

チュートリアル

シャフト計算 – スタータースコープ スピンドルベアリングのセット

内容

このチュートリアルでは、シャフト上のアンギュラ玉軸受セットをモデル化する 3 つの方法を示します。それぞれの
方法の主な違い、利点と欠点について説明します。このチュートリアルに従うには、[MESYS ダウンロードセクション](#)
からダウンロードできる関連計算ファイルが必要です。使用する MESYS のバージョンは 12-2024 です。

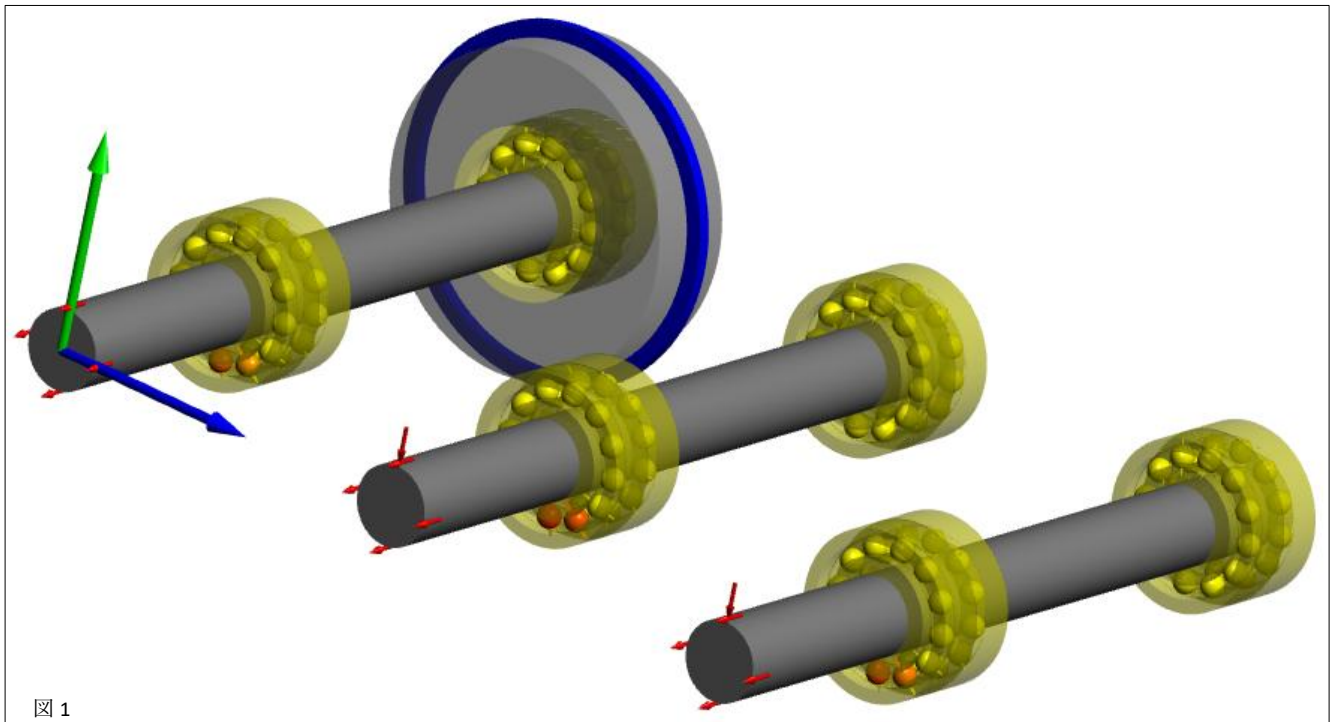


図 1

図 1 に示すように、同じ計算ファイル内で異なる実装(コンセプト)を持つ同じ軸受タイプを比較するために、3 つの
独立したシャフトモデルが作成されています。背中合わせに配置された 2 つのアンギュラ玉軸受でサポートさ
れた各スピンドルシャフトは、そのスピンドル端に作用する成分 F_x と F_y を持つ力の要素を持ちます。

ワーキング側の軸受セットは完全に固定されていると仮定し、もう一方の端に配置された軸受セットはシャフトをラ
ジアル方向にのみ支持します。これら 3 つの軸受配置の実装から生じる境界条件は、最初は等価と見なされます。

