

# SolidWorks Simulation を使った応力解析ア プリケーション入門、 学生用ガイド



Dassault Systemes SolidWorks Corporation 300 Baker Avenue Concord, Massachusetts 01742 USA 電話番号: +1-800-693-9000

米国外:+1-978-371-5011 ファックス:+1-978-371-7303 電子メール:info@solidworks.com ウェブ:http://www.solidworks.com/education © 1995-2010, Dassault Systemes SolidWorks Corporation, a Dassault Systemes S.A. company, 300 Baker Avenue, Concord, Mass. 01742 USA. All rights reserved.

本ドキュメントに記載されている情報とソフトウェアは、予 告なしに変更されることがあり、Dassault Systemes SolidWorks Corporation (DS SolidWorks)の保証事項ではあり ません。

この製品を DS SolidWorks の書面上の許可なしにその目的、 方法に関わりなく複製、頒布はできません。

本ドキュメントに記載されているソフトウェアは、使用許諾 に基づくものであり、当該使用許諾の条件の下でのみ使用あ るいは複製が許可されています。DS SolidWorks がソフト ウェアとドキュメントに関して付 与するすべての保証は、 使用許諾契約に規定されており、本ドキュメントまたはそ の内容に記載、あるいは黙示されているいかなる事項も、 保証を含め使用許諾契約のいかなる条件の変更、あるいは 補完を意味するものではありません。

#### 特許に関する注記

SolidWorks® 3D mechanical CAD software is protected by U.S. Patents 5,815,154; 6,219,049; 6,219,055; 6,611,725; 6,844,877; 6,898,560; 6,906,712; 7,079,990; 7,477,262; 7,558,705; 7,571,079; 7,590,497; 7,643,027; 7,672,822; 7,688,318; 7,694,238; 7,853,940; and foreign patents, (e.g., EP 1,116,190 and JP 3,517,643).

eDrawingsR software is protected by U.S. Patent 7,184,044; U.S. Patent 7,502,027; and Canadian Patent 2,318,706.

U.S. and foreign patents pending.

#### SolidWorks の製品およびサービスの商標と製品名

SolidWorks、3D PartStream.NET、3D ContentCentral、 eDrawings、eDrawingsのロゴは、SolidWorksの登録商標で す。FeatureManager は SolidWorks が共同所有する登録商標で す。

CircuitWorks、Feature Palette、FloXpress、PhotoWorks、TolAnalyst、XchangeWorks は DS SolidWorks の商標です。

FeatureWorks は、Geometric Software Solutions Ltd. の登録商標です。

SolidWorks 2011、SolidWorks Enterprise PDM、SolidWorks Simulation、SolidWorks Flow Simulation、eDrawings Professional は DS SolidWorks の製品名です。

その他、記載されているブランド名、製品名は、各社の商標および登録商標です。

#### **COMMERCIAL COMPUTER SOFTWARE - PROPRIETARY**

U.S. Government Restricted Rights. Use, duplication, or disclosure by the government is subject to restrictions as set forth in FAR 52.227-19 (Commercial Computer Software - Restricted Rights), DFARS 227.7202 (Commercial Computer Software and Commercial Computer Software Documentation), and in the license agreement, as applicable.

Contractor/Manufacturer:

Dassault Systemes SolidWorks Corporation, 300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742 USA

#### SolidWorks Standard、Premium、Professional、 Education 製品の著作権情報

Portions of this software  $\bigcirc$  1986-2010 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved.

Portions of this software  $\bigcirc$  1986-2010 Siemens Industry Software Limited. All rights reserved.

Portions of this software C 1998-2010 Geometric Ltd.

Portions of this software  $\ensuremath{\mathbb{C}}$  1996-2010 Microsoft Corporation. All rights reserved.

Portions of this software incorporate PhysX<sup>TM</sup> by NVIDIA 2006-2010.

Portions of this software @ 2001 - 2010 Luxology, Inc. All rights reserved, Patents Pending.

Portions of this software © 2007 - 2010 DriveWorks Ltd.

Copyright 1984-2010 Adobe Systems Inc. and its licensors. All rights reserved. Protected by U.S. Patents 5,929,866; 5,943,063; 6,289,364; 6,563,502; 6,639,593; 6,754,382; Patents Pending.

Adobe、Adobe のロゴ、Acrobat、Adobe PDF のロゴ、 Distiller、および Reader は、米国およびその他の国において Adobe Systems Inc. の登録商標または商標です。

その他の知的財産情報については、ヘルプ>バージョン情 報をご覧ください。

#### SolidWorks Simulation 製品の著作権情報

Portions of this software © 2008 Solversoft Corporation. PCGLSS © 1992-2007 Computational Applications and System Integration, Inc. All rights reserved.

#### Enterprise PDM 製品の著作権情報

Outside In® Viewer Technology, c Copyright 1992-2010, Oracle © Copyright 1995-2010, Oracle. All rights reserved. Portions of this software © 1996-2010 Microsoft Corporation. All rights reserved.

#### eDrawings 製品の著作権情報

Portions of this software © 2000-2010 Tech Soft 3D.

Portions of this software  $\ensuremath{\mathbb{C}}$  1995-1998 Jean-Loup Gailly and Mark Adler.

Portions of this software © 1998-2001 3D connexion.

Portions of this software  $\mathbb{C}$  1998-2010 Open Design Alliance. All rights reserved.

Portions of this software © 1995-2009 Spatial Corporation.

This software is based in part on the work of the Independent JPEG Group

## このトレーニング コースについて

SolidWorks Simulation を使った応力解析アプリケーション入門ならびに付属の資料は、教育機関において SolidWorks を教える際のガイドとして作成されています。

## オンライン チュートリアル

*SolidWorks Simulation を使った応力解析アプリケーション入 門*は SolidWorks Simulation オンライン チュートリアルを補完 する付属リソースとして提供されています。

#### チュートリアルへのアクセス

オンラインチュートリアルを開始するには、**ヘルプ**、 SolidWorks チュートリアル、すべての SolidWorks チュー トリアルをクリックします SolidWorks のウィンドウのサイ ズが調整され、その横に表示されるウィンドウにチュートリ アルのリストが表示されます。リンクの上にポインタを置く と、チュートリアルの内容を示す図がウィンドウの下部に表 示されます。希望のチュートリアルのリンクをクリックする と、チュートリアルが開始されます。

#### 表記規則

- チュートリアルを最適の状態で表示するには、画面の解像度 を 1280x1024 に設定してください。
- チュートリアルには以下のアイコンが表示されます。

Next > チュートリアルの次の画面に進みます。

- ★注意事項やヒントを表します。リンクとして表示されない 場合、情報はアイコンの右側に表示されます。ここに 表示される注意事項やヒントは、効率的な作業方法 や役に立つ情報を提供します。
- ビッスン内で使用されるほとんどのツールバーボタンは、 クリックすると対応する SolidWorks ボタンが表示されます。ボタンを最初にクリックした時に、次のような ActiveX コントロールメッセージが表示されます: An ActiveX control on this page might be unsafe to interact\_with other parts of the



page. Do you want to allow this interaction? これは、標準的な警告です。オン ライン チュートリアルの ActiveX controls がユーザーのシステムに<u>悪影響を与えることは</u> <u>ありません</u>。いいえ (No) をクリックすると、そのトピックのスクリプトは無効になりま す。はい (Yes) をクリックするとスクリプトが実行されボタンが点滅します。

 ●ファイルを開くあるいはこのオプションを設定を意味します。クリックすると、ファイルを 開く、あるいはオプションを設定する操作が自動的に行われます。

1

**Video example** はこのステップについてのビデオを表示します。

- このまたします。チュートリアルの完了に必修ではありませんが、そのテーマに対するより詳しい説明を見ることができます。
- **解説**リンクでは、手順に関する詳細情報を表示し、なぜそのような手順を使用するのかについて解説します。この情報も、チュートリアルの完了には必須ではありません。

#### チュートリアルの印刷

オンラインチュートリアルは以下の手順で印刷することができます:

1 チュートリアル ナビゲーション ツールバーで表示 f をクリックします。

これにより、オンライン チュートリアルの目次が表示されます。

2 レッスンを表す本の形をしたアイコンを右クリックし、ショートカットメニューから印刷を 選択します。

トピックの印刷ダイアログボックスが表示されます。

- 3 選択された見出しおよびすべてのサブトピックを印刷を選択して、OK をクリックします。
- 4 印刷したい各レッスンに対してこの手順を繰り返してください。

## SolidWorks Simulation 製品ライン

このコースでは、SolidWorks Simulation を使った弾性ボディの静的線形解析の概要に重点を置いていますが、この製品ライン全体では幅広い解析分野に対応しています。以下に SolidWorks Simulation パッケージおよびモジュールによってできる事柄を示します。

静解析スタディは静的な荷重をかけた部品およびアセンブリの線 形応力解析ツールを提供します。このスタディタイプで調べるこ とのできる代表的な問題は次のようなものです: 通常の動作時の荷重の下で部品が破損しないか? モデルは過剰設計されていないか? 設計を変更することにより安全率を向上できるか?

