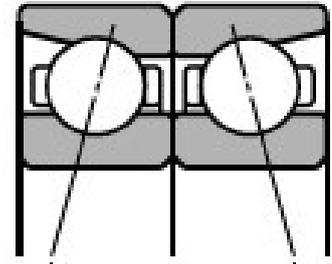


Tutorial: Calculation of paired angular contact bearings

背中合わせに取り付けられた一対のアンギュラ玉軸受は、ラジアル荷重のみのケースと第2ケースとして傾きモーメントのみの荷重について計算します。ベアリングは、取り付けと温度によって増加する取り付け予圧についても考慮します。



Bearing geometry

アンギュラ玉軸受 (7010C) のベアリング形状を、次の表に示します：

	Parameter	Value	Unit
Inner diameter	d	50	mm
Outer diameter	D	80	mm
Width	B	16	mm
Nominal contact angle	α	15	°
Dynamic load capacity	C_r	28.2	kN
Static load capacity	C_{0r}	20.2	kN
Fatigue limit	C_u	1.1	kN
Pretension	F_{pre}	4.2	kN
Tolerance		P4	
Tolerance shaft		K6	
Tolerance housing		H6	
Cage frequency at 60rpm	f_c	0.435	Hz
Damage frequency inner ring at 60rpm	f_{ip}	10.733	Hz
Damage frequency outer ring at 60 rpm	f_{ep}	8.267	Hz
Damage frequency rolling element at 60 rpm	f_{rp}	7.319	Hz

これらのベアリングデータは通常に入手でき、メーカーからも提供されています。ベアリングの寿命を計算するには、内部形状の追加データをメーカーに問い合わせると良いでしょう。

「Bearing geometry」ページに対応するタブを選択すると、最初の幾何学的入力が設定されます。ここでは、左上のドロップダウンリストをクリックして、この場合の「アンギュラ玉軸受」のタイプのベアリングを選択します。必要な入力データを入力するには、ページの右上にあるドロップダウンリストから「Enter inner geometry」を選択します。

d、D、Bを入力した後、Dpwの★ボタンをクリックすると、ピッチ径 Dpw ($Dpw = (50 + 80) / 2 = 65\text{mm}$) を自動的に取得できます。

曲率比については、ISO/TS 16281 による内輪 $f_i=0.52$ 、外輪 $f_e=0.53$ を使います。

転導体の個数 $Z = 19$ とボール直径 $D_w = 8.731$ は、損傷周波数を使ってバックグラウンドで計算した結果として求められます。これを行うには、“ D_w ” 入力の横の  ボタンを押すとポップアップウィンドウが開きます、入力データを入力し“計算”、OK を押してウィンドウを閉じます。

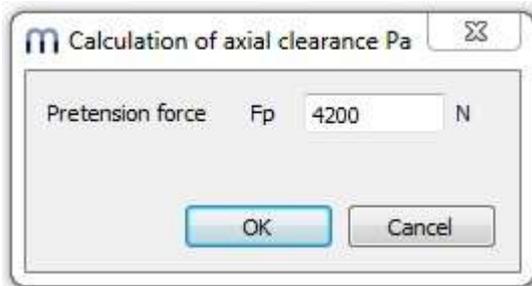
D_w と α は、標準的な値と一致するように、「ベアリングジオメトリ」ページで手動で四捨五入する必要があります(計算された D_w は、実際には $11/32$ インチ= 8.731mm 、接触角は 15°)。

チュートリアルを終えたら、以下のようなデータはレポートで確認できます。

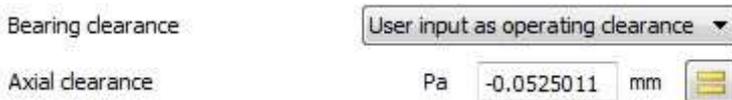
Damage Frequencies

Speed of inner ring	ni	1.000 1/s
Speed of outer ring	ne	0.0000 1/s
Rotation speed of cage	fc	0.4351 1/s
Damage frequency for inner race	fip	10.73 1/s
Damage frequency for outer race	fep	-8.2674 1/s
Damage frequency for rolling element	frp	-7.3194 1/s

