3.7 のように拘束条件を与えることができます。次に、B⑩のアイコンをクリックし、モデルの右上上の真ん中に置くと、荷重がセットされます。

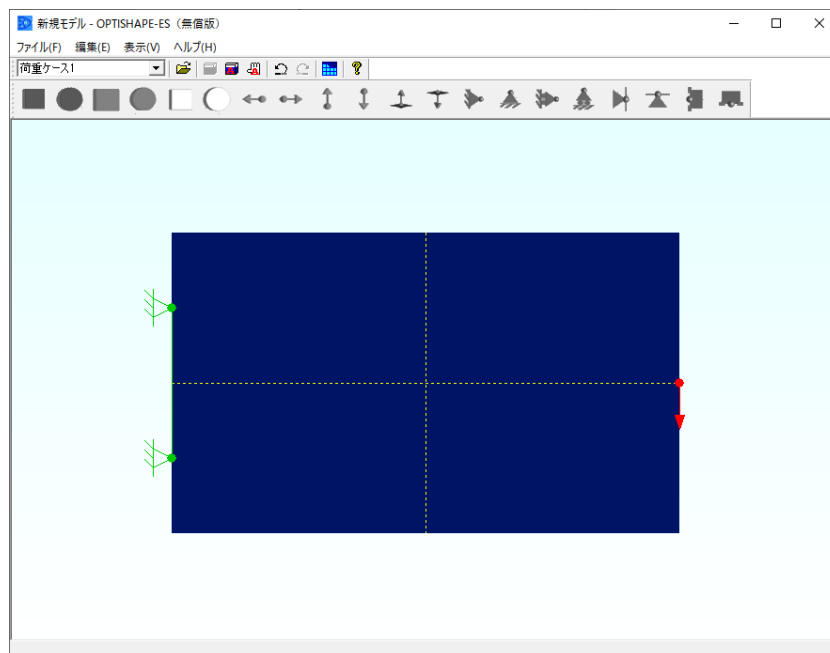


図 3.7 拘束, 荷重の作成

\* 拘束条件, 荷重条件とも、アイコンをクリックし描画領域に配置した後、再度アイコンの○印をつまんで、縦または横に引き伸ばすと、その領域全域に拘束, または荷重がセットされます。

