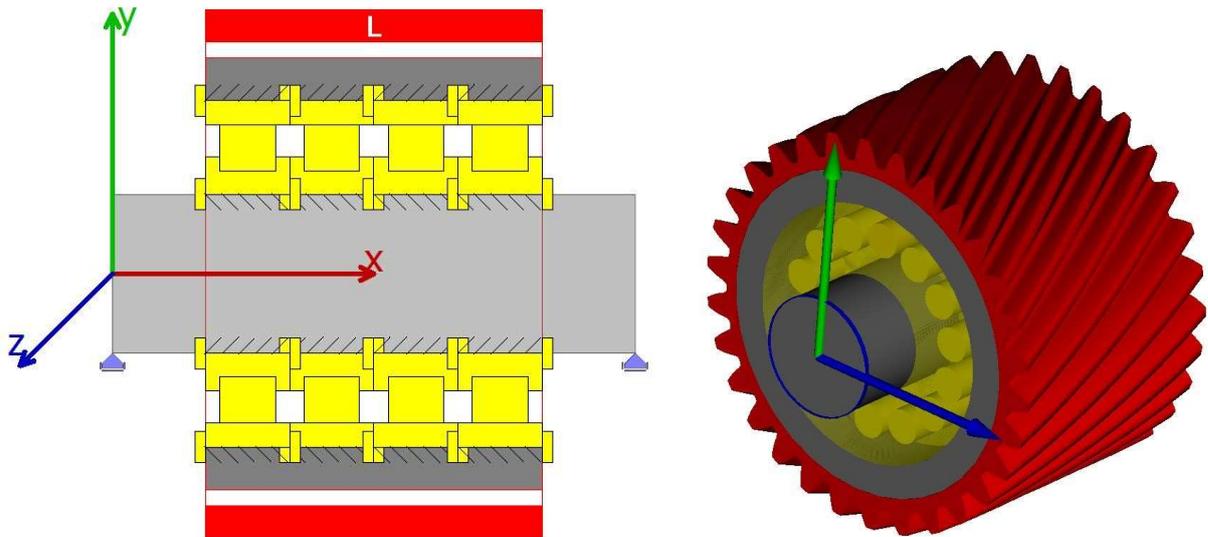


Tutorial: Calculation of a planet support with cylindrical roller bearings

ヘリカル惑星ギアは、4つの円筒ころ軸受によって支えられています。はすば歯車のために、ラジアル荷重およびモーメント荷重がベアリングによって支持されなければならない。

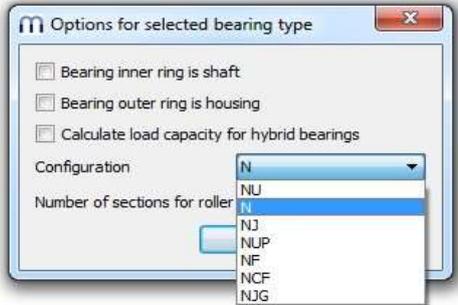


Bearing geometry

円筒ころ軸受 (N311) の軸受形状を次の表に示します。

Item	Formula	Value	Unit
Inner diameter	d	55	mm
Outer diameter	D	120	mm
Width	B	29	mm
Number of rollers	Z	13	
Roller diameter	D _w	18	mm
Length of roller	L _w	19	mm
Pitch diameter	D _p	87.5	mm
Dynamic load capacity	C	159	kN
Static load capacity	C ₀	139	kN
Fatigue limit	C _u	19.1	kN
Bearing clearance		CN	
Bearing tolerance		P0	
Shaft tolerance		k6	
Housing tolerance		M7	
Pitch diameter gear	d _h	150	mm

「Bearing geometry」ページに対応するタブを選択して、形状寸法を入力します。ここでは、左のドロップダウンリストをクリックして、希望するタイプのベアリングを選択します。この場合は、「Cylindrical roller bearing」です。ベアリングの選択の横にある \oplus ボタンを使用して、ドロップダウンリストから「Configuration」のタイプを選択できます。「N」をクリックし、OKを押します。必要な入力データを処理するには、ページの右上にあるドロップダウンリストから「Enter inner geometry and load capacity」を選択する必要があります。



