

チュートリアルシリーズ ボールねじ - 入門編

最初の結果

目次

1. はじめに	2
1.1 本チュートリアルの目的	2
1.2 ソフトウェアのバージョン	2
1.3 注意事項	2
2. MESYS ボールねじ — 特長と可能性	2
3. ソフトウェアマニュアル	2
3.1 オンラインマニュアル	2
3.2 PDF 形式のマニュアル	2
4. ボールねじの計算	2
4.1 概要	2
4.2 メニュー機能	3
4.3 「一般」の設定	3
4.3.1 一般	3
4.3.2 荷重スペクトルの使用	4
4.3.3 ISO 3408-5 に基づく COa の計算	4
4.3.4 ISO 3408-5 に基づく Ca の計算	4
4.3.5 ISO 3408-5 に基づく信頼性係数の計算	4
4.3.6 2つの接触角を入力	4
4.3.7 信頼性 S	4
4.3.8 3D ビューにおける応力のスケール係数 s	4
4.3.9 最初のねじ山の開始角度 ψ_0	4
4.3.10 すきまの生成	4
4.3.11 ボールねじおよびナットのアキシャル方向の膨張	5
4.3.12 弾性リングの膨張	5
4.4 「形状」の設定	5
4.4.1 一般	5
4.4.2 入力フィールド	5
4.4.3 形状の入力	8
4.5 荷重の入力	8
4.5.1 一般	8
4.5.2 座標系	8
4.6.1 単一の荷重ケースの計算	8
4.6.2 複数の定義条件の計算 – 荷重スペクトル	9
5. 結果	10
5.1 現在の結果の概要	10
5.1.1 概要	10
5.1.2 内容の設定	11
5.2 レポート	11
5.2.1 メインレポート	11
5.2.2 結果表	11
5.3 グラフィックス	11
6. アプリケーション設計	12
6.1 方法論	12
6.2 接触応力	12
6.3 円周方向のボール進み	13
6.4 主軸上の接触応力と滑り速度	13
6.5 接触寸法	13
6.6 最適化	13
6.6.1 概要	13
6.6.2 パラメータバリエーション	13
6.6.3 総合評価に基づく目標予圧の定義	15
6.6.4 別のアプローチ	16

1. はじめに

1.1 本チュートリアル目的

この「[MESYS Ball Screw Calculation](#)」入門チュートリアルでは、本ソフトウェアの基本機能を紹介し、ボールねじ計算におけるその機能の概要を解説します。本チュートリアルでは、製品に慣れるため、およびトレーニング例を行うために必要なトピックと設定のみを扱います。

ソフトウェアの使用に関するご質問は、いつでも [MESYS](#) までお問い合わせください。

1.2 ソフトウェアのバージョン

本チュートリアルは、MESYS Ball Screw バージョン 12-2024 を使用して作成されました。

1.3 注意事項

- ➡ 青い矢印は、読者への指示を示しています。
- ➡ 緑色の矢印は、結論や結果を示しています。

2. MESYS ボールねじ — 特長と可能性

MESYS ボールねじの可能性についてご理解いただくため、MESYS のウェブサイトにある[ボールねじ](#)専用ページをぜひご覧ください。

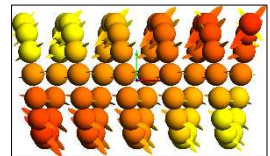


図 1

3. ソフトウェアマニュアル

3.1 オンラインマニュアル

[ソフトウェアのマニュアル](#)は、ユーザーインターフェースの [ヘルプ] メニューにある [マニュアル - F1] からアクセスできます。

また、F1 キーを押すことで、その時点の画面に関連するコンテンツを含むマニュアルをいつでも直接開くことができます。

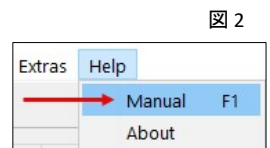


図 2

3.2 PDF 形式のマニュアル

ソフトウェアマニュアルは、主要言語の PDF 形式でも、MESYS インストールディレクトリ(図 3)または MESYS ウェブサイトの「[ダウンロード/一般ダウンロード](#)」から直接入手できます。

4. ボールねじの計算

4.1 概要

MESYS Ball Screw ソフトウェアは、軸方向荷重、半径方向荷重、および傾きモーメントに基づいてボールねじの荷重分布を計算し、その荷重分布から DIN 26281 に基づく耐用年数を算出します。

- ➡ MESYS ボールねじ計算モジュールを起動してください。

起動後、ソフトウェアのインターフェースには、「一般」、「形状」、「コンフィギュレーション」、「荷重」の 4 つのタブが表示されます。

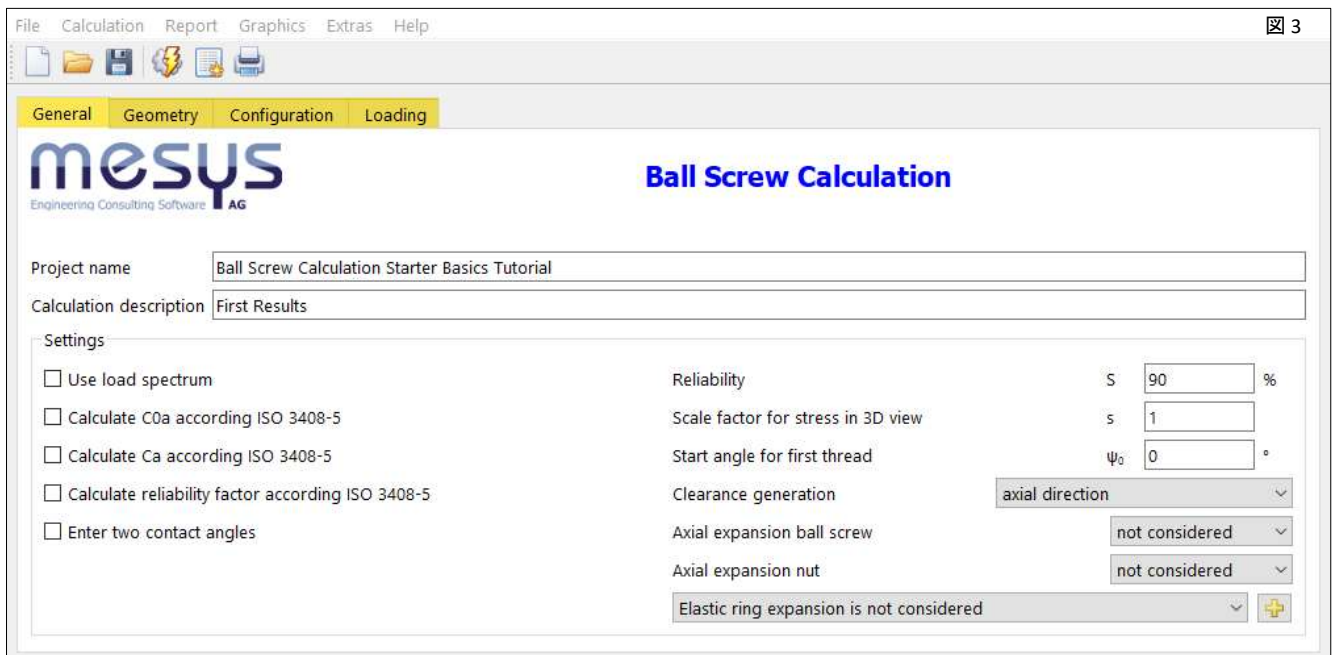


図 3

各タブでは、幅広い設定が可能です。このスターターチュートリアルでは、その範囲が広いので、ソフトウェアのすべての機能について詳しく説明することはできません。詳細については、オンラインマニュアルの「[入力パラメータ](#)」セクションおよび関連するサブセクションを参照してください。

このチュートリアルでは、イメージするプロジェクトの一環として、ソフトウェアにいくつかの計算タスクを割り当てます。

➡ 図 3 に従って、プロジェクトに適切な名前と説明を入力してください。

仮定のボールねじを使用して、実務で一般的に適用される設定について詳しく見ていきましょう。プログラム起動時のデフォルト設定は、その幅広い適用性を考慮すると、典型的なボールねじの計算を段階的に進めるための良い基礎となるでしょう。

4.2 メニュー機能

すべてのメニューの内容が直感的に理解できるとは限りません。このチュートリアルでは、設定された課題と入力プロセスの一環として、関連する内容と説明をご案内します。



図 4

4.3 「一般」の設定

4.3.1 一般

このチュートリアルでは、「一般」タブにリストされている設定について、ここで使用されるものや理解のために重要なものに焦点を当て、簡潔に概要を説明します。重要な点に集中して説明するため、一部の機能については表面的な説明にとどまることをあらかじめご了承ください。

➡ プログラムを起動した当初は、すべての設定をデフォルトのままにしておいてください。

4.3.1 荷重スペクトルの使用

☐ Use load spectrum

アプリケーションの挙動を解析するもう 1 つの方法は、さまざまな条件や荷重ケースを考慮に入れることです。「荷重スペクトルを使用」チェックボックスをオンにすると、「荷重」タブの下にある入力マスクが入力テーブルとして表示されます。[第 4.6.2 章](#)も参照してください。