座屈解析は薄い部品が圧縮荷重を受けた際の振る舞いを解析しま す。このスタディタイプで調べることのできる代表的な問題は次のようなものです: 容器の脚は降伏によって破壊しない強度を持っている、しかし安定性を失って崩壊し ない強度を備えているか? 設計を変更することによりアセンブリに含まれる薄い部品の安定性を確保できるか?

固有値スタディは固有値モード、固有振動数の解析ツールを提供し ます。これは静的、動的に荷重を受ける多くの部品の設計において 重要な機能です。このスタディタイプで調べることのできる代表的 な問題は次のようなものです: 通常の動作時の荷重の下で部品が共振しないか? 想定している用途に対して部品の振動特性は適切だろうか? 設計を変更することにより振動特性を向上できるか?





熱伝達スタディでは、伝導、対流、輻射による熱伝達の解析ツー ルを提供します。このスタディタイプで調べることのできる代表 的な問題は次のようなものです: 温度変化はモデルに影響するだろうか? 温度が変動する環境でモデルは正しく動作するだろうか? モデルが冷却される、または過熱するまでにかかる時間は? 温度変化によりモデルは膨張するか? 温度変化による応力によって製品が壊れないか?(静解析と熱解 析の組み合わせによりこの問題を調べることができます)

落下試験解析は、動く部品やアセンブリが障害物に衝突する際 の応力を解析するのに使用します。このスタディタイプで調べ ることのできる代表的な問題は次のようなものです: 製品が輸送中に乱雑に扱われたり、落とされたりしたらどうな るか?

製品がフローリング、カーペット、コンクリートなどの上に落 とされたらどうなるか?

最適化スタディは最大応力、重量、最適な周波数、等選択され た基準セットに基づいて設計を改良(最適化)するために適用されます。この スタディタイプで調べることのできる代表的な問題は次のようなものです: 設計意図を保ったまま、モデルの形状を変更することはできるだろうか? 強度や性能を損なうことなく、設計を軽く、小さく、安価にすることはできる だろうか?

疲労解析スタディは、長い期間に渡り繰り返し荷重を受ける部品 およびアセンブリの耐久性を解析します。このスタディタイプで 調べることのできる代表的な問題は次のようなものです: 製品寿命を正確に予測することはできるか? 現在の設計を変更することで製品寿命を延ばすことはできるか?

長い期間に渡って変動する力や温度荷重にさらされた場合、モデ ルは安全性を保てるか? モデルを再設計することにより力や温度の変化による損傷を最小 化できるか?

非線形スタディは、著しい荷重および/または大きな変形を経験する部品およびアセンブリの応力を解析するツールを提供します。このスタディタイプで調べることのできる代表的な問題は次のようなものです: 与えられた荷重の下で、ゴム(Oリングなど)やフォームで作られた部品はうまく動作するか?

通常の使用条件下で、モデルに過剰な曲げが発生しないか?

ダイナミック解析は、荷重により力を加えられたオブジェクトの時間変化 を解析します。代表的な例は、車両に搭載される部品へのショック荷重、 振動荷重を受けるタービン、ランダムに荷重を受ける航空機の部品、等が あげられます。線形解析(構造的変形が小さい、基本材料モデル)および 非線形解析(構造的変形が大きい、荷重条件が厳しい、高度な材料)の両 方があります。このスタディタイプで調べることのできる代表的な問題は 次のようなものです:

設計したマウント部品は、車両が大きな穴の上を通った場合のショック荷重に耐える安全性を 持っているか? そのような条件でどの程度変形するか?







Motion Simulation では機構のキネマティックおよびダイナミックな動作につい て解析します。ジョイント力および慣性力はその後 SolidWorks Simulation スタ ディに渡すことにより応力解析に使用できます。このモジュールで調べること のできる代表的な問題は次のようなものです: モーターあるいはアクチュエータの正しいサイズは? リンク、ギア、ラッチ機構の設計は最適だろうか? 構成部品の変位、速度、加速度はどの程度か? 機構は効率的に動作するか? 改良することはできるか? 複合モジュールでは、積層複合材料で作成されたストラクチャのシ ミュレーションを行うことができます。 このモジュールで調べることのできる代表的な問題は次のようなも

与えられた荷重で複合材料のモデルが破壊しないか? 強度と安全性を損なうことなく、複合材料を使ってストラクチャを 軽くすることができるか? 積層複合材料が剥離しないか?





## レッスン 1: SolidWorks Simulation の基本機能

このレッスンを完了することにより、SolidWorks Simulation を使って次のアセンブリに静解析を 行うための基本的機能を理解することができます。



## Active Learning Exercise?静解析を実行する

SolidWorks Simulation を使用して、右に表示された Spider.SLDASMアセンブリの静解析を実行します。 以下の手順に従ってください。



## SimulationTemp ディレクトリを作成する

繰り返し使用するために一時ディレクトリへ SolidWorks Simulation トレーニング用サン プル (SolidWorks Simulation Education Examples) を保存し、元のコピーを保存することをお勧めし ます。

- SolidWorks Simulation インストールディレクトリの Examples フォルダに SimulationTemp という名前の一時ディレクトリを作成します。
- 2 SolidWorks Simulation Education Examples ディレクトリを SimulationTemp ディレクトリにコピーします。

## Spider.SLDASM ドキュメントを開く

- 標準ツールバーの 開く(Open)
   をクリックします。開く
   (Open) ダイアログ ボックスが 表示されます。
- SolidWorks Simulation インストールディレクトリの、SimulationTempフォ ルダに移動します。
- **3** Spider.SLDASMを選択しま す。
- 4 開く (Open) をクリックしま す。

	orks 🕨 cosmosworks 🕨 Exam	ples 🕨 SimulationTemp 🕨 spider	<ul> <li>✓ </li> <li>✓ </li></ul>	n spider		
Organize 👻 New fol	der					
★ Favorites	Name	Date modified	Туре	Size		
E Desktop	/ cantilever	5/11/2007 10:32 AM	SolidWorks Part D	89 KB		
\rm Downloads	🗭 hub	3/5/2008 2:21 AM	SolidWorks Part D	162 KB		
Secent Places	🔩 Plate-with-hole	3/14/2008 4:14 AM	SolidWorks Part D	352 KB		
	🥓 shaft	3/5/2008 2:21 AM	SolidWorks Part D	178 KB		
🥽 Libraries 👘	🗼 spider	3/5/2008 2:21 AM	SolidWorks Assem	325 KB		
Documents	🔩 spider	3/5/2008 2:21 AM	SolidWorks Part D	302 KB		
J Music						
Pictures						
Videos						
🖳 Computer						
🚮 Local Disk (C:)						
Local Disk (C:)						
Local Disk (C:) SimpleDrive (F:) SimpleDrive (G:)						
Local Disk (C:) SimpleDrive (F:) SimpleDrive (G:)	Quick view / Selective	References				
<ul> <li>Local Disk (C:)</li> <li>SimpleDrive (F:)</li> <li>SimpleDrive (G:)</li> </ul>	Quick view / Selective open	Configurations: Default	-			
<ul> <li>Local Disk (C:)</li> <li>SimpleDrive (F:)</li> <li>SimpleDrive (G:)</li> </ul>	Quick view / Selective open Advanced Lightweight	Configurations: Default Display States (linked)	•			
<ul> <li>Local Disk (C:)</li> <li>SimpleDrive (F:)</li> <li>SimpleDrive (G:)</li> </ul>	Quick view / Selective open Advanced Uightweight Use Speedpak	Configurations: Default Display States (linked) Do not load hidden	•			
<ul> <li>Local Disk (C:)</li> <li>SimpleDrive (F:)</li> <li>SimpleDrive (G:)</li> </ul>	Quick view / Selective open Advanced Lightweight Use Speedpak	Configurations: Default Display States (linked) Do no to dad hidden components	•			
Local Disk (C:) SimpleDrive (F:) SimpleDrive (G:)	Quick view / Selective open Advanced Lightweight Use Speedpak	Configurations Default Display States (linked) Do not load hidden components	• • • SolidW	orks Files (*,sldp	rt: *.sida	a



