

# チュートリアル 転がり軸受解析 - スターターの基礎、 最初の結果

## 目次

1.序文 .....	2
1.1 チュートリアルの目的 .....	2
1.2 ソフトウェア・バージョン .....	2
1.3. 備考 .....	2
2.MESYS 転がり軸受解析の強みと可能性 .....	2
3.ソフトウェア マニュアル .....	3
3.1 オンラインマニュアル .....	3
3.2 PDF マニュアル .....	3
4.転がり軸受の計算 .....	3
4.1 全般 .....	3
4.2 メニュー機能 .....	3
4.3 「一般」の設定 .....	4
4.3.1 概要 .....	4
4.3.2 aISO 係数 .....	4
4.3.3 遠心力 .....	5
4.3.4 はめ合いの温度勾配 .....	5
4.3.5 すきまの選択 .....	5
4.3.6 転動体の温度 .....	5
4.3.7 弾性輪の膨張 .....	5
4.3.8 荷重スペクトル .....	5
4.3.9 修正寿命 .....	5
4.4 軸受の形状 .....	6
4.4.1 概要 .....	6
4.4.2 外部形状のみを入力する .....	6
4.4.3 外部形状と定格容量を入力 .....	7
4.4.4 内部形状の入力 .....	7
4.4.5 内部の形状と定格荷重を入力 .....	10
4.4.6 データベースから軸受を選択 .....	10
4.4.7 軸受すきま .....	11
4.4.8 軸受の公差 .....	12
4.5 「軸受コンフィギュレーション」の設定 .....	15
4.6 「材料と潤滑」での設定 .....	16
4.6.1 材料 .....	16
4.6.2 潤滑 .....	16
4.7 「荷重」の設定 .....	17
4.7.1 一般 .....	17
4.7.2 入力スペース .....	17
4.8トラックローラーの計算 .....	17
5.アプリケーション設計 .....	18
5.1 方法論 .....	18
5.2 はめ合い .....	18
5.2.1 精度レポート .....	18
5.2.2 公差と粗さ .....	18
5.2.3 ISO はめあい .....	18
5.2.4 温度差 .....	19
5.2.5 弾性輪の拡張 .....	19
5.2.6 温度勾配 .....	20
5.3 組付け／未組付け .....	20
5.4 荷重 .....	20
5.4.1 一般 .....	20
5.4.2 定格荷重 .....	20
5.4.3 荷重スペクトル .....	21
5.4.4 パラメータ・バリエーション .....	21
6.結果 .....	23
6.1 レポート .....	23
6.2 グラフィック .....	23
6.3 さらなる結果 .....	24
6.4 レポート .....	24

## 1. 序文

### 1.1 チュートリアル の 目的

MESYS 転がり軸受解析のスターターチュートリアルの目的は、ソフトウェアの機能に慣れ親しみ、転がり軸受の数値解析の機能を最初に感じていただくことです。目的を定めたコンテンツ制限の意味から、ここではトピックと設定についてのみ言及または扱っており、製品および演習内容には精通していることを前提としています。本ソフトウェアを使用する上でご不明な点がありましたら、遠慮なく [MESYS](#) までお問い合わせください。

### 1.2 ソフトウェア・バージョン

このチュートリアルは MESYS 転がり軸受解析バージョン 12-2024 で作成しました。

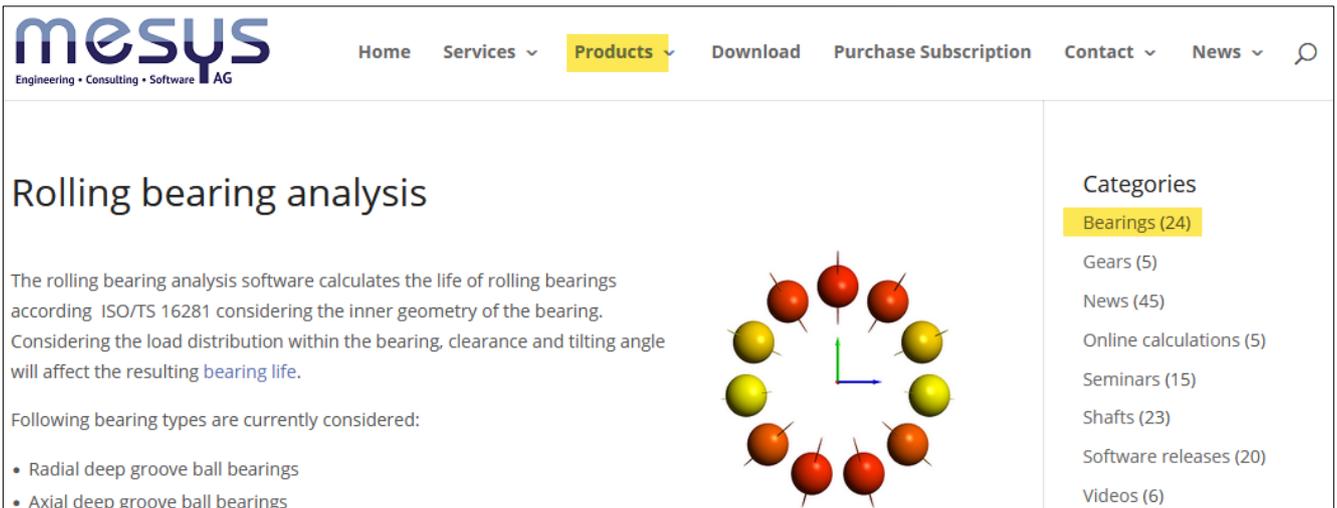
### 1.3. 備考

-  青い矢印は読者へのリクエストを示します。
-  緑の矢印は結論または効果を示します。

## 2. MESYS 転がり軸受解析の強みと可能性

MESYS 転がり軸受解析の有効性をご理解いただくために、ぜひ MESYS [転がり軸受解析の](#) ウェブサイトをご覧ください。

図 1 に示すように、ホーム/製品/カテゴリー/転がり軸受の転がり軸受解析に [対応する記事](#) もご覧ください：



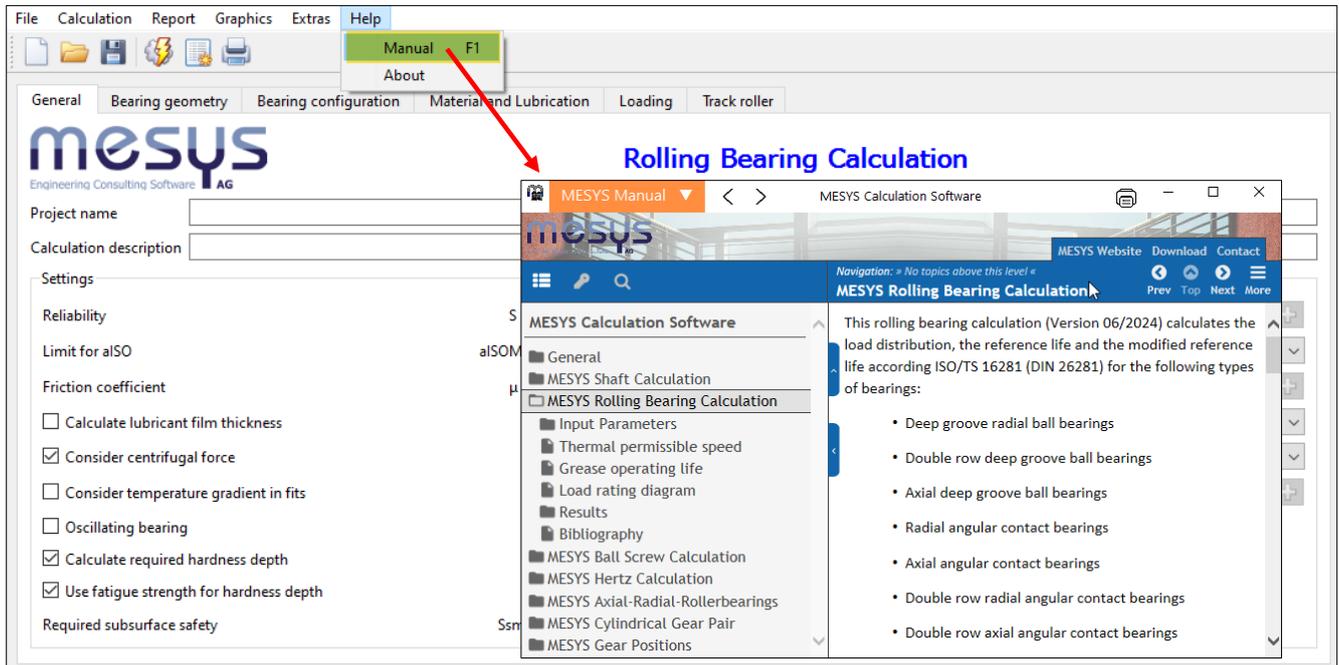
The screenshot shows the MESYS website interface. The navigation bar includes 'Home', 'Services', 'Products' (highlighted), 'Download', 'Purchase Subscription', 'Contact', and 'News'. The main content area is titled 'Rolling bearing analysis'. Below the title, there is a paragraph describing the software's function: 'The rolling bearing analysis software calculates the life of rolling bearings according to ISO/TS 16281 considering the inner geometry of the bearing. Considering the load distribution within the bearing, clearance and tilting angle will affect the resulting bearing life.' Below this, it lists 'Following bearing types are currently considered:' with two bullet points: 'Radial deep groove ball bearings' and 'Axial deep groove ball bearings'. To the right of the text is a 3D diagram of a bearing with red and yellow balls. On the right side of the page, there is a 'Categories' sidebar with a list: 'Bearings (24)' (highlighted), 'Gears (5)', 'News (45)', 'Online calculations (5)', 'Seminars (15)', 'Shafts (23)', 'Software releases (20)', and 'Videos (6)'.

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

図 2



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から「Manual F1」の「Help」メニューを選択して呼び出すことができます。

また、直接 F1 キーボードから、場所に応じた内容のソフトウェアマニュアルをいつでもローカルに開くことができます。

### 3.2 PDF マニュアル

また、MESYS のインストールディレクトリ（図 3）、または MESYS のウェブサイトの「ダウンロード/GeneralDownload」から、主要言語の PDF 形式のソフトウェアマニュアルを直接入手することもできます。

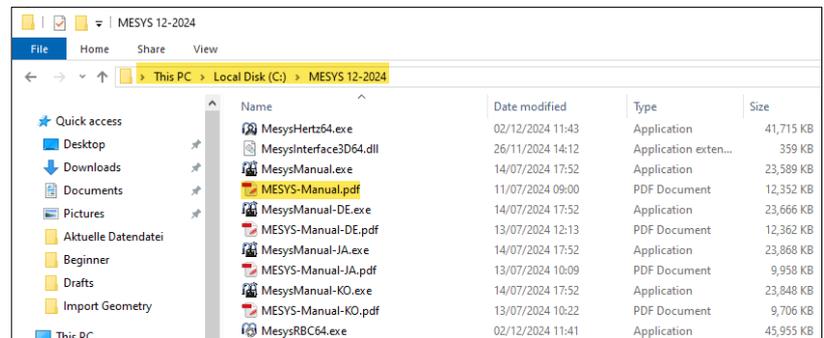


図 3

## 4. 転がり軸受の計算

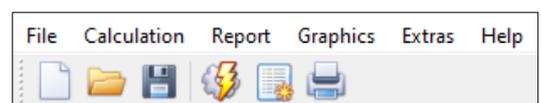
### 4.1 全般

MESYS 転がり軸受解析ソフトウェアは、荷重分布を考慮した ISO 16281 に準拠した基本基準定格寿命と修正基準定格寿命、および現在 31 種類ある転がり軸受設計の ISO 281 に準拠した基本定格寿命と修正定格寿命を計算します。

➡ MESYS 転がり軸受解析ソフトウェアを起動してください。

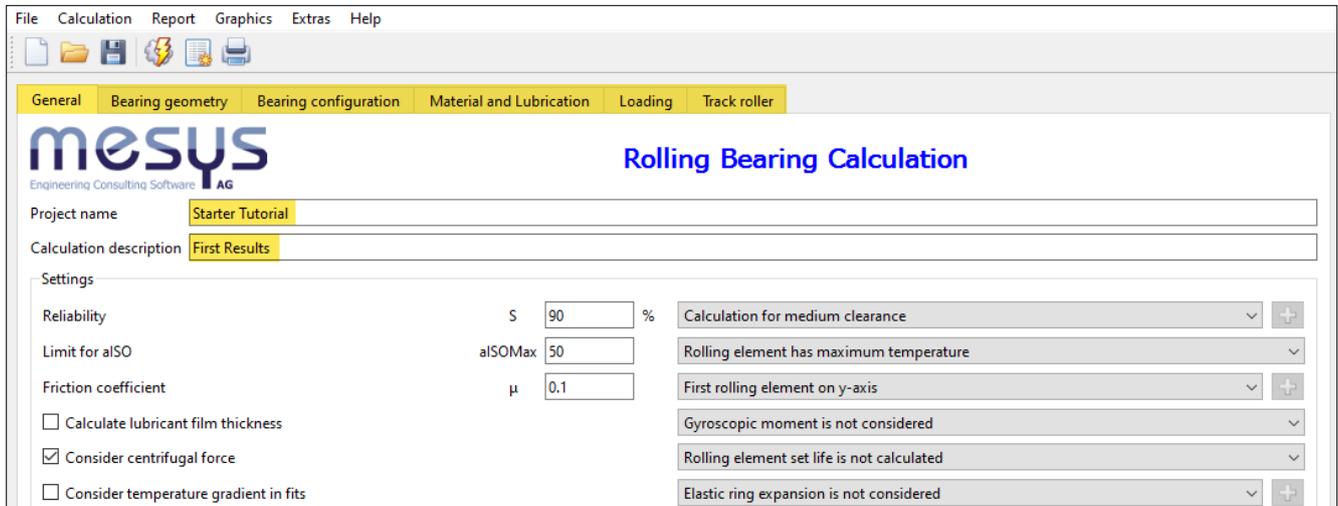
### 4.2 メニュー機能

すべてのメニューが説明不要の内容で構成されているわけではありません。このチュートリアルでは、タスク設定と入力プロセスの一部として、関連するコンテンツと説明をガイドします。