4.3.2 ISO 3408-5 に基づく COa の計算

☐ Calculate COa according ISO 3408-5

このオプションが有効になっている場合、静的定格荷重は ISO 3408-5 (2006) に基づいて計算されます。弾性係数などの材料特性は影響しません。このオプションがオフの場合も、計算は ISO 3408-5 (2006) に基づいて行われますが、設計係数 k_0 の代わりに、ISO/TR 10657 (2021) の材料/圧力係数 f_0 が使用されます。

4.3.3 ISO 3408-5 に基づく Ca の計算

☐ Calculate Ca according ISO 3408-5

このオプションが有効になっている場合、動的定格荷重は、ISO 3408-5:2006 の式 8 に基づき、指数 0.86 を用いて計算されます。このオプションが無効になっている場合は、ISO 281:2007、ISO/TR 1281-1:2008、または Lundberg et al. (1947) で規定されているように、指数 0.7 が使用されます。

4.3.4 ISO 3408-5 に基づく信頼性係数の計算

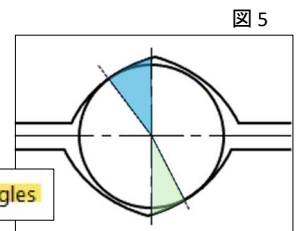
☐ Calculate reliability factor according ISO 3408-5

このオプションが有効になっている場合、ISO 3408-5:2006 に基づく 2 パラメータのワイブル分布を使用して信頼性係数が計算されます。このオプションが無効になっている場合は、ISO 281:2007 および ISO/TR 1281-1:2008 に基づく 3 パラメータのワイブル分布が使用されます。

4.3.5 2 つの接触角を入力

1 つまたは 2 つの接触角を定義することができます。スクリューとナットで異なる角度を使用することも可能です。接触角は、ボールとスクリューまたはナットとの半径方向の接触によって決定されます。

☐ Enter two contact angles



4.3.6 信頼性 S

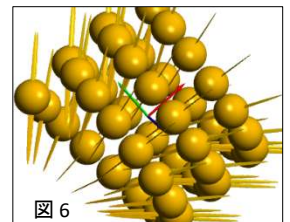
デフォルトでは、信頼性 90%で軸受寿命が計算されます。ここで、90%から 100%未満の範囲で、希望する信頼性を設定できます。

Reliability %

4.3.7 3D ビューにおける応力のスケール係数 s

3D ビューにおいて、応力分布は、4000 MPa の圧力分布に対して、 $s \cdot D_w$ (ボール径)にスケールリングされます(図 6)。

Scale factor for stress in 3D view



4.3.8 最初のねじ山の開始角度 Ψ_0

開始角度は、最初のねじ山の左端の角度位置を定義します。角度が 0° の場合、開始位置は y 軸上にあります。この角度は、最初のボール前の隙間の中心の位置を指定します。

Start angle for first thread °

4.3.9 すきまの生成

Clearance generation

公称接触角、ボール径、および軌道半径によって、すきまゼロ時の曲率中心の位置が決まります。

axial direction
axial direction
radial direction
direction of contact angle
reduction of ball diameter

クリアランスを生成するには、4 つの方法があります。

- 曲率中心のアクシアル方向変位 (接触角が 0 より大きいゴシックプロファイルのみ; 最大ラジアルすきまに制限あり)。
- 曲率中心のラジアル方向の変位。
- 曲率中心の圧力角方向への変位 (接触角 = 0 の場合は除く)。
- ボール径の縮小 (許容荷重がわずかに減少)。

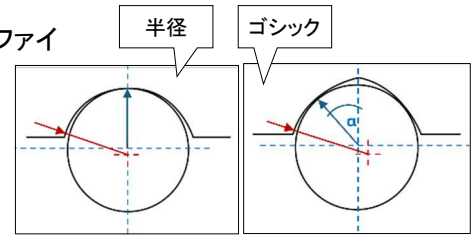
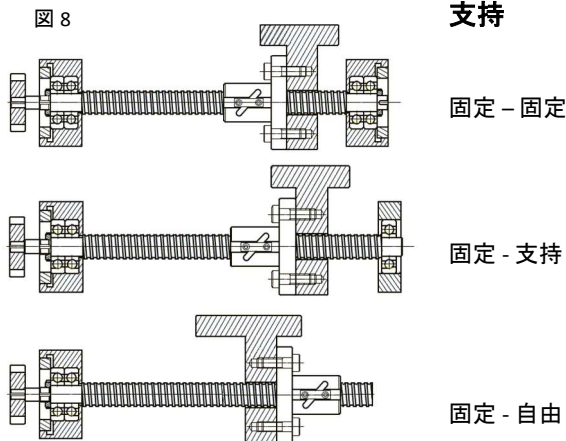


図 7

4.3.10 ボールねじおよびナットのアクシアル方向の膨張

ボールねじとナットの軸方向の長さの変化については、「考慮しない」、「左固定」、「右固定」の 3 つのオプションがあります。片側に荷重がかかると、アクシアル方向の応力により、ねじは軸方向に伸びたり、縮んだりします。左固定とは、左側から荷重がかかり、右側に向かって応力が減少することを意味します。



支持

固定 - 固定

固定 - 支持

固定 - 自由

Axial expansion ball screw	not considered
Axial expansion nut	fixed right

Axial expansion ball screw	fixed left
Axial expansion nut	fixed right

Axial expansion ball screw	fixed left
Axial expansion nut	fixed left

4.3.11 弾性リングの膨張

ラジアル方向の力は、弾性的な膨張または圧縮を引き起こす可能性があります。この計算は、内面または外面に一定圧力が作用する厚肉円筒の理論に基づいており、最小ボール接触力または平均ボール接触力のいずれかを使用します。このオプションでは、ナット全長にわたって状態が一定であるとみなされるため、純粋な傾きモーメントが存在する場合には適していません。

Elastic ring expansion is not considered
Elastic ring expansion based on minimal radial force
Elastic ring expansion based on medium radial force

図 9

4.4 「形状」の設定

4.4.1 一般

このタブでは、ボールねじの形状を定義します。

4.4.2 入力フィールド

始点の数 / 巻き数

ここでは、ボールトラックとその長さを定義します。

リード Ph / リード角 ϕ / 方向

1 回転あたりのナットのアクシアル方向の移動量。角度で入力することもできます。方向: 右または左。

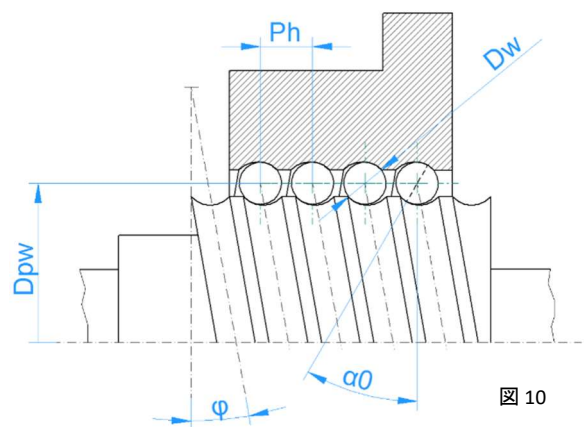


図 10

図 11

1 回転あたりの負荷ボール数

通常、ISO 3408-5:2006 に基づいて自動的に計算されますが、スペーサー要素を使用するなどして、この値をオーバーライドすることも可能です。

Number of loaded balls per turn **zl**

ボール径

Dw、定格荷重および接触剛性の基本サイズ。

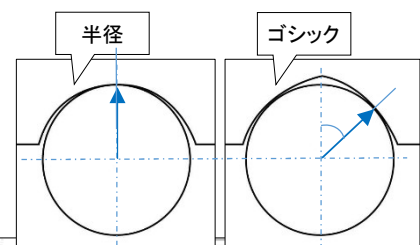
ピッチ径

転動体の軌道径 Dpw、圧力角および形状の基準(図 10 を参照)。

接触角

オプションで内側および外側、 $\alpha > 0^\circ$ のゴシックプロファイル、 0° のフルラジウス(右図)。

図 12



曲率比

軌道曲率半径とボール径の比率。0.5 以上である必要があります。

Conformity ball screw frs
Conformity ball nut frn

Enter radii for races
Radius inner race rs mm
Radius outer race rn mm
OK Cancel

図 13

肩の径

肩の径 dS は、軌道面の横方向の支持を決定します。

Shoulder diameter ball screw dSi mm
Shoulder diameter ball nut dSe mm

あるいは、肩の高さをボール径のパーセンテージ(通常 10~40%)として指定することもできます。

Enter Factor for shoulder diameter
Factor shoulder diameter ball screw fSs %
Factor shoulder diameter ball nut fSn %
OK Cancel

ソフトウェアは、接触楕円が肩の範囲内に収まっているかどうかを確認します。収まっていない場合、計算された圧力は無効となります。

図 14

定格荷重

これらは手動で入力することも、ソフトウェアによって計算することもできます。動的定格荷重は ISO 3408-5 に、静的定格荷重は ISO 76 / ISO 3408-5 に準拠しています。