**アドイン** (Add-Ins) ダイアログ ボックスが表示されます。

- 2 SolidWorks Simulation の横にあるチェックボックスをチェックします。 SolidWorks Simulation がリストに表示されていなければ、SolidWorks Simulation をインストー ルする必要があります。
- **3 OK** をクリックします。

Simulation メニューが、SolidWorks のメニューバーに表示されます。

#### 解析単位系を設定する

このレッスンの開始前に、解析単位系を 設定します。

- SolidWorks メニューバーで
   Simulation、オプション (Options)
   をクリックします。
- デフォルトオプション (Default Options) タブをクリックします。
- 3 単位系(Unit System) で SI(MKS)を選択 します。
- 4 長さ/変位(Length/Displacement)フィールドでmmを選択し、圧力/応力 (Pressure/Stress)フィールドでN/ mm<sup>2</sup>(MPa)を選択します。
- 5 OK をクリックします。

Units Units Load/Future Mesh Mesh Plot Color Chart Default Plots Plot Color Chart Default Plots Plot Plot3 Plot3 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 Plot3 Plot4 P	Unit system S (I (MKS) C (ng)(HPS) Metric (G) Units Length/Displacement: Temperature: Angular velocity: Pressue/Stress:	mm ▼ Kelvin ▼ tad/sec ▼ N/mm^2[Mf ▼
--	---	--

## ステップ1:スタディを作成する

解析の実行の第1ステップは、スタディを作成することです。

1 画面上部のメイン SolidWorks メニューから Simulation、スタディをクリックします。

スタディ (Study) PropertyManager が表示されます。

- 2 名前 (Name) に My First Study を入力します。
- 3 タイプ (Type) リストで静解析 (Static) を選択します。
- **4 OK** をクリックします。

SolidWorks Simulation により FeatureManager デザイン ツリーの下に Simulation スタディを作成します。

また、ウィンドウ下部にタブが作成され、複数のスタディお よびモデルを切り替えて使用することができます。

## ステップ2:材料を指定する

アセンブリ構成部品は、すべて合金鋼 (Alloy Steel) で作成されます。

#### 合金鋼を全構成部品に割り当てる



- 3 適用をクリックします。
- 4 材料ウィンドウを閉じます。

Alloy Steel がすべてのアセンブリの構成部品に指定され、チェック マークが各構成部品のアイコンに表れます。指定された材料名が、 構成部品名の隣に表示されることに注意してください。 ★ My First Study (-Default-)
♦ Parts
♦ 10 hub-1 (-Alloy Steel-)
♦ 10 shaft-1 (-Alloy Steel-)
♦ 10 spider-1 (-Alloy Steel-)



Model | Motion Study 1 | 🐙 My First Study |

#### ステップ3: 拘束の適用

ここでは、3つの穴を固定します。

- 1 矢印キーを使い、図のようにアセンブリを回転させます。
- 2 Simulation スタディツリーで**拘束**フォルダを右クリックし、**固定ジオメトリ**を選択します。

**拘束** PropertyManager が表示されます。

- 3 タイプ (Type) で**固定ジオメトリ** (Fixed Geometry) が設定さ れていることを確認します。
- 4 下の図のようにグラフィックス領域で3つの穴の面をク リックします。

面 <1>、面 <2>、および 面 <3> が、**拘束のための面、** エッジ、頂点 (Faces, Edges, Vertices for Fixture) ボックスに 表示されます。

5 🖌 をクリックします。

固定 (Fixed) 拘束が適用され、そのシンボルが選択された 面に表れます。

また、**拘束**-1 アイテムが Simulation スタディ ツリーの**拘 束**フォルダに表示されます。拘束の名前はいつでも変更が 可能です。

## ステップ4:荷重を適用する

ここでは、図のように面に垂直な方向に 2,250 N (505.82 lbf) の荷重を適用します。

- グラフィックス領域上部に表示されている一部拡大(Zoom to Area)アイコン Q をクリックし、シャフト部品の先端部分を 拡大します。
- 2 SolidWorks Simulation Manager ツリーで外部荷重(External Loads) フォルダを右クリックし、集中荷重(Force)を選択します。
   垂直荷重 / トルク(Force/Torque)PropertyManager が表示されます。
- グラフィックス領域で、図に示す面をクリックします。
   面 <1> が、垂直荷重のための面とシェル エッジ (Faces and Shell Edges for Normal Force) のリストボックスに表示されます。
- 4 方向として垂直方向が選択されていることを確認します。
- 5 単位 (Units) で SI が設定されていることを確認します。
- 6 **圧力値** (Pressure value) ボックス 🦊 に 2250 を入力します。
- 7 🖌 をクリックします。

SolidWorks Simulation が選択面に適用され、集中荷重 -1 アイコンが外部荷重 フォルダに表示されます。



固定ジオメトリ記号

#### 拘束および荷重のシンボルを非表示にするには

SolidWorks Simulation Manager ツリーで拘束または外部荷重フォルダで右クリックして全て非 表示(Hide All)をクリックします。

## ステップ5:アセンブリをメッシュする

メッシュを行うと、モデルは要素と呼ばれる小片へ細分されます。 SolidWorks Simulation はモデルの幾何寸法に基づいてデフォルトの要素サ イズ (この例では 4.564mm)を提示します。この値は必要に応じて変更で きます。

 Simulation スタディ ツリーでメッシュ (Mesh) アイコンを右クリックし、 メッシュ作成 (Create Mesh) をクリックします。

メッシュ (Mesh) PropertyManager が表示されます。

 メッシュパラメータのチェックボックスを選択して展開します。
 曲率ベースのメッシュ(Curvature based mesh)が選択されていることを 確認します。

デフォルトの最大要素サイズ (Maximum element size) 📥 、最小要素サ

**イズ** (Minimum element size) ♣ 、円内の最小要素数 <sup>(1)</sup> (Min number of elements in a circle)、要素サイズ増加比率 (Element size growth ratio) ▲ を使用します。

3 OK をクリックしてメッシュ作成を開始します。





#### ステップ6:解析を実行する

Simulation スタディ ツリーで My First Study アイコンを右クリックし、解析実行 (Run)を選択します。

解析が終了すると SolidWorks Simulation は結果フォルダにデフォルトの結果プロットを自動生成します。

## ステップ7:結果を表示する

#### von Mises 応力

- 結果フォルダの横にあるプラス記号 きをクリックします。
   すべてのデフォルト プロットに対するアイコンが表示されます。
   注記:デフォルトのプロットが表示され
  - ない場合には、結果フォルダを右 クリックし、**応力図プロット定義** (Define Stress Plot) を選択します。 PropertyManager のオプションを設 定し ✓ をクリックします。
- 応力1 (-vonMises-) をダブルクリックし、 プロットを表示します。



- 注記: プロット内に最小値と最大値のアノテーション表示を行うには、凡例部分をダ ブルクリックし最小値の表示(Show min annotation)および最大値の表示 (Show max annotation)のチェックボックスをチェックします。続いて ✓ を クリックします。
- プロットのアニメーションを表示する
  - 1 応力1 (-vonMises-) を右クリックしアニメーション (Animate) を選択します。

**アニメーション**(Animation) PropertyManager が表示され、アニメーションが自動で開始されます。

- 2 停止 (Stop) ボタン をクリックしてアニメーションを停止します。
   ディスクに AVI ファイルを保存するにはアニメーションを停止する
   必要があります。
- **3 AVI ファイルとして保存** (Save as AVI File) をチェックし、参照
   (Browse) 
   (Browse)
- 4 ▶ をクリックし、アニメーションを再生 (Play) します。 アニメーションは、グラフィックス領域で再生されます。
- 5 🔳 をクリックし、アニメーションを**停止** (Stop) します。
- 6 ✓ をクリックし、アニメーション (Animation) PropertyManager を閉じます。



## 合成変位を表示する

1 変位1 (-合成変位 -) アイコンをダブルク リックし、合成変位プロットを表示します。



#### 設計は安全なものですか?

**安全率** (Factor of Safety) ウィザードは、この 疑問に答えることができます。このウィザードを使用すると、モデルのすべての点で、安全率 を見積もることができます。手順では、降伏破壊判定基準を選択する必要があります。

1 結果 (Results) フォルダを右クリックし安全率プロット定義 (Define Factor Of Safety Plot) を選択 します。

**安全率** (Factor of Safety) ウィザードのステップ1(全3ステップ)(Step 1 of 3) に対する PropertyManager が表示されます。

- 2 判定基準 (Criterion) **に** に最大 von-Mises 応力 (Max von Mises stress) を 選択します。
  - 注記:様々な不良判定基準が利用できます。von-Misesの判定基準は、延性材料の降伏破壊を確認するために一般的に使用されるものです。