ソフトウェアを起動すると、「一般」、「軸受形状」、「軸受コンフィギュレーション」、「材料と潤滑」、「荷重」、「トラックローラー」の6つのタブでユーザーインターフェースが表示されます。

図 4



「一般」タブでは様々な設定が可能です。この "Starter Tutorial" の範囲では、ソフトウェアのすべての機能を詳しく説明することはできません。関連する内容については、[マニュアル](#)のセクション 3.1 以降の該当する章を参照してください。

イメージするチュートリアル・プロジェクトとして、いくつかの計算タスクをソフトウェアで行なっていきます。

➡ 図 4 に示すように、イメージするプロジェクトにふさわしい名前と説明を選んでください。

一般的な軸受の種類を使用して、実際によく使用される設定を詳しく見てみましょう。プログラム開始時の標準的なデフォルト設定は、広く使用されているため、標準的な転がり軸受の計算を段階的に行うための良い出発点であると考えます。

## 4.3 「一般」の設定

### 4.3.1 概要

このチュートリアルでは、「一般」に記載されている設定のうち、ここで使用されるもの、または理解する上で重要なものを簡単に説明します。いくつかの機能に簡単に触れるだけで、他の機能は省略せざるを得ない場合でも、本質的なポイントに焦点を当てますので、ご理解をお願いします。

➡ 当面は、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。

### 4.3.2 aISO 係数

aISO 係数は、転がり軸受の実際の運転寿命をより現実的に

Limit for aISO

aISOMax 50

予測できるように、定格寿命と基準寿命を「修正」するものです。1 の値は通常の状態に対応し、1 以上の値は好ましい状態に対応します。ISO 281 の数式 26 は、軸受係数(f)、疲労限荷重(Cu)、等価荷重(P)の導出を以下のように定義しています：

$$a_{ISO} = f\left(\frac{e_C C_u}{P}, \kappa\right)$$

係数  $e_C$ (汚染)と  $\kappa$ (粘度比)は、汚染と潤滑状態を考慮したものです。

ISO 281 では、この係数を  $a_{ISO} \leq 50$  に制限しています。

#### 4.3.3 遠心力

遠心力を考慮すると、外輪の荷重は増加し、内輪の荷重は減少します。このため、内輪と外輪の圧力角が異なり、ボア・ロール比が大きくなります。

Consider centrifugal force

#### 4.3.4 はめ合いの温度勾配

Consider temperature gradient in fits

「はめ合いに温度勾配を考慮」を有効にすると、内輪と外輪の温度に加えて、シャフトとハウジングの温度を入力することができます。これは温度勾配を考慮する場合に必要です。[5.2.6](#) 章も参照してください。

#### 4.3.5 すきまの選択

計算には、最小値、可能性のある最小値、中間値、可能性のある最大値、最大値、もしくは基礎となるはめあいと公称すきま公差スペクトルによるユーザー定義値を使用できます。

Calculation for medium clearance

#### 4.3.6 転動体の温度

Rolling element has maximum temperature

転動体の温度は、結果として運転すきまに影響します。この温度は、リング温度、平均リング温度、または独自の入力によって割り当てられた温度に設定することができます。

#### 4.3.7 弾性輪の膨張

アキシアル予圧のような現実的な考慮下で発生する軸受リングの膨張や収縮は、結果として生じる予圧やはめあいの干渉に影響を与えます。これらの重要な影響は、計算で「リングの弾性膨張」を有効にすることで数値的に近似することができます。[5.2.5](#) 章も参照してください。

Elastic ring expansion is not considered

弾性膨張に関する詳細は、[マニュアルの](#) [3.1.1.17](#) 章に記載されています。

#### 4.3.8 荷重スペクトル

Use load spectrum

アプリケーションの挙動を分析するもう 1 つの方法は、異なる状態または荷重状態を考慮することです。「荷重スペクトルを使う」のチェックボックスを有効にすると、「荷重」タブの入力画面は入力表として表示されます。[5.4.3](#) 章も参照してください。

#### 4.3.9 修正寿命

このフラグが設定されている場合、修正寿命は ISO 281 および ISO 16281 用に計算されます。これには、潤滑コンセプトと潜在的な汚染に関する情報が必要です。

Calculate modified life

## 4.4 軸受の形状

### 4.4.1 概要

MESYS 転がり軸受解析の現行バージョンでは、サブタイプを含む 31 種類の転がり軸受設計を計算できます。「軸受形状」タブ(図 5)では、ドロップダウンメニューを使用して、必要な軸受タイプを事前に選択することができます。

その他にも **+** ボタン(図 5)を使って数多くの設定を行うことができます。しかし、これらについては、さらに詳しいドキュメントで説明したいと思います。

➡ デフォルト設定のままにしておいてください。

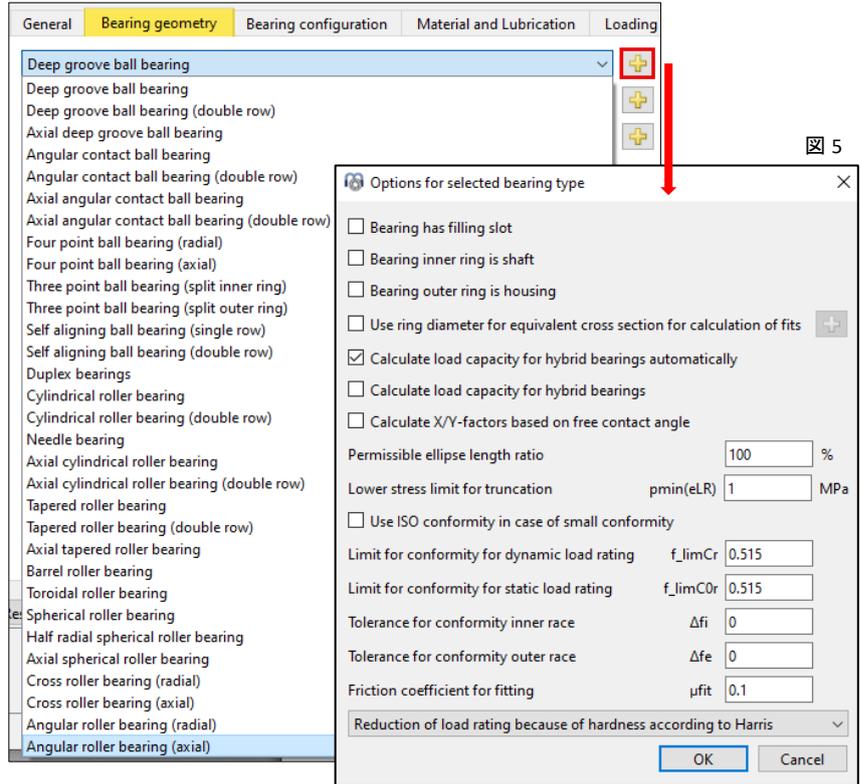


図 5

右側では、ドロップダウンで転がり軸受のタイプに応じた入力モードを選択できます。ここには 5 つの入力モードがあります(図 6) :

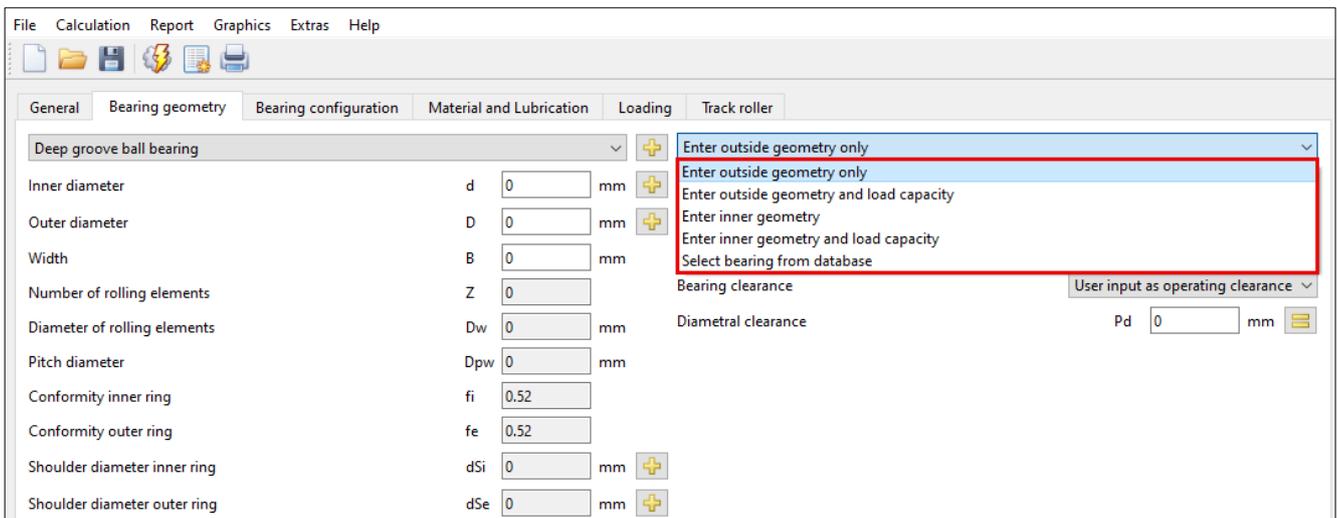
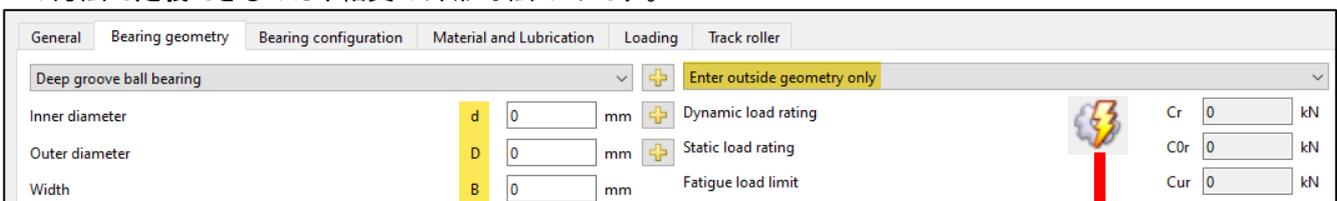


図 6

### 4.4.2 外部形状のみを入力する

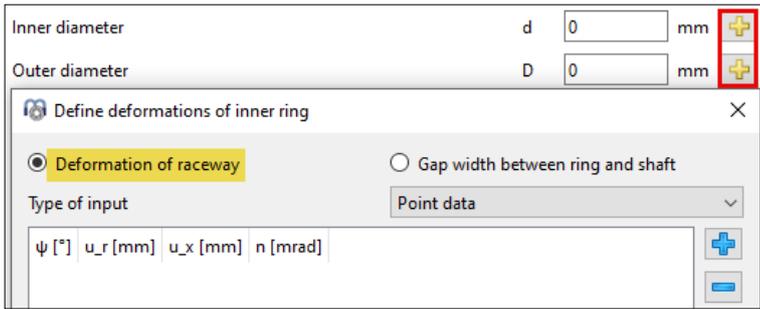
この方法で定義できるのは、軸受の外形状のみです。



これは、内部形状と定格荷重が不明な場合に選択することができます。このソフトウェアは、最初の計算コマンドの後に、一般的な内部形状を基に、ISO 281 と ISO 76 に従ってこれらを計算します(図 7)。

Cr	35.888	kN
C0r	21.3049	kN
Cur	1.11028	kN

図 7



局所的な変形は+ボタンを使ってトラックに割り当てることができます(図 8)。しかし、この特定のオプションについては、さらに詳しいドキュメントで説明したいと思います。

図 8

#### 4.4.3 外部形状と定格容量を入力

さらに、動定格荷重、静定格荷重、疲労限荷重のフィールドも、この様式でラベル付けすることができます(図 9)。定格荷重が不明な場合は、空欄にすることもできます。ソフトウェアは、一般的な内部形状に基づき、ISO 281 または ISO 76 に従って計算コマンドに従って定格荷重を計算します。