Dynamic load rating Ca N
Static load rating C0a N

図 15

第 4.3.2 章のオプションを参照してください。

アキシャル方向のすきま/ 予圧

アキシャル方向のすきまは、両方向のアキシャル方向変位の差です。

ゴシックプロファイルの場合、すきまは負(予圧)になることもあります。フルラジアスプロファイルの場合は正でなければなりません。

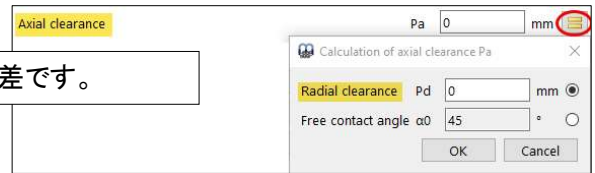


図 16

➡ 予圧は、Pa に負の値を入力することで定義されます。

☰ - ボタン(図 16)を使用すると、代わりに正のラジアルすきまを入力したり、フルラジアスプロファイルに自由接触角を適用したりすることができます。

公差クラス

公差クラスは、JIS B 1192-1997、ISO 3408-3:2006 および DIN 69051-3 に準拠しており、定格荷重の計算に考慮されます。

材質

ここでは、ねじ、ナット、およびボールの材料を定義できます。⊕ プラスボタンを使用して、硬度や熱処理も指定できます。ボールの材料は、荷重分布における接触剛性には影響しますが、寿命計算では考慮されません。

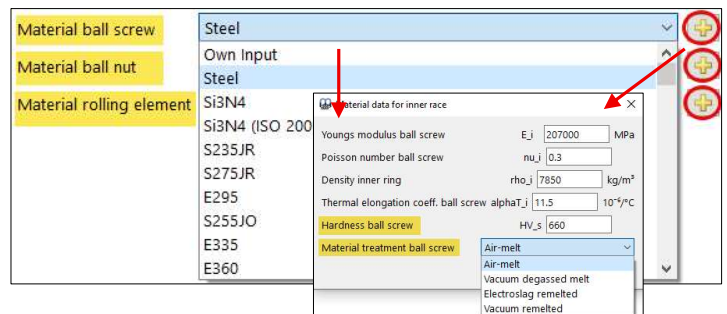


図 17

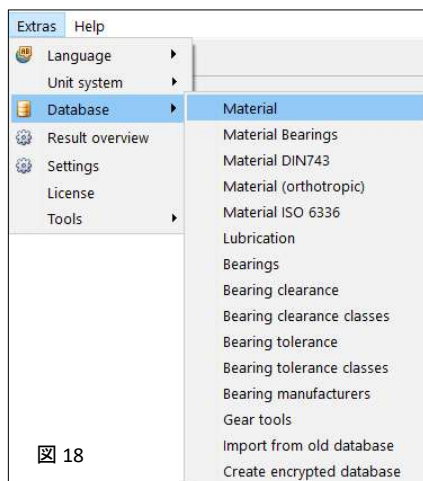


図 18

[拡張] メニューにある材料データベースへのリンクに加え、材料などのカスタムデータベースエントリを作成することもできます。さらに、既存のデータベースからインポートしたり、データの暗号化されたエクスポートを開始したりすることも可能です。

ボールねじ内径

アキシャル方向またはラジアル方向の膨張を考慮する必要がある場合に使用されます。



図 19

ナット外径

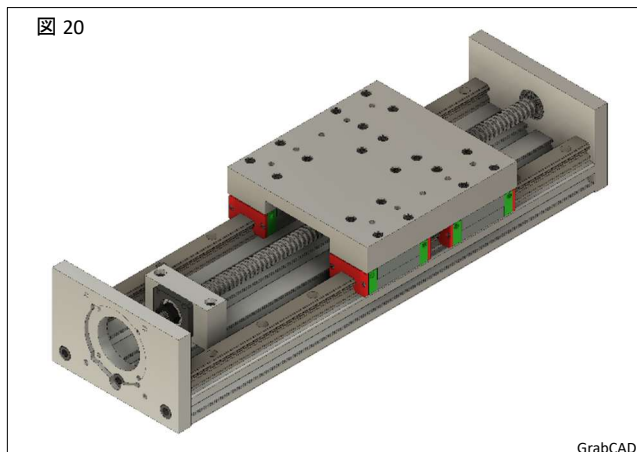
アキシャル方向またはラジアル方向の膨張を考慮する必要がある場合に使用します。入力値が 0 の場合、 $D_{pw} + 20 \cdot D_w$ の直径が適用されます。

ボールねじのリードエラー

荷重分布に影響を与えるオプションの入力値です。



4.4.3 形状の入力



工作機械で使用する仮定の位置決め駆動装置を解析します。以下のデータが利用可能です：

始点の数：	1	
巻き数：	3	
リード：	5	mm
ボール径：	3.5	mm
ピッチ直径：	18.5	mm
接触角：	45	°
曲率比 スピンドル：	0.54	
曲率比 ナット：	0.56	
アキシャル方向のすきま：	0	mm

➡ このデータを「形状」タブに適切に入力してください(図 11)。

4.5 荷重の入力

4.5.1 一般

各座標方向について、力または変位を入力することができます。

アキシャル周りのトルクはアキシャル方向の力と結合しているため、モーメントはY方向とZ方向でのみ可能です。回転角 rx はアキシャル方向の変位にのみ影響します。

図 21

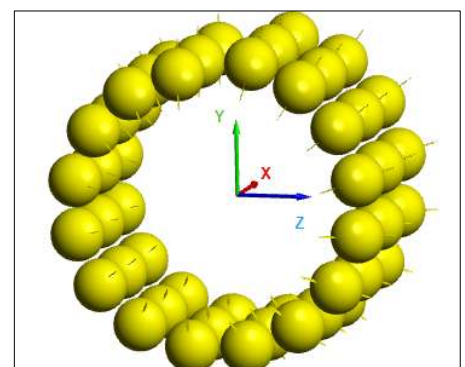
General	Geometry	Configuration	Loading
Axial load Fx 500 N ☒ Displacement ux 0 mm ☐ Radial load Fy 0 N ☐ Displacement uy 0 mm ☐ Radial load Fz 0 N ☐ Displacement uz 0 mm ☐ Moment Mx 0 Nm ☐ Rotation angle rx 0 mrad ☒ Moment My 0 Nm ☐ Rotation angle ry 0 mrad ☒ Moment Mz 0 Nm ☐ Rotation angle rz 0 mrad ☒ Speed inner ring ni 300 rpm ☒ Inner ring rotates to load Speed outer ring ne 0 rpm ☐ Outer ring rotates to load Temperature of shaft Ti 20 °C Temperature of housing Te 20 °C			

➡ 上の図に示すように、500 N のアキシャル方向の力と 300 rpm の速度を割り当てます。

4.5.2 座標系

x 軸はアキシャル方向に対応し、y 軸は最初のボール前の隙間に向かって上向きになります。開始角度 ψ は x 軸周りで正であり、y 軸上で 0 から始まります。開始角度は設定で変更できます。

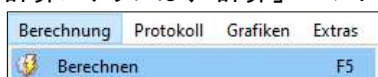
モーメントは、それぞれの軸を中心に正の値となります。荷重は内輪に作用します。つまり、y 方向に正の荷重がかかると、上部の回転体に荷重がかかります。



4.6 計算

4.6.1 単一の荷重ケースの計算

計算ステップは、「計算」コマンド(図 23)、F5 キーの押下、またはリボンメ



ニューの対応するアイコンを使用して開始します。

➡ 計算プロセスを開始してください。



→ 巻きのアキシャル方向のオフセットと、最初の始点における現在のスタート角 ψ_0 が 0° であることから、Y 軸周りの傾きモーメントが得られます (図 24)。

Axial load	Fx	500	N	☒ Displacement	ux	0.00307129	mm	☐
Radial load	Fy	0	N	☒ Displacement	uy	0	mm	☐
Radial load	Fz	0	N	☒ Displacement	uz	0	mm	☐
Moment	Mx	-0.397887	Nm	☐ Rotation angle	rx	0	mrad	☒
Moment	My	0.397026	Nm	☐ Rotation angle	ry	0	mrad	☒
Moment	Mz	-0.0344511	Nm	☐ Rotation angle	rz	0	mrad	☒

Start angle for first thread
 ψ_0 0 °

図 24

→ [全般] タブで、最初の始点角度を 90° に設定します。

→ これにより、Z 軸周りの対応する傾きモーメントが発生します：

Axial load	Fx	500	N	☒ Displacement	ux	0.00307129	mm	☐
Radial load	Fy	0	N	☒ Displacement	uy	0	mm	☐
Radial load	Fz	0	N	☒ Displacement	uz	0	mm	☐
Moment	Mx	-0.397887	Nm	☐ Rotation angle	rx	0	mrad	☒
Moment	My	0.0344511	Nm	☐ Rotation angle	ry	0	mrad	☒
Moment	Mz	0.397026	Nm	☐ Rotation angle	rz	0	mrad	☒