3 🕣 次へ (Next) をクリックします。

**安全率** (Factor of Safety) ウィザードのステップ2(全3ステップ)(Step 1 of 3) に対する PropertyManager が表示されます。

- 4 単位 (Units) [ に N/mm<sup>2</sup> (MPa) を設定します。
- 5 応力限界設定 (Set stress limit to) に降伏応力 (Yield strength) を選択します。

**注記**: 材料が降伏すると、より早い速度で可塑的変形が継続しま す。極端な例では、荷重が増加しなくても変形を続ける可 能性があります。

6 🕣 次へ (Next) をクリックします。

8 🖌 をクリックしプロットを生成します。

**安全率** (Factor of Safety) ウィザードのステップ3(全3ステップ)(Step 1 of 3) に対する PropertyManager が表示されます。

- 7 指定安全率より低い領域 (Areas below factor of safety) を選択し1 を入力 します。
  - Factor of Safety
    Constraints
    Factor of Safety
    Factor of Safety
    Areas below factor of safety
    Areas below factor of safety
    Areas below factor of safety
    Safety result
    Based on the maximum work
    Factor of safety:
    S.9828

🗳 Fa	actor	of Safety 💦 ?
/ :	×	6
Step	2 of 3	3 ☆
ւհուր	N/mn	1^2 (MPa) ▼
	Set st	ress limit to
	Yie	ld strength
	© Ult	imate strength
	O Us	er defined
		1
	Multip	lication factor
		1
Beam	Result	ts:
	Ø	Show combined stress on Beams
Shell	Result	s:
	$\bigotimes$	Minimum 👻
Mate	rial invo	olved
	Alloy	Steel
	Yield 620.4 Ultim 723.8	strength: 422 N/mm^2 (MPa) ate strength: 826 N/mm^2 (MPa)

モデルを回転させ、赤で表示される安全でない領域を探します。プロットに赤い箇所が見当た らない場合には、すべての箇所が安全であると解釈することが可能です。

### 設計はどのくらい安全ですか?

 結果 (Results) フォルダを右クリックし安全 率プロット定義 (Define Factor of Safety Plot) を選択します。
 安全率(Factor of Safety) ウィザードのステッ

**プ1 (全3ステップ)** (Step 1 of 3) に対する PropertyManager が表示されます。

- 2 判定基準 (Criterion) で最大 von-Mises 応力 (Max von Mises stress) を選択します。
- 3 次へ (Next) をクリックします。

**安全率**(Factor of Safety) ウィザードのステッ **プ2(全3ステップ)** (Step 1 of 3) に対する PropertyManager が表示されます。

4 次へ (Next) をクリックします。

**安全率**(Factor of Safety) ウィザードのステッ **プ3 (全3ステップ)** (Step 1 of 3) に対する PropertyManager が表示されます。

- 5 安全率分布 (Factor of safety distribution) を選択します。
- 6 🛷 をクリックします。

作成されたプロットは、安全率の分布を表示します。最小安全率は、およそ 5.98 です。

**注記**: ある場所での1.0の安全率というのは、材料がちょうど降伏しはじめて いることを意味します。例えば、2.0の安全率というのは、設計はその 場所では安全であり、荷重を2倍にすると、材料が降伏しはじめると いう意味になります。

> モデルの一部にわずかな応力がかかるだけであるため、安全率の最大 値は非常に大きい値(1,800,000以上)になります。プロットをより意 味のあるものにするため、凡例の最大値を100に変更します。

- 7 凡例をダブルクリックし、定義(Defined)を クリックして最大(Max)フィールドに 100 と入力します。
- 8 ✓ をクリックし変更されたプロットを表示します。



FOS

1,812,841.25

1,661,771.75

1,510,702.13

1.359.632.50

1,208,562.88



#### 作成されたプロットをすべて保存する

**1** My First Study アイコンを右クリックし、全プロットを JPEG ファイルに保存 (Save all plots as JPEG files) を選択します。

フォルダの参照 (Browse for Folder) ウィンドウが表示されます。

- 2 すべての結果プロットを保存したいディレクトリを参照します。
- 3 OK をクリックします。

#### スタディレ ポートを作成する

レポートユーティリティでは、各スタディ用に迅速にまた系統的に作業のドキュメントを作成 できます。このプログラムでは、スタディと関連するすべての局面について、構造化されたレ ポート、および Word ドキュメントの作成ができます。

1 画面上部のメイン SolidWorks メニューから Simulation、レポートをクリックします。

レポートオプション (Report Options) ダイアロ グボックスが表示されます。

レポート セクション (Report sections) セクショ ンでは、レポートに含めるセクションの選択 を行うことが可能です。各セクションの横にあ るチェックボックスを使って、レポートに含 める、あるいはレポートから除外することが できます。

- それぞれのレポートセクションはカスタマイズが可能です。たとえば、レポートセクション(Report sections)の下の説明(Description)セクションを選択し、セクションプロパティ(Section properties)フィールドに任意のテキストを入力できます。その他のセクションについても同様にカスタマイズ可能です。
- 3 設計者 (Designer)、会社名 (Company)名、 ゴ (Logo) その他の所有者情報はヘッダ情報 (Header information) セクションに入力しま す。

Report Options				
Current report Report sections: Current report Assumptions Model Information Study Properties Units Material Properties	Section properties Description: Spider simulation			
Loads and Fixtures     Connector Definition     Contact Information     Mesh Information     Sensor Details     Header Information     V Designer: John	s v			
Company: My c	orporation			
URL:				
Logo:				
Address:				
Phone:	Fax:			
Report publish options	s			
Report path:	C:\Program Files\SolidWorks 2011\SolidWorks\cosmosworks\Exa			
Document name: spider-My First Study-1				
Show report of	on publish			
Publish	Apply Cancel Help			

ロゴファイルに使用可能なフォーマットは JPEG Files (\*.jpg)、GIF Files (\*.gif)、または Bitmap Files (\*.bmp) となります。

- 4 レポート作成オプション(Report publishing options)で、Word ドキュメントを保存するレポートパスを指定し、作成時にレポートを表示(Show report on publish)チェックボックスを選択します。
- 5 作成をクリックします。

レポートがWordドキュメントとして表示されます。Wordドキュメントを必要に応じて編集し、 レポートを完成します。

さらに、プログラムは、SolidWorks Simulation Manager ツリーのレポートフォルダにアイコン P を作成します。

レポートのセクションを編集するには、レポートアイコンを右クリックし定義編集 (Edit Definition) をクリックします。セクションを変更し OK をクリックすることで、既存のレポートを置き換えます。

#### ステップ8:作業内容を保存し、SolidWorksを終了する

1 標準ツールバーの <u>同</u>をクリックするか、あるいはファイル (File)、保存 (Save) を選択します。

2 メインメニューからファイル (File)、終了 (Exit) をクリックします。

## <u>5 分間テスト</u>

- 1 SolidWorks Simulation セッションを開始するにはどうしたらいいですか?
- 2 SolidWorks Simulation が SolidWorks メニュー バーに表示されていない場合、どのようにしますか?
- 3 SolidWorks Simulation は、どのタイプのドキュメントを解析することができますか?
- 4 解析とは何ですか?\_\_\_\_\_
- 5 解析はなぜ重要ですか?\_\_\_\_
- 6 解析スタディとは何ですか?\_\_\_\_\_
- 7 SolidWorks Simulation では、どのようなタイプの解析を実行することができますか?\_\_\_\_\_
- 8 静解析は何を計算するのですか?\_\_\_\_\_
- 9 \_\_\_\_\_ 応力とは何ですか?\_\_\_\_\_
- 10 解析を実行する際の主要なステップは何ですか?\_\_\_\_\_
- 11 部分材料を変更するにはどうしたらいいですか。\_\_\_\_\_
- **12** 解析結果評価(Design Check) ウィザードが一部の場所で 0.8 の安全率を表示しています。この場合の設計は安全ですか?

## 課題とプロジェクト?終了力による梁のたわみ

簡単な問題の中に、正確な答えがある場合があります。これらの問題の1つは、図のように先端 で力によって負荷がかけられた梁です。ここでは、SolidWorks Simulation を使いこの問題を解き、 その結果を正しい解と比較します。

#### 作業手順

- SolidWorks Simulation インストールディレクト リの Examples フォルダにある Front Cantilever.sldprt を開きます。
- 2 片持ち梁の幅、高さ、長さを測定します。
- 3 別名で部品を保存します。
- 4 静解析スタディを作成する
- 5 部品に Alloy Steel を指定します。弾性率の値 (psi) はいくらですか?
   答え:
- 6 片持ち梁の端面の1つを固定します。
- 7 500 N の大きさで、もう一方の端面の上部エッジに対し下方向への集中荷重を適用します。
- 8 部品のメッシュ作成を行い、解析を実行しま す。
- 9 Y 方向の変位をプロットします。片持ち梁自由 端の最大 Y-変位はいくらですか?