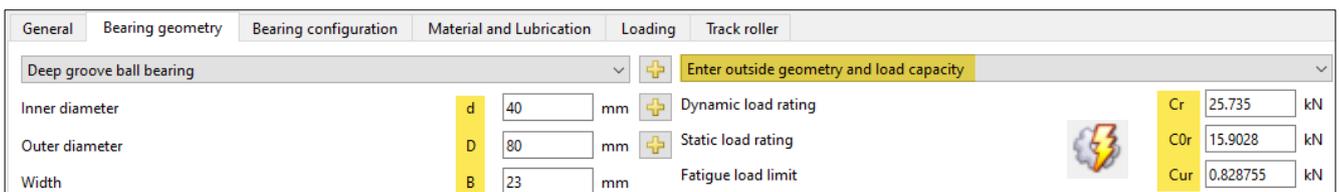


図 9

#### 4.4.4 内部形状の入力

##### 4.4.4.1 一般

内部形状を定義する実質的な値は、このモードを使って対応するフィールドに入力することができます(図 10)。定格荷重は、最初の計算コマンドの後に、内部形状に入力された値に基づいて、ISO 281 および ISO 76 に従って計算され、入力されます。

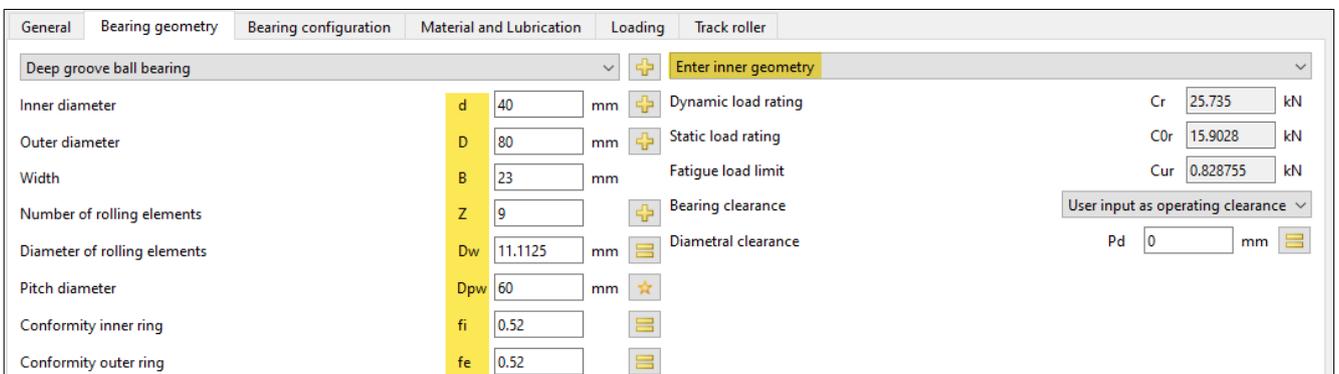
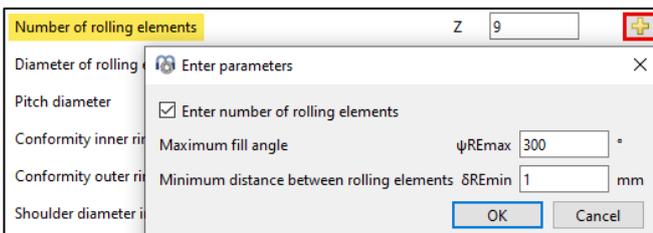


図 10

##### 4.4.4.2 転動体の数

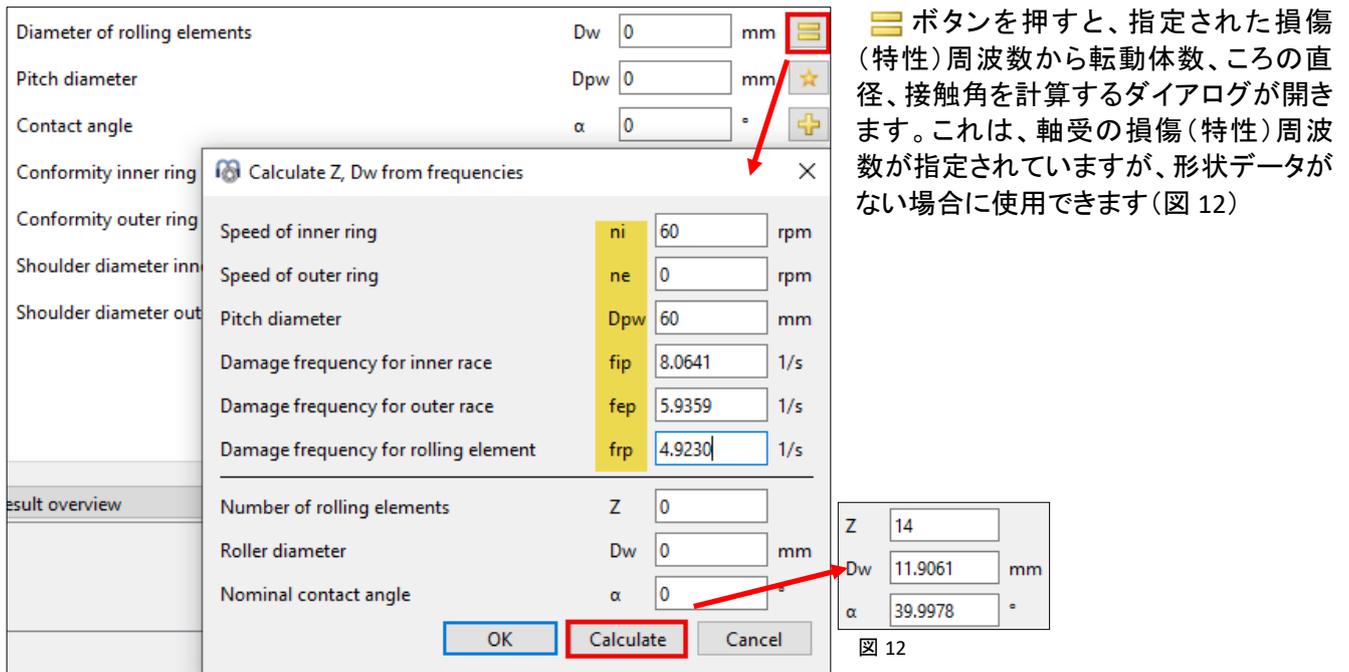


転動体の数  $Z$  は、最大充填角度と転動体間の最小距離に基づいて、右側の+ボタンを使って自動的に計算することができます。この特殊なオプション(図 11)については、さらに詳しい資料を参照ください。

図 11

##### 4.4.4.3 転動体の直径

円すいころ軸受の場合、ローラー中心の直径が既知であれば、それを入力として使用します。

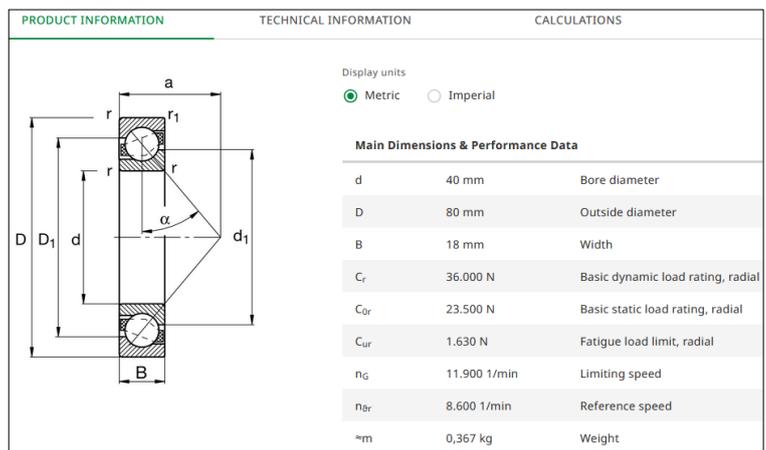


☰ ボタンを押すと、指定された損傷(特性)周波数から転動体数、ころの直径、接触角を計算するダイアログが開きます。これは、軸受の損傷(特性)周波数が指定されていますが、形状データがない場合に使用できます(図 12)

図 12

➡ メーカーの製品ページにアクセスし、アンギュラ玉軸受 7208 の製品データ(接尾辞「B」付き)を読み込むか、図 13 のデータを使用してください。

図 13(出典:シェフラーメディアス)



Main Dimensions & Performance Data		
d	40 mm	Bore diameter
D	80 mm	Outside diameter
B	18 mm	Width
C <sub>r</sub>	36.000 N	Basic dynamic load rating, radial
C <sub>0r</sub>	23.500 N	Basic static load rating, radial
C <sub>ur</sub>	1.630 N	Fatigue load limit, radial
n <sub>G</sub>	11.900 1/min	Limiting speed
n <sub>Br</sub>	8.600 1/min	Reference speed
m	0,367 kg	Weight

➡ 基本の周波数はこちらで検索して。

[Basic frequencies \(PDF\)](#)

図 14(出典:シェフラーメディアス)

Designation		7208-B-XL-TVP
Basic frequency factors related to 1/s		
Overrolling frequency factor on outer ring	BPFFO	5,9359
Overrolling frequency factor on inner ring	BPFFI	8,0641
Overrolling frequency factor on rolling element	BSFF	2,4615
Ring pass frequency factor on rolling element	RPFFB	4,9230
Speed factor of rolling element set for rotating inner ring	F <sub>TFI_j</sub>	0,4240
Speed factor of rolling element set for rotating outer ring	F <sub>TFI_o</sub>	0,5760

➡ 軸受形状タブに移動し、「内部形状を入力」でデータを転送します。☰ ボタンで「転動体の直径」のダイアログを開きます(図 12)。

➡ 図 14 に示すように基本周波数を入力し、損傷(特性)周波数を入力するためのダイアログを開いて計算を開始します。

➡ Z / Dw / α の結果は、図 12 を使って比較してご確認ください。

#### 4.4.4.4 ピッチ直径

ピッチ円直径は、転動体の中心間の直径です。この値が不明な場合は、軸受の内径と外径の平均直径を近似値として使用することもできます。

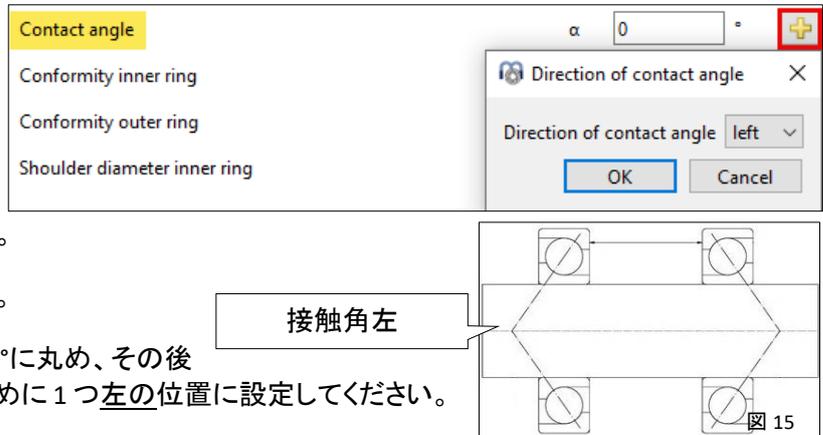
#### 4.4.4.5 接触角

アンギュラ玉軸受、4点接触玉軸受、自動調心玉軸受、円すいころ軸受、自動調心ころ軸受は、接触角を指定しなければなりません。

円すいころ軸受の場合、外輪の角度が力の方向となるため、この角度が使われます。

接触角の方向は **+** ボタンで選択できます。

→ 4.4.4.3 で計算された圧力角度を 40° に丸め、その後の x 正方向のアキシャル荷重のために 1 つ左の位置に設定してください。



#### 4.4.4.6 曲率比

曲率比とは、軸受軌道輪の曲率半径とボールの直径の比のことです。幾何学的な理由から、この値は 0.5 以上でなければなりません。規格に関する詳細は、[マニュアルの 3.1.2.10 章](#)をご参照ください。

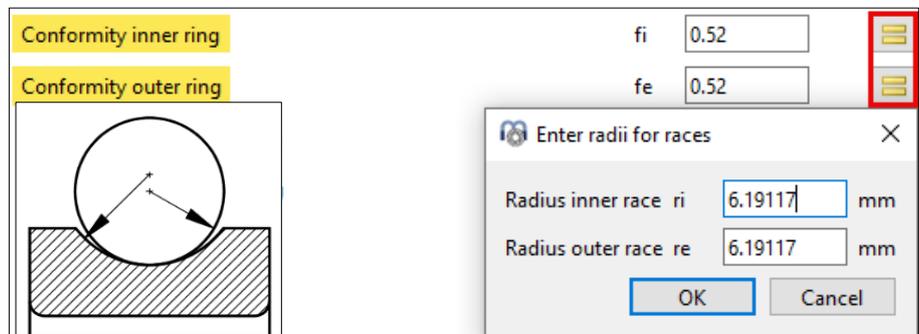


図 16

曲率比は、直接入力することもできますし(図 16)、**=** ボタンを使って対応するダイアログを開き、関連する半径を介して入力することもできます

→ 曲率比には  $f_i / f_e = 0.52$  を入力してください。

#### 4.4.4.7 内輪と外輪の肩径

接触楕円の現在の状態や、肩を超える乗上を監視するために、それは継続的に評価されます。必要とされる肩径は、[結果の概要とメインプロトコル](#)に、最小肩長に関する確実性を示す長さ比  $e_{LR\_i}$ ,  $e_{LR\_e}$  と共に表示されます。長さ比は、接触楕円の下端から肩までの長さ(図の緑線)を接触楕円の長さ(図 17 の赤線)で割った値として定義されます。したがって、この値は 1 または 100% より大きくなければなりません。