#### 4) 解析実行

A⑧のアイコンをクリックすると、次の解析実行画面が表示されます。

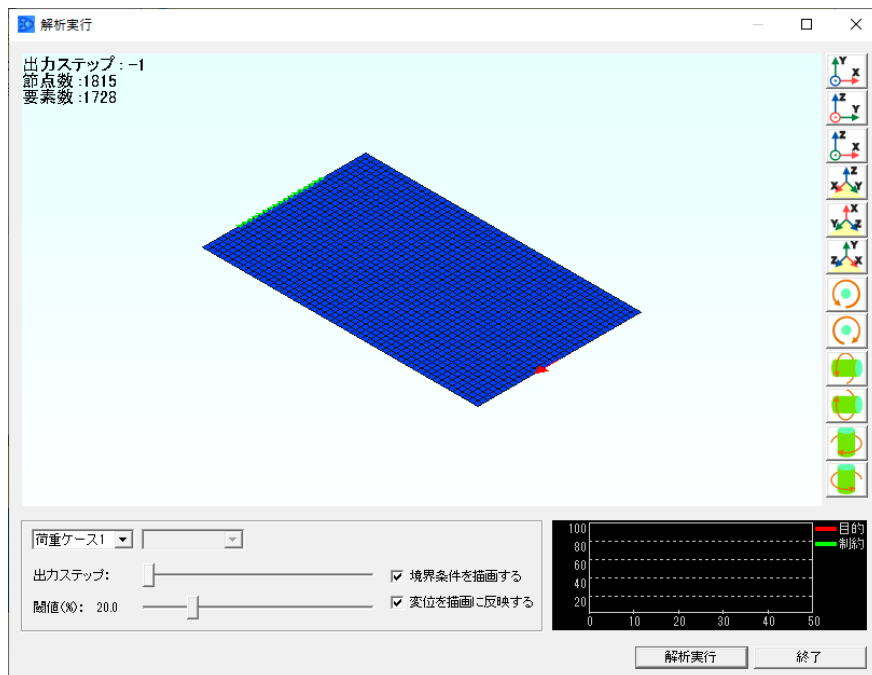


図 3.8 解析実行画面

この問題は2次元なので、右上の x, y と書いてある座標軸のアイコンをマウスでクリックすると、図形は図 3.9 のように2次元座標系で表示されます。

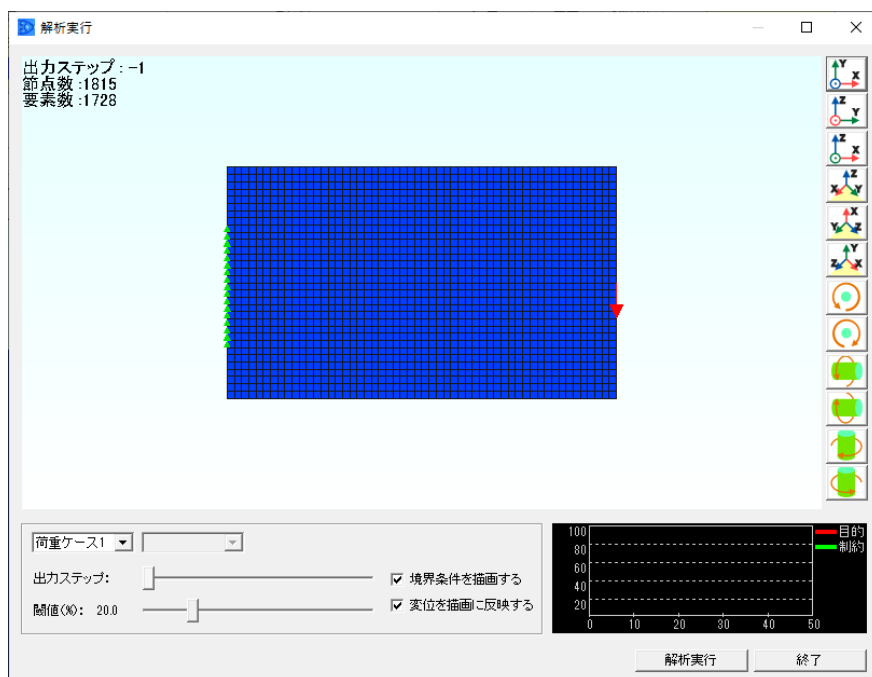


図 3.9 解析実行画面 (+z 方向から見た図)



### 5) 最適化条件の設定

右下の‘解析実行’ボタンを押すと図 3.10 のような体積制約値の定義画面が表示されますので、スライダーを操作して 30% に合わせ、OK ボタンを押します。次に、モデルの板厚を入力します。