General	Bearing geometry	Bearing configuration	Material and Lubrication	Loading	Track roller
Cylindrical roller bearing		\oplus	Enter inner geometry and load capacity		
Inner diameter	d	55	mm	Dynamic load number	Cr 159 kN
Outer diameter	D	120	mm	Static load number	C0r 139 kN
Width	B	29	mm	Fatigue load limit	Cur 19.1 kN
Number of rolling elements	Z	13		Bearing clearance	ISO 5753 - CN
Diameter of rolling elements	Dw	18	mm	Diametral clearance	Pd 0.055 mm
Pitch diameter	Dpw	87.5	mm	Bearing tolerance	ISO 492 - P0
Effective length of roller	Lwe	19	mm	Fit to shaft	k6 \oplus
Shoulder diameter inner ring	dSi	80.3	mm	Surface roughness shaft	Rz 4 μ m
Shoulder diameter outer ring	dSe	94.7	mm	Shaft inner diameter	dsi 0 mm
				Fit to housing	M7 \oplus
				Surface roughness housing	Rz 4 μ m
				Housing outer diameter	dhe 150 mm

ユーザーは \star ボタンをクリックして、自動的にピッチの直径、Dpw ($Dpw = (50 + 80) / 2 = 65\text{mm}$)を取得するか、直に入力するかになります。

Pitch diameter gear は、ハウジングの外径に使用されます。ベアリングのすべての形状データが与えられ、「Shoulder diameter inner ring dSi」と「Shoulder diameter inner ring dSe」の両方及び「Diameterral clearance Pd」がソフトウェアの実行後に表示されます。

Bearing Configuration

4つのベアリングがあるので、タブページ「Bearing Configuration」にその位置を入力します。ベアリングの数は、右下隅の+ ボタンを使用して追加できます。4つのベアリングの中央に構成の原点を設定するように、最初の2つのベアリングは原点からの距離がベアリング幅の半分、すなわち $B / 2 = \pm 14.5\text{mm}$ になり、その外側が $B + B / 2 = \pm 43.5\text{mm}$ になります。

	General	Bearing geometry	Bearing configuration	Material and Lubrication	Loading	Track roller															
<input checked="" type="checkbox"/> Consider group of bearings																					
			<table border="1"><thead><tr><th></th><th>Position [mm]</th><th>Axial Offset [mm]</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>-43.5</td><td>0</td></tr><tr><td>2</td><td>-14.5</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>14.5</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>43.5</td><td>0</td></tr></tbody></table>		Position [mm]	Axial Offset [mm]	1	-43.5	0	2	-14.5	0	3	14.5	0	4	43.5	0			
	Position [mm]	Axial Offset [mm]																			
1	-43.5	0																			
2	-14.5	0																			
3	14.5	0																			
4	43.5	0																			
						  															

Loading

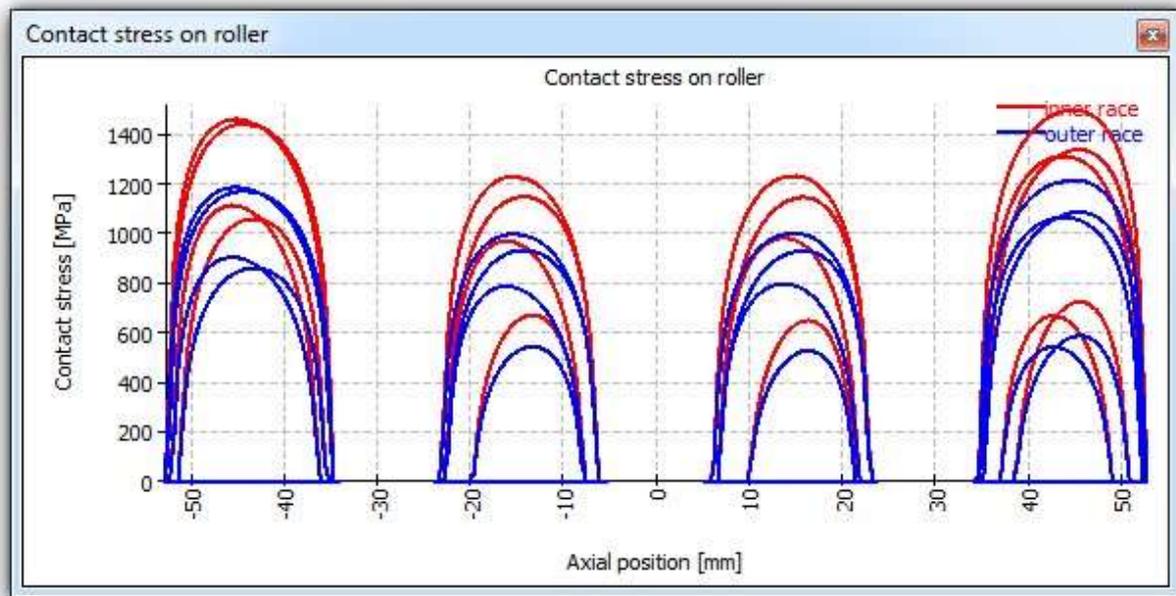
荷重は歯車によって掛けられます。今回は、 $F_z = 40\text{kN}$ のラジアル荷重と $M_z = 800\text{Nm}$ の曲げモーメントを掛けます。与えられた半径方向の力ではなく、軸方向の 1 対の力が、モーメントの原因であることに留意します。内輪の速度は遊星キャリアの速度になります。この速度は $n_i = 500\text{rpm}$ にする必要があります。外輪は遊星と共に回転します。従って $n_e = -1000\text{rpm}$ となり相対速度は 1500rpm となります。したがって、「Loading」のタブを押して、次のようにデータを入力します。