Start angle for first thread
 ψ_0 90 °

図 25

→ 「一般」タブで、最初の開始角度を 0° に再設定します

この時点で、最初の主要な荷重ケースを入力し、その後それを検証したいと思います。

→ 以下の荷重を入力してください： 計算を開始 → します。

Fx = 750 N
 Fy = -250 N
 Mz = 7 Nm



Axial load	Fx	750	N	☒ Displacement	ux	0.00395655	mm	☐
Radial load	Fy	-250	N	☒ Displacement	uy	0.00217706	mm	☐
Radial load	Fz	0	N	☒ Displacement	uz	-8.06379e-05	mm	☐
Moment	Mx	-0.596831	Nm	☐ Rotation angle	rx	0	mrad	☒
Moment	My	0.87243	Nm	☐ Rotation angle	ry	0	mrad	☒
Moment	Mz	7	Nm	☒ Rotation angle	rz	0.576454	mrad	☐
Speed inner ring	ni	300	rpm	☒ Inner ring rotates to load				

図 26

→ 結果は、荷重入力マスクに直接表示されます。

4.6.2. 複数の定義条件の計算 – 荷重スペクトル

[一般] タブで荷重スペクトルによる計算が有効になっている場合 (4.3.1 章を参照)、単一の荷重ケースではなく、スペクトル全体が計算されます。各要素について、荷重、変位、速度、および温度を入力することができます。コンテキストメニュー(マウスの右ボタン)を使用して、力/モーメントまたは変位/回転のどちらを使用するかを選択できます (図 27)。

行は **+** プラスボタンで追加、**-** マイナスボタンで削除できます。**X** はすべてのエントリを削除します。インポートボタン **→** を使用すると、ファイルから荷重スペクトルを読み込むことができます(列と単位が一致している必要があります)。エクスポートボタン **←** を使用して、エクスポートすることも可能です



単一の荷重ケースと同様に、リングが荷重に対して回転するかどうかを設定できます。荷重分布は各要素ごとに計算され、結果には、荷重スペクトル全体の寿命と最小静的安全率が表示されます。「グラフィックス」メニューの要素は、このページで選択された要素についてのみ表示されます。

5. 結果

5.1 現在の結果の概要

5.1.1 概要

ユーザーインターフェース下部の結果概要には、例題の計算内容に基づいた最新の状態が常に表示されます。[第 4.6.2 章](#)の入力内容(荷重スペクトルを含む)に基づくと、以下のように表示されます。

Result overview								
Reference rating life	L10rh	12210.1	h	Reference rating life	L10r	300.368		
Maximal pressure	pmax	2169.8	MPa	Static safety factor	S0eff	7.2281		
Distance between rolling elements	δRE	0.122675	mm	Axial Stiffness	cxx	0	N/mm	

図 28

➡ 結果の概要にあるシステム寿命 L10rh を、[第 4.6.1 章](#)の単一荷重ケースの計算結果と比較してください：

Result overview								
Reference rating life	L10rh	10744.8	h	Reference rating life	L10r	193.407		
Maximal pressure	pmax	2169.8	MPa	Static safety factor	S0eff	7.2281		
Distance between rolling elements	δRE	0.122675	mm	Axial Stiffness	cxx	323552	N/mm	
Tilting Stiffness around Y	cry	15741.8	Nm/rad	Tilting Stiffness around Z	crz	19034.4	Nm/rad	

図 29

5.1.2 内容の設定

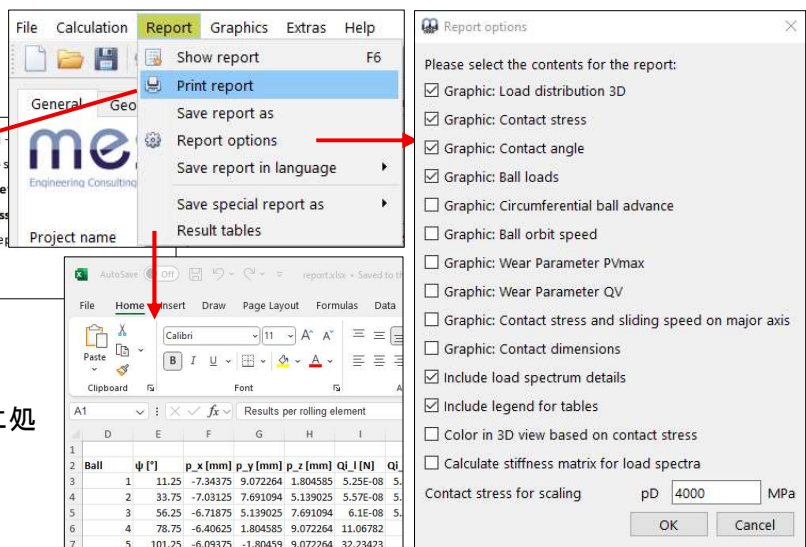
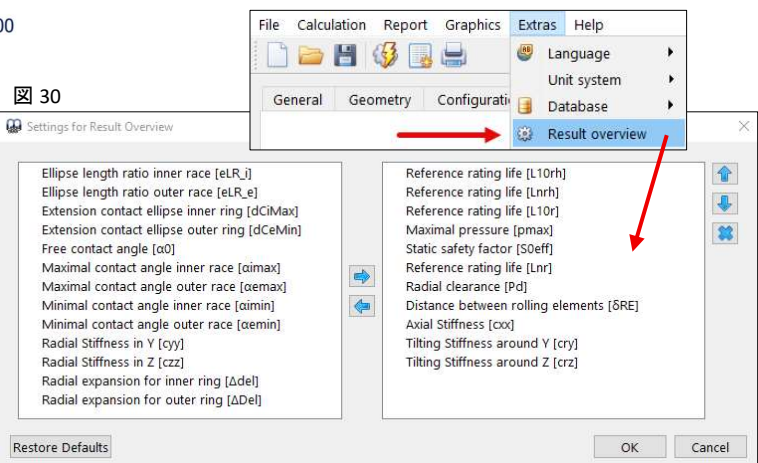
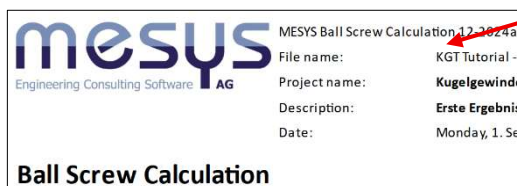
メニューコマンド「拡張 / 結果の概要」を使用すると、ユーザーインターフェースの結果ウィンドウの内容を編集できます(図 30)。