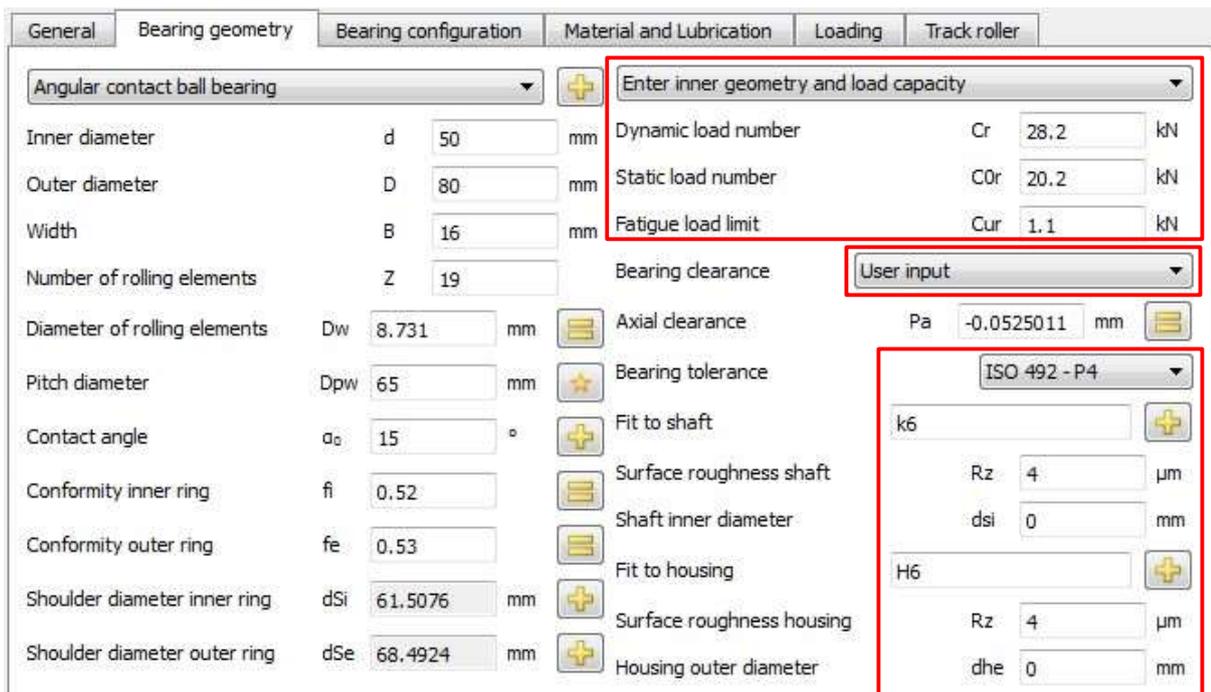
予圧が力として与えられるので、さらに未知のものは、軸受の軸方向すきまになります。軸方向すきまを計算するには、その側にある計算ボタンをクリックし、軸方向クリアランスを計算します。



4.2kN の予圧力を得るためには、軸方向クリアランス $P_a = -0.0525\text{mm}$ が必要です。



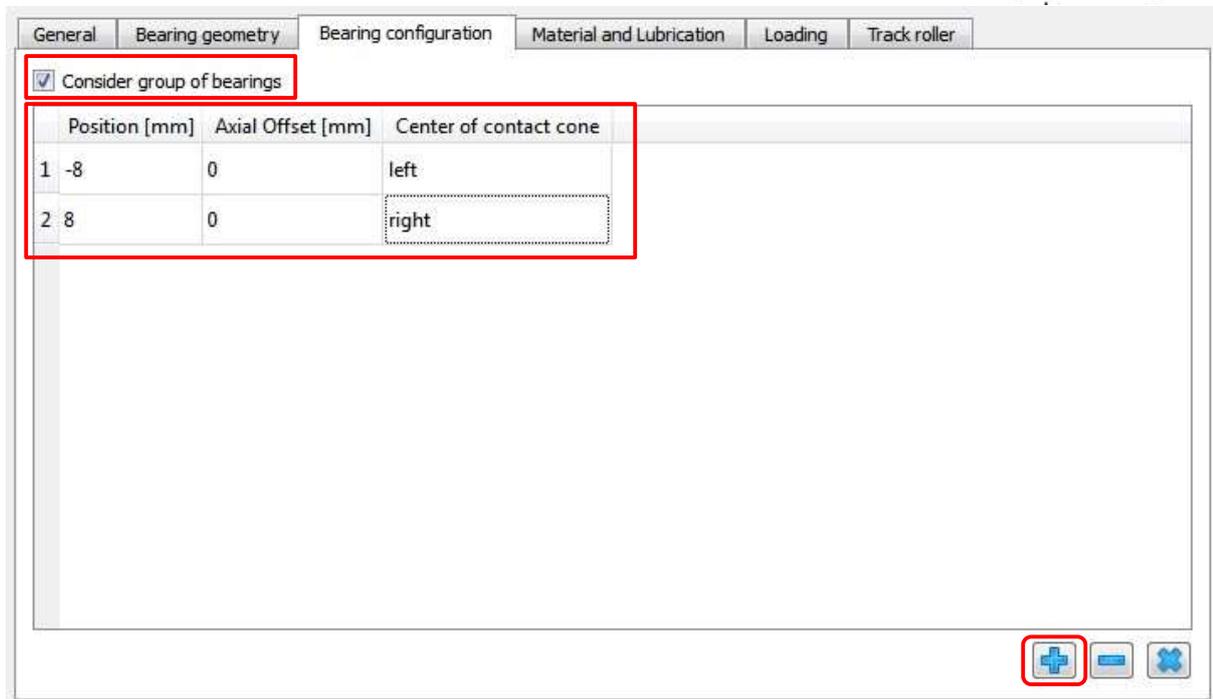
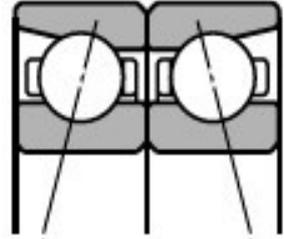
ベアリングのすべての形状が与えられ、ドロップダウンリストから「Enter inner geometry and load capacity」と公差を「User input」にして、定格荷重と公差の両方を入力することができます。ソフトウェアの実行後、「肩の径内輪」と「肩の径外輪」の両方が表示されます。



メーカーによって与えられる軸受の動的定格荷重は、ISO281 よりも少し大きいことがあります。メーカーは、より優れた材料および品質を考慮して、標準よりも高い値を提供することが多くあります。したがって、ISO 281 による計算に加えて、マニュアルで値を入力することもできます。