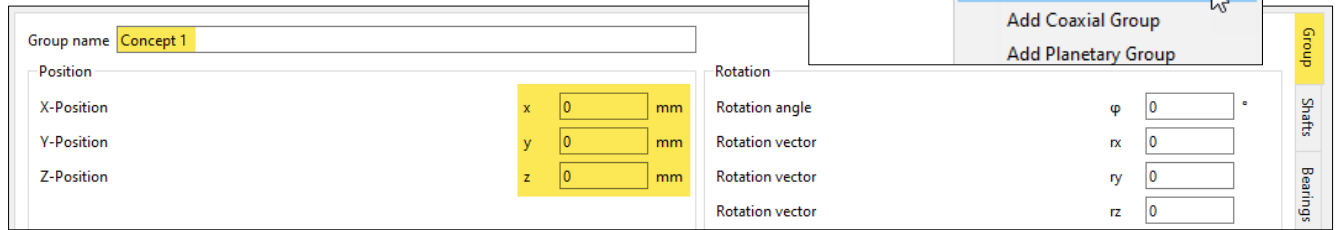
個々の概念については、以下で詳しく説明します。

コンセプト 1 (floating sleeve)

この例では、4 つの単列アンギュラ玉軸受を使用し、各軸受セットの軸受が背中合わせになるようにシャフトに沿っ
て配置します。

構成部品	シャフト	長さ = 200 mm;	外径 $\varnothing = 20$ mm
	中空シャフト	長さ = 24 mm;	外側の $\varnothing = 80$ mm; 内側の $\varnothing = 42$ mm
	軸受	アンギュラ玉軸受	7004D ジェネリック