10 以下の方程式を使用して、自由端の理論的な垂直変位を計算します:

$$UY_{Theory} = \frac{4FL^3}{Ewh^3}$$

ここで、*F*は力、*L*は梁の長さ、*E*は弾性係数、*w*と*h*はそれぞれ梁の幅と高さです。 **答え**:\_\_\_\_\_

11 以下の方程式を使用して、垂直変位におけるエラーを計算します:

$$ErrorPercentage = \left(\frac{UY_{Theory} - UY_{COSMOS}}{UY_{Theory}}\right)100$$

<u>答え:</u>\_\_\_\_\_

答え:

## Lesson 1 用語に関するワークシート

名	前:	クラス:	日付 :	
空	白に該当する言葉を記載してください			
1	SolidWorks によりモデルを作成し、プロトタ	イプを製造し、	その内容をテストする手	順:
2	 解析タイプ、材料、拘束、および荷重の <i>仮定</i>	そのシナリオ:_		
3	解析を実行するために SolidWorks Simulation	が使用する方法	÷:	
4	変位、ひずみ、および応力を計算するスタデ	· イのタイプ :		
5	モデルを細分化するプロセス :			
6	メッシュ化中に作成された簡単な形状の小片	·:		
7	要素が共有する共通点:			
8	単位面積あたりに作用する力 :			
9	軸の圧縮荷重による軟弱な設計の急激な崩壊	i ·		
10	設計の熱を推定するスタディ:			
11	応力状態の概要を表す数字:			
12	剪断応力が消える平面の垂直応力 :			
13	ボディが振動する傾向がある固有値:		_	
14	 固有振動数を回避できる解析タイプ:			

#### Lesson 1 テスト

名前:\_\_\_\_\_日付:\_\_\_\_

指示:以下の質問に対し、正しい答え(複数の場合もあり)を記入しなさい。

1 スタディを作成して設計を試験します。スタディとはどのようなものですか? \_\_\_\_\_

- **2** SolidWorks Simulation では、どのようなタイプの解析を実行することができますか?
- 3 スタディ結果の取得後に、材料、荷重、および(または)拘束を変更しました。再メッシュが必要ですか?\_\_\_\_\_
- 4 スタディのメッシュ後に、形状を変更しました。モデルの再メッシュが必要ですか?\_\_\_\_\_
- 5 新規の静解析スタディを作成するにはどのようにしたらいいですか。\_\_\_\_\_
- 6 メッシュとは?\_\_\_\_\_
- 7 アセンブリの固体フォルダには、アイコンはどのくらいありますか?

レッスン 1: SolidWorks Simulation の基本機能

## レッスン 2: SolidWorks Simulation のアダプティブ法

このレッスンを修了することにより、(a) アダプティブ法を使って結果の精度を改善、(b) 対称拘束 を使って元のモデルの1/4 を解析できるようになります。



中心に 25mm (0.98in) の半径の穴がある正方形プレート 500mm x 500mm x 25mm (19.68in x 19.68in x 0.98in) の応力を計算します。このプレートは、1 MPa (145.04 psi) の引張り圧力にさらされます。 ホールの応力集中を既知の理論的な結果と比較してください。

#### 学習課題 - 1 部

SolidWorks Simulation を使用して、右に表示された Plate-withhole.SLDPRT 部品の静解析を実行します。

中心に 25mm (0.98in)の半径の穴がある正方形プレート 500mm x 500mm x 25mm (19.68in x 19.68in x 0.98in)の応力を計算します。このプレートは、1 MPa (145.04 psi)の引張り圧力にさらされます。

ホールの応力集中を既知の理論的な結果と比較してください。

以下の手順に従ってください。



#### Simulationtemp ディレクトリを作成する

繰り返し使用するために一時ディレクトリへ SolidWorks Simulation トレーニング用サン プル (SolidWorks Simulation Education Examples) を保存し、元のコピーを保存することをお勧めし ます。

- **1** SolidWorks Simulation インストール ディレクトリの Examples フォルダに Simulationtemp という名前の一時ディレクトリを作成します。
- 2 SolidWorks Simulation Education Examples ディレクトリを Simulationtemp ディレクトリにコピーします。

#### Plate-with-hole.SLDPRT ドキュメントを開く

- 1 標準ツールバーの 開く (Open) 🤔 をクリックします。 開く (Open) ダイアログ ボックスが表示 されます。
- 2 SolidWorks Simulation インストールディレクトリの、Simulationtemp フォルダに移動します。
- **3** Plate-with-hole.SLDPRT を選択します。
- 4 開く (Open) をクリックします。

Plate-with-hole.SLDPRT を選択します。

部品には、2 つのコンフィギュレーションがあることに注意します:(a) Quarter plate、および(b) Whole plate。Whole plate コンフィギュレーションがアクティブであることを確認いたします。

**注記**: ドキュメントのコンフィギュレーションは、左ペイン最上部の Configuration Manager タブ **2**の下にリストされます。

#### SolidWorks Simulation メニューのチェック

SolidWorks Simulation がアドインされて いると、SolidWorks Simulation メニュー が SolidWorks のメニューバーに表示さ れます。表示されない場合は、以下のよ うにします:



- **1 ツール** (Tools)、**アドイン** (Add-Ins) をクリックします。 **アドイン** (Add-Ins) ダイアログ ボックスが表示されます。
- 2 SolidWorks Simulation の横にあるチェックボックスをチェックします。 SolidWorks Simulation がリストに表示されていなければ、SolidWorks Simulation をインストール する必要があります。
- 3 OK をクリックします。

SolidWorks Simulation メニューが、SolidWorks のメニューバーに表示されます。

#### 解析単位系を設定する

このレッスンを開始する前に、解析単位系を設定します。

- 1 Simulation、オプション (Options) をクリックします。
- 2 デフォルトオプション (Default Options) タブをクリックします。
- 3 単位系 (Unit system) に SI (MKS) を選択し、長さの単位に mm、応力の単位に N/mm<sup>2</sup>(MPa) を各々指定します。
- 4 🖌 をクリックします。

#### ステップ1:スタディを作成する

解析の実行の第1ステップは、スタディを作成することです。

- 画面上部のメイン SolidWorks メニューから Simulation、スタディをクリックします。 スタディ (Study) PropertyManager が表示されます。
- 2 名前 (Name) に Whole plate と入力します。
- 3 タイプ (Type) リストで静解析 (Static) を選択します。
- 4 🏑 をクリックします。

SolidWorks Simulation により Feature Manager デザイン ツリーの下に Simulation スタディを作成します。

## ステップ2:材料を指定する

#### Alloy Steel を指定する

1 SolidWorks Simulation Material Manager ツリーで Plate-SolidWorks Materials Properties Tables & Curves Appearance CrossHa with-hole フォルダを右ク 🗄 🔠 Steel Material properties リックし、全てのボディに 1023 Carbon Steel Sheet (SS) Materials in the default library can not be edited 201 Annealed Stainless Steel (SS) a custom library to edit it. 材料を適用(Apply Material to A286 Iron Base Superalloy Model Type: Linear Elastic Isotropic All Bodies) をクリックしま E AISI 1010 Steel, hot rolled bar AISI 1015 Steel, Cold Drawn (SS) Units: SI - N/m^2 (Pa) す。 ∃ AISI 1020 Category: Stee AISI 1020 Steel, Cold Rolled 材料 (Material) ダイアログ AISI 1035 Steel (SS) Alloy Steel Name: ボックスが表示されます。 💐 🗕 AISI 1045 Steel, cold drawn Default failure Max von Mises Stress 📜 AISI 304 criterion 2 以下を実施してください: AISI 316 Annealed Stainless Steel Bar (SS Description: AISI 316 Stainless Steel Sheet (SS) a) SolidWorks 材料ライ Source: AISI 321 Annealed Stainless Steel (SS) ブラリ フォルダを展開 AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS) Sustainability: Defined AISI 4130 Steel, annealed at 865C します。 AISI 4130 Steel, normalized at 870C Property Value Units b) 鋼鉄カテゴリを展開しま 📲 AISI 4340 Steel, annealed 2.1e+011 N/m<sup>^</sup> ₹ AISI 4340 Steel, normalized す。 0.28 📲 AISI Type 316L stainless steel Shear Modulus 7.9e+010 N/m<sup>2</sup> c) 合金鋼を選択します。 📲 AISI Type A2 Tool Steel 7700 723825600 N/m<sup>4</sup> ŧΞ