2次元問題の場合は、基本板厚はゼロで設計板厚のみ与えます。

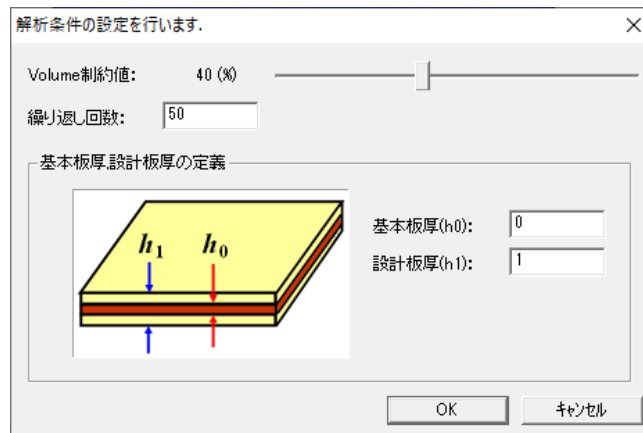


図 3.10 体積制約値，板厚の定義画面

### 6) 最適化計算

OK ボタンを押すと、トポロジー最適化計算が始まり、画面上に最適化の進行状況が刻々と表示されます。

図 3.11 に解析が終了した時の画面を示します。右下のグラフは、目的関数（赤：平均コンプライアンス），制約関数（緑：体積）の履歴を示します。

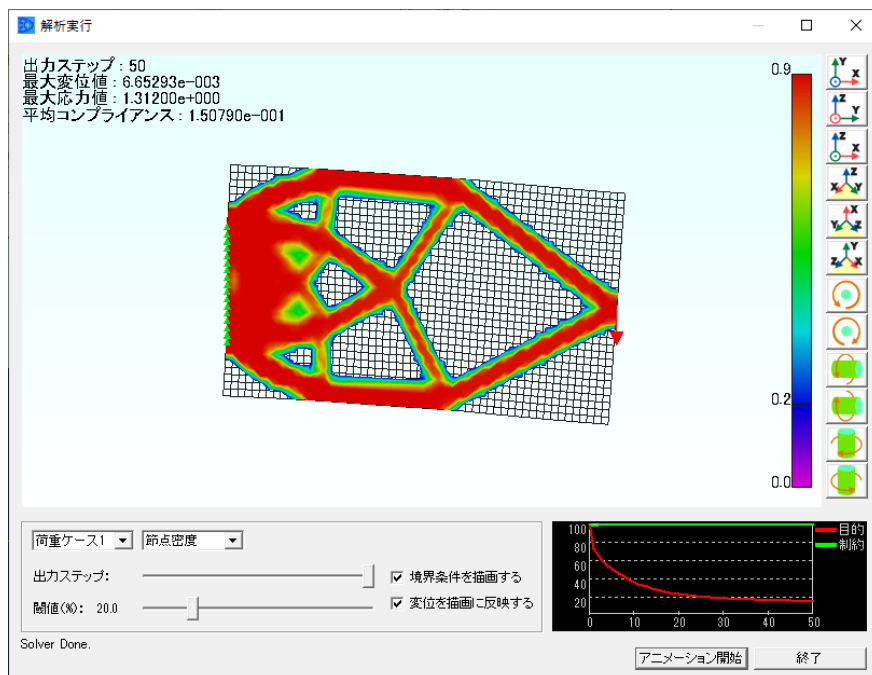


図 3.11 算出されたトポロジー形状と目的関数／制約関数の履歴

- ・図中でマウスの左ボタンでドラッグするか、右の列に並んでいるアイコンを使うと、モデルの回転が自由に行えます。
- ・アニメーション開始ボタンを押すと、計算の始めから終了までの履歴を動画で見ることができます。
- ・‘境界条件を描画する’のチェックボックスをチェックすると、モデルに拘束および荷重条件が表示されます。
- ・‘変位を描画に反映する’のチェックボックスをチェックすると変形図を見ることができます。
- ・‘節点密度’と表示されているボックスには、他に‘変位’，‘応力’，‘要素密度’等があり、それぞれ変位のコンター、フォンミーゼス相当応力のコンター、要素密度のクライテリアを表示することができます。
- ・右下の終了ボタンを押して図 3.7 の画面に戻ったら、ファイルメニューから‘アプリケーションの終了’を選ぶと、プログラムは終了します。

### 3. 2 3次元平板のトポロジー最適化

次に、3次元平板のトポロジー最適化について、前節同様手順を説明いたします。  
モデルは図 3.12 に示す、縦：400mm，横：400mm，厚さ：3.0mm の平板とします。

ケース 1) 基本板厚：0.0mm，設計板厚：3.0mm の場合

ケース 2) 基本板厚：1.0mm，設計板厚：3.0mm の場合

(真ん中の 1.0mm の板の裏表それぞれ 1.0mm の領域に補強をしたい)