→ グループを作成し、「Concept 1」と名付ける。このグループを座標原点に置く。



→ 図 2 に示すように、その中に 2 つのシャフトを作成し、1 ページの仕様に従って形状を割り当てます。

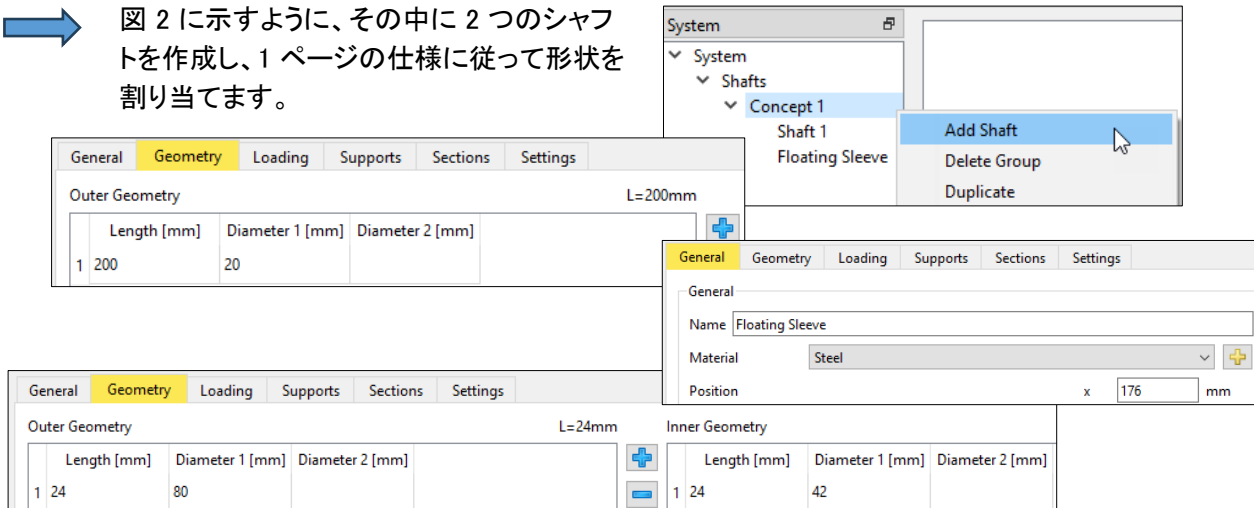