Bearing configuration

背中合わせの構成の 2 つのベアリングがあります。これは「Bearing configuration」ページで定義できます。追加のベアリングは、右下隅の **+** ボタンを使用して追加できます。原点からのベアリングの距離はベアリング幅の半分、すなわち $B / 2 = 8\text{mm}$ になります。二列アンギュラ玉軸受については、ベアリングタイプの「アンギュラ玉軸受(二列)」を使用することができますが、ベアリング構成も他の構成でも機能します。



いくつかの付加的な予圧力がアセンブルに導入される場合には、外輪間の軸方向オフセットが追加で設定することができます。この場合は、変更はありません。

ゼロ荷重の計算を実行するため、 ボタンと出力リスト  ボタンを押すと、シャフトと内輪との間の圧力がはめ合いによって、軸受の予圧力が 6.09kN (はめ合いのために) 増加することがわかります。転導体と溝の接触で既に 2216MPa の圧力がかかっています。

数	Fx [kN]	ux [mm]	Fy [kN]	uy [mm]	Fz [kN]	uz [mm]	My [Nm]	ry [mrad]	Mz [Nm]	rz [mrad]	pmax [MPa]	SF
1	6.06949	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	2216.55	6.80
2	-6.06949	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	2216.55	6.80

Loading

荷重は、2 つの荷重ケースを考慮します。最初のものは $F_y = 15\text{kN}$ のラジアル荷重で、2 番目のモーメント荷重は $M_y = 300\text{Nm}$ です。内輪の速度は $n_i = 2200\text{rpm}$ です。シャフトの温度は 50°C 、ハウジングの温度は 40°C にします。

Results for no loading

最初にゼロ荷重の結果を見ていきます。したがって、「Loading」タブを押して、前述の温度と内輪の速度だけを入力します。

General	Bearing geometry	Bearing configuration	Material and Lubrication	Loading	Track roller
Axial load	Fx	0 N	<input checked="" type="radio"/> Displacement	ux	0 mm
Radial load	Fy	0 N	<input checked="" type="radio"/> Displacement	uy	0 mm
Radial load	Fz	0 N	<input checked="" type="radio"/> Displacement	uz	0 mm
Moment	My	0 Nm	<input type="radio"/> Rotation angle	ry	0 mrad
Moment	Mz	0 Nm	<input type="radio"/> Rotation angle	rz	0 mrad
Speed inner ring	ni	2200 rpm	<input checked="" type="checkbox"/> Inner ring rotates to load		
Speed outer ring	ne	0 rpm	<input type="checkbox"/> Outer ring rotates to load		
Temperature of shaft	Ti	50 °C	Temperature of housing	Te	40 °C

結果の概要

基本基準定格寿命	L10r	21.3138	基本基準定格寿命	L10rh	161.468 h	修正基準定格寿命	Lnmr	65.0211	修正基準定格寿命	Lnmrh	492.584 h
最大圧力	pmax	2399.44 MPa	静的安全係数	SF	5.3631	基準荷重	Pref	16522.8 N	基本動定格荷重、システム	Orsys	45811 N
基本静定格荷重、システム	C0rsys	40400 N	楕円長の比(内溝)	eLR _i	171.44 %	楕円長の比(外溝)	eLR _e	196.255 %	延長接触楕円(内輪)	dC _{imax}	58.2759 mm
延長接触楕円(外輪)	dC _{emin}	72.0208 mm	粘度比	κ	4.35249	フリ-接触角	α ₀	15 °	有効なラジアルすきま	P _{deff}	0.0111228 mm
有効なアキシャルすきま	P _{a_{eff}}	-0.0960284 mm									