5.2 レポート

5.2.1 メインレポート

レポートはさまざまな形式で利用できます。

標準的な内容での PDF または DOCX 形式のメインレポートに加えて、「レポートオプション」で選択可能な追加内容にレポートメニューからアクセスできます。

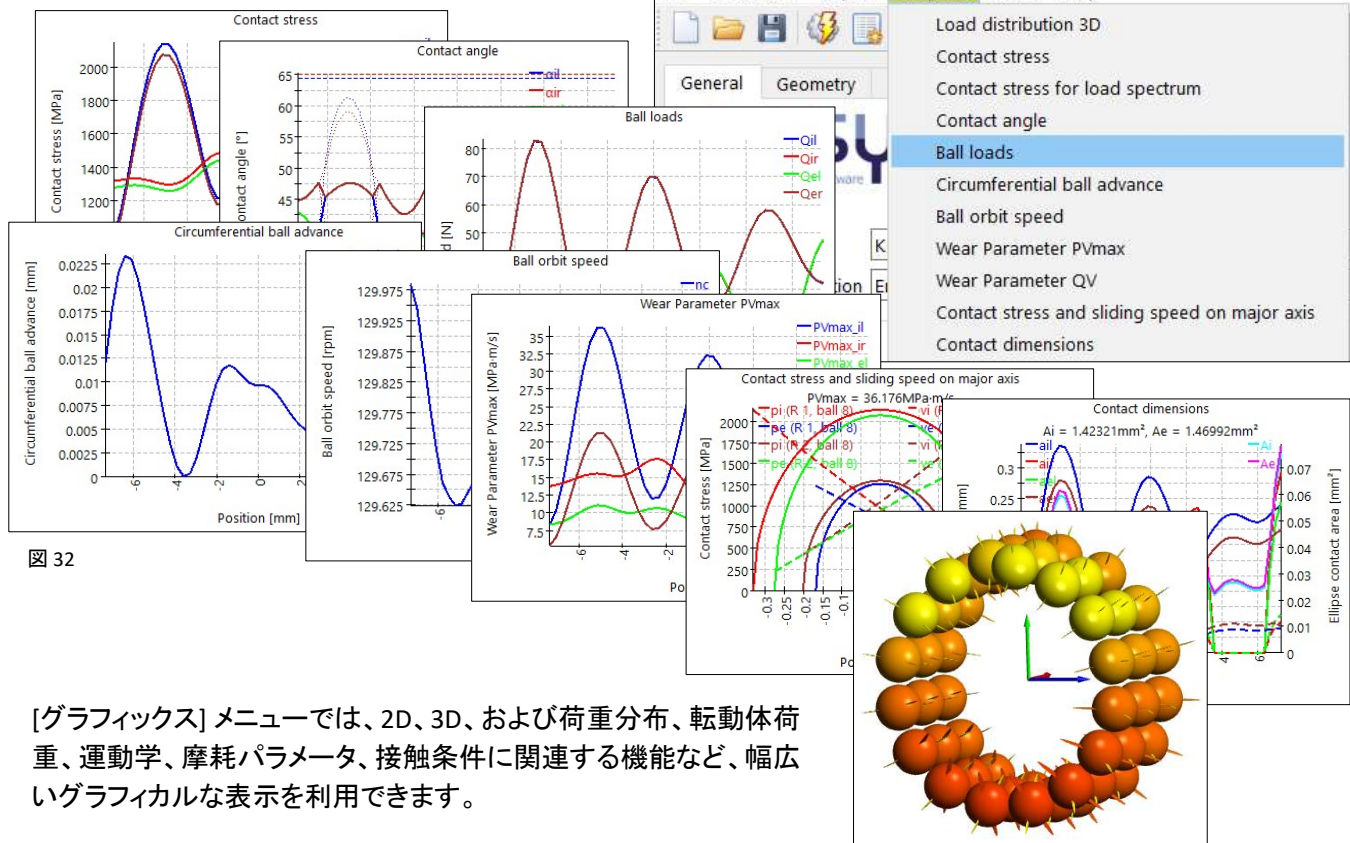


5.2.2 結果表

結果テーブルは、XLSX 形式で開いてさらに処理することができます。

	D	E	F	G	H	I
	ψ [°]	p_x [mm]	p_y [mm]	p_z [mm]	Q_i [N]	Q_i
1	11.25	-7.34375	9.072264	1.804585	5.25E-08	5.25E-08
2	33.75	-7.03125	7.691094	5.139025	5.57E-08	5.57E-08
3	56.25	-6.71875	5.139025	7.691094	6.1E-08	6.1E-08
4	78.75	-6.40625	1.804585	9.072264	11.06782	11.06782
5	101.25	-6.09375	-1.804585	9.072264	32.23423	32.23423
6	123.75	-5.78125	-5.13902	7.691094	56.20463	56.20463
7	146.25	-5.46875	-7.69109	5.139025	76.01994	76.01994

5.3 グラフィックス



[グラフィックス] メニューでは、2D、3D、および荷重分布、転動体荷重、運動学、摩耗パラメータ、接触条件に関連する機能など、幅広いグラフィカルな表示を利用できます。

グラフィックスは、現在の出力とともにメインプログラムインターフェースにドッキングすることができ、計算のたびに自動的に更新されます。

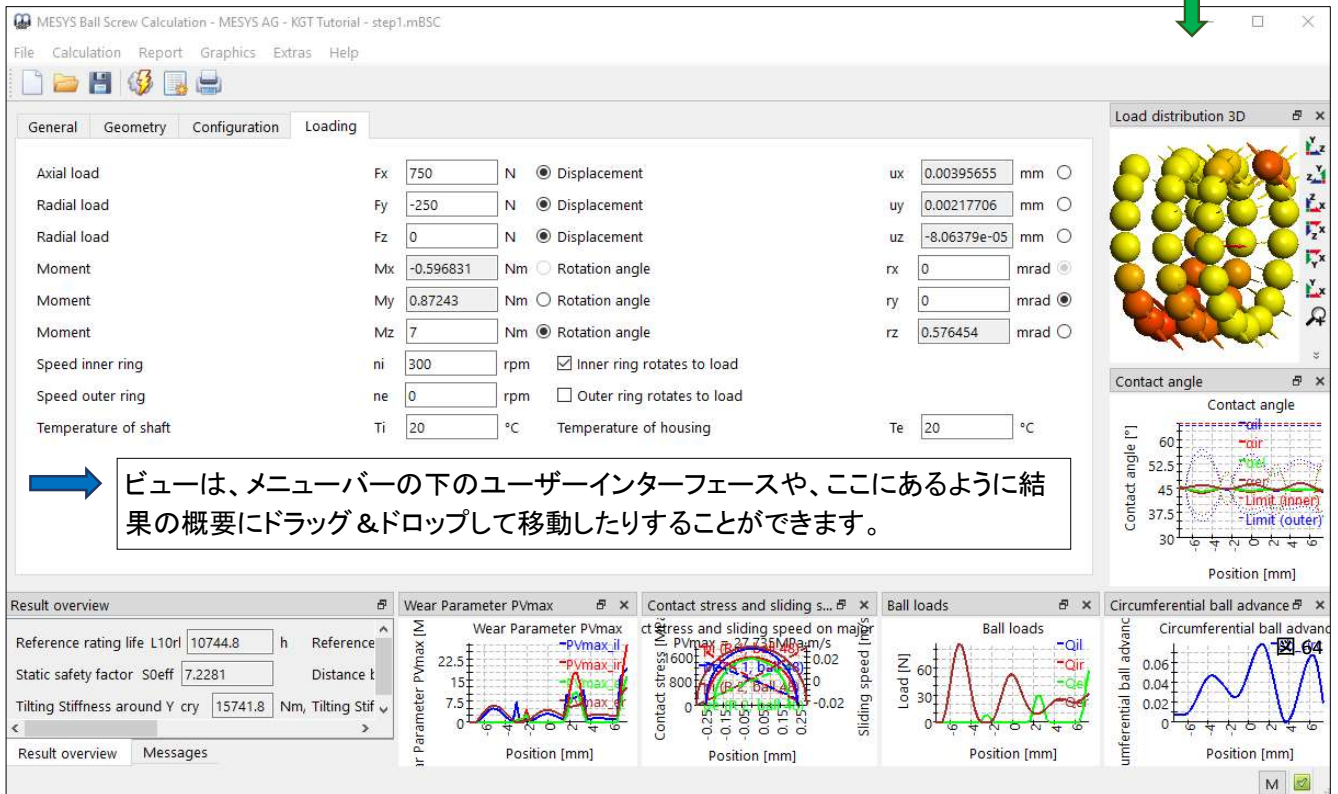


図 33

レポートオプションを編集し、レポートを印刷してください。

6. アプリケーション設計

6.1 方法論

ボールねじの設計を成功させるには、実績のある方法論に従う必要があります。MESYS のボールねじ計算機能は、このプロセスにおいて重要な支援を提供し、必要な作業の大きな部分を担います。以下では、[第 4.6.1 章](#)で検討した単一荷重ケースについて、最も有用な手順のいくつかを一緒に確認していきます。

6.2 接触応力

[グラフィックス]メニューから表示できる接触応力図は、各ボールおよび 4 つの可能な接触点すべてについて計算された接触圧力を示しています。第 4.6.1 章の単一荷重ケースでは、右側の内輪(pir)と左側の外輪(pel)に 0 MPa の領域が見られます(図 34)。したがって、この図は、特に pir (赤)と pel(緑)を通じて、2 点(0 MPa)および 4 点の接触条件を示しています

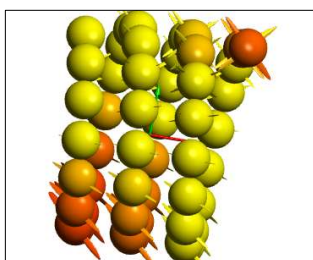


図 35: 2 点および 4 点の接触条件

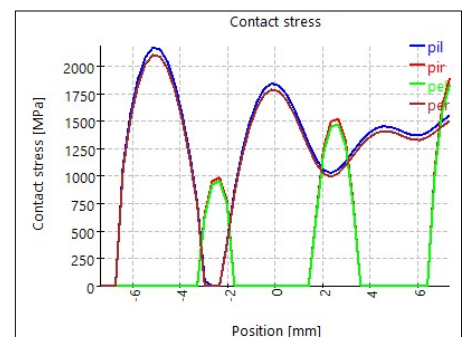


図 34

図 36

6.3 円周方向のボール進み

[グラフィックス] メニューで有効になる「円周方向のボール前進」の図は、各ボールの循環速度があるセクションにおいて一定であるという仮定に基づいています。しかし、接触角が異なるため、個々の転動体の循環速度は異なります(図 36)。

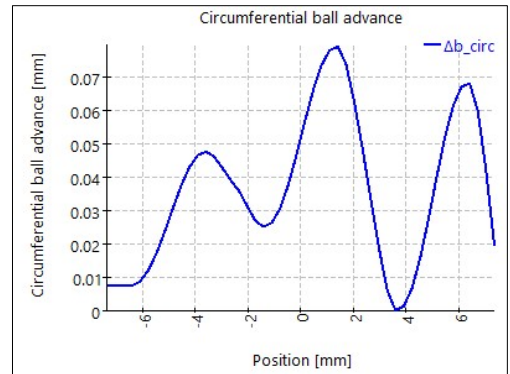
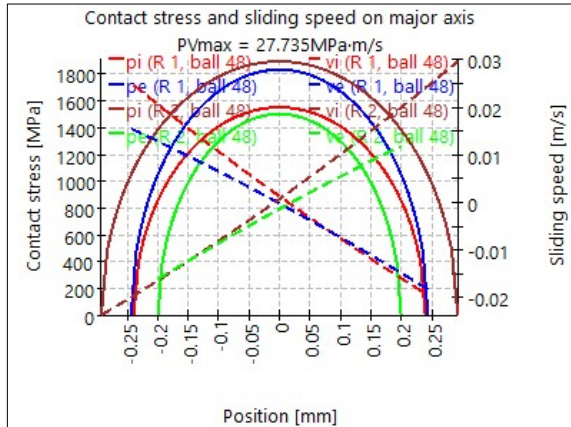