図 2

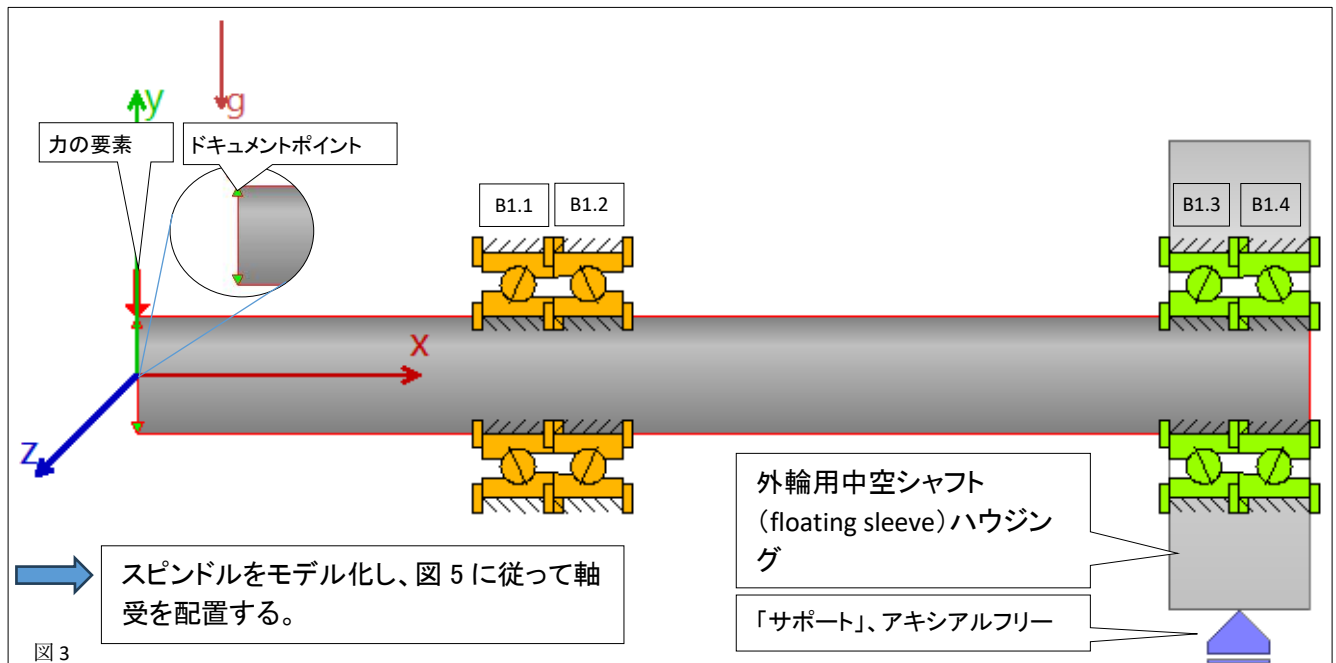
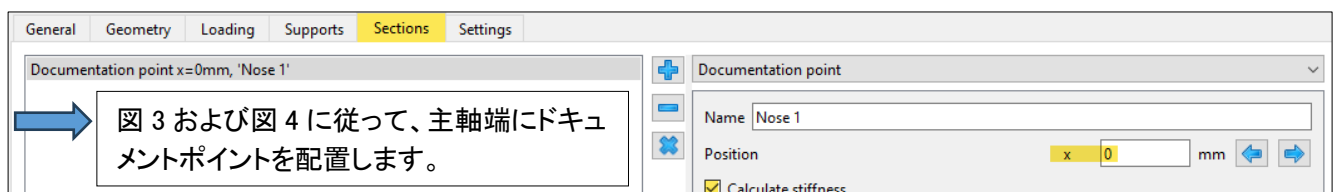
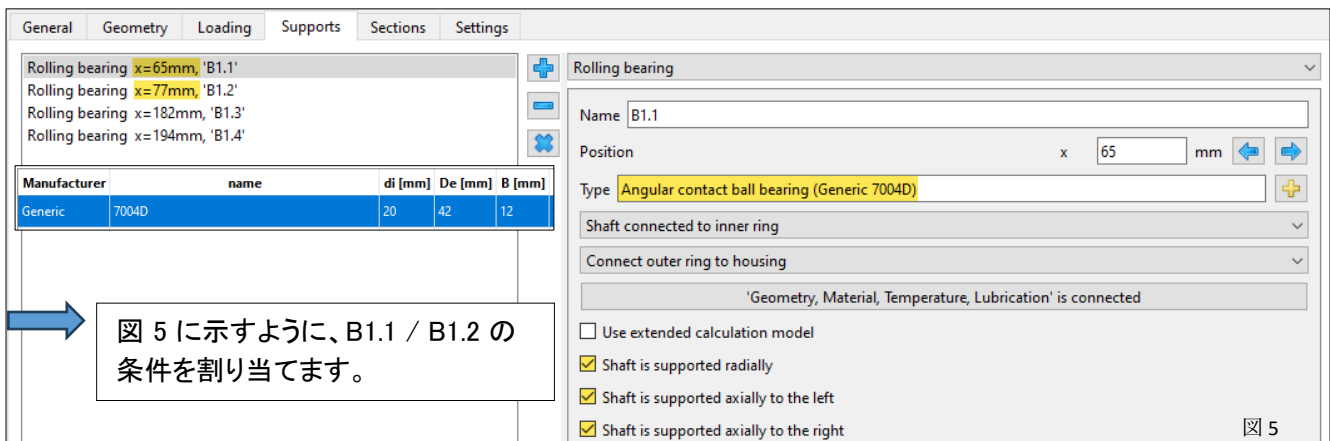