既に予力として 2399MPa の圧力がかかり、L10rh = 161h の寿命しか持っていません。

Radial loading

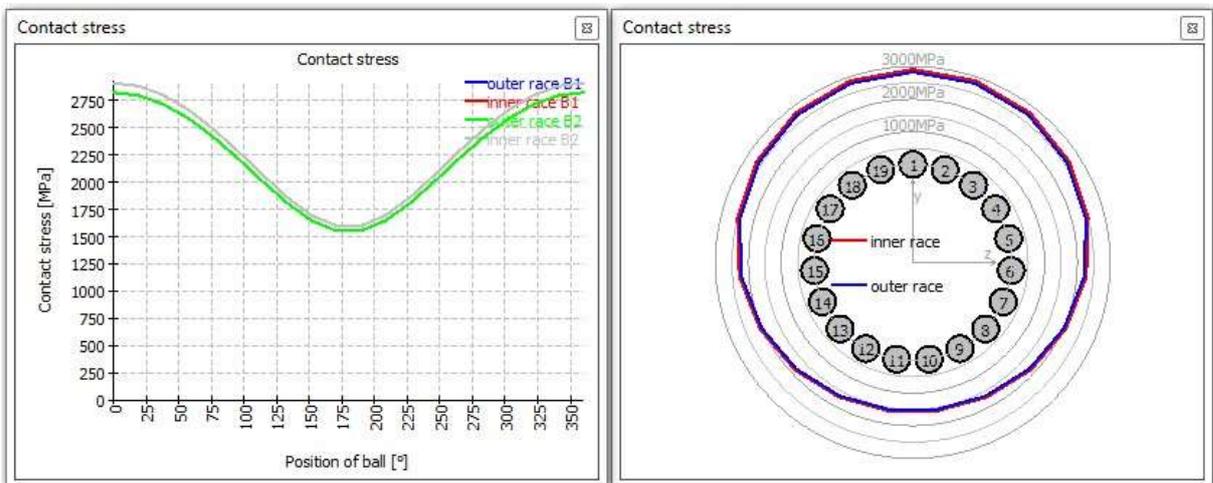
Fy = 15kN のラジアル荷重を入力すると、次の結果が得られます。

General	Bearing geometry	Bearing configuration	Material and Lubrication	Loading	Track roller
Axial load	Fx	0 N	<input checked="" type="radio"/> Displacement	ux	0 mm
Radial load	Fy	15000 N	<input checked="" type="radio"/> Displacement	uy	0.0137175 mm
Radial load	Fz	0 N	<input checked="" type="radio"/> Displacement	uz	0 mm
Moment	My	0 Nm	<input type="radio"/> Rotation angle	ry	0 mrad
Moment	Mz	0 Nm	<input type="radio"/> Rotation angle	rz	0 mrad
Speed inner ring	ni	2200 rpm	<input checked="" type="checkbox"/> Inner ring rotates to load		
Speed outer ring	ne	0 rpm	<input type="checkbox"/> Outer ring rotates to load		
Temperature of shaft	Ti	50 °C	Temperature of housing	Te	40 °C

結果の概要

基本基準定格寿命	L10r	10.15	基本基準定格寿命 L10h	76.8939	h	修正基準定格寿命 Lnmr	22.4571	修正基準定格寿命 Lnmrh	170.13	h	
最大圧力	pmax	2944.38	MPa	静的安全係数 SF	2.90247	基準荷重 Pref	21158.3	N	基本動定格荷重 システム Crsys	45811	N
基本静定格荷重 システム C0sys	40400	N	楕円長の比(内溝) eLR _i	149.485	%	楕円長の比(外溝) eLR _e	170.218	%	延長接触楕円(内輪) dCimax	58.657	mm
延長接触楕円(外輪) dCemin	71.7463	mm	粘度比 κ	4.35249		フリー接触角 α0	15	°	有効なラジアルすきま Pdeff	0.0111228	mm
有効なアキシャルすきま Paeff	-0.0960284	mm									

グラフィック出力の接触応力は、すべての転導体がまだ荷重されていることを示しています。これらのグラフをプロットするには、メニューバーの "Graphics" をクリックし、"Contact stress" と "Load distribution" を選択します。



予圧なしで ISO 281 による計算をしてみると、 $L_{10h} = 16666/2200 * (28.2 * 2^{0.7} / 15)^3 = 215h$ の結果が得られ、ソフトウェアによる予圧の場合は $L_{10h} = 76h$ になります。

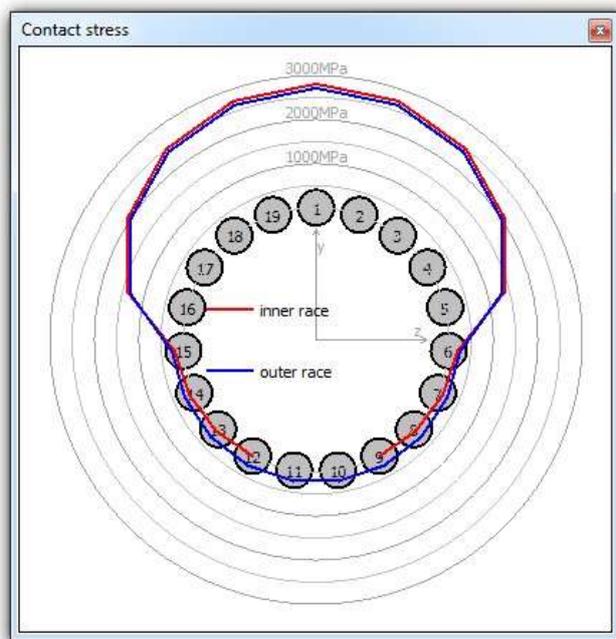
単一ベアリングの場合、軸方向 (Fx)、ラジアル方向 (Fy)、モーメント (Mz) 荷重があることがレポートで分かります。

数	Fx [kN]	ux [mm]	Fy [kN]	uy [mm]	Fz [kN]	uz [mm]	My [Nm]	ry [mrad]	Mz [Nm]	rz [mrad]	pmax [MPa]	SF
1	7.89409	-0.0009	7.5	0.0134	0	0.0000	0.00	0.00	-88.87	0.00	2944.38	2.90
2	-7.89409	0.0009	7.5	0.0134	0	0.0000	0.00	0.00	88.87	0.00	2944.38	2.90

「Bearing configuration」ページでは、マウスの右ボタンをクリックしてコンテキストメニューからこれらの結果を選択して、追加のセルに表示することもできます。

General	Bearing geometry	Bearing configuration	Material and Lubrication	Loading	Track roller
<input checked="" type="checkbox"/> Consider group of bearings					
	Position [mm]	Axial Offset [mm]	Center of contact cone	Fx [N]	pmax [MPa]
1	-8	0	left	7894.09	2944.38
2	8	0	right	-7894.09	2944.38

比較のためにオペレーション予圧をゼロにした計算を行う場合（「Bearing geometry」ページに進み、前に説明したように、 $P_a = 0\text{mm}$; $F_p = 0\text{N}$ と入力すると）、 $L_{10h} = 241h$ の寿命が得られます。これは ISO 281 の結果に近いものです。荷重分布のグラフを確認すると、予圧はありません。