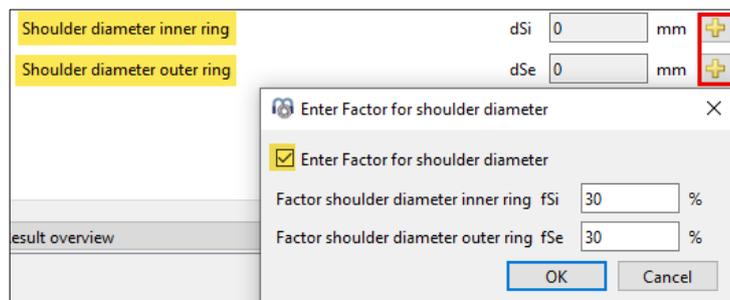


図 18

絶対値  $d_{Si} / d_{Se}$  を使用する代わりに、肩の高さをボール直径のパーセンテージで定義することもできます(図 18)。50% のファクターは、ピッチ円直

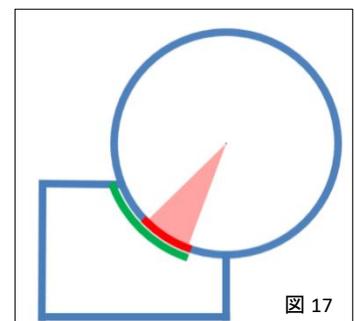


図 17

径までの肩の高さを意味するため、ほとんどの軸受タイプでは、ファクターは 10% から 40% の間であるべきです。この係数を使用することで、ボール径やピッチを変更する際に標準的な形状にすることができます。より詳細な情報については、3.1.2.15 章の [マニュアル](#) を参照してください。

#### 4.4.5 内部の形状と定格荷重を入力

軸受メーカーは、規格に基づき計算された定格荷重よりも高い定格荷重を使用することが多いため、内部形状に加えて定格荷重を入力することが可能です。定格荷重は、定格寿命の計算に使用されます。

Enter inner geometry and load capacity

Dynamic load rating	Cr	<input type="text" value="36"/>	kN
Static load rating	C0r	<input type="text" value="23.5"/>	kN
Fatigue load limit	Cur	<input type="text" value="1.63"/>	kN

図 19

➡ 想定メーカーの**定格荷重**を転送し、**計算**を開始してください。



➡ ユーザーインターフェースの下部にある**結果概要**で変更を確認します。

Result overview

Maximal pressure	pmax	<input type="text" value="0.00103878"/>	MPa	Static safety factor	SF	<input type="text" value="9999"/>	Static safety factor (ISO 17956)	S0eff	<input type="text" value="99.99"/>
Reference load	Pref	<input type="text" value="0"/>	N	Viscosity ratio	κ	<input type="text" value="0"/>	Free contact angle	α0	<input type="text" value="40"/>
Effective diametral clearance	Pdeff	<input type="text" value="0.22284"/>	mm	Effective axial clearance	Paef	<input type="text" value="0"/>	mm	Maximum spin to roll ratio	maxSpinToRol
Maximum contact angle difference	Δα	<input type="text" value="0"/>	°						

図 20

➡ 運転寿命は、スピードが適用された時点で初めて計算されます。

#### 4.4.6 データベースから軸受を選択

転がり軸受の形状は、ユーザーが入力する代わりに、データベースから選択することができます(図 21)。内径と外径はオプションで定義できます。これにより、リストに表示される軸受の数が制限されます。

Angular contact ball bearing

Select bearing from database

Inner diameter d  mm  Dynamic load rating

Outer diameter D  mm  Static load rating

Manufacturer	name	di [mm]	De [mm]	B [mm]	alpha [°]	C [kN]	Fatigue load limit	Bearing clearance	Axial clearance
FAG	7208-B-XL-2RS-TVP-L038	40	80	18	40	36			
FAG	7208-B-XL-2RS-TVP	40	80	18	40	36			
NSK	7208C	40	80	18	15	36.5			
NSK	7208BEAT85	40	80	18	40	38.5			
NSK	7208BW	40	80	18	40	32			

図 21

➡ 列のヘッダーをクリックすると、その列に従って昇順または降順でデータを表示することができます

Angular contact ball bearing

Select bearing from database

Inner diameter d  mm  Dynamic load rating Cr  kN

Outer diameter D  mm  Static load rating C0r  kN

Fatigue load limit Cur  kN

Bearing clearance User input as operating clearance

Axial clearance Pa  μm

Manufacturer	name	di [mm]	De [mm]	B [mm]	alpha [°]	C [kN]	Fatigue load limit	Bearing clearance	Axial clearance
SKF	*7208 BEGAP	40	80	18	40	36.5			
SKF	*7208 BEC BY	40	80	18	40	36.5			
SKF	*7208 BEC BP	40	80	18	40	36.5			
SKF	*7208 BEC BM	40	80	18	40	36.5			
SKF	*7208 BEC BJ	40	80	18	40	36.5			
SKF	7208 BE-2RZP	40	80	18	40	34.5			
SKF	*7208 ACCBM	40	80	18	25	41.5			
Generic	7208B	40	80	18	40	28.1556			

d = 40 mm、D = 80 mm、B = 18 mm、α = 40°の一般的なアンギュラ玉軸受を選択し、ダブルクリックします。一度選択すると、例えば「外部形状の入力」に切り替えることで、基本となる接触角を見ることができます。

図 22

#### 4.4.7 軸受すきま

##### 4.4.7.1. 一般

深溝玉軸受、4点接触玉軸受、自動調心玉軸受、自動調心ころ軸受、円筒ころ軸受について、(ISO 5753, 2009) (C2...C5)に従って軸受すきまを自動設定することができます。また、「データベースから」、「運転すきまとしてユーザー入力」、および「範囲としてユーザー入力」の設定もあります。

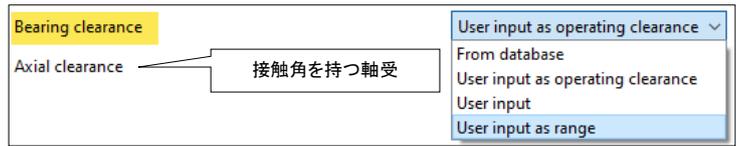


図 23

純粋なラジアル軸受、接触角付き軸受、純粋なスラスト軸受など、軸受の設計に応じて、対応する入力フィールドが表示されます。



図 24

この「スターター・チュートリアル」の範囲が広い

ため、すべてのタイプと対応する入力フィールドについて詳しく説明することはできません。関連する内容については、[マニュアル](#) 3.1.2.17 章 ff の対応する章を参照してください。

##### 4.4.7.2 ユーザー入力

この設定により、取り付け前の軸受のすきまを入力することができます(図 25)。温度やはめあいによる影響も考慮されます。この設定は、例えば、検討中のアプリケーション状況におけるすきまの変化を分析したい場合に推奨されます。



図 25

##### 4.4.7.3 アキシャルすきまの計算

接触角を持つラジアル転がり軸受(図 26)のように、アキシャルすきまを設定する場合、有効な軸受すきまを計算します。公称、非マウント、マウント、または有効な予圧力を  ボタンを使ってダイアログから入力することにより、

予圧力の入力にはいくつかのオプションがあります：

- 「Fp」による計算では、メーカーが公表している軸受の予圧値を使用します。
- 「Fpu」による計算では、無制限のラジアル弾性膨張とあわせたメーカーが公表した軸受の予圧値を使用します。このオプションは、測定した荷重に対応する予圧値を使用して、メーカーが予圧アキシャル変位を決定する場合に使用できます。
- 組込み後の予圧力「Fpm」は、温度と速度の影響を除いた組込み後の予圧値で計算されます。
- 有効予圧力「FpEff」は、組込み後の予圧値を使用し、温度と速度を考慮して計算されます。

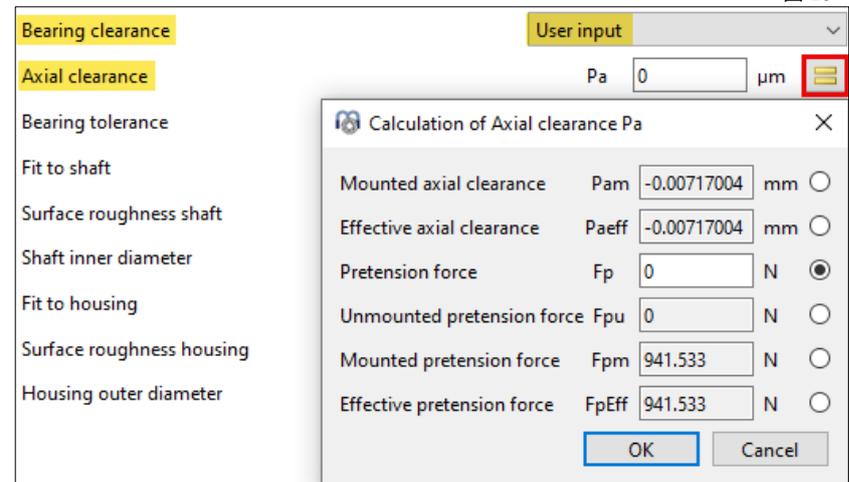


図 26

ご注意ください：

- ➡ 公表された予圧力に対する予圧アキシャル方向変位(軸方向遊び、Pa)がどのように決定されるかをメーカーと明確にする必要があるかもしれません。これにより、正しいタイプのアキシャルすきま計算を選択することができます。

純粋なラジアル軸受の軸受すきまを定義する場合、この時点で軸受タイプに対応する入力フィールドを持つダイアログが開きます。

4.4.7.4 ラジアルアンギュラ玉軸受の予圧クラス

図 27

ラジアルアンギュラ玉軸受の場合、軸受データベースから予圧クラスを定義することができます。例えば、GMN 製品では、「軽予圧力」、「中予圧力」、「重予圧力」などの追加選択が可能です。

Bearing clearance	User input
Axial clearance	Light preload
Bearing tolerance	Medium preload
	Heavy preload

➡ 「軸受すきま」は「ユーザー入力」を選択してください。

Bearing clearance	User input
-------------------	------------

➡ この例では、想定メーカーの結果としての予圧力-変位 (Pa) は、公表された予圧力に対応する測定荷重に由来すると仮定します。

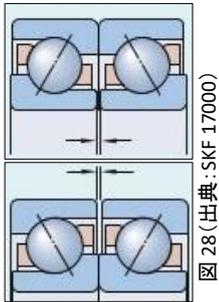


図 28 (出典: SKF 17000)

**3**  
 Axial internal clearance, preload and preload force of bearing sets with universal bearings in O or X arrangement for tolerance classes Normal, 6, 5

UA = bearing with small axial internal clearance  
 UB = bearing with smaller axial internal clearance than UA  
 UO = bearing clearance-free in O or X arrangement  
 UL = bearing with light preload

Bore code	Axial internal clearance or preload of bearing pair								Preload force					
	Nominal dimension								F <sub>V max</sub>					
	μm								N					
	UA	UB	UO	UL					UL					
	Bearing series													
	70..-B, 72..-B, 73..-B, 74..-B	70..-B	72..-B	73..-B	74..-B	70..-B	72..-B	73..-B	74..-B					
00	22	14	0	-	-3	-	-	-	38	-	-			
01	24	15	0	-	-4	-5	-	-	53	82	-			
02	24	15	0	-	-4	-5	-	-	62	99	-			
03	24	15	0	-	-4	-6	-	-	77	123	-			
04	28	16	0	-4	-5	-6	-8	103	103	146	258			
05	34	19	0	-4	-4	-6	-8	115	112	200	300			
06	34	19	0	-5	-5	-7	-8	141	157	250	365			
07	40	22	0	-5	-6	-7	-9	172	208	300	462			
08	40	22	0	-5	-6	-8	-10	200	246	385	535			

➡ 7208B に、想定メーカーによって与えられた UL クラスに従って、予圧を指定してください。

図 29 (出典: シェフラー, HR1)

カタログデータ(図 29)からわかるように、前述の寸法と接触角の O または X 位置にセットされた複列におけるこのような未組付け予圧は、6μm の予圧変位 (Pa) に対応します。

ソフトウェアは、組付けしない 246 N の変位 Pa を、個々の軸受への影響に対応して、(予圧変位複式 = -6 μm) / 2 = -3 μm (図 30) の大きさで与えます。