注記: Alloy Steel の機械的および物理的プロパティが、右の表に表示されます。

3 OK をクリックします。

## ステップ3: 拘束の適用

平面外回転やフリーボディモーションを防ぐために拘束を適用します。

- 1 スペースキーを押して、方向 (Orientation) メニューから \***不等角投影**(\*Trimetric)を選択します。 図には、モデル方向が示されています。
- **2** Simulation スタディツリーで**拘束**フォルダを右クリッ クし、詳細拘束条件(Advanced Fixtures)を選択しま す。

**拘束** PropertyManager が表示されます。

- 3 タイプ (Type) に参照ジオメトリ使用 (Use reference geometry) が設定されていることを確認します。
- 4 グラフィックス領域で、図に示す8つのエッジを選択し ます。

エッジ <1> からエッジ <8> までが、拘束のための面、 エッジ、頂点 (Faces, Edges, Vertices for Fixture) ボックス に表示されます。

- 5 方向を指定するための面、エッジ、平面、軸 (Face. Edge, Plane, Axis for Direction) ボックス内をクリックし、フライアウト Feature Manager ツリー から Plane1 を選択します。
- 6 変位 (Translations)の下にある参照面の第二方向 (Along plane Dir 2) 🔰 を選択します。



N/A

kg/n

7 🖌 をクリックします。

拘束が適用され、それらの記号が選択されたエッジ上に表れます。

また、**拘束**フォルダには拘束アイコン 🍞 (参照ジオメトリ-1)が表示されます。

同様にステップ2~7の手順を用い、図に示す垂直な組 み合わせの8つのエッジを Plane1の参照面の第一方

向 (Along plane Dir 1) に拘束します。



全体座標におけるZ方向へのモデルの変位を防止するために、下の図に示す頂点に拘束を定義する必要があります。

 SolidWorks Simulation Manager ツリーで拘束フォルダを 右クリックし、詳細拘束条件 (Advanced Fixtures) をク リックします。

**拘束** PropertyManager が表示されます。

- **2 タイプ** (Type) に**参照ジオメトリ使用** (Use reference geometry) が設定されていることを確認します。
- グラフィックス領域で、図に示す頂点をクリックします。

頂点 <1> が**拘束のための面、エッジ、頂点** (Faces, Edges, Vertices for Restraint) ボックスに表示されます。

- 4 方向を指定するための面、エッジ、平面、軸 (Face, Edge, Plane, Axis for Direction) ボックス内をクリック し、フライアウト FeatureManager ツリーから Plane1 を選択します。
- 5 変位 (Translations) の下にある参照面に垂直 (Normal to Plane) 🕅 を選択します。



6 ✓ をクリックします。

## ステップ4: 圧力を適用する

図のように、1 MPa (145.04 psi)の圧力 ñp3 を面に垂直に適用します。

- SolidWorks Simulation Manager ツリー で外部荷重(External Loads)フォル ダを右クリックし、圧力(Pressure) を選択します。
   圧力(Pressure) PropertyManager が表 示されます。
- 2 タイプ (Type) で選択した面に垂直 (Normal to selected face) を選択しま す。
- グラフィックス領域で、図に示す4 つの面を選択します。
   面<1>から面<4>が圧力のための面
   (Faces for Pressure) リストボックスに 表示されます。
- 4 単位(Units) に N/mm<sup>2</sup> (MPa) が設定 されていることを確認します。
- 5 **圧力値** (Pressure value) ボックス <u><u></u> に 1 を入力します。</u>
- 6 反対方向 (Reverse direction) チェックボックスをチェックします。
- 7 🖌 をクリックします。

SolidWorks Simulation が選択面に垂直な圧力を適用し、**外部荷重**フォルダには**圧カ**-1 アイコン **出** が表示されます。

#### 拘束および荷重のシンボルを非表示にするには

SolidWorks Simulation Manager ツリーで拘束または外部荷重フォルダで右クリックして全て非 表示(Hide All)をクリックします。

### ステップ5:モデルをメッシュし、スタディを実行する

メッシュを行うと、モデルは要素と呼ばれる小片へ細分されます。SolidWorks Simulation はモデ ルの幾何寸法に基づいてデフォルトの要素サイズを提示します。この値は必要に応じて変更でき ます。

SolidWorks Simulation Manager ツリーでメッシュ (Mesh) アイコンを右クリックし、メッシュ作成 (Create Mesh) をクリックします。

メッシュ (Mesh) PropertyManager が表示されます。

2 メッシュパラメータのチェックボックスを選択して展開します。

**曲率ベースのメッシュ**(Curvature based mesh)が選択されていることを確認します。

3 最大要素サイズ 📥 (Maximum element size) に 50mm と入力し、残りのパラメータ (最小要素

サイズ 🛖 (Minimum element size)、**円内の最小要素数** 🕮 (Min number of elements in a circle)、

要素サイズ増加比率 씈 (Element size growth ratio)) にはデフォルトの値を使用します。



4 オプションの解析を実行 (Run the analysis) をチェックし、 ✓ をクリックします。.

**注記**: メッシュのプロットを確認するにはメッシュフォルダを右クリックし、メッシュ 表示 (Show Mesh)を選択します。



## ステップ6:結果を表示する

#### 全体座標の X 方向の垂直応力

- 結果フォルダ 
   を右クリックし、応力図プロット定義 (Define Stress Plot) を選択します。
   応力図プロット (Stress Plot) PropertyManager が表示されます。
- 2 表示 (Display) において
  - a) 表示成分 (Component) フィールドで SX: X 方向の応力 (SX: X Normal stress) を選択します。
  - b) 単位 (Units) に N/mm<sup>2</sup> (MPa) を設定します。
- 3 ✓ をクリックします。
   X 方向プロットの垂直応力が表示されます。
   穴の周囲の応力集中に注意してください。



## ステップ7:結果を検証する

矩形断面および中心に円形穴を持つプレートの最大の垂直応力 Gmax は以下のようになります:

$$\sigma \max = \mathbf{k} \cdot \left(\frac{\mathbf{P}}{\mathbf{t}(\mathbf{D} - 2\mathbf{r})}\right)$$

$$\mathbf{k} = 3.0 - 3.13 \left(\frac{2\mathbf{r}}{D}\right) + 3.66 \left(\frac{2\mathbf{r}}{D}\right)^2 - 1.53 \left(\frac{2\mathbf{r}}{D}\right)^3$$

ここで、

D =プレートの幅 = 500mm (19.69in)

r=穴半径=25mm (0.98in)

t=プレート厚み=25mm (0.98in)

P = 引張軸力 = Pressure \* (D \* t)

最大垂直応力の解析値は、σ<sub>max</sub> = 3.0245 MPa (438.67 psi)です。

アダプティブ法を使わない SolidWorks Simulation の結果は、SX = 2.416 MPa (350.41 psi) となります。

この結果は、理論的なソリューションからおよそ 20.1% 外れます。この大きな偏差がメッシュの 粗さに起因するものであることを以降で確認していきます。

#### 学習課題 - 2 部

本レッスンの2部では、対称拘束を利用してプレートの1/4をモデリングします。

注記:対称拘束はモデルの一部のみを解析する際に使用できます。特に大きなモデルを取扱っている場合は、この手法によって解析時間を相当省くことができます。 対称条件においては形状、荷重、材料特性および拘束が対称面で等しいことが必要です。

## ステップ1:新規コンフィギュレーションをアクティブにする

- 1 ConfigurationManager タブ 🧏 をクリックします。
- ConfigurationManager ツリーで Quarter plate アイコンをダブルクリックします。

Quarter plate コンフィギュレーションがアク ティブになります。

グラフィックス領域に Quarter plate に対するモデルが表示されます。

注記: 非アクティブなコンフィギュレーションのスタ ディにアクセスするには、アイコンを右クリッ クしアクティブな SW コンフィギュレーション (Activate SW configuration)を選択します。





## ステップ2:スタディを作成する

新たに作成するスタディは、Quarter plate コンフィギュレーションに基づくものです。

1 画面上部のメイン SolidWorks メニューから Simulation、スタディをクリックします。

スタディ (Study) PropertyManager が表示されます。

- 2 名前 (Name) に Quarter plate と入力します。
- 3 タイプ (Type) リストで静解析 (Static) を選択します。
- 4 √をクリックします。

SolidWorks Simulation は画面の下にあるタブにスタ <u>Model Motion Study 1 \* Whole plate</u> \* Quarter plate ディを表すツリーを作成します。

#### ステップ3:材料を指定する

第1部のステップ2にある手順に従って、Alloy Steel 材料を割り当てます。

## ステップ4:拘束の適用

拘束は対称面に適用します。

- 1 **矢印**キーを用いて、図のようにモデルを回転さ せます。
- Simulation スタディツリーで拘束フォルダを右ク リックし、詳細拘束条件(Advanced Fixtures)を 選択します。