Moment loading

今度は、 $M_y = 300\text{Nm}$ のモーメント荷重をかけて、同じ計算を実行します。

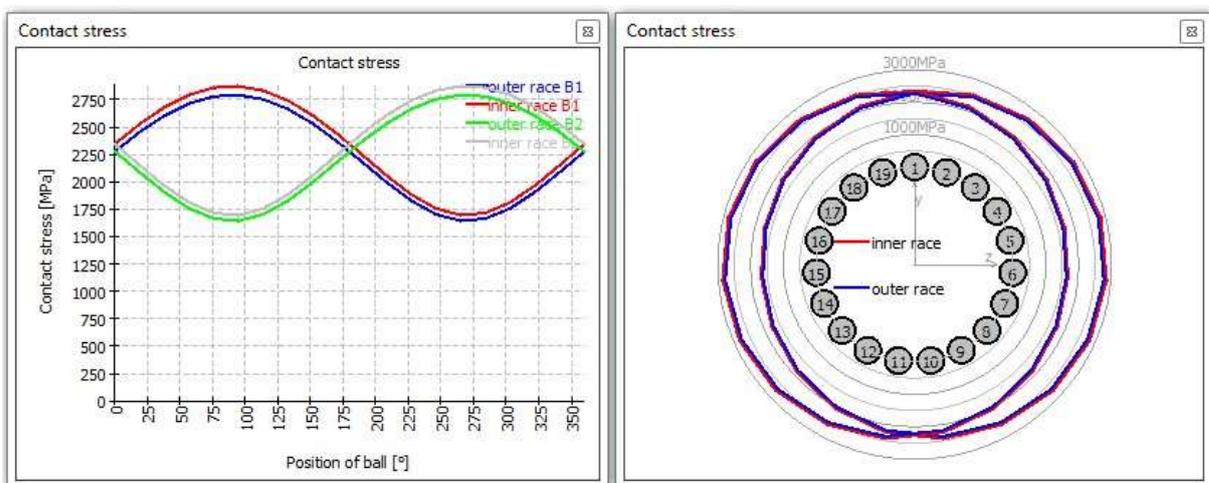
General	Bearing geometry	Bearing configuration	Material and Lubrication	Loading	Track roller
Axial load	Fx	0 N	<input checked="" type="radio"/> Displacement	ux	0 mm
Radial load	Fy	0 N	<input checked="" type="radio"/> Displacement	uy	0 mm
Radial load	Fz	0 N	<input checked="" type="radio"/> Displacement	uz	0 mm
Moment	My	300 Nm	<input checked="" type="radio"/> Rotation angle	ry	0.610831 mrad
Moment	Mz	0 Nm	<input type="radio"/> Rotation angle	rz	0 mrad
Speed inner ring	ni	2200 rpm	<input checked="" type="checkbox"/> Inner ring rotates to load		
Speed outer ring	ne	0 rpm	<input type="checkbox"/> Outer ring rotates to load		
Temperature of shaft	Ti	50 °C	Temperature of housing	Te	40 °C

Result overview

結果の概要

基本基準定格寿命 L10r	10.9669	基本基準定格寿命 L10rt	83.0828 h	修正基準定格寿命 Lnmr	25.0486	修正基準定格寿命 Lnmrh	189.762 h
最大圧力 pmax	2904.86 MPa	静的安全係数 SF	3.02254	基準荷重 Pref	20619.4 N	基本動定格荷重 システム Crsys	45811 N
基本静定格荷重 システム C0rsys	40400 N	楕円長の比(内溝) eLR _i	145.165 %	楕円長の比(外溝) eLR _e	164.873 %	延長接触楕円(内輪) dCimax	58.9032 mm

結果として得られる寿命と圧力は前の計算と似ていますが、荷重分布は2つのベアリング間で反射されているようになっています。



単一ベアリングは軸方向荷重、ラジアル荷重、モーメント荷重を持っています。

数	Fx [kN]	ux [mm]	Fy [kN]	uy [mm]	Fz [kN]	uz [mm]	My [Nm]	ry [mrad]	Mz [Nm]	rz [mrad]	pmax [MPa]	SF
1	8.19266	-0.0009	0	0.0000	6.67402	0.0048	96.61	0.60	0.00	0.00	2904.86	3.02
2	-8.19266	0.0009	0	0.0000	-6.67402	-0.0048	96.61	0.60	0.00	0.00	2904.86	3.02

全ての計算は中程度の運転すきまを用いて行っています。最初のページの「General」では、これを最小または最大すきまに変更することができます：



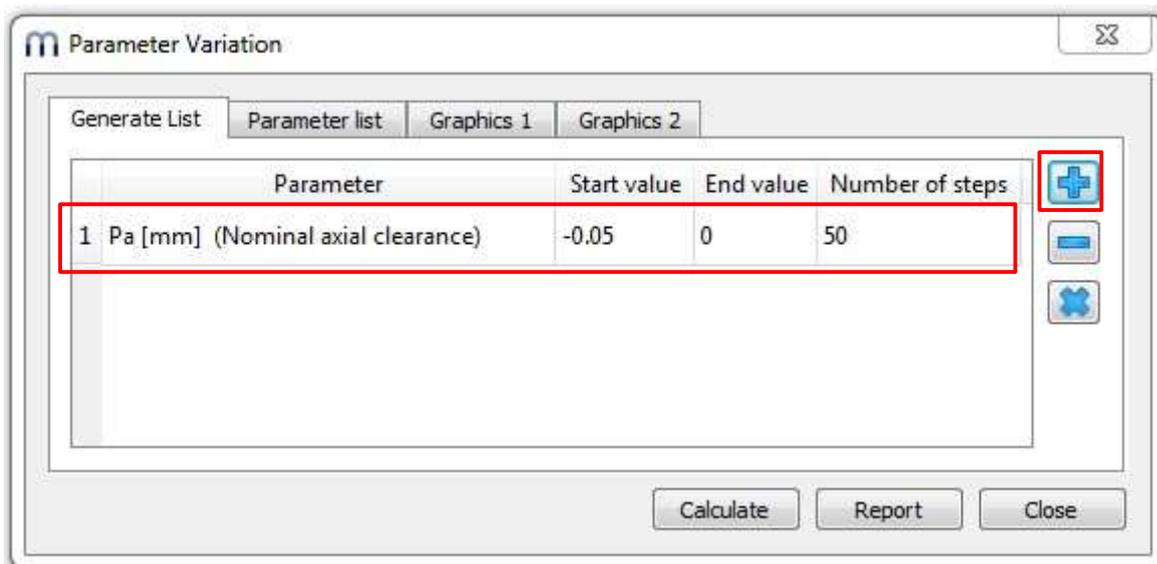
最大すきまを考慮して、全ての寿命を増加させるために、予圧を減らすかどうか決定することができます。