図 3

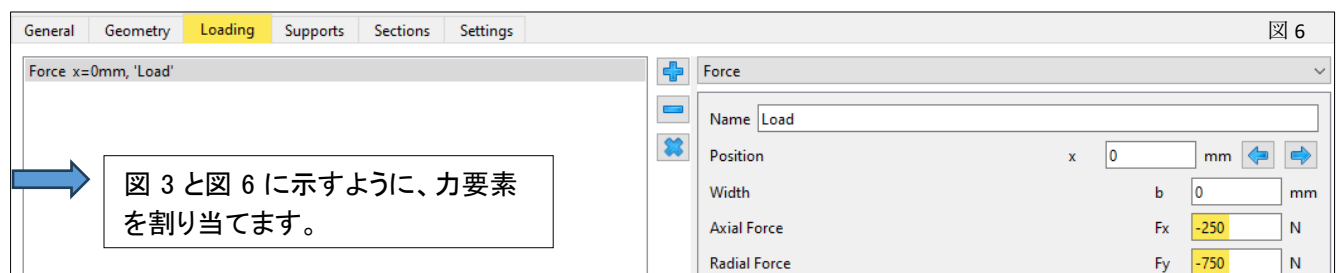


→ 図 3 および図 4 に従って、主軸端にドキュメントポイントを配置します。

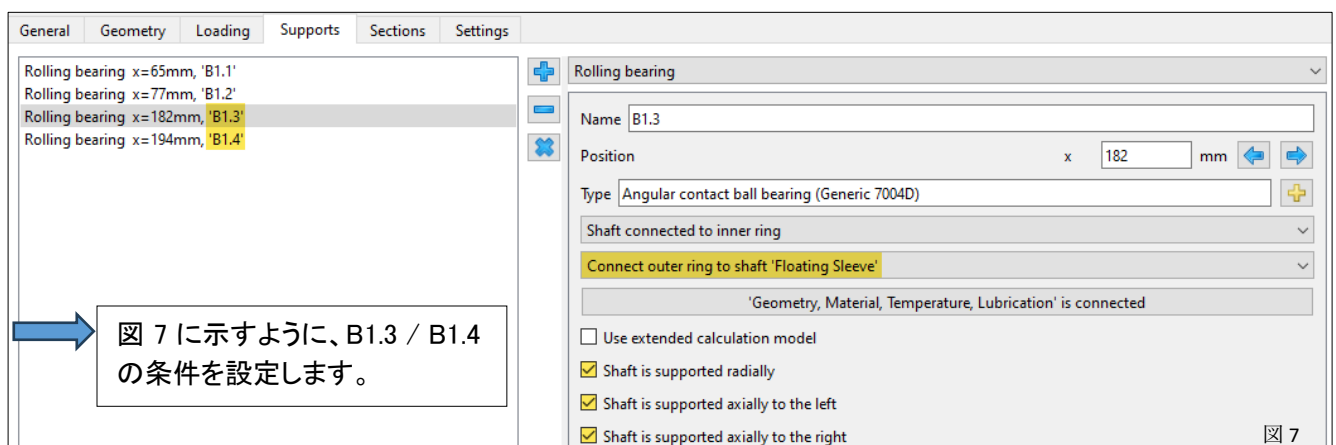
図 4



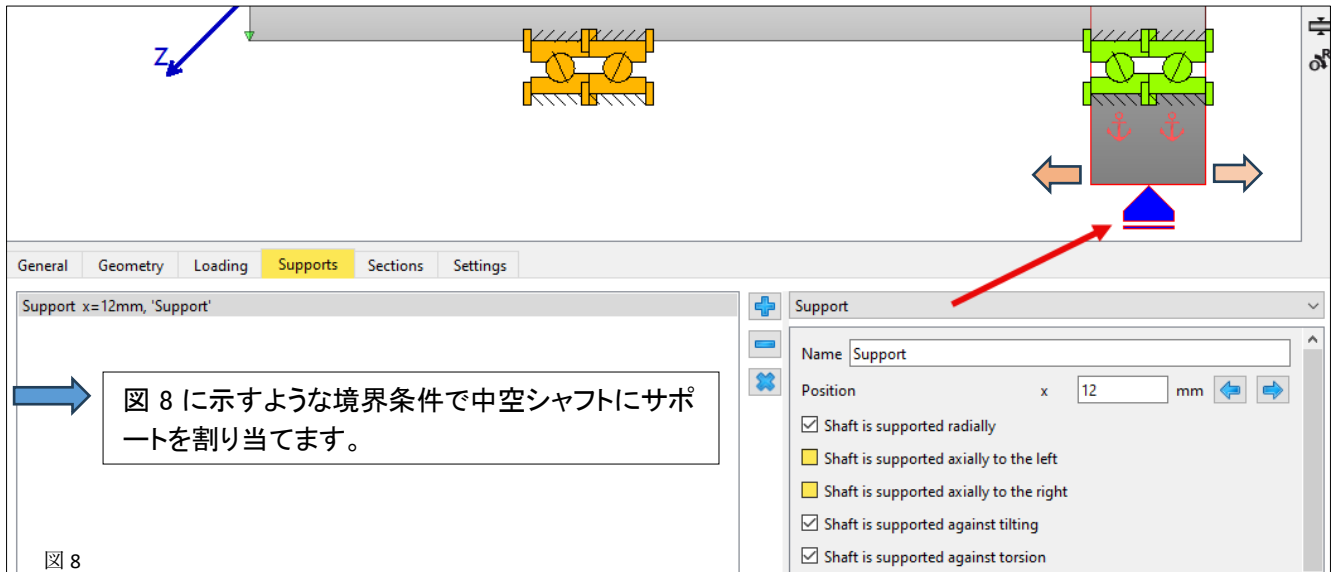
➡ B1.1 / B1.2 外輪を「ハウジング」に接続し(剛体環境)、関連するすべての境界条件を設定することで、フロント軸受セットは固定軸受のように動作します。



➡ B1.3/B1.4 の外輪は、転がり軸受の共通ハウジングとして機能する中空軸(floating sleeve)に接続されています。フローティングスリーブは、軸受のアキシャル方向の相対的な移動を制限すると同時に、力の伝達を担います。このため、フリー軸受セット B1.3 / B1.4 の 2 つのアキシャル境界条件は、「サポートされる」と設定する必要があります(図 7)。



➡ このフリー軸受セット B1.3 / B1.4 の具体的な実装には、2 つの追加要素が必要です: 前述の中空シャフト(「floating sleeve」)で、その外径に適用される支持条件で、アキシャル方向にフリーな状態(アキシャル方向に「サポート」されていない)にします。



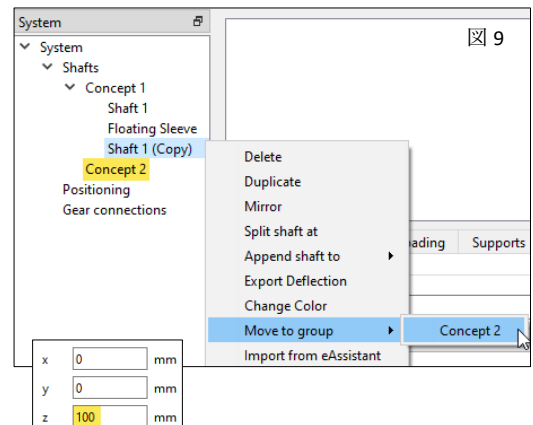
コンセプト 2(軸受の組合せ)

このタイプの軸受ペアの実装では、最初に 2 つの単列アンギュラ玉軸受を定義する必要があります。その後、ソフトウェアオプション「軸受コンフィギュレーション」を使用して、各コンフィギュレーションに対して軸受セットが生成されます。