の 2 つのケースについて、モデル周囲の面外変位を拘束し、板中央部に垂直集中荷重を負荷して、体積を領域全体の 30% に制約した場合の最も剛性の高いトポロジー形状を求める問題について説明いたします。

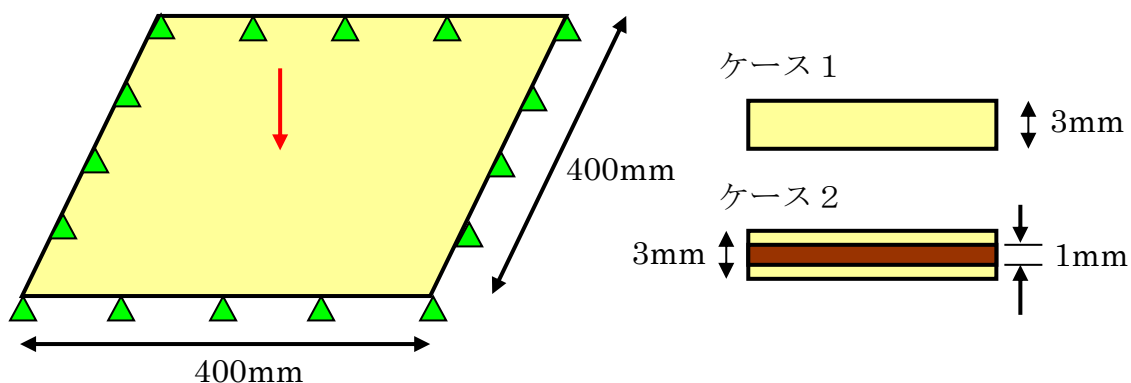


図 3.12 3次元平板の問題

2次元問題と同様に、OPTISHAPE-ES.EXE を立ち上げ、サンプルモデルを消去します。

## 1) 設計領域の作成

前節と同様の操作で設計領域を作成します。

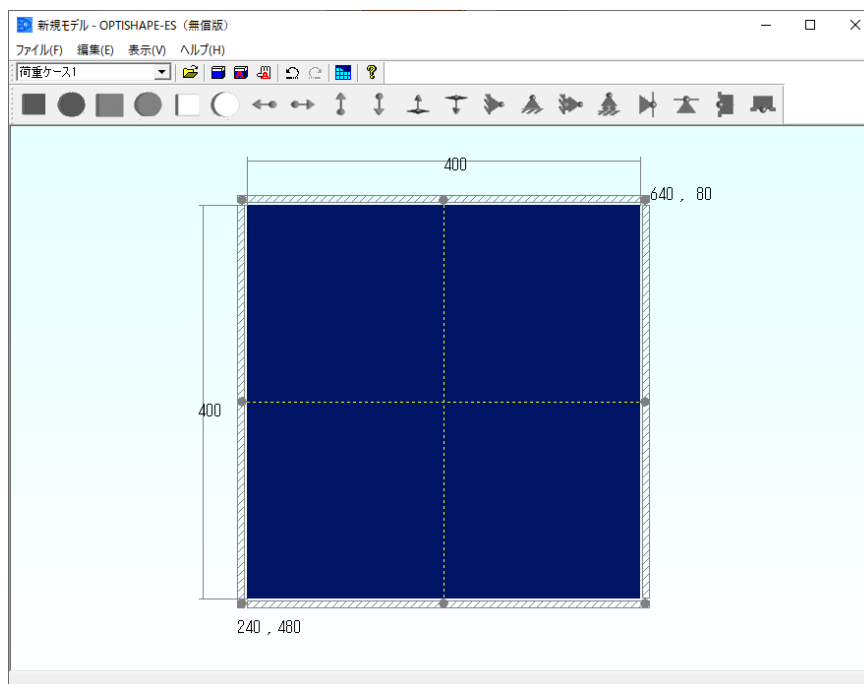


図 3.13 設計領域

## 2) 拘束条件の設定

周辺の面外変位を拘束するので、B⑰、B⑱のアイコンを使って拘束条件を設定します。

まずモデルの底辺に拘束を与えるために、B⑱アイコンをクリックし、正方形の左下角に置いて、右角までラバーバンドで伸ばします。

次にモデルの左辺に拘束を付加するために、B⑰のアイコンをクリックし、左上角に置いて、左下角までラバーバンドで伸ばします。