Further Analyses

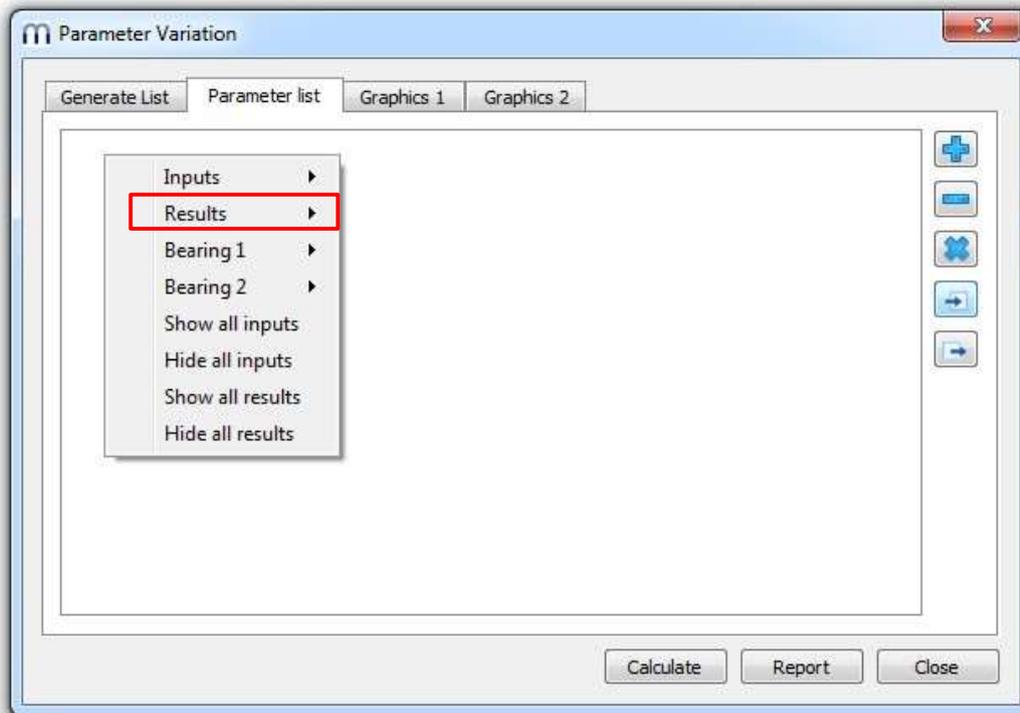
Optimization of life

軸受寿命の最大値は、大きな影響を及ぼすパラメータを特定して最適化することにより、見つけ出すことができます。この目的のために、ソフトウェアのいくつかの機能を使用することにより、容易にユーザは軸受の最適な構成を求めることができます。

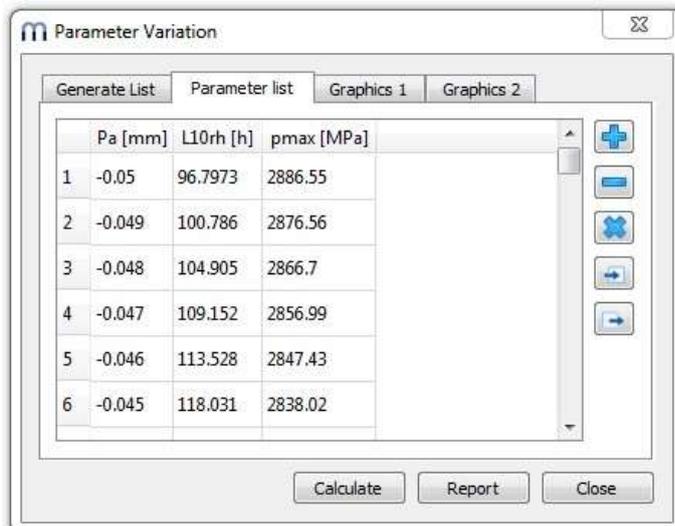
モーメント荷重 ($M_y = 300\text{Nm}$) の場合、寿命に大きく影響するアキシャル方向すきまを見ます。このために、パラメータバリエーションを使用しますので、「Calculation」 -> 「Parameter variation」を選択してください。タブページ「Generate List」では、リストにパラメータを追加するので、**+** ボタンをクリックすると新しい行が作成されます。最初のセルをダブルクリックすると、ドロップダウンリストがアクティブになり、そこから Pa [mm] (アキシャル方向すきま) を選択します。以下のように行に入力してください：