General	Bearing geometry	Bearing configuration	Material and Lubrication	Loading	Track roller			
Axial load	Fx	0	N	<input type="radio"/> Displacement	ux	0	mm	<input checked="" type="radio"/>
Radial load	Fy	0	N	<input checked="" type="radio"/> Displacement	uy	-8.57967e-05	mm	<input type="radio"/>
Radial load	Fz	40000	N	<input checked="" type="radio"/> Displacement	uz	0.0364159	mm	<input type="radio"/>
Moment	My	0	Nm	<input checked="" type="radio"/> Rotation angle	ry	-0.00297589	mrاد	<input type="radio"/>
Moment	Mz	800	Nm	<input checked="" type="radio"/> Rotation angle	rz	0.58841	mrاد	<input type="radio"/>
Speed inner ring	n_i	500	rpm	<input type="checkbox"/> Inner ring rotates to load				
Speed outer ring	n_e	-1000	rpm	<input checked="" type="checkbox"/> Outer ring rotates to load				
Temperature of shaft	T_i	20	°C	Temperature of housing	T_e	20	°C	

Result overview			
Basic reference rating life	L10r	2854.51	
Basic reference rating life	L10rh	31716.7	h
Modified reference rating life	Lnmr	17615.4	
Modified reference rating life	Lnmrh	195726	h
Maximal pressure	pmax	1497	MPa
Static safety factor	SF	7.13964	

これらの値を入力して計算を実行すると、 $L_{10rh} = 31716\text{h}$ になります。

ソフトウェアを実行した後(⚡ ボタンを押す)、「グラフィックス」→「ころ上の接触圧力」のチャートのように、左右の軸受がセンターの軸受よりも大きな負荷になっていることがわかります。、📄 レポートのボタンを押してレポートでも確認ください。



Number	Fx [kN]	ux [mm]	Fy [kN]	uy [mm]	Fz [kN]	uz [mm]	My [Nm]	ry [mrad]	Mz [Nm]	rz [mrad]	pmax [MPa]	SF
1	0	0.0000	-8.37163	-0.0257	11.8121	0.0363	4.13	-0.00	6.07	0.59	1459.64	7.51
2	0	0.0000	-1.92951	-0.0086	8.18601	0.0364	1.47	-0.00	2.22	0.59	1228.60	10.60
3	0	0.0000	1.96474	0.0084	8.19436	0.0365	-1.59	-0.00	2.22	0.59	1231.08	10.56
4	0	0.0000	8.33641	0.0255	11.8076	0.0365	-4.08	-0.00	6.23	0.59	1497.00	7.14