対辺は、例えば四角形の上の辺に対する拘束条件の設定は、B⑱のアイコンをクリックし画面内に置くと、三角形マークの底辺が下になりますが、図 3.14 に示す上部の丸いマーク（オレンジ色の矢印が示す先）をクリックすると三角形の向きが上下反転いたします。

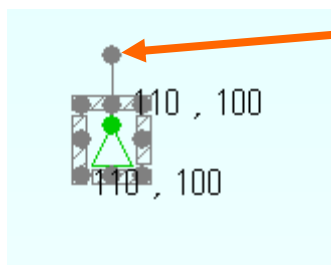


図 3.14 ピン拘束のアイコン

同様にモデルの右辺に設定する場合も，B⑰のアイコンをクリックして画面内に置き，左端の丸いマークをクリックすると，三角形の向きが左右反転しますので，左辺と同様に，頂点からラバーバンドで辺全体に設定すれば完了です。

拘束条件を設定し終わった画面を図 3.15 に示します。

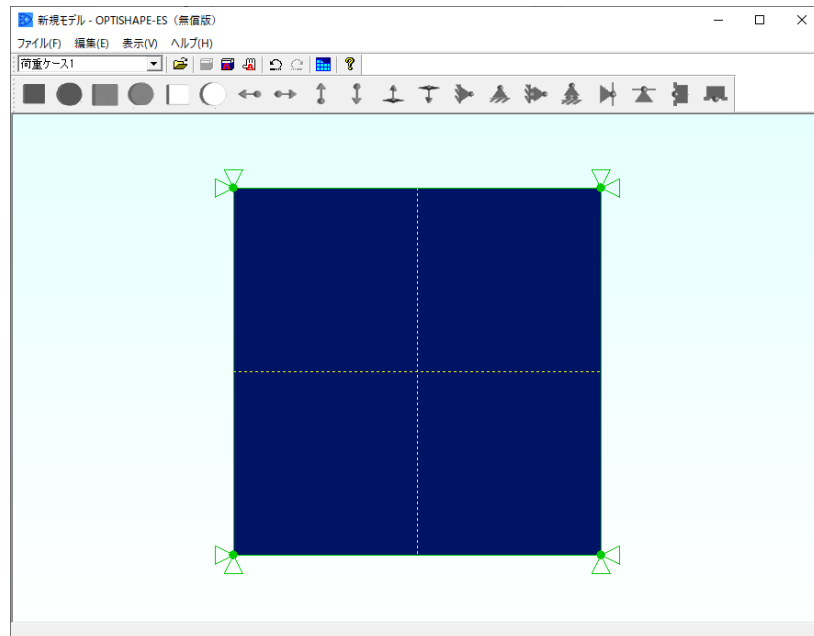


図 3.15 拘束条件を付加したモデル

### 3) 荷重の設定

四角形の真ん中に，面の裏側から表側に向かって集中荷重を与えます．B⑩のアイコンをクリックし，四角形の中心部（2つの破線がクロスした位置）に置きます。

(図 3.16)