図 30

Bearing clearance	User input
Axial clearance	Pa -3.03731 μm
Bearing tolerance	

Calculation of Axial clearance Pa

Mounted axial clearance Pam -0.00303731 mm

Effective axial clearance PaEff -0.00303731 mm

Pretension force Fp 272.233 N

Unmounted pretension force Fpu 246 N

Mounted pretension force Fpm 272.233 N

Effective pretension force FpEff 272.233 N

OK Cancel

4.4.8 軸受の公差

4.4.8.1 一般

Bearing tolerance	ISO 492 - P0	ISO 492 - P0
Fit to shaft	Not considered	k6
Surface roughness shaft	Nominal dimensions	Rz 4 μm
Shaft inner diameter	Define interference	dsi 0 mm
Fit to housing	Define multi-layer interference	H7
Surface roughness housing	User input	Rz 4 μm
Housing outer diameter	ISO 492 - P0	dhe 0 mm
	ISO 492 - P6	
	ISO 492 - P5	
	ISO 492 - P4	
	ISO 492 - P2	

図 31

軸受公差は、ISO 492 (P0...P2) に従って考慮することができます。このエリアの他の入力フィールドでは、シャフト(内径)とハウジング(外径)のはめあい、粗さ、状態など、転がり軸受のインターフェースを記述することができます(図 31)。

ISO492 の公差クラスによる設定に加えて、「考慮しない」を選択することもでき、この場合、軸受は計算のために温度のみを想定します。「公称寸法」では、公差範囲がないものとします。

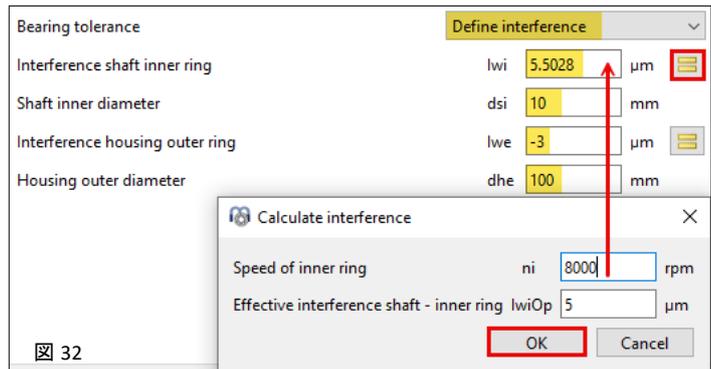
軸受の公差に関する追加情報は、[マニュアル](#) 3.1.2.20 章に記載されています。

➡ 軸受公差に加えて、前章で説明した軸受すきま/予圧の定義(4.4.7)、この後に入力する回転数と温度の影響、応力によるリングの膨張(5.2.4)も、転がり軸受の反応を評価するための重要な入力変数です。これらの影響の合計は、軸受輪の実際のはめ合いの計算に反映されるため、「公差プロトコル」に反映されます。これについては [4.4.8.7](#) 章で詳しく説明します。

#### 4.4.8.2 はめ合いの定義

アプリケーションの状態により、どのはめ合いを選択すべきかが明確でない場合、「はめ合い設定」の設定が非常に役立ちます。これにより、運転状態におけるターゲットはめ合いに対してコールド状態はめ合いを定義することができます。

➡ 右の表示のように、中空シャフト(dsi)を 10 mm、ハウジングの外径(he)を 100 mm、ハウジング外輪のすきまを 3 μm としてください。



➡ ダイアログは ≡ - ボタンで開きます。速度を 8000 rpm、ターゲットの干渉を内部 5 μm と入力してください(図 32)。

➡ 組付けしていない [246N](#) の予圧下で、回転数 8000rpm、実際の静的はめ合いは内側 5μm、外側-3μm という現在の状態で、[5.5028μm](#) の動的はめ合いが計算されます！ここから速度効果が読み取れます。

[第 5 章](#)「アプリケーションの設計」では、指定されたはめ合いが指定された条件下で正しく計算されているかどうかをチェックします。そのため、標準的な ISO はめ合いに切り替え、粗さを割り当て、温度を仮定する前に、当分の間、影響するすべてのインプットを持ち込むべきではありません。

#### 4.4.8.3 速度下の計算ステップ

それでは、今回の例に従って、「荷重」タブの入力フィールドをあらかじめ説明します。

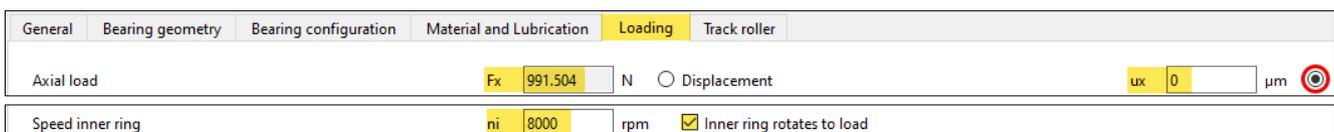


図 33

➡ アクシシャル軸受変位 ux を 0 に設定してください(図 33)。[4.7.2](#) 章の「荷重」タブの内容をよく理解してください。

➡ 軸受の回転数を 8000rpm に設定し、「内輪回転荷重」を指定します。するとソフトウェアは、回転する内輪に静的荷重を想定します(図 33)。

4.4.8.4 継続中の結果

図 34

計算ステップは、「計算」項目(図 34)、F5、またはメニュー・リボンの対応するアイコンから開始されます。

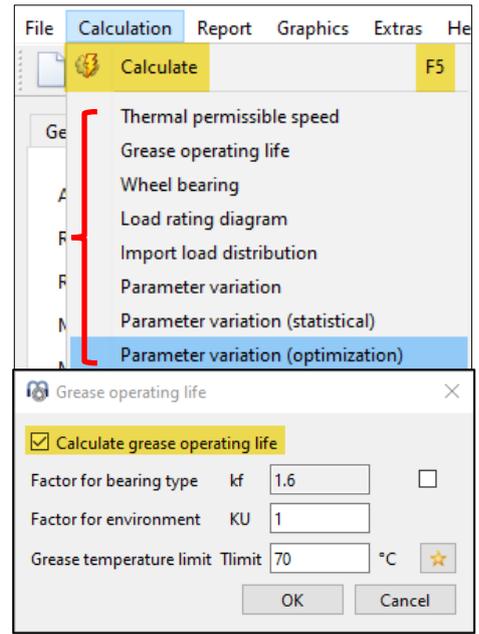
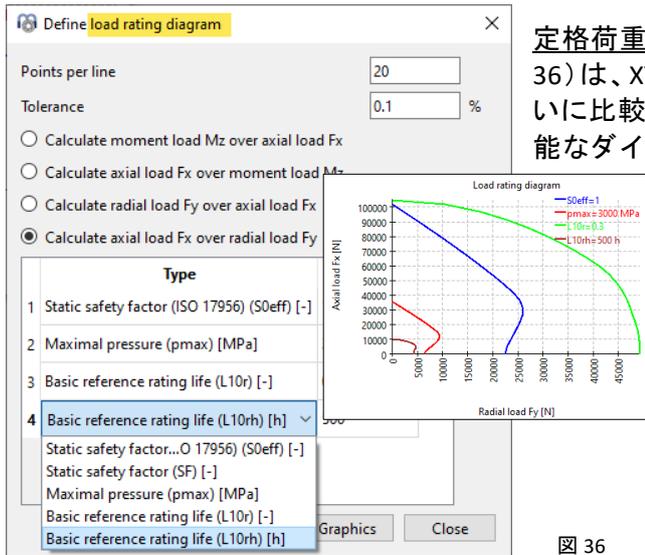


図 35

(ISO 15312, 2018)に準拠した熱定格速度と(DIN 732, 2010)に準拠した熱許容速度はソフトウェアで計算できます。これらのトピックについては、次回以降に詳しく説明したいと思います。

グリースの運転寿命(図 35)は、FAG の計算方法を使用して決定し、レポートから出力することができます。



定格荷重ダイアグラム(図 36)は、XY 軸の変数が互いに比較される 4 つの可能なダイアグラムの表現を生成します。

図 36

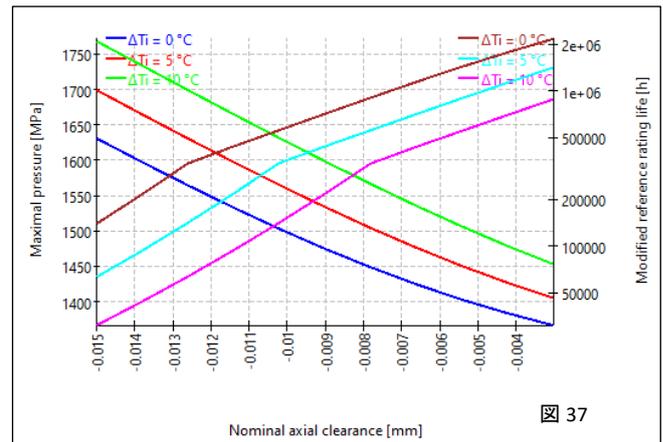


図 37

パラメータ・バリエーション(図 37)では、パラメータスタディを行うことができ、その結果は表やグラフで表示されます。典型的な用途としては、例えば、すきまに対する耐用寿命や、荷重に対する変位の視覚化が挙げられます。5.4.4 章を参照。

パラメータ・バリエーション(統計)は、統計分布の分析をサポートします

➡ 計算プロセスを起動してください



➡ この結果、アキシャル荷重  $F_x$  は 991.504N となり(図 38)、これは未組付け時の予圧 246N と現在のはめ合いから生じます。

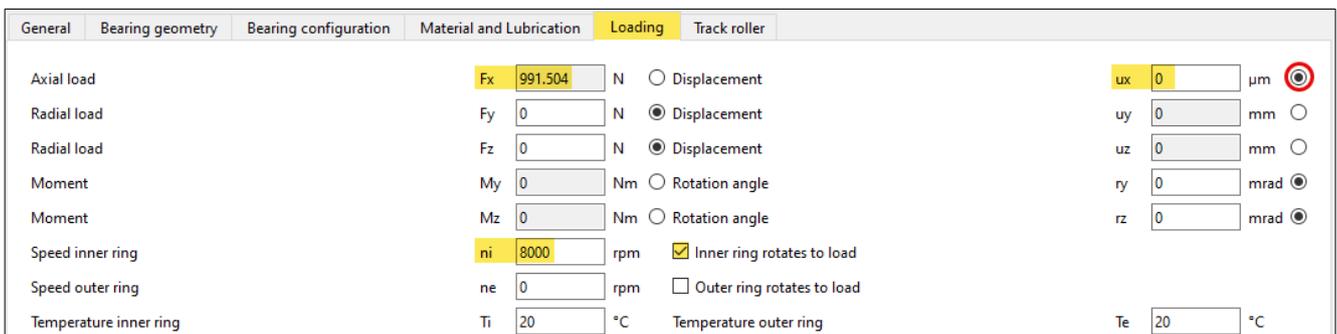


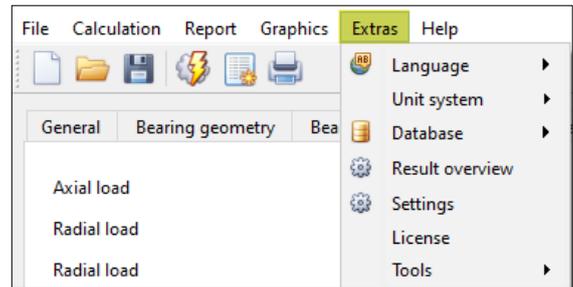
図 38

#### 4.4.8.5 メニュー「拡張」

図 39

ソフトウェアは 9ヶ国語に対応し、メートル法と米国の単位系で操作できます。

材料、潤滑剤、転がり軸受、公差、メーカー、歯車工具データベースへのリンクに加え、既存のデータベースからのインポートやデータの暗号化されたエクスポートもここから開始できます。ユーザー・インターフェイスの下部にある結果概要ウィンドウ(下記 4.4.8.6 参照)の内容は、「結果概要」を通じて編集することができます。



また、ライセンス情報や「マルチレイヤーはめ合い」などの追加「ツール」も掲載されており、オンラインで入手することもできます<sup>(1)</sup>。

#### 4.4.8.6 実際の結果概要

ユーザー・インターフェイスの下部にある結果概要(図 40)の内容は、今回のサンプル計算にはまだ関係ないが、以下のように表示されます:

Result overview										
Modified reference rating life	Lnmrh	2.439e+07	h	Maximal pressure	pmax	923.627	MPa	Static safety factor	SF	94.0283
Static safety factor (ISO 17956)	S0eff	79.4024		Reference load	Pref	456.785	N	Viscosity ratio	κ	7.97427
Free contact angle	α0	40	°	Effective diametral clearance	Pdeff	0.203418	mm	Effective axial clearance	Paeff	-0.00578171
Maximum spin to roll ratio	maxSpinToRi	0.291228		Maximum contact angle difference	Δα	7.49616	°	Basic reference rating life	L10r	234185
Ellipse length ratio inner race	eLR_i	208.571	%	Ellipse length ratio outer race	eLR_e	256.701	%	Extension contact ellipse inner ring	dCirr	53.0167
Extension contact ellipse outer ring	dCen	68.0584	mm							