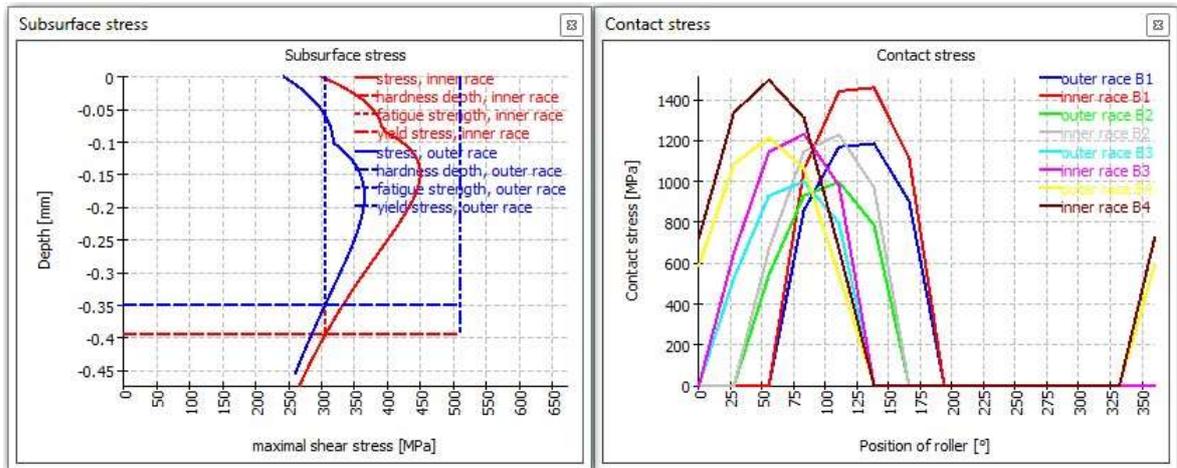
この計算では、剛体のシャフトとハウジングが想定されているため、軸受外側の実際の荷重は少し異なるはずです。

レポートでは、シャフト、ベアリングとハウジングの間の圧力もわかります。

Pressure between inner ring and shaft	pFitShaft	11.114 MPa
Pressure between outer ring and housing	pFitHousing	0.9324 MPa

外輪は負荷に向かって回転しているので、内輪よりも強くフィットしています。外輪のはめ合いを大きくして、内輪のはめ合いを小さくする必要があります。

荷重は非常に小さいので、接触下の応力は問題にならないはずですが。グラフィックスでは、0.4mm の硬さの深さが最高荷重の接触に対して十分であることがわかります。

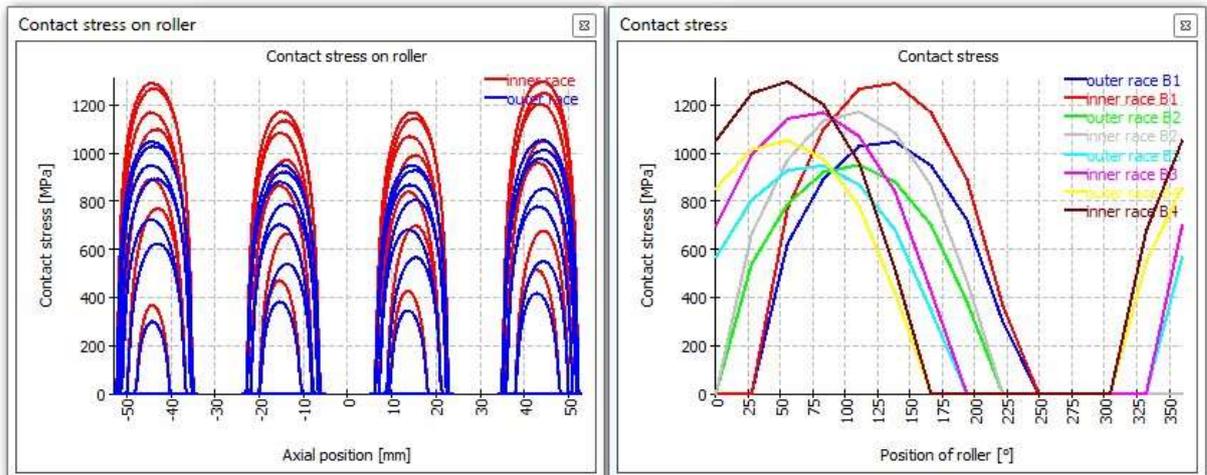


ベアリングの荷重ゾーンは比較的小さく、わずかに約 140° です。

タブページ「General」で「minimal clearance」を選択し、ソフトウェアを実行すると、荷重ゾーンが 200° になり、寿命は L10rh=64000h に増加します。