図 37



6.4 主軸上の接触応力と滑り速度

この図も「グラフィックス」メニューから表示でき、接触楕円の主軸に沿って、選択したボールの現在の値を表示することで、圧力と滑り速度の推移を関連付けています(図 37)。グラフィックオプションを通じて、別のボール、またはその時点で PV 値が最も高いボールを

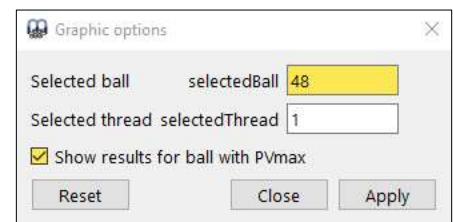


図 38

選択することができます(図 38)。

6.5 接触寸法

この図は、[グラフィックス] メニューから表示でき、位置に沿った圧力楕円の半軸を示しており、破線は短い半軸を示しています。

- ➡ 数値は、結果テーブル(5.2.2 章)から確認できます。
- ➡ 破線 bi / be は、マイナー半軸に対応しています。
- ➡ 図のタイトル下にある数値 Ai / Ae は、ナット長にわたる面積の合計に対応しています。

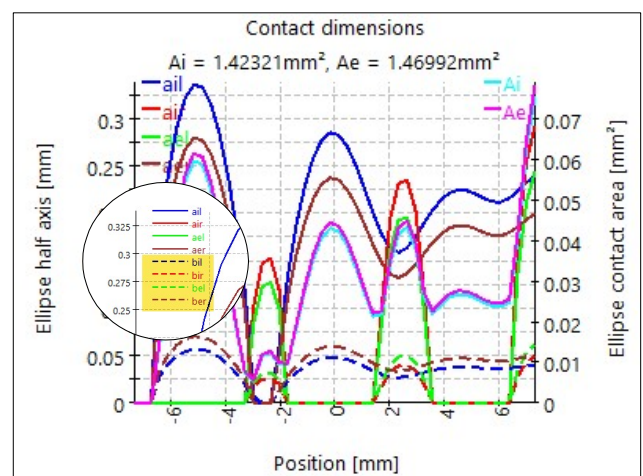


図 39

6.6 最適化

6.6.1 概要

より剛性の高いシステムを求める場合、例えば、アキシャル方向の予圧をかけることが実用的なアプローチとなります。適切な予圧の基準値を得るには、パラメータスタディを行うことをお勧めします。

6.6.2 パラメータバリエーション

メニューの [計算] → [パラメータバリエーション] を選択すると、パラメータバリエーション用のダイアログが表示されます(図 40)。これにより、ユーザーはパラメータスタディを実行でき、その結果はエクスポート可能な表やグラフで表示されます。

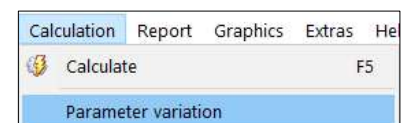


図 40

オプションとして、パラメータバリエーションダイアログの [最適化] タブで、定義された制約条件に従って、目的の結果を最大化または最小化する最適化ステップを適用することができます。パラメータバリエーションの詳細については、[マニュアル](#)の該当項目を参照してください。

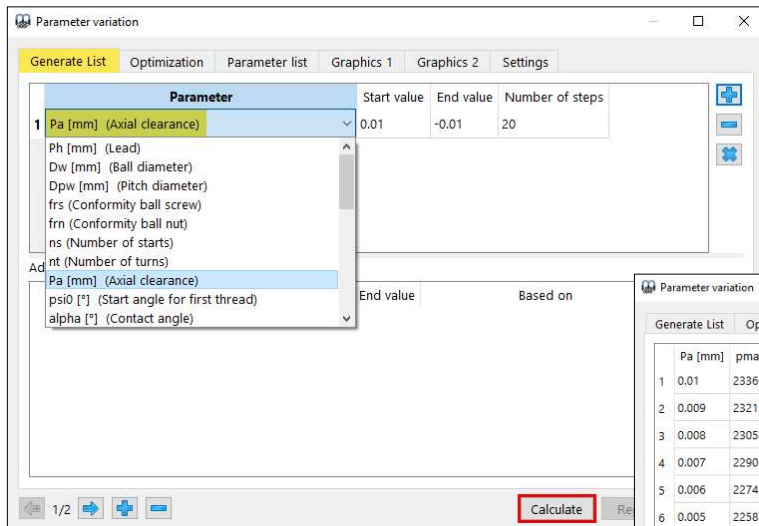
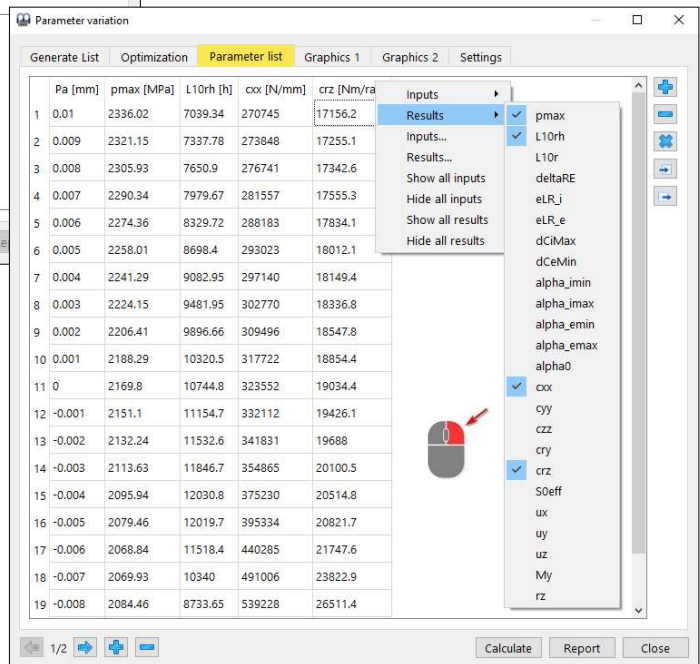


図 41

左の図に示すように、変数 Pa に 0.01 mm から -0.01 mm までの範囲を 20 ステップに分けて割り当ててください。

指定されたボタンをクリックして計算を開始してください。

図 42



パラメータリストで、コンテキストメニューを使用して目的の値を有効にします(図 42)。

図 1 および 2 を使用して、アキシャル方向のすきまに対する cxx および crz の関係、ならびにアキシャル方向のすきまに対する pmax および L10rh の関係を表示します(図 43 / 44)。

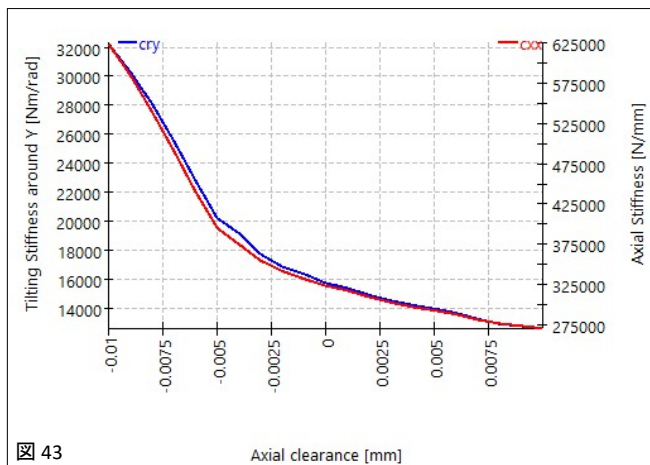


図 43

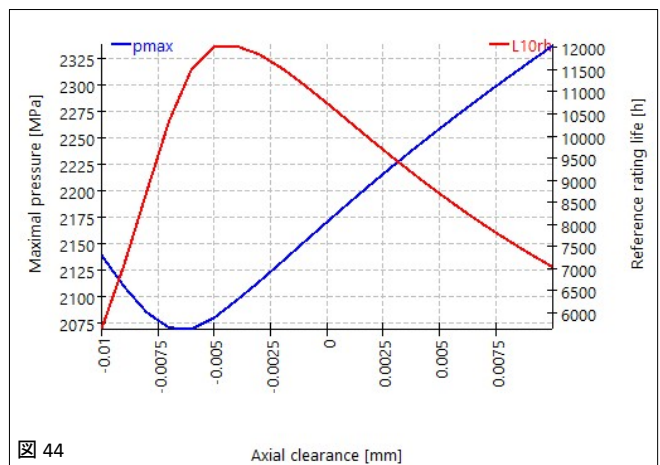


図 44

アキシャル方向の予圧の増加が剛性に明らかに寄与していること、また、4 μ m のアキシャル方向予圧で耐用寿命が最適になることが明らかです。

ただし、予圧は摩耗パラメータである PVmax および QV も増加させることに留意する必要があります。したがって、高速用途では、適切なバランスを見出す必要があります。