図 40

#### 4.4.8.7 精度レポート

「精度レポート」(図 41)を使って、4.4.8.2 章にある目標のはめ合いが正しく届いているかどうかを、現在のファイルの状態をチェックします。

➡ 精度レポートを印刷し、レポート前文に記載されている直径や速度などの詳細が正しいことを確認してください。

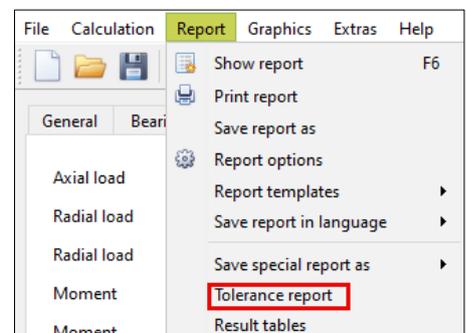


図 41

表 1

Properties for different clearance		Minimum	Mean value	Maximum	Unit
Nominal axial clearance	Pa	-3.04	-3.04	-3.04	μm
Interference inner ring	lw_i	5.50	5.50	5.50	μm
Effective interference inner ring	lw_iop	5.00	5.00	5.00	μm
Interference outer ring	lw_e	-3.00	-3.00	-3.00	μm
Effective interference outer ring	lw_eop	-3.00	-3.00	-3.00	μm

➡ 目標のはめ合い(lw\_iop)は正確に届いています(表 1)。5.5(5.5028)μm のコールドはめ合いは、速度効果により 5μm に減少しています。

## 4.5 「軸受コンフィギュレーション」の設定

軸受セットは、このタブで軸受タイプから編集することができます。このようにして、複列の組を表示し、計算することができます。しかし、このコンフィギュレーションオプションについては、さらに詳しいドキュメントで説明したいと思いますので、このチュートリアルでは省略したいと思います。軸受の設定に関する追加情報は、[マニュアル](#) 3.1.3 章に記載されています。

## 4.6 「材料と潤滑」での設定

### 4.6.1 材料

転動体、内輪、外輪、シャフト、ハウジングの材料特性は、軸受とシャフト/ハウジング間の荷重分布とはめ合いを計算するために使用されます。硬さ、その深さ、表面粗さも入力できます(図 42)。

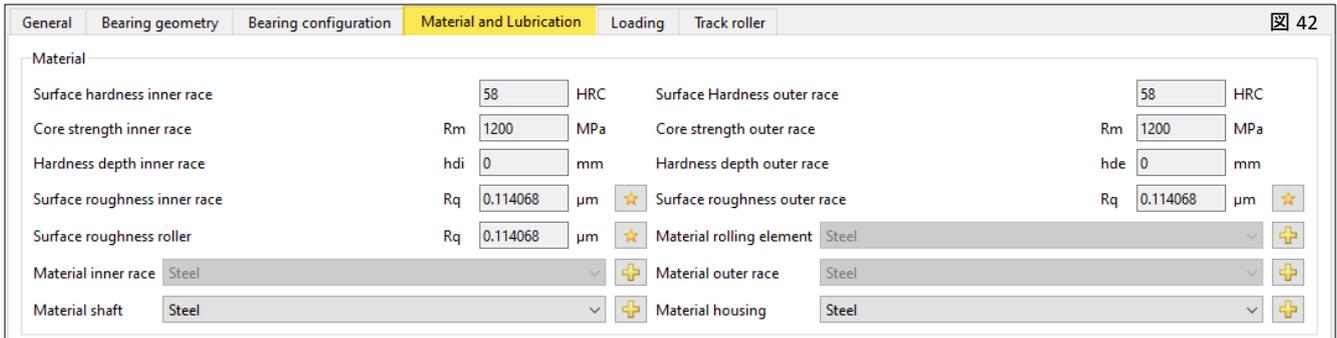


Figure 42 shows the 'Material and Lubrication' configuration window. It includes tabs for General, Bearing geometry, Bearing configuration, Material and Lubrication (active), Loading, and Track roller. The 'Material' section contains the following fields:

- Surface hardness inner race: 58 HRC
- Surface Hardness outer race: 58 HRC
- Core strength inner race: Rm 1200 MPa
- Core strength outer race: Rm 1200 MPa
- Hardness depth inner race: hdi 0 mm
- Hardness depth outer race: hde 0 mm
- Surface roughness inner race: Rq 0.114068 μm
- Surface roughness outer race: Rq 0.114068 μm
- Surface roughness roller: Rq 0.114068 μm
- Material inner race: Steel
- Material outer race: Steel
- Material shaft: Steel
- Material rolling element: Steel
- Material housing: Steel

図 42

これらのデータフィールドは材料表(図 43)でも見ることができます。このチュートリアルでは、この入力画面と関連する詳細レベルは省略したいと思います。材料に関する詳しい情報は[マニュアル](#) 3.1.5 章にあります。

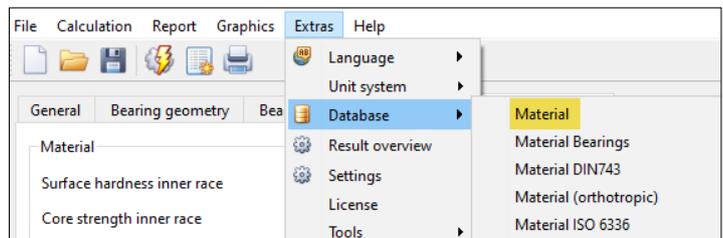


図 43

### 4.6.2 潤滑

図 44

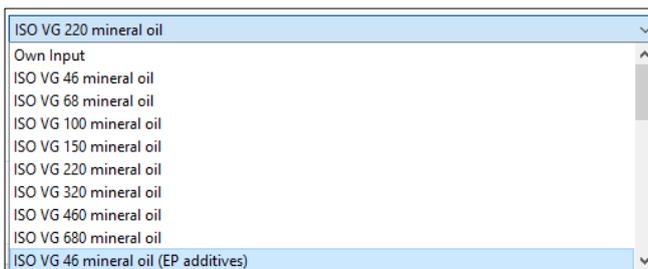


Figure 44 shows a dropdown menu for oil selection. The visible options are:

- ISO VG 220 mineral oil
- Own Input
- ISO VG 46 mineral oil
- ISO VG 68 mineral oil
- ISO VG 100 mineral oil
- ISO VG 150 mineral oil
- ISO VG 220 mineral oil
- ISO VG 320 mineral oil
- ISO VG 460 mineral oil
- ISO VG 680 mineral oil
- ISO VG 46 mineral oil (EP additives)

左側のドロップダウン・メニューでは、鉱物油または合成油をベースとした定義済みの品質と、潤滑剤を定義するための独自の入力オプションを選択できます(図 44)。

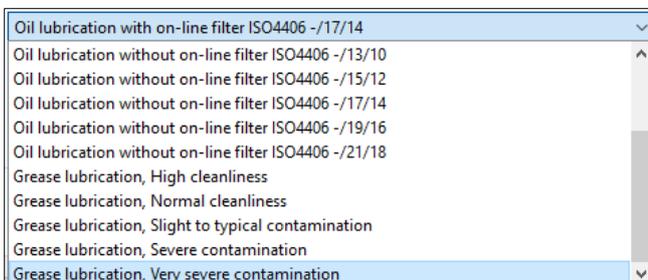


Figure 45 shows a dropdown menu for grease and oil lubrication options. The visible options are:

- Oil lubrication with on-line filter ISO4406 -/17/14
- Oil lubrication without on-line filter ISO4406 -/13/10
- Oil lubrication without on-line filter ISO4406 -/15/12
- Oil lubrication without on-line filter ISO4406 -/17/14
- Oil lubrication without on-line filter ISO4406 -/19/16
- Oil lubrication without on-line filter ISO4406 -/21/18
- Grease lubrication, High cleanliness
- Grease lubrication, Normal cleanliness
- Grease lubrication, Slight to typical contamination
- Grease lubrication, Severe contamination
- Grease lubrication, Very severe contamination

右側のドロップダウン・メニュー(図 45)を使用すると、グリース潤滑かオイル潤滑かを区別できるだけでなく、オイルの場合は ISO 4406 に従った濾過の程度を、グリースの場合は ISO 281 に従った汚染の程度を選択することができます。

図 45

➡ 汚染係数  $eC$  は、修正耐用寿命の係数  $aISO$  を計算するために使用されます。(図 46)

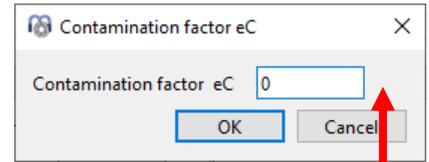
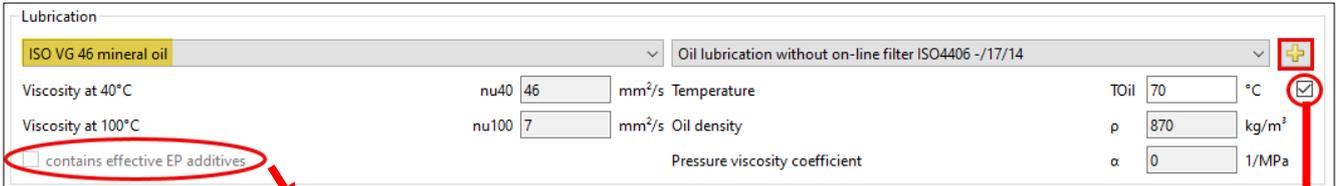


図 47



ISO 281 によると、EP 添加剤の存在は、修正寿命の  $aISO$  係数の計算に影響を与えます。

油温の後ろのチェックボックスが有効になっていない場合、ソフトウェアは設定された転動体温度をその温度と見なします。[4.3.6](#) を参照。

➡ 図 47 に従って、粘度等級 ISO VG 46 の鉱油と、ろ過なしの潤滑油 17/14 を選択してください。

➡  $eC$  汚染係数は変更せず、潤滑油温度は 70°C のままとします。

## 4.7 「荷重」の設定

### 4.7.1 一般

MESYS の座標系は以下のように定義されています：

- 方向 X はアキシャル方向と定義されます。
- Y 軸は最初の転動体要素を上向きに指し、角度は X 軸のまわりに正、つまり右図で時計回り (X 軸の方向へ見て) です。
- 角度は Y 軸上の最初の転動体要素でゼロから始まります。
- トルクは、対応する軸の周りに作用する場合は正です。
- 荷重は内輪に作用するため、図 48 に示すように、Y 方向に正の荷重がかかると、上側の転動体に荷重がかかることになります。

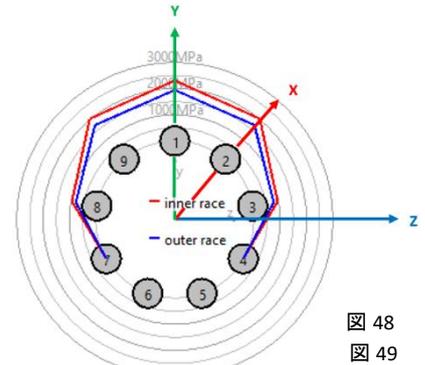
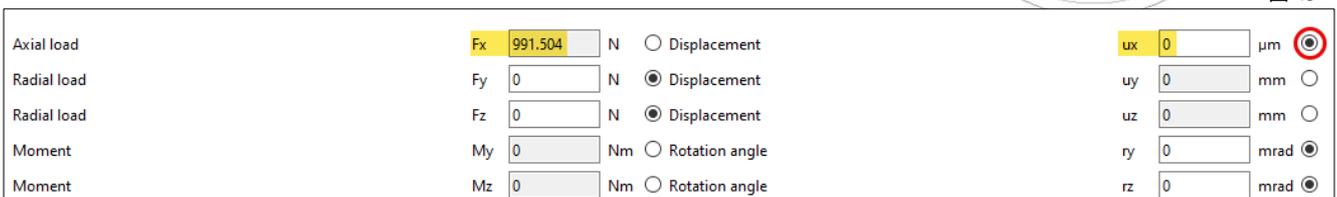


図 48

図 49



### 4.7.2 入力スペース

力または変位 ( $ux$ ) は、必要に応じて各座標方向に入力することができます (図 49)。予圧を加えるリングがアンギュラ玉軸受にアキシャル方向に固定されていると仮定した場合、アキシャル方向の変位 ( $ux$ ) はゼロに設定でき、アキシャル方向の反力 ( $Fx$ ) は接触角の関数としてベクトル分解により計算されます。

モーメント荷重や傾斜は、軸受軸 (X) 回りの回転を制限できないため、2 つの方向に対してのみ入力できます

## 4.8 トラックローラーの計算

「トラックローラー」計算のライセンスを購入された方で、この拡張機能のトレーニングにご興味のある方は、[弊社までご連絡ください](#)。これに関する詳細情報は、[マニュアルの](#) 3.1.8 章に記載されています。この点に関して、このチュートリアル「トラックローラー」タブの内容は省略させていただきます。

## 5. アプリケーション設計

### 5.1 方法論

転がり軸受の設計を成功させるには、実証された方法論に従います。MESYS 転がり軸受計算が決定的なサポートを提供し、必要なタスクの大部分を引き受けます。以下では、最も重要なステップのいくつかをご紹介します。

### 5.2 はめ合い

#### 5.2.1 精度レポート

**精度レポート**では、MESYS を使用することで、目標のオーバーラップに対する適合を非常に迅速に見つけることができることが示されました。4.4.8.2 章に従ってシャフトの公称寸法  $\varnothing +5.5028 \mu\text{m}$  を製造する人はおらず、他の影響変数が実際の干渉に影響することは明らかです。さらに、軸受の直径にも公差範囲が定義されます。