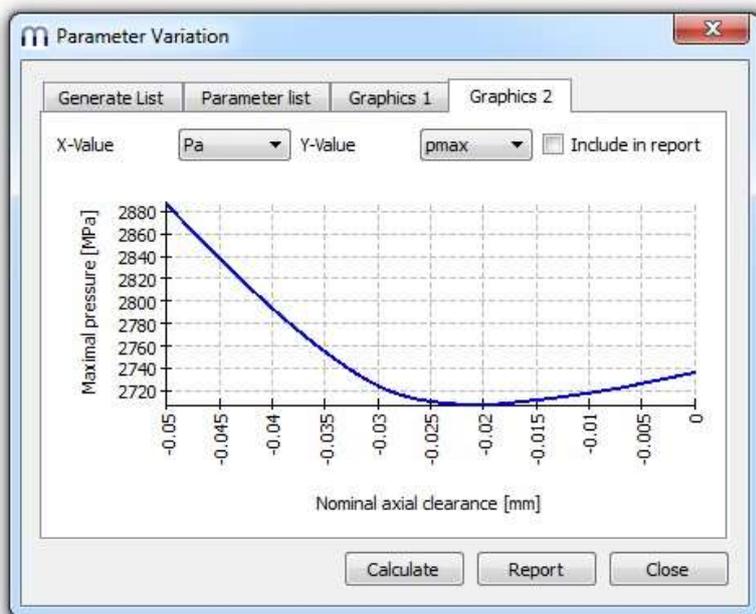
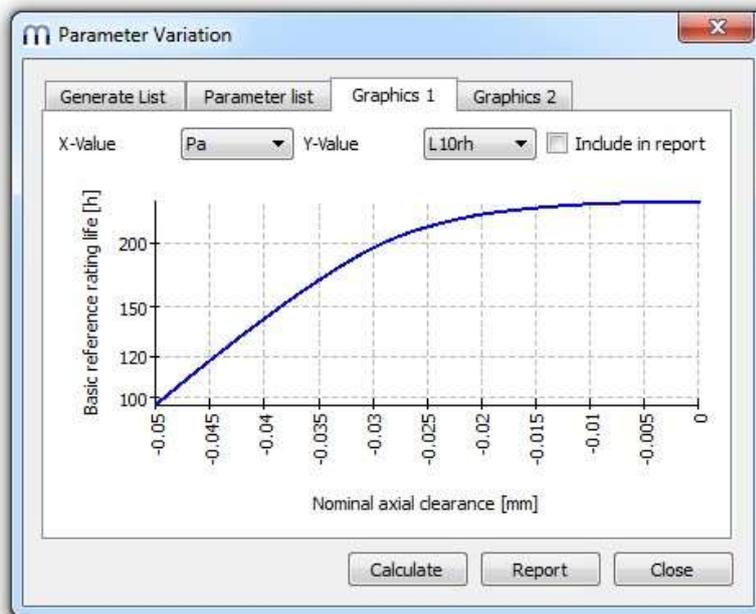
タブページ「Parameter List」で、右クリックしてコンテキストメニュー「Results」から「L10rh」と「Pmax」を選択します。



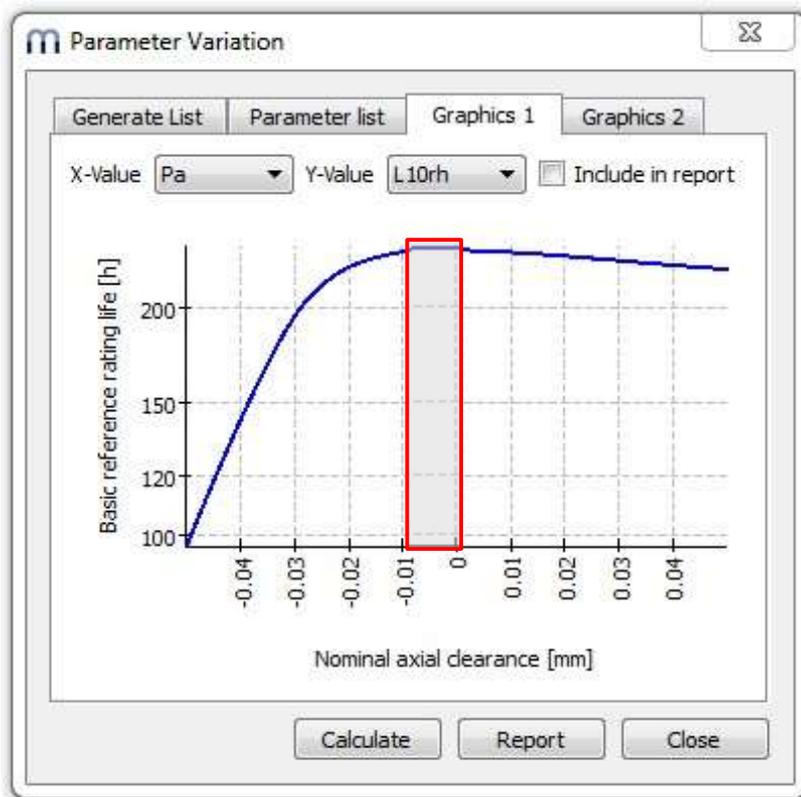
「計算」を押すと、すべてのパラメータの組み合わせのリストが生成され、計算も実行されます。



「グラフィックス 1」と「グラフィックス 2」のタブを選択することで、内部すきまに対する寿命や内部すきまに対する圧力をグラフ化することができます。



例えば、ベアリングに一定の予圧が必要であると仮定した場合、予圧が高いほどベアリングの寿命が短いことを、この考察から推測することができます。しかし、可能な軸方向すきまの範囲をベアリングの X 値の正の方向に広げると、 $P_a = (-0.01, 0)$ mm の範囲で最大値を特定できます。