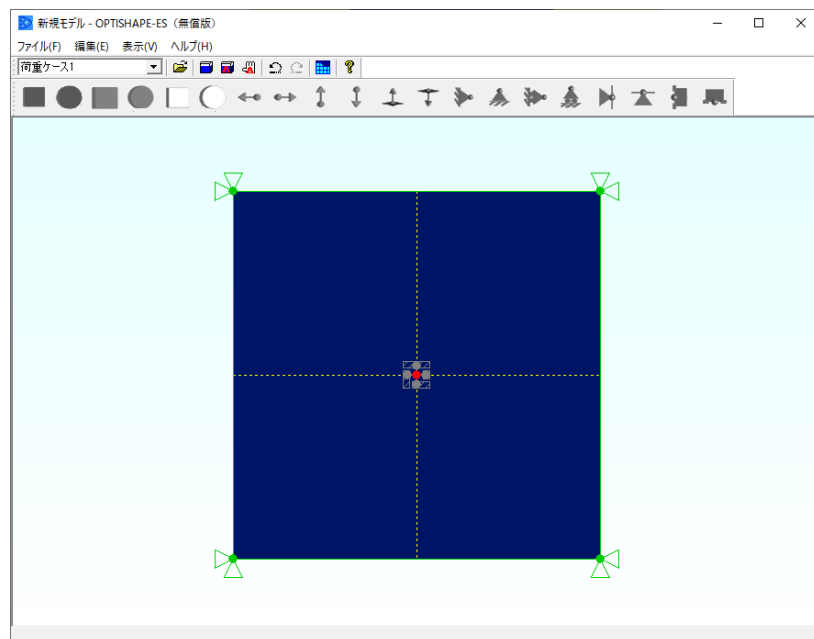


図 3.16 荷重を付加したモデル

#### 4) 解析実行

A⑧のアイコンをクリックすると、次の解析実行画面が現れます。

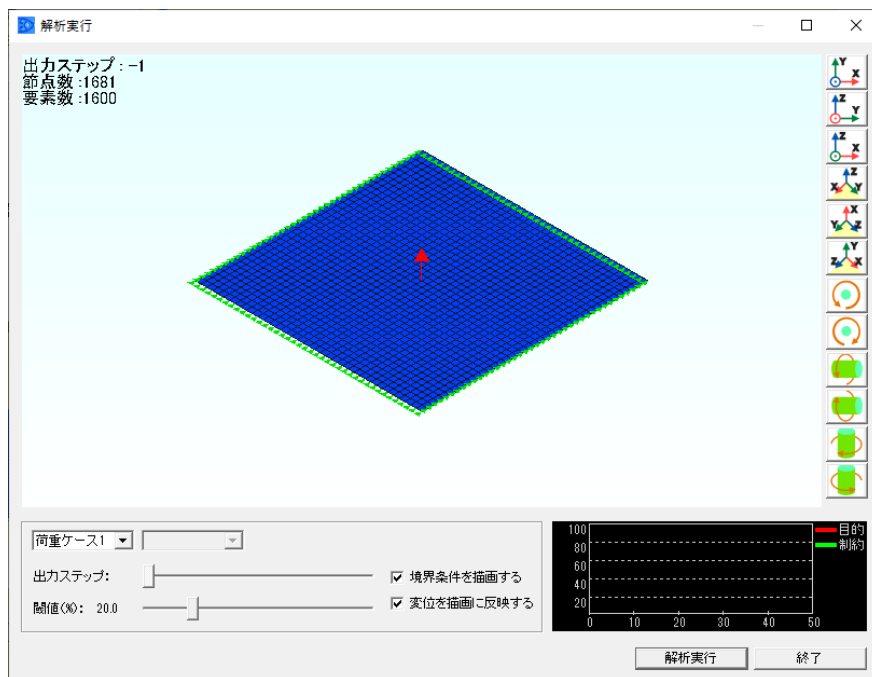


図 3.17 解析実行画面

#### 5) 最適化条件の設定

右下の‘解析実行’ボタンを押すと体積制約値の定義画面が表示されますので、スライダーを操作して制約値を 30%に合わせ、OK ボタンを押します。

次に、モデルの板厚を入力します。

ここで、3次元板の補強を行うのに便利な機能を紹介します。面外に荷重が掛かったモデルについて、基本板厚、設計板厚の両方を使うことにより、板の補強レイアウトを求めることが可能になります。