#### 5.2.2 公差と粗さ

➡ アンギュラ玉軸受 7208B の公差クラスを P5 に設定します。

Bearing tolerance ISO 492 - P5

➡ シャフトと穴の粗さを Rz=6 としてください。

Surface roughness shaft Rz   $\mu\text{m}$   
 Surface roughness housing Rz   $\mu\text{m}$

➡ 現在のコールド公称はめ合いを丸め、シャフトには ISO クラス IT6 (16  $\mu\text{m}$ ) の直径公差を、ハウジングには IT7 (35  $\mu\text{m}$ ) の直径公差を割り当ててください。

**Tolerances for shaft**

Own input for shaft tolerances

Upper allowance for shaft tolShaft\_e  mm

Lower allowance for shaft tolShaft\_i  mm

**Tolerances for Housing**

Own input for housing tolerances

Upper allowance for housing tolHousing\_e  mm

Lower allowance for housing tolHousing\_i  mm

図 50

➡ 精度レポートは次のようになるはずです

表 2

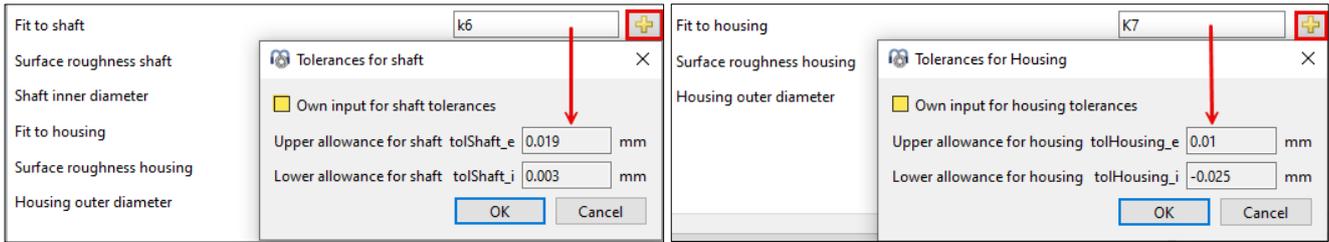
Properties for different clearance		Minimum	Minimum probable	Mean value	Maximum probable	Maximum	Unit
Nominal axial clearance	Pa	-3.04	-3.04	-3.04	-3.04	-3.04	$\mu\text{m}$
Tolerance shaft	$\Delta ds$	19.00	16.96	11.00	5.04	3.00	$\mu\text{m}$
Tolerance bearing inner ring	$\Delta d$	-8.00	-6.98	-4.00	-1.02	0.00	$\mu\text{m}$
Interference inner ring	lw_i	24.60	21.54	12.60	3.66	0.60	$\mu\text{m}$
Effective interference inner ring	lw_iop	24.10	21.04	12.10	3.15	0.10	$\mu\text{m}$
Tolerance bearing outer ring	$\Delta D$	0.00	-0.80	-4.50	-8.20	-9.00	$\mu\text{m}$
Tolerance housing	$\Delta Dh$	-25.00	-21.87	-7.50	6.87	10.00	$\mu\text{m}$
Interference outer ring	lw_e	22.60	18.67	0.60	-17.47	-21.40	$\mu\text{m}$
Effective interference outer ring	lw_eop	22.60	18.67	0.60	-17.47	-21.40	$\mu\text{m}$

➡ 最大の有効なはめ合い内輪リングは、最悪のケースを肯定的に 0.1 $\mu\text{m}$  でカバーしています。

➡ 外輪リングの有効なはめ合いは、平均 0.6 $\mu\text{m}$  で実質的に補正されています。

#### 5.2.3 ISO はめあい

➡ 工業的に見やすくするため、シャフトのはめあいを k6 に、穴のはめあいを K7 に変更してください(図 51)。



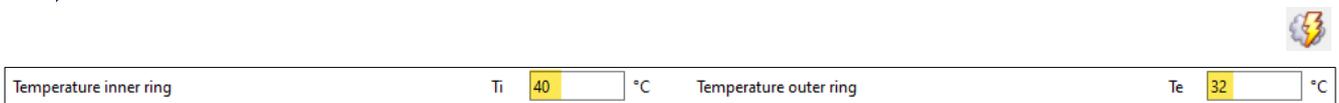
➡ 以上の適用条件の調整により、軸力は 991.504N から 1448.64N に増加した:



### 5.2.4 温度差

この例では、内輪と外輪の温度を測定または定性的に推定できたと仮定します:

➡ 内輪の温度を 40°C、外輪の温度を 32°C と入力し、計算を開始してください。



➡ その結果、温度勾配が示すように、軸力は 2,321.73N に増加した。これは、リングの膨張が大きく関係していることを意味します。



### 5.2.5 弾性輪の拡張

➡ 「一般」タブで、中程度のラジアル荷重による 弾性輪の膨張 を軸受に割り当ててください (図 52)。

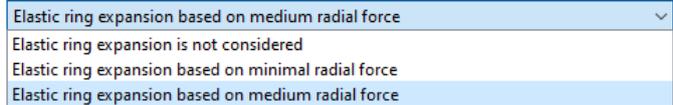


図 52

⚡ 次の計算ステップでは、理解しやすい形でアキシャル力が再び減少しています。



リングの弾性膨張の詳細については、[マニュアル](#) 3.1.1.17 章を参照してください。

現在設定されている手順の公差範囲 (表 3)

表 3

Properties for different clearance		Minimum	Minimum probable	Mean value	Maximum probable	Maximum	Unit
Nominal axial clearance	Pa	-3.04	-3.04	-3.04	-3.04	-3.04	µm
Tolerance shaft	Δds	18.00	15.96	10.00	4.04	2.00	µm
Tolerance bearing inner ring	Δd	-8.00	-6.98	-4.00	-1.02	0.00	µm
Interference inner ring	lw_i	23.60	20.54	11.60	2.66	-0.40	µm
Effective interference inner ring	lw_iop	24.11	21.05	12.11	3.16	0.10	µm
Tolerance bearing outer ring	ΔD	0.00	-0.89	-4.50	-8.11	-9.00	µm
Tolerance housing	ΔDh	-21.00	-18.05	-6.00	6.05	9.00	µm
Interference outer ring	lw_e	18.60	14.76	-0.90	-16.56	-20.40	µm
Effective interference outer ring	lw_eop	20.55	16.71	1.05	-14.62	-18.46	µm

➡ 「最大」以下のシャフト上の残留オーバーラップ (lw\_iop) は、「最悪」の公差の合計でもプラスです。

➡ 有効な外輪はめ合い (lw\_eop) は、実質的に「平均値」で補正されます。これは、例えばフローティング軸受に必要な変位する能力がないことを意味します。

Effective diametral clearance	Pdeff	171.27	176.20	193.50	201.34	203.79	μm
Effective axial clearance	Paeff	-26.47	-23.13	-11.90	-7.04	-5.56	μm
Effective free contact angle	α0eff	36.16	36.70	38.53	39.33	39.58	°

➡ 「平均値」の有効アキシャルすきま (Paeff) は、[4.4.7.4](#) 章にある未組付けの初期 Pa-3.03731μm に比べて大幅に減少しています (表 4)。

この時点で、有効フリー接触角 (α0eff) と有効アキシャルすきま (Pdeff) の間に直接的な相関関係があることも触れておくことが重要です。公称接触角が小さいと、すべての影響を受けた後の有効フリー接触角はさらに小さくなり、直径方向の軸受すきま (頂点ラジアルすきま) の補正につながる可能性があります。しかし、最悪のケース (最小値) で示した 171.27 μm という値は、直ちに危険を冒す理由にはなりません。

### 5.2.6 温度勾配

[5.2.4](#) 章を参照すると、軸受シートはローターのような熱源の近くに配置されることが多いことに留意すべきです。このため、シャフト温度が実際の内輪温度よりも高くなる場合がありますが、この温度はオイル潤滑により常に低くなっています。

ハウジングの温度は、ハウジングの冷却により、軸受の外輪よりも低くなることもあります。

MESYS では、「はめあいに温度勾配考慮」を使用して、これを考慮するオプションがあります。一般「タブ」を参照してください：

Consider temperature gradient in fits

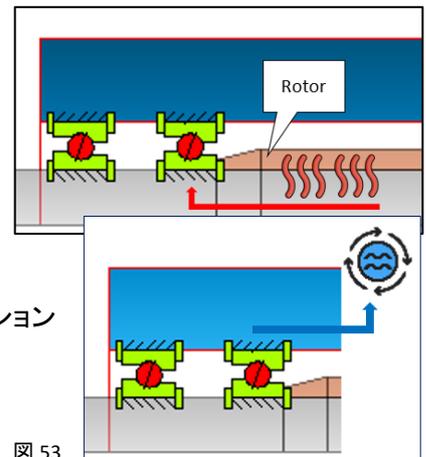


図 53

温度勾配の考慮に関する詳細情報は、[マニュアルの 3.1.1.7 章](#)を参照してください。

## 5.3 組付け／未組付け

「公差プロトコル」は、軸受の組付け (マウント) のための誘導装置の潜在的な必要性と、したがってまた、仮想的な分解で予想される荷重について洞察を提供します (表 5)：

Properties for different clearance		Minimum	Minimum probable	Mean value	Maximum probable	Maximum	Unit
Mounting force inner ring (μfit=0.1)	Ffit_i	4567.5	3988.0	2292.5	598.1	19.5	N
Mounting force outer ring (μfit=0.1)	Ffit_e	1838.7	1494.9	93.5	0.0	0.0	N

表 5

## 5.4 荷重

### 5.4.1 一般

作業ステップ、重量、または動的効果から生じる荷重を入力する必要があります。このため、MESYS 転がり軸受計算では、「荷重」タブのように静的条件下での評価と、[荷重スペクトル](#) 下での解析を選択できます。

### 5.4.2 定格荷重

定格寿命または負荷容量に応じて軸受サイズを決定するために、本ソフトウェアは ISO 281 / 16281 に従った基本寿命と修正寿命、および ISO 76 または ISO 17956 に従った静的安全係数を提供します。画面下部の結果概要 (図 54) で、即座に評価することができます：

➡ 「荷重」タブに半径方向の力を Fy で 2000N と入力してください。

Radial load  N

Result overview											
Modified reference rating life	Lnmrh	13294.7	h	Maximal pressure	pmax	1817.45	MPa	Static safety factor	SF	12.3413	
Static safety factor (ISO 17956)	S0eff	12.1043		Reference load	Pref	2085.4	N	Viscosity ratio	κ	2.33965	
Effective diametral clearance	Pdeff	0.193858	mm	Effective axial clearance	Paeff	-0.0116741	mm	Maximum spin to roll ratio	maxSpinToRoll	0.472401	

➡ 最大圧力と静的安全係数(図 54)により、過負荷がないことが確認できます。

### 5.4.3 荷重スペクトル

荷重スペクトルを用いた軸受挙動の調査は、さらに重要な発見をもたらします。

➡ 一般」タブの「[荷重スペクトルを使用する](#)」にチェックを入れてください。

Use load spectrum

➡ 「荷重」タブの入力フィールドが入力テーブルとして表示されるようになります。

		General	Bearing geometry	Bearing configuration	Material and Lubrication	Loading	Track roller					
		Frequency	ux [mm]	Fy [N]	Fz [N]	ry [mrad]	rz [mrad]	ni [rpm]	ne [rpm]	T <sub>i</sub> [°C]	T <sub>e</sub> [°C]	TOil [°C]
1	0.5	0	1500	0	0	0	4000	0	40	32	60	
2	0.5	0	1500	0	0	0	8000	0	42	32	70	

図 55

➡ 右下の  ボタンを使って、行をアクティブにし、上図(図 55)のように実行例の値を入力してください。

➡ 荷重スペクトルの共通値は、結果の概要に「LS」というプレフィックス付きで表示されます(図 56) :

Result overview											
Ellipse length ratio inner race	eLR <sub>i</sub>	157.929	%	Maximum contact angle difference	Δα	7.26839	°	Maximal pressure	LS_pmax	1682.23	MPa
Maximum spin to roll ratio	LS_maxSpinToRoll	0.360434		Minimal pressure	LS_pmin	545.57	MPa	Modified reference rating life	LS_Lnmrh	43838.2	h
Static safety factor (ISO 76)	LS_S0	13.5625		Static safety factor	LS_SF	15.563		Viscosity ratio	κ	2.2859	

図 56

残りの値は、入カマスクの下部であらかじめ選択された荷重スペクトル要素に対して存在します。

inner Ring rotates to load
  Outer ring rotates to load
 Results for No 1

### 5.4.4 パラメータ・バリエーション

パラメータ・バリエーションに関するダイアログは、メニュー「計算」/「パラメータ・バリエーション」(4.4.8.4)を通して表示されます(図 57)。このダイアログを使用することで、ユーザーはパラメータの検討を行うことができ、その結果は表やグラフで表示されます。典型的な用途としては、例えば、すきまに対する運転寿命の視覚化、荷重に対する変位の視覚化などがあります。オプションでパラメータの最適化も可能です。パラメータのバリエーションについては、[マニュアル](#) 1.6 章を参照してください。