Load spectrum

荷重スペクトルは、単一の荷重ケースの代わりに使用できます。ソフトウェアでこのオプションを有効にするには、タブページ「General」に移動し、「荷重スペクトルを使用」のフラグを有効にします。

General | Bearing geometry | Bearing configuration | Material and Lubrication | Loading | Track roller

mesys Rolling Bearing Calculation

Engineering Consulting Software AG

Calculation of load distribution and reference life for rolling bearings considering ISO/TS 16281 and NREL/TP-500-42362

Project name:

Calculation description:

Settings

Limit for aISO: aISOMax Reliability: S %

Friction coefficient: μ

Calculate lubricant film thickness Oscillating bearing

Consider centrifugal force Use load spectrum

Calculate required hardness depth Calculate modified life

Use fatigue strength for hardness depth Use extended method for pressure distribution

Required subsurface safety: Ssmin

次にタブページの“Loading”に行き、右下の+ ボタンを2回クリックして2行追加します。デフォルトでは、“My [Nm]”がアクティブではないので、右ボタンをクリックして“Enter My”のフラグを有効にしてください。その結果、“ry [°]”が隠され、“My [Nm]”がその代わりに表示されます。次のように表に入力してください:

General | Bearing geometry | Bearing configuration | Material and Lubrication | Loading | Track roller

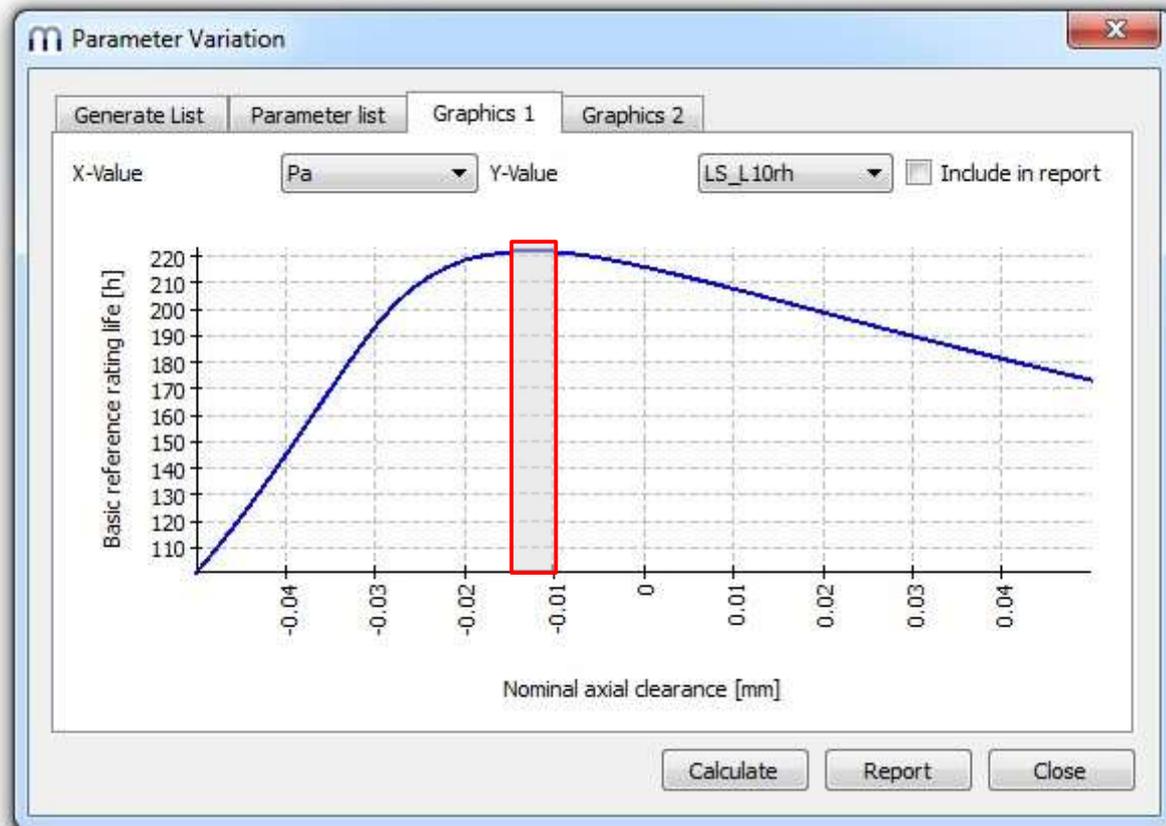
	Frequency	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	My [Nm]	rz [°]	ni [rpm]	ne [rpm]	T _i [°C]	T _e [°C]	TOil [°C]
1	0.5	0	15000	0	0	0	2200	0	50	40	70
2	0.5	0	0	0	300	0	2200	0	50	40	70

enter Fx
 enter Fy
 enter Fz
 enter My
 enter Mz

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

現在の例では、対応するケースセルのそれぞれに「0.5」を入力することによって、荷重頻度を均等に設定しています。

ソフトウェア計算を実行し、以前にモーメント荷重に対してパラメータスタディを実施したように、最適な軸方向すきまが $P_a = (-0.015, -0.01) \text{ mm}$ の範囲でどのように見つけられるか判ります。



荷重ケースごとに、すべての要素を使用した完全な計算が行われます。結果の寿命は、各要素の寿命を使用して計算されます。