基本板厚を入力する場合は、そこで入力した板厚部分は設計対象にはならず、基本板厚より大きい設計板厚として入力された設計空間に、制約された体積の材料が配置されます。即ち基本板厚として定義された板の裏表に補強のレイアウトが付加される訳です。

- ・ ケース 1) の場合

基本板厚：0.0

設計板厚：3.0 を入力

即ち、板厚 3.0mm の設計空間に 30%の材料を残して最適トポロジー形状を求めます。

- ・ ケース 2) の場合

基本板厚：1.0

設計板厚：3.0 を入力

即ち、厚み方向の中心に 1.0mm の板があり、この板は設計後も変化しません。中央の 1.0mm の板の外側（裏表）にそれぞれ裏側：1.0mm、表側：1.0mm の厚さの設計空間に 30%の材料を残して補強モデルを作ります。それぞれの画面を図 3.18 に示します。

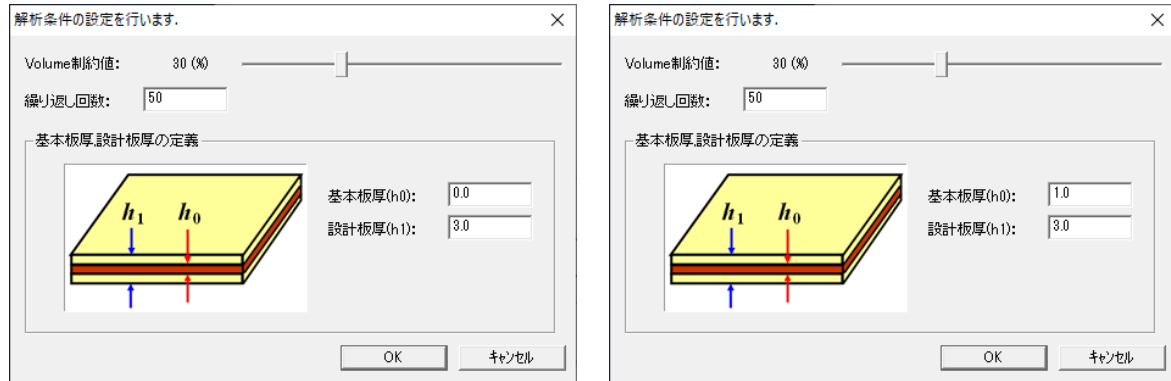


図 3.18 体積制約値，板厚の定義画面（左：ケース 1，右：ケース 2）

## 6) 最適化計算

OK ボタンを押すと、トポロジー最適化計算が始まり、画面上に最適化の進行状況が刻々と表示されます。