グループを追加し、「Concept 2」と名付けます。このグループに 100mm の Z 位置を割り当てます。

「Shaft 1」のみをコピーし、「Concept 2」グループに移動します。

全要素のラベルを適宜調整してください。



2 組の軸受セットを使用するこのコンセプトの実装では、2 個のアンギュラ玉軸受を用意するだけです。

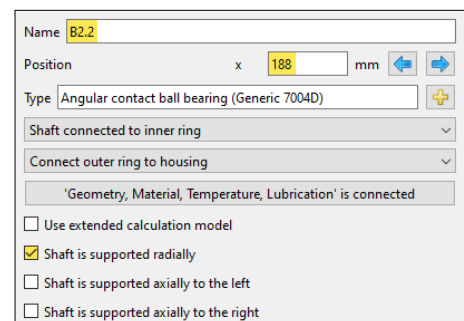
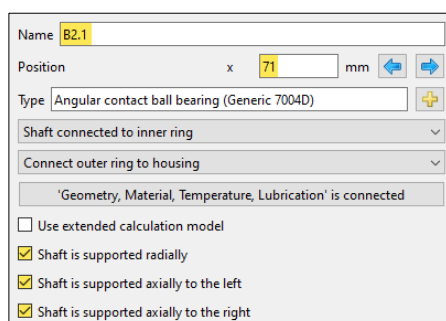
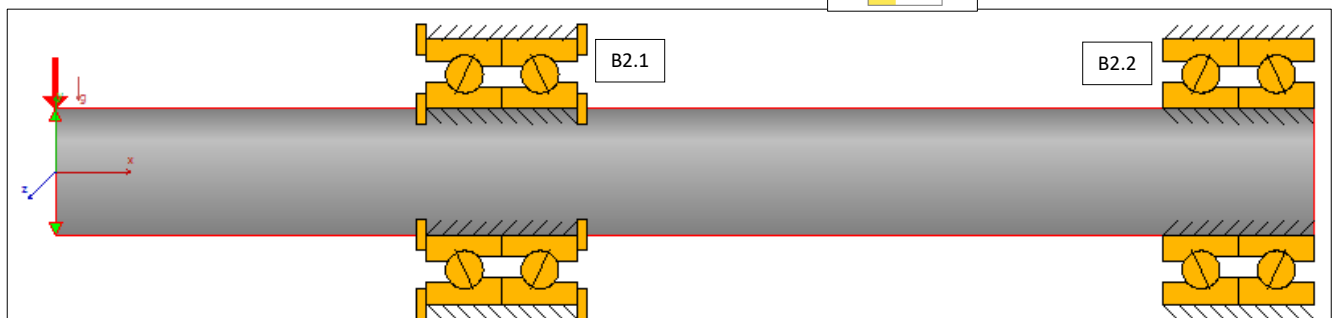


図 10

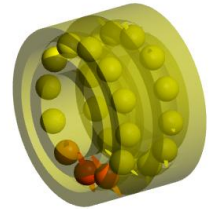
図 11

→ 両方の軸受セットに対して「**軸受のグループを考慮**」オプションを有効にし、図 10 に示すように軸受に名前を付けます。

→ この構成により、軸受は複列アンギュラ玉軸受のように動作します。

→ 主な利点はシンプルな実装にあります。しかし、ある種の荷重条件下では、1 つの列に荷重がかかっていない場合、詳細な数値結果を得ることはできません。これは、荷重分布のための様々なグラフィックを通してのみ観察することができます。

General Bearing geometry Bearing configuration Mat			
☒ Consider group of bearings			
	Position [mm]	Axial Offset [mm]	Center of contact cone
1	-6	0	left
2	6	0	right



コンセプト 3(拡張計算モデル)

このタイプの軸受ペアリングの実装では、「**拡張計算モデル**」オプションを有効にする必要があります。このより複雑なアプローチにより、軸受輪のアキシャルおよびラジアル接触に対する転がり軸受周辺部品のそれぞれの状態を定義することができます。以前のコンセプトとの比較可能性を確保するため、フリー側軸受には「アキシャル接触でラジアル遊びのない外輪の追加シャフト」という設定を選択する必要があります。