**拘束** PropertyManager が表示されます。

- 3 タイプ (Type) で対称 (Symmetry) を選択します。
- 4 グラフィックス領域で、図に示す面1と面2をクリックします。
   面 <1> と面 <2> が、拘束する平坦な面 (Planar

Faces for Fixture) ボックスに表示されます。



次に全体座標のZ方向の変位を防ぐために、プレート上部のエッジを拘束します。

## 上部エッジを拘束するには:

5 √をクリックします。

**1** SolidWorks Simulation Manager ツリーで**拘束**フォルダを右クリックし、**詳細拘束条件** (Advanced Fixtures) を選択します。

**タイプ** (Type) に参照ジオメトリ使用 (Use reference geometry) を設定します。

2 グラフィックス領域で、図に示すプレートの上部エッジを クリックします。

**エッジ** <1> が**拘束のための面、エッジ、頂点** (Faces, Edges, Vertices for Restraint) ボックスに表示されます。

- 3 方向を指定するための面、エッジ、平面、軸 (Face, Edge, Plane, Axis for Direction) ボックス内をクリックし、フライ アウト FeatureManager ツリーから Plane1 を選択します。
- 4 変位 (Translations) の下にある参照面に垂直 (Normal to Plane) を選択します。他の2つの成分が非アクティブに なっていることを確認します。
- 5 🗸 .をクリックします。



すべての拘束を適用した後、(Symmetry-1) と (Reference Geometry-1) が**拘束**フォルダ に表示されます。

## ステップ5圧力を加える

下図のように、1 MPa (145.04 psi)の圧力を適用します:

- SolidWorks Simulation Manager ツリーで外部荷重フォルダを 右クリックし、圧力荷重設定 (Pressure) を選択します。
   圧力 (Pressure) PropertyManager が表示されます。
- 2 タイプ(Type) で選択した面に垂直(Normal to selected face) を選 択します。
- 3 グラフィックス領域で、図に示す面を選択します。
- **1** 面 <1> が、**圧力のための面** (Faces for Pressure) のリストボック スに表れます。
- 2 単位 (Units) E に N/mm^2 (MPa) を設定します。
- 3 **圧力値** (Pressure value) ボックス <u><u></u> に 1 を入力します。</u>
- 4 反対方向 (Reverse direction) チェックボックスをチェックします。
- 5 🖌 をクリックします。

#### ステップ6モデルをメッシュし、解析を実行する

第1部のステップ5(2-7ページ、「モデルをメッシュし、スタ ディを実行する」)にある手順に従い同じメッシュ設定を適 用します。続いて**解析**を実行します。 メッシュ プロットは図のようになります。

ステップ 7 全体座標の X 方向の垂直応力を表示する

- Simulation スタディ ツリーで結果 (Results) フォルダ 
   ショクし、応力プロット定義 (Define Displacement Plot) を選択します。
- 2 応力図プロット (Stress Plot) PropertyManager の表示 (Display) において:
  - a) SX: X 方向の応力 (SX: X Normal stress) を選択します。
  - b) 単位 (Units) に N/mm<sup>2</sup> (MPa) を設定します。
- 3 変形図 (Deformed Shape) において実スケール (True Scale) を選択します。
- 4 プロパティ (Property) において:
  - a) **指定ビューの表示方向に関連付ける** (Associate plot with name view orientation) を選択します。
  - b) メニューから\*正面(\*Front)を選択します。





5 🖌 をクリックします。

X 方向の垂直応力は、プレートの実際の変形形状に表示されます。 SX (Whrm\*2 (WPa)) 2217 2018 1.819 1.620 1.421 1.421 1.023 0.625 0.625 0.426 0.625 0.426 0.625 0.028 0.028 0.028

## ステップ8結果を検証する

1/4 モデルでの最大垂直 SX 応力は、2.217 MPa (321.55 psi)です。この結果は Whole plate に対する 結果と同等のものです。

この結果は、理論的なソリューションからおよそ 36% 外れます。このレッスンの第1部で述べた とおり、この偏差は計算メッシュの粗さによって発生します。この精度は、より小さな要素サイ ズを手動で使用したり、あるいは自動アダプティブ法を使用して改善することができます。

第3部では、アダプティブh法を使い、精度を改善します。

#### 学習課題 - 3 部

3 部の学習課題では、アダプティブ h 法を適用して、Quarter plate コンフィギュレーション に対して同じ問題を解きます。

アダプティブh法の機能を説明するには、先ず、大きな要素サイズでモデルをメッシュします。 次にh-法のメッシュサイズの変更の仕方を理解し、それによる結果の精度の改善を確認します。

#### ステップ1新規のスタディを定義する

前のスタディを複製することで新しいスタディを作成します。

画面下部の Quarter plate スタディを右クリックして複
 Quplicate)を選択します。



Ŧ

Help

Cancel

Study Name :

H-adaptive

Quarter plate

0K

Configuration to use:

スタディ名の定義 (Define Study Name) ダイアログ ボック スが表示されます。

- 2 スタディ名 (Study name) ボックスに H-adaptive. を入力 します。
- 3 使用するコンフィギュレーション(Configuration to use) で:
   クォータープレート (Quarter plate) を選択する
- **4 OK** をクリックします。

## ステップ2アダプティブhパラメータを設定する

- **1** Simulation スタディ ツリーで、H-adaptive を右クリックし、プロパティ (Properties) を選択 します。
- ダイアログボックスのオプション (Options) タブで、解析ソルバ (Solver) の下の FFEPlus を選 択します。
- 3 アダプティブ (Adaptive) タブのアダプティブ法 (Adaptive method) の下で、アダプティブ h-法 (h-adaptive) を選択します。

- **4 アダプティブh-法オプション**(h-Adaptive options) では、以下のことを実行します:
  - a) **ターゲット精度** (Target accuracy) スライダを **99%** まで移動します。
  - b) **最大ループ回数** (Maximum no. of loops) を、5 に設定します。
  - c) メッシュの疎化 (Mesh coarsening) をチェック します。
- 5 OK をクリックします。

**注記**: スタディを複製することで、元のスタ ディのすべてのフォルダが新しいスタ ディにコピーされました。新規のスタ ディのプロパティが同じ場合は、材料特 性、荷重、拘束などを再定義する必要は ありません。

itic								X
Options	Adaptive	Flow/Therma	l Effects	Remark				
Adapt	ive method							
	None							
0	h-adaptive							
-b-Ada	p-auapuve							
	pure option	Low		High				
Targe	t accuracy:			i	99 %			
Accur	acy bias:	Local (Faste	r)	Globa	I (Slower	)		
Maxin	num no. of lo esh coarsen	ops	5	<b>•</b>				
p-Ada	ptive option	IS						
Stop	when Total	Strain Energy	• •	change is	1	% or les	s	
Upda	te elements	with relative S	Strain Ene	rgy error a	f 2	% or mo	ore	
Starti	ng p-order		2	×				
Maxir	num p-order		5	×				
Maxir	num no. of l	oops	4	×				
		ОК		ancel	A	oply		Help

#### ステップ3:モデルを再メッシュし、スタディを実行する

- SolidWorks Simulation Manager ツリーでメッシュアイコンを右 クリックし、メッシュ作成 (Create Mesh)をクリックします。 再メッシュすると、スタディの結果が削除されるという警告 メッセージが表れます。
- OK をクリックします。
   メッシュ (Mesh) PropertyManager が表示されます。
- 3 最大要素サイズ (Maximum element size) に 125mm (4.92in)
   と入力し、残りのパラメータ (最小要素サイズ A (Minimum)

element size)、**円内の最小要素数** <sup>(型)</sup> (Min number of elements in

a circle)、**要素サイズ増加比率 <sup>444</sup>** (Element size growth ratio)) にはデフォルトの値を使用します。

大きな要素サイズを得るためにこの大きな値を使うと、正確な結果を取得するためのアダプ ティブ h 法によるメッシュのリファインの仕方が分かります。

- 4 ✔ をクリックします。上の図は初期の粗いメッシュを示しています。
- 5 H-adaptive アイコンを右クリックし、解析実行 (Run)を選択します。

#### ステップ4:結果を表示する

ここでは、アダプティブh法を適用して、もとのメッシュサイズ を縮小します。中央の穴の位置で、粗いメッシュ(プレート境界) から微細なメッシュにメッシュサイズが変換することを確認して ください。