図 3.19 にケース 1 の最適化が終了した時の画面を示します。右下のグラフは、目的関数（赤：平均コンプライアンス），制約関数（緑：体積）の履歴を示します。

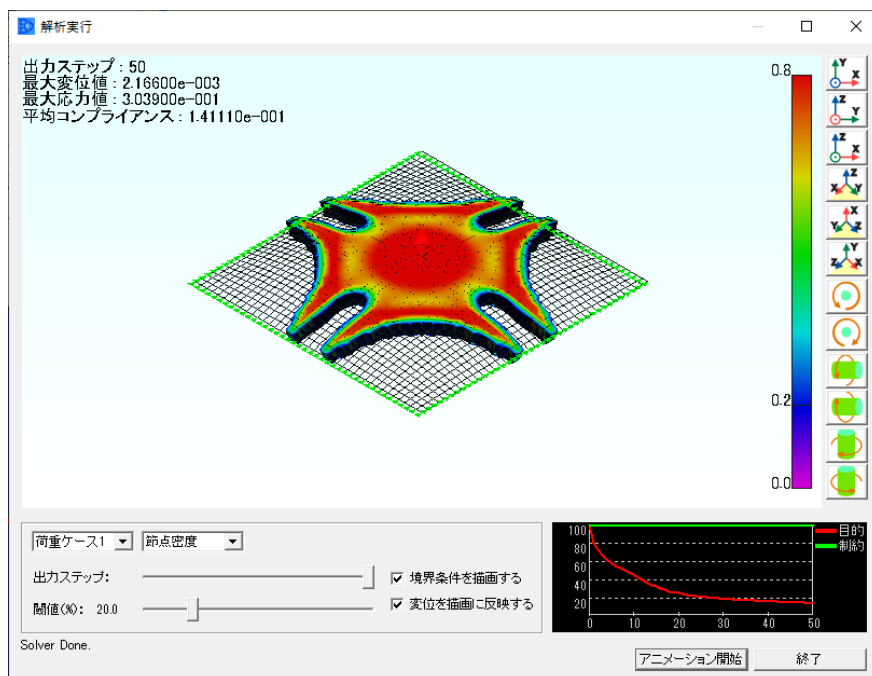


図 3.19 算出されたトポロジー形状と目的関数／制約関数の履歴（ケース 1）

同様にケース 2 の結果を図 3. 20 に示します。

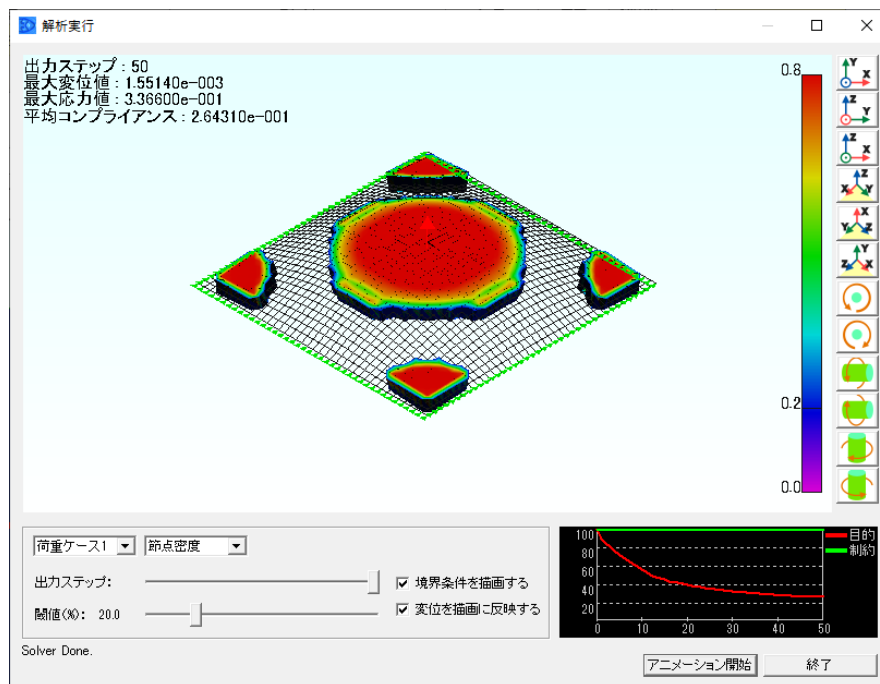


図 3. 20 算出されたトポロジー形状と目的関数／制約関数の履歴（ケース 2）

図 3. 19 に示すケース 1 の結果は、板厚方向の中心部に非設計領域を持たないので、拘束部と荷重載荷部の材料分布は繋がりますが、図 3. 20 に示すケース 2 の結果は、板厚中心部に初めから厚さ 1mm の板が存在していますので、裏表に図に示すような補強レイアウトが現れ、拘束部分と荷重載荷部分は必ずしも繋がりません。

両ケース共に、目的関数である平均コンプライアンス（外力の成す仕事）は、計算初期から大幅に減少しており、制約の体積はほとんど変わっていませんので、同じ重さで剛性は十分確保できたといえます。

以上