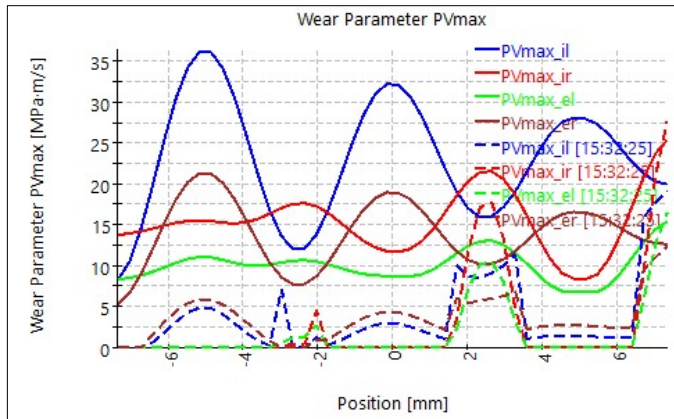


図 45: 単一荷重ケース、 $P_a = -0.01$ mm (予圧)における PVmax
破線: 予圧なし

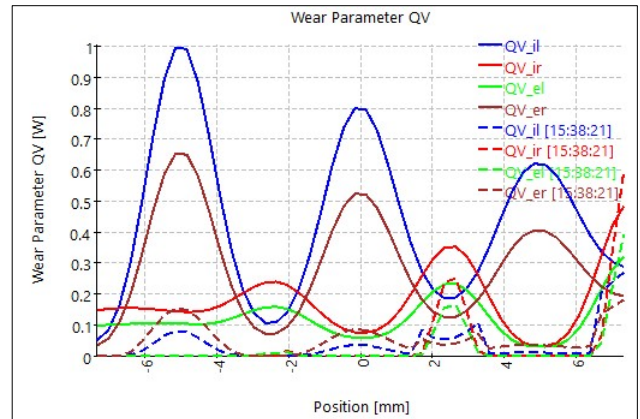


図 46: 単一荷重ケース、 $P_a = -0.01$ mm (予圧)における QV
破線: 予圧なし

6.6.3 総合評価に基づく目標予圧の定義

最終的な評価として、与えられたグラフの結果に基づいて、この単一荷重ケースの全体的な設定を決定する必要があります。

接触応力(第 6.2 章):

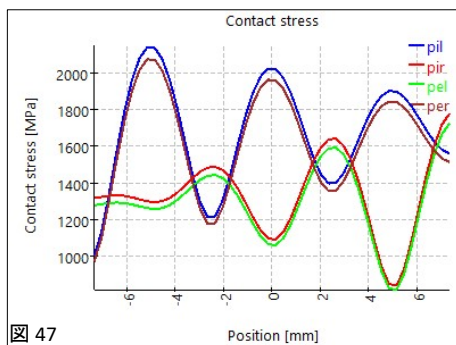
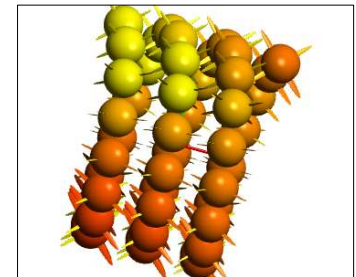


図 47

- ➡ 0.01 mm/min の加速度により、ナット全長にわたって 4 点接触が生じます(図 47 / 48)。
- ➡ これに伴う剛性の増加は、目標速度から生じる摩耗パラメータと照らし合わせて検討し、それに応じて評価する必要があります。

図 48: 純粋な 4 点接触条件



円周方向のボール進み(第 6.3 章):

- ➡ この運動学的パラメータは、 P_a を -0.01 mm にすることで、従来の 0.07 mm から 0.0225 mm に低減できます。

Axial clearance P_a mm

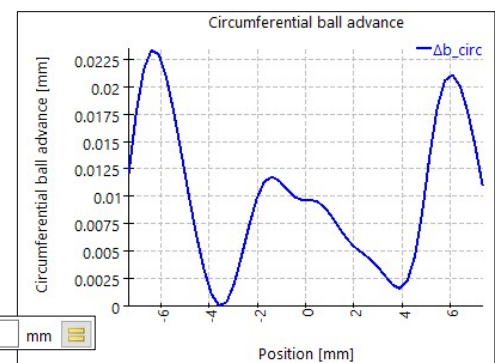
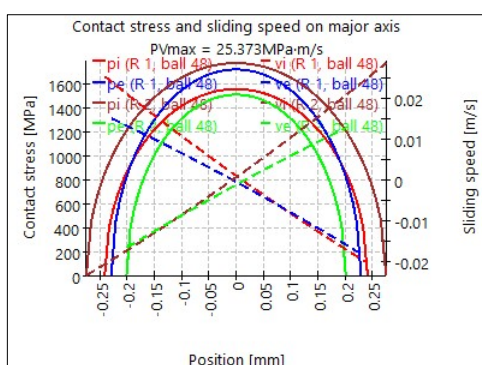


図 49

主軸上の接触応力および滑り速度(第 6.4 章):

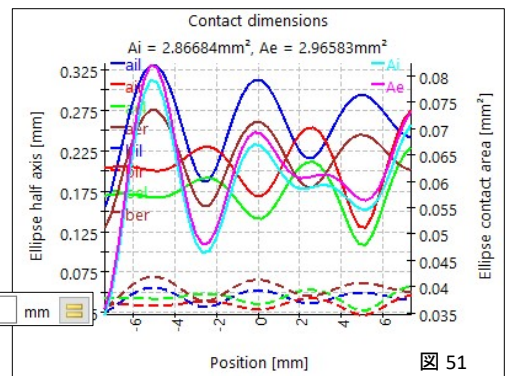


- ➡ P_a を -0.01 mm に設定することで、ボール 48 における PVmax を 25.373 MPa·m/s に低減することができます。しかし、この効果は、アプリケーションの全体的な評価には明らかに耐えられません。

図 50

接触寸法(第 6.5 章):

➡ 接触楕円の半軸、ひいては接触面積は、予圧下での圧力分布と一致しています。

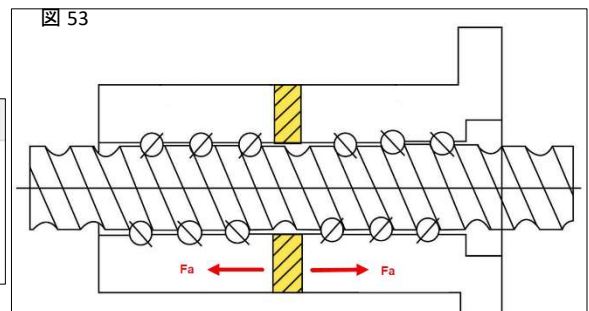


6.6.4 別のアプローチ

予圧されたダブルナットを用いた別のアプローチ(図 53)を使用して、Y 軸周りの傾き剛性を最適化します。

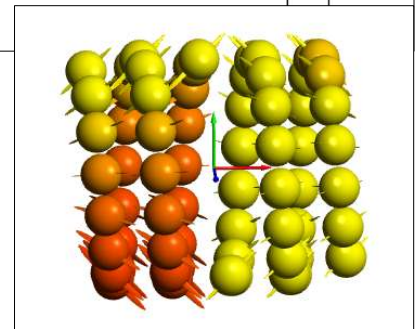
この目的のために、片側あたりのスタートの数を 2 に減らします。

General	Geometry	Configuration	Loading
Number of starts		ns	1
Number of turns		nt	2
Configuration	Loading	Ph	5 mm



General	Geometry	Configuration	Loading
☒ Consider multiple nuts			
	Position [mm]	Offset [mm]	
1	-6	0	
2	6	0	

→ [コンフィギュレーション] タブで、**+** プラスボタンを使用して 2 行を挿入し、それぞれ座標原点から 6 mm の距離を割り当てます (図 54)。



➡ [グラフィックス]→[荷重分布 3D]を選択して、レイアウトを確認します
(図 55)。

➡ パラメータバリエーションを開始してください。

➡ パラメータバリエーションを利用すると、[第 4.6.1 章](#)の単一荷重ケースと同じ荷重条件下で、予圧変位を約 50 % 削減しても、Y 方向の等価傾斜剛性を確保できることがわかります(図 57 / 58)。

Parameter variation

Generate List Optimization Parameter list Graphics 1 Graphics 2 Settings

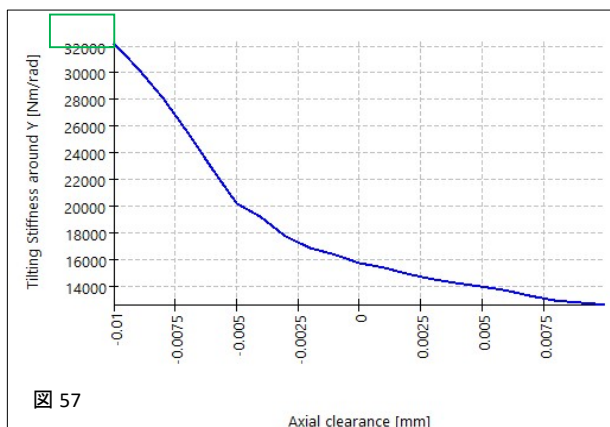
	Parameter	Start value	End value	Number of steps
1	B1.offset_x [mm]	0	-0.005	20