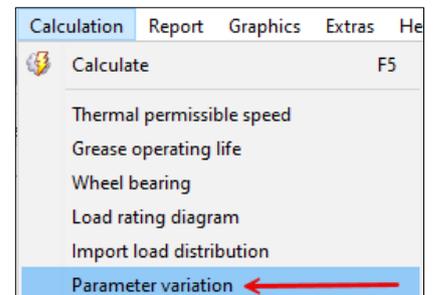
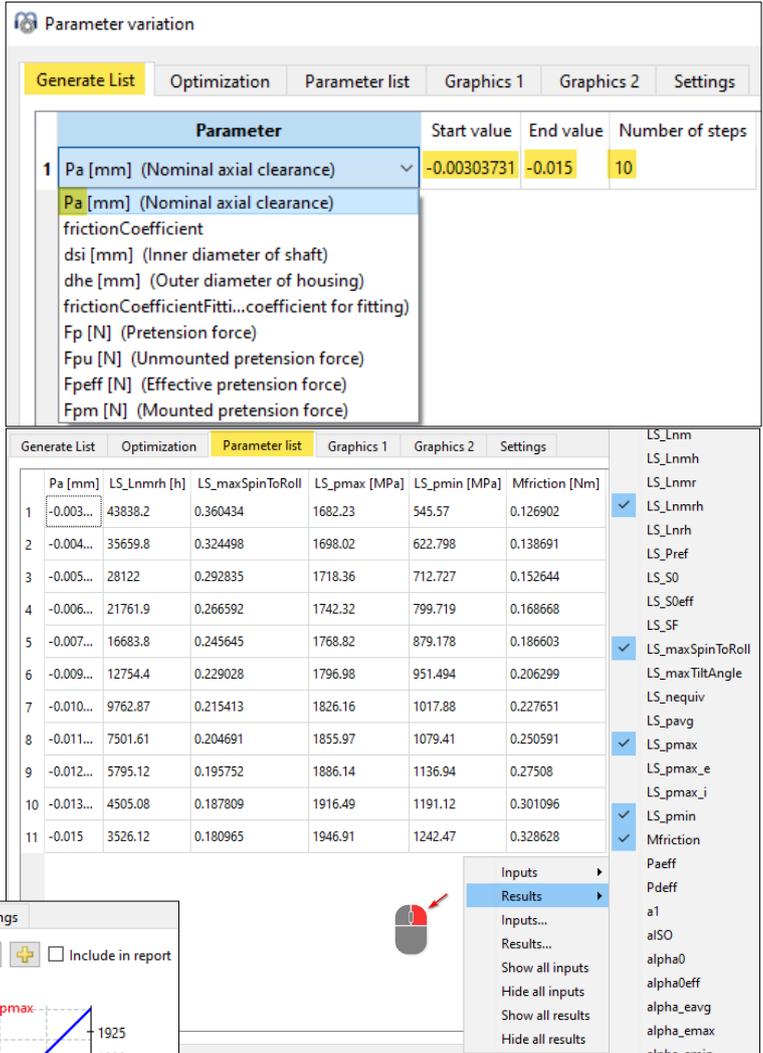


図 57

この時点で、246N の未組付け予圧から  $Pa = -3.03731\mu\text{m}$  をスタートとして、10ステップで  $-15\mu\text{m}$  まで減らしてみましよう。



Parameter variation

Generate List Optimization Parameter list Graphics 1 Graphics 2 Settings

Parameter	Start value	End value	Number of steps
1 Pa [mm] (Nominal axial clearance)	-0.00303731	-0.015	10

Pa [mm] (Nominal axial clearance)  
 frictionCoefficient  
 dsi [mm] (Inner diameter of shaft)  
 dhe [mm] (Outer diameter of housing)  
 frictionCoefficientFitti...coefficient for fitting)  
 Fp [N] (Pretension force)  
 Fpu [N] (Unmounted pretension force)  
 Fpeff [N] (Effective pretension force)  
 Fpm [N] (Mounted pretension force)

Pa [mm]	LS_Lnmrh [h]	LS_maxSpinToRoll	LS_pmax [MPa]	LS_pmin [MPa]	Mfriction [Nm]
1 -0.003...	43838.2	0.360434	1682.23	545.57	0.126902
2 -0.004...	35659.8	0.324498	1698.02	622.798	0.138691
3 -0.005...	28122	0.292835	1718.36	712.727	0.152644
4 -0.006...	21761.9	0.266592	1742.32	799.719	0.168668
5 -0.007...	16683.8	0.245645	1768.82	879.178	0.186603
6 -0.009...	12754.4	0.229028	1796.98	951.494	0.206299
7 -0.010...	9762.87	0.215413	1826.16	1017.88	0.227651
8 -0.011...	7501.61	0.204691	1855.97	1079.41	0.250591
9 -0.012...	5795.12	0.195752	1886.14	1136.94	0.27508
10 -0.013...	4505.08	0.187809	1916.49	1191.12	0.301096
11 -0.015	3526.12	0.180965	1946.91	1242.47	0.328628

図 58

パラメータ・リストから要素を選択してください(図 59)。

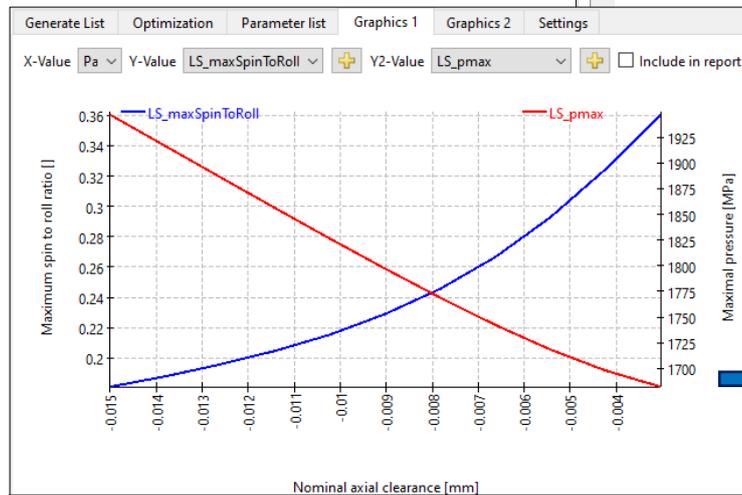
**荷重スペクトラム(LS)の場合:**

- 修正基準定格寿命 Lnmrh
- 運動パラメータとしての SpinToRoll
- 最大接触張力 pmax
- 最小接触張力 pmin

**荷重ケース 2 の場合:**

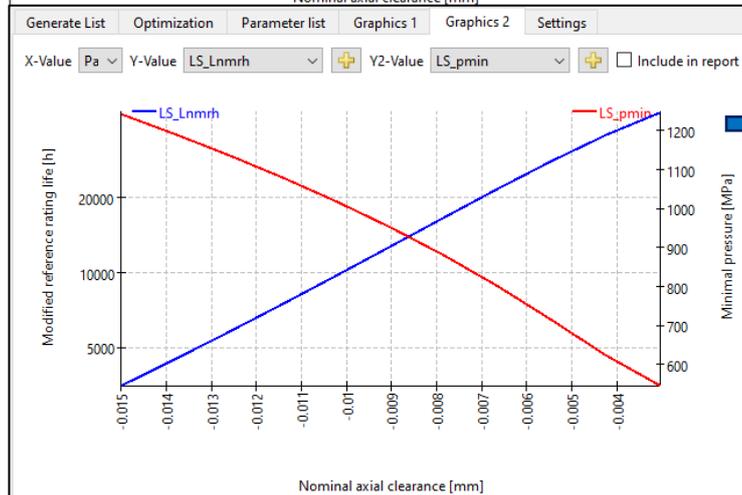
- 荷重依存摩擦トルク Mfriction

Results for No 2



例としてアキシアル軸受すきまに対する SpinToRoll と pmax の図を作成してください。

図 60



例として、アキシアル軸受すきまに対する Lnmrh 運転寿命と pmin の図を作成してください。

図 61

## 6. 結果

### 6.1 レポート

結果は様々な出力で利用できます。  
 4.4.8.6 章で既に述べたように、ユーザーインターフェースの下部にある標準的な結果概要は常に利用可能であり、更新されています。

PDF または DOCX のメインレポートと標準コンテンツ、および「レポートオプション」による追加コンテンツは、「レポート」メニューを使用して呼び出すことができます。

XLSX フォーマットの結果を含むスプレッドシートは、デフォルトでメニュー「レポート/結果テーブル」で開くことができます。

Load case: 1	ux [μm]	uy [μm]	uz [μm]	ry [mrad]	rz [mrad]
3 Fx [N]	212.9289	66.52366	-1.8E-07	-2E-06	-1721.27
4 Fy [N]	66.4652	163.428	-1.6E-07	-1.5E-06	-3929.03
5 Fz [N]	-2.1E-07	1.55E-08	184.1099	4475.018	3.53E-06
6 My [Nm]	-5.1E-09	3.5E-10	4.473138	114.6083	8.76E-08
7 Mz [Nm]	-1.72216	-3.92524	3.79E-09	3.6E-08	100.9723
8 Load case: 2					
Load case: 2	ux [μm]	uy [μm]	uz [μm]	ry [mrad]	rz [mrad]
10 Fx [N]	217.7691	61.28462	-5.5E-09	2.42E-07	-1551.14
11 Fy [N]	61.02589	158.7982	1.75E-07	-3.1E-06	-3846.97
12 Fz [N]	1.86E-07	-1.2E-07	170.2751	4152.423	3.61E-07
13 My [Nm]	4.68E-09	-2.9E-09	4.145374	106.8561	1.32E-08
14 Mz [Nm]	-1.55158	-3.83722	-4.5E-09	8.02E-08	99.20982

### 6.2 グラフィック

Graphics メニューでは、変形、荷重分布、運動学、摩耗変数、せん断応力、寿命年数に関する 2D および 3D のグラフ表示や関数を幅広く利用できます。

図 64

グラフィックはメインプログラムのインターフェイスにドッキングでき、計算ごとに自動的に更新されます



ビジュアライゼーションは、ここに示すように、メニュー・バーの下のユーザー・インターフェイスまたは結果概要にドラッグ・アンド・ドロップすることができます(図 65)。

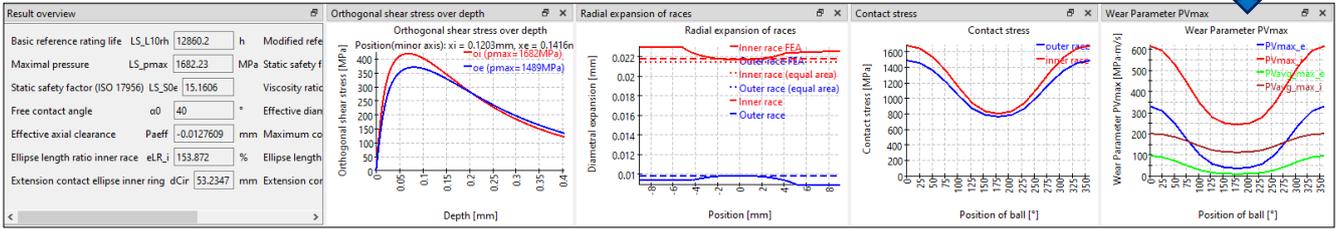


図 65

### 6.3 さらなる結果

このチュートリアルに限られた範囲のため、他の結果、例えばメニュー「計算」でのグリースの運転寿命、熱処理を参照した材料とその計算、潤滑条件に関連する結果、軸受の構成、揺動軸受、圧力楕円の評価、最小、中、最大すきま下での検討、ジャイロトルクの影響などについては、マニュアルのみを参照して言及したいと思います。

### 6.4 レポート

標準レポートは、「レポート・オプション」によって広範な内容を特別に編集することができます。さらに、プロトコルは使用可能な言語で個別に保存することができます。レポート・テンプレートを追加することも可能で、この文章ですでに使用されている精度レポートも忘れてはなりません。

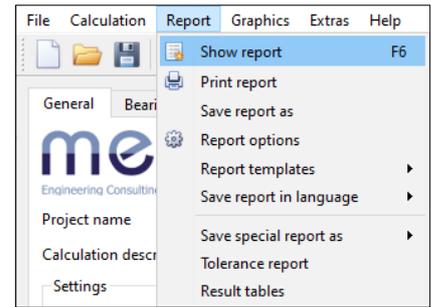
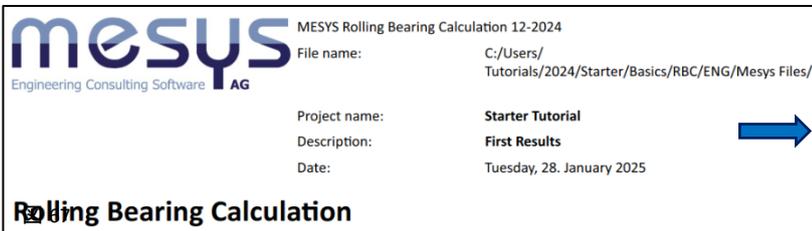


図 66



標準レポートを印刷してください。

MESYS のチュートリアルが、皆様にとって有益でためになる経験となることを願っております。ご質問、ご提案、お問い合わせがございましたら、[info@mesys.ch](mailto:info@mesys.ch) までご連絡ください