変換されたメッシュを表示するには、メッシュアイコンを右ク リック、次にメッシュ表示 (Create Mesh) をクリックします。



#### 全体座標の X 方向の垂直応力を表示する

SolidWorks Simulation Manager ツリーで結果フォルダ **ら**の応力 **2(-X 垂直 -)**(Stress2 (X-normal)) をダブルクリックします。





最大垂直応力の解析値は、σ<sub>max</sub>=3.113 MPa (451.5 psi) です。

アダプティブ h 法を適用した SolidWorks Simulation の結果は SX = 3.113 MPa であり、解析ソリューション (近似誤差: 2.9%) に非常に近くなります。

### ステップ9収束グラフを表示する

- Simulation スタディ ツリーで結果 (Results) フォルダ 
   を右クリックし、アダプティブ収束グ
   つて (Define Adaptive Convergence Graph) を選択します。
- 2 PropertyManager ですべてのオプションをチェックし、 🛷 をクリックします。



すべてのチェックされた数量の収束グラフが表示されます。

注記:解析精度を更に向上するには、継続したスタディ実行によりアダプティブh計算を 繰り返すことが可能です。継続したスタディ実行では、前回のスタディ実行における 最後のイタレーションで得られた最終的なメッシュが初期メッシュとして使用され ます。これを試みるには、H-adaptive スタディの再実行を行ってください。

注記: スタディプロパティで設定した要求精度(ここでは99%)は、生成される応力が最大1%以内に収まることを意味するものではありません。有限要素法では、応力以外の基準がソリューションの精度評価に使用されます。しかしながら、アダプティブアルゴリズムがメッシュを改善し、応力結果をより正確にすると結論づけることが可能です。

## 5分間テスト

- 1 材料、荷重、または拘束を変更すると、結果は無効になりますが、メッシュは無効になりま せん。それは何故ですか?
- 2 寸法が変ると、現在のメッシュは無効になりますか?\_\_\_\_\_
- 3 コンフィギュレーションをアクティブにするにはどうしますか? \_\_\_\_\_
- 4 剛体モーションとは何ですか?\_\_\_\_\_
- 5 アダプティブh法とは何ですか?またそれはいつ使用されますか?
- 6 メッシュコントロールを使った精度の改善と比較して、アダプティブh法を使用する利点は 何ですか?
- 7 アダプティブp法の繰り返しでは、要素の数は変わりますか?

## プロジェクト - シェルメッシュでプレートの 1/4 をモデリングする

シェルメッシュを使用して、クォータープレートモデルを解決します。メッシュコントロールを 適用し、結果の精度を改善します。

#### 作業手順

- 1 画面上部のメイン SolidWorks メニューから**挿入、サーフェス、中間サーフェス**をクリックします。
- 2 図のようにプレートの前面と背面を選択します。
- 3 OK をクリックします。
- **4** Shells-quarterという名前の**静解析**スタディを作成しま す。
- **5** Plate-with-hole フォルダを展開し、SolidBody を右ク リックして**解析から除外**を選択します。
- 6 25 mm in (薄肉(Thin))のシェルを定義します。これを実現するには:
  - a) Simulation スタディ ツリーの Plate-with-hole フォ ルダの SurfaceBody を右クリックして定義編集 (Edit Definition)を選択します。
  - b) シェル定義 (Shell Definition) PropertyManager で mm を 選択し、シェル厚み (Shell thickness) に 25 mm を入力します。
  - c) 🖌 をクリックします。
- 7 シェルに Alloy Steel を割り当てます。これを実現するには:
  - a) Plate-with-hole フォルダを右クリックし、**全てのボディに材料を適用** (Apply Material to All Bodies) を選択します。
  - b) SolidWorks 材料ライブラリを展開し鋼鉄カテゴリから Alloy Steel を選択します。
  - c) 適用をクリックし、閉じるをクリックします。
- 8 図のように、2つのエッジに対称拘束を適用します。

注記:シェルメッシュでは、面の代わりに1つのエッジを拘束するだけで十分です。

- a) 拘束フォルダを右クリックし、詳細拘束条件 (Advanced Fixtures) をクリックします。
- b) **拘束のための面、エッジ、頂点** (Faces, Edges, Vertices for Restraint) フィールドで、図に示すエッジを選択します。
- c) **方向を指定するための面、エッジ、平面、軸** (Face, Edge, Plane, Axis for Direction) フィールドで、Plane3 を選択します。
- d) 参照面に垂直 (Normal to Plane) の変位、および参照面の第 一方向 (Along Plane Dir 1) と参照面の第二方向 (Along Plane Dir 2) の回転を拘束します。
- e) 🖌 をクリックします。





 9 同じ手順を用いて図に示す別のエッジに対しても対称拘 束を適用します。今回は方向を指定するための面、エッジ、平面、軸 (Face, Edge, Plane, Axis for Direction) フィー ルドに対して Plane2 フィーチャーを使用します。

- 10 図のように、1 N/mm<sup>2</sup> (MPa) の圧力をエッジに適用し ます。
  - a) 外部荷重フォルダを右クリックし、**圧力荷重設定** (Pressure) をクリックします。
  - b) **タイプ** (Type) で**参照ジオメトリ使用** (Use reference geometry) を選択します。
  - c) **圧力のための面、エッジ** (Faces, Edges for Pressure) フィール ドで、図に示す垂直なエッジを選択します。
  - d) 方向を指定するための面、エッジ、平面、軸 (Face, Edge, Plane, Axis for Direction) フィールドで、図に示すエッジを 選択します。
  - e) **圧力値**(Pressure Value) ダイアログで**1** N/mm<sup>2</sup> (MPa) を 指定します。
  - f) 🗸 をクリックします。
- 11 図に示すエッジにメッシュ コントロールを適用します。より小 さい要素サイズを使用することにより精度が向上します。
  - a) Simulation スタディ ツリーでメッシュ (Mesh) アイコンを右ク リックし、メッシュ コントロールの適用 (Apply Mesh Control) をクリックします。メッシュ コントロール (Mesh Control) PropertyManager が表示されます。
  - b) 図に示す穴のエッジを選択します。
  - c) 🖌 をクリックします。

12 部品のメッシュ作成を行い、解析を実行します。

- a) Simulation スタディ ツリーでメッシュ (Mesh) アイコンを右ク リックし、メッシュ コントロールの適用 (Apply Mesh Control) をクリックします。メッ シュ コントロール (Mesh Control) PropertyManager が表示されます。
- b) 図に示す穴のエッジを選択します。
- c) 🖌 をクリックします。
- 13 X 方向の応力をプロットします。最大 SX 応力はいくらですか?

答え:

14 以下の比較式を使用して、垂直 SX 応力におけるエラーを計算します:

![](_page_40_Picture_20.jpeg)

![](_page_40_Picture_21.jpeg)

![](_page_40_Picture_22.jpeg)

![](_page_40_Picture_23.jpeg)

$$\texttt{ErrorPercentage} = \left(\frac{\texttt{SX}_{\texttt{Theory}} - \texttt{SX}_{\texttt{SIMULATION}}}{\texttt{SX}_{\texttt{Theory}}}\right)100$$

## Lesson 2 用語に関するワークシート

名前:\_\_\_\_\_日付:\_\_\_\_日付:\_\_\_\_

空白に該当する言葉を記載してください

- 1 応力集中の領域でメッシュを自動的に改善することにより、応力結果を改善する方法:
- 2 ポリノミアルの次数を増加させることにより応力結果を改善する方法:
- 3 四面体要素の節点が持つ自由度のタイプ:
- 4 シェル要素の節点が持つ自由度のタイプ:
- 5 すべての方向に均等な弾性特性の材料:
- 6 かさばったモデルに適切なメッシュタイプ:
- 7 薄いモデルに適切なメッシュタイプ:
- 8 薄くかさばった部品を持ったモデルに適切なメッシュタイプ:

#### Lesson 2 テスト

名前:\_\_\_\_\_日付:\_\_\_\_

指示:以下の質問に対し、正しい答え(複数の場合もあり)を記入しなさい。

- 1 1次オーダーシェル要素と、2次オーダーシェル要素には節点がいくつありますか?
- 2 シェルの厚さを変更すると再メッシュが必要ですか?
- 3 アダプティブ法とは何ですか。また、それらの形成の基本概念は何ですか?
- 4 スタディで、複数のコンフィギュレーションを使用するメリットは何ですか?
- 5 既存のスタディと少し異なる新規のスタディを迅速に作成するにはどのようにしたらいいで すか?
- 6 アダプティブ法が利用できない場合、結果で信頼を得るにはどうしたらいいですか?
- 7 プログラムは、どのような順序で応力、変位、ひずみを計算しますか?
- 8 アダプティブ ソリューションでは、変位と応力ではどちらが早く収束しますか?