Additional rules

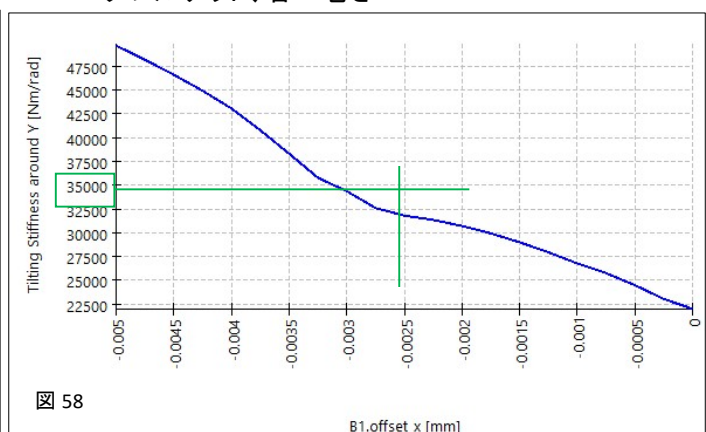
「コンフィギュレーション」の「オフセット」

	Parameter	Start value	End value	Based on
1	B2.offset_x [mm]	0	0.005	B1.offset_x [mm]

ナット 1 個、3 巻き:



ダブルナット、各 2 巻き:



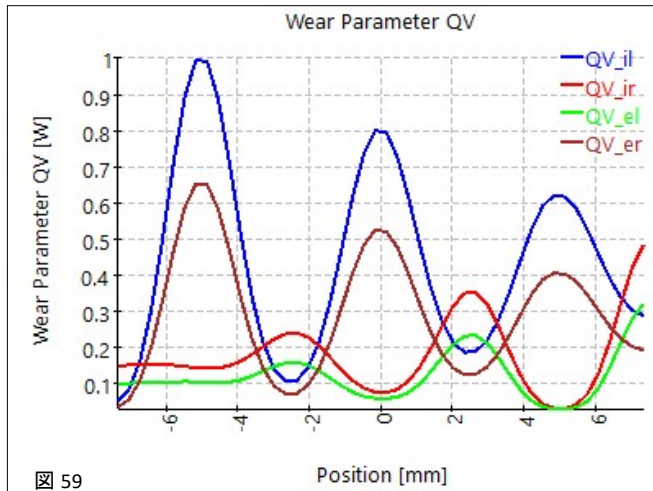


図 59

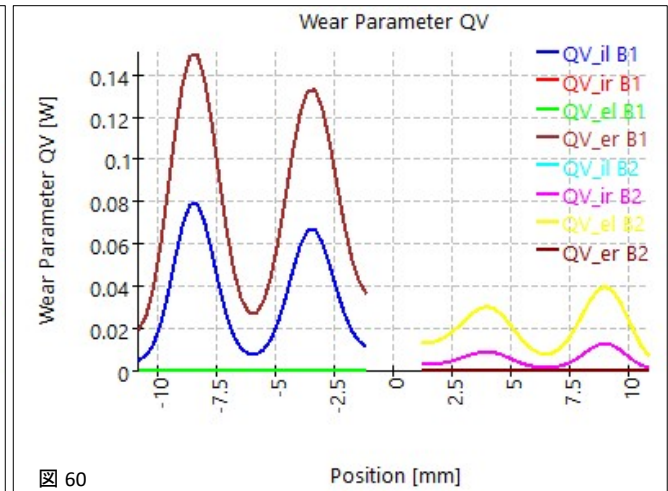


図 60

➡ 予圧をかけたダブルナットを使用した場合、予圧をかけたシングルナットと比較して、摩耗パラメータ QV の最大値は、QV_il で 92%、QV_er で 77% 減少します。

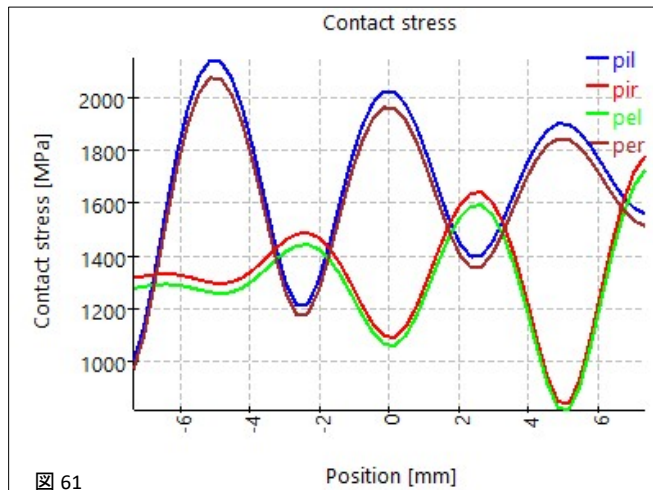


図 61

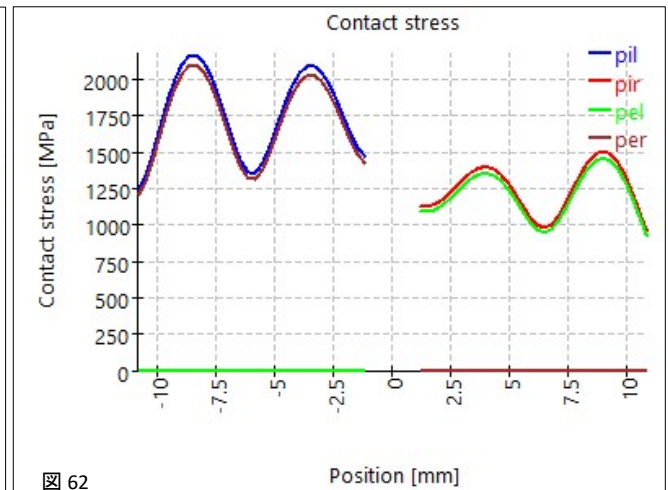


図 62

➡ 予圧をかけたシングルナットの場合、動作は純粋な 4 点接触に限定されます (図 61)。しかし、予圧をかけたダブルナットを使用することで、全長にわたって摩耗を最適化した 2 点接触での動作を実現できます (図 62)。

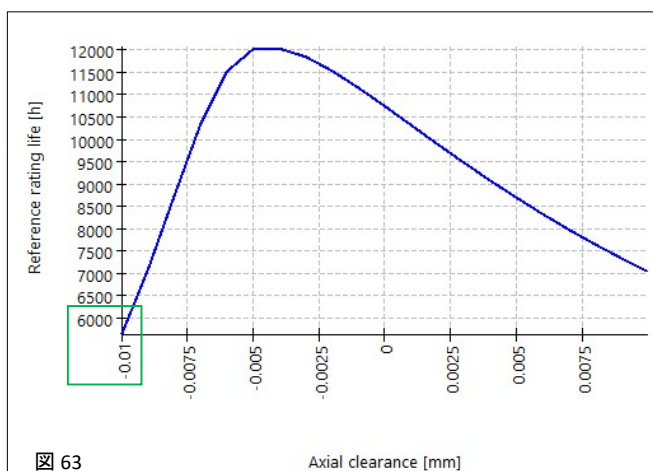


図 63

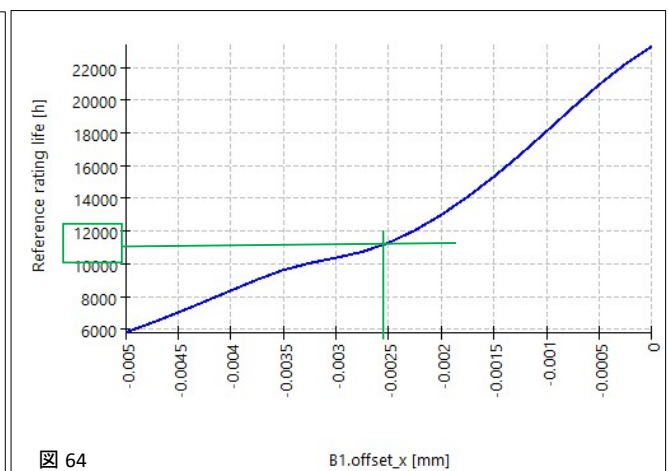


図 64

➡ 予圧をかけたダブルナットを使用すると、同じ剛性を持つ、純粋に剛性を最適化した予圧をかけたシングルナットと比較して、耐用寿命が最大 100% 延長される可能性があります (図 63 / 64)。

MESYS は、当社のチュートリアルが皆様にとって有益で実り多いものとなることを願っています。ご質問、ご提案、
がございましたら、info@mesys.ch までお気軽にお問い合わせください。