The screenshot shows the 'mesys Rolling Bearing Calculation' software interface. The 'General' tab is selected. The interface includes a project name field, a calculation description field, and a settings section. The settings section includes:

- Limit for aISO: aISOMax 50
- Friction coefficient: μ 0.1
- Checkboxes: Calculate lubricant film thickness (unchecked), Consider centrifugal force (checked), Calculate required hardness depth (checked), Use fatigue strength for hardness depth (checked).
- Required subsurface safety: Ssmin 1
- Reliability: S 90 %
- A dropdown menu is open, showing options: Calculation for medium clearance, Calculation for minimal clearance (highlighted), Calculation for medium clearance, Calculation for maximal clearance.
- Checkboxes: Calculate modified life (checked), Use extended method for pressure distribution (unchecked).



したがって、すきまをさらに小さくすることによって寿命が向上する可能性があります、これはすきまにも影響する温度にも考慮して、行わなければなりません。

中間すきまから最小すきまに変更することにより、傾き角度 r_z は 0.59mrad から 0.24mrad に減少します。これは歯車間の接触パターンに影響を及ぼし、歯車のリードの修正には重要です。

最大すきまの場合、寿命は 2190h に減少し、傾き角度は $r_z = 0.8\text{mrad}$ に増加します。したがって、許容値のポジションによって、寿命と角度の両方に3倍以上の影響を与えます。

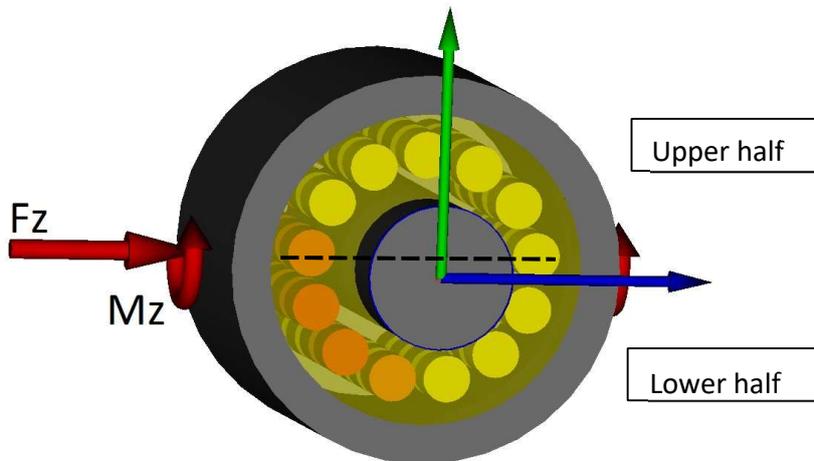
一方、傾斜がサポートされていない場合;

Name	L10rh [h]	pmax [MPa]	SF	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
Pin									
PL1				0.000	4.400	20.000	0.00	0.00	0.00
Bearing 1	26445	1667.63	5.75	0.000	-8.540	-15.435	0.00	-14.14	10.70
Bearing 2	1435689	1067.88	14.03	0.000	-1.033	-4.527	0.00	-2.91	1.46
Bearing 3	1405976	1077.68	13.78	0.000	1.014	-4.638	0.00	2.85	1.49
Bearing 4	25761	1691.76	5.59	0.000	8.616	-15.400	0.00	14.11	10.39
PL2				0.000	-4.489	20.000	0.00	0.00	0.00
Planet Shaft (Planet Gear)									

これらのハイライトされた結果から、ユーザーは軸受の寸法決定においてこの事実がいかに重要かを素早く理解します。

また、4つのベアリング間の非対称な「 p_{max} [MPa]」分布は、各ベアリングにおける円筒ころの位置と関係していることにも言及する価値があります。奇数個の円筒ころ、すなわち $z = 13$ を有するベアリングに M_z の荷重を掛けるので、第1ベアリングにおける円筒ころ上の荷重分布は、第4ベアリングよりも少し小さくなっています。図からわかるように、第4のベアリングのより大きな圧力を有するローラーは、ローラーの数が少ない部分と一致する上半分に配置されているので、ローラーに達する最大圧力は少し高くなっています。最初のベアリングでは、状況は逆です。

第1ベアリングから見た図:



第4ベアリングから見た図