→ グループを追加し、「Concept 3」と名付けてください。このグループに 200mm の Z 位置を割り当てます。

x	0	mm
y	0	mm
z	200	mm

→ 「Shaft 1」のみをコピーし、「Concept 3」グループに移動します。

→ すべての要素のラベルを適宜調整してください。

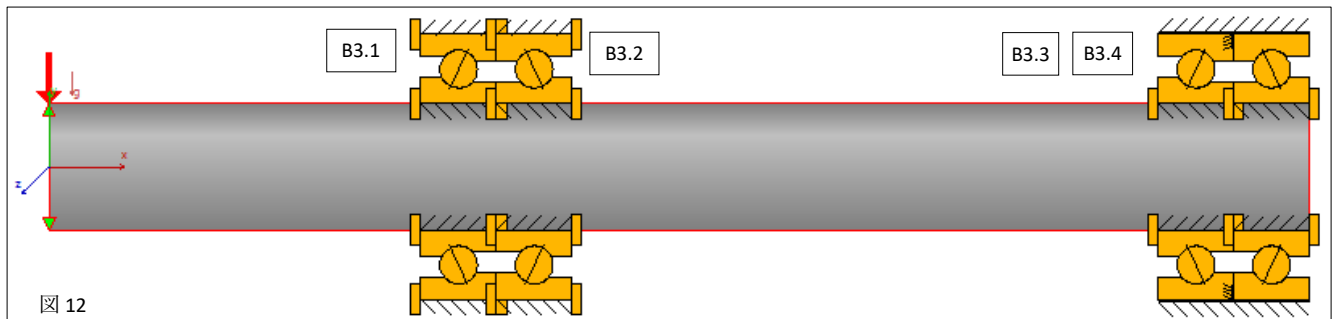


図 12

→ すべての転がり軸受のアキシャル方向位置と固定軸受の境界条件は、「シャフト 1」の場合と全く同じにします。

→ フリー軸受セット B3.3 及び B3.4 の転がり軸受に対して、対応するチェックボックスを使用して「拡張計算モデル」を有効にします(図 13)。

Rolling bearing	
Name	B3.3
Position	x 182 mm
Type	Angular contact ball bearing (Generic 7004D)
Shaft connected to inner ring	
Connect outer ring to housing	
'Geometry, Material, Temperature, Lubrication' is connected	
☒ Use extended calculation model	
No additional shaft for inner ring	
Additional shaft for outer ring with axial contact, no radial clearance	
Left side of outer ring not connected axially	
Right side of outer ring connected to adjacent bearing ring	

Rolling bearing	
Name	B3.4
Position	x 194 mm
Type	Angular contact ball bearing (Generic 7004D)
Shaft connected to inner ring	
Connect outer ring to housing	
'Geometry, Material, Temperature, Lubrication' is connected	
☒ Use extended calculation model	
No additional shaft for inner ring	
Additional shaft for outer ring with axial contact, no radial clearance	
Left side of outer ring connected to adjacent bearing ring	
Right side of outer ring not connected axially	

図 13

- この設定により、内輪は 1 つの中心節点を介してシャフトに接続されます。アキシアル力とラジアル力は伝達され、(軸受リングとシャフトまたはハウジングの間の)遊びはサポートされません。
- 外輪でのこの設定により、軌道輪のための追加の外輪シャフトが作成され、この場合、隣接する軸受がアキシアル方向の接触を定義します。

結果の比較

提示された選択肢は、実際には非常によく似た結果をもたらします。このように、軸受セット「B2.1」は、それぞれ軸受セット「B1.1 / B1.2」、「B3.1 / B3.2」と等価なモデルであり、「B2.2」は、それぞれ「B1.3 / B1.4」、「B3.3 / B3.4」と等価なモデルです。

コンセプト 1 または 3 を使用して軸受セットをモデル化すると、より詳細な情報が得られます。例えば、対応する軸受セットの両列の傾斜角度「rz」(表 1 の青枠のセルを参照)を知ることができる、一方、代替案 2 でモデル化された軸受セットの「rz」は近似値を提供します:

Shaft	Support	Fx [N]	Fy [N]	Mz [Nm]	ux [mm]	uy [mm]	rz [mrad]	L10h [h]
Schiebebüchse	Support	0.0	301.7	-1.5	-0.011	0.000	0.000	
Welle 1	B1.1	607.6	-1'213.3	8.2	-0.015	-0.017	1.116	4'109
Welle 1	B1.2	-857.6	150.0	2.2	-0.015	-0.006	0.837	13'933
Welle 1	B1.3	111.3	212.9	-1.5	-0.004	0.006	-0.235	759'979
Welle 1	B1.4	-111.3	95.5	0.7	-0.004	0.003	-0.245	2'915'684
Welle 2	B2.1	-250.0	-1'056.6	19.1	-0.015	-0.012	0.962	3'219
Welle 2	B2.2	0.0	301.8	-1.2	-0.015	0.004	-0.224	752'878
Welle 3	B3.1	607.6	-1'213.3	8.2	-0.015	-0.017	1.116	4'108
Welle 3	B3.2	-857.6	150.2	2.2	-0.015	-0.006	0.837	13'928
Welle 3	B3.3	111.0	212.4	-1.5	-0.004	0.006	-0.233	765'857
Welle 3	B3.4	-111.0	95.9	0.7	-0.004	0.003	-0.243	2'923'451

表 1: レポート結果表からの抜粋

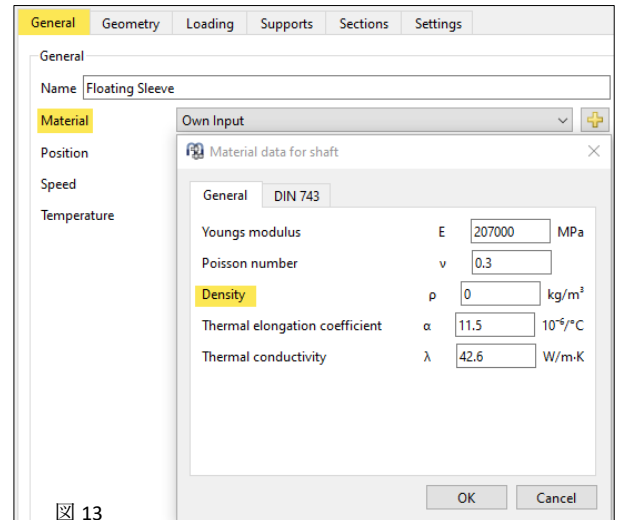
- B1.3/B1.4 のラジアル力「Fy」とシャフト「floating sleeve」の支持力(表 1 の緑枠参照)に注意することが重要です。B1.3 と B1.4 のラジアル力「Fy」の合計は、結果として生じる軸受のラジアル力と等しくなるはずですが、計算上の考察では、わずかに高くなることが判明しました:

$$308,4 \text{ N} = F_{yB1.3} + F_{yB1.4} \neq F_{y\text{FloatingSleeve}} = 301,7 \text{ N}$$

この式が満たされないのは、外輪の重量が考慮されており、それに対応する力が軸受力に対抗しているためであり、正しい式は以下のようになります:

$$F_{yB1.3} + F_{yB1.4} - F_{\text{重量}} = F_{y\text{FloatingSleeve}}$$

モデリングにおいて、重量を考慮すると、コンセプト 1 のシステムは、「floating sleeve」によってアキシアル方向にさらに不要なモーダルシェイプを示す可能性があります。この影響を避けるために、このコンポーネントの密度を $\rho = 0 \text{ kg/m}^3$ に設定することができます：



→ コンセプト 2(B2.1 & B2.2)で決定された耐用年数との比較のために、組合せ軸受の総耐用年数は、個々の列の耐用年数(コンセプト 1 & 3)から次のように計算できることに留意されたい：

$$L_{10h} = \left[\sum L_{10h,i}^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}}$$

これは、コンセプト 1 とコンセプト 3 の列について、コンセプト 2(表 1 の茶色と紫色の網掛けセル)と比較すると、次のようになることを意味します：

$$L_{10h,B1.1/B1.2} = \left[L_{10h,B1.1}^{-\frac{10}{9}} + L_{10h,B1.2}^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = \left[4'109^{-\frac{10}{9}} + 13'933^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = 3'343 \text{ h}$$

$$L_{10h,B1.3/B1.4} = \left[L_{10h,B1.3}^{-\frac{10}{9}} + L_{10h,B1.4}^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = \left[759'979^{-\frac{10}{9}} + 2'915'684^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = 633'351 \text{ h}$$

$$L_{10h,B3.1/B3.2} = \left[L_{10h,B3.1}^{-\frac{10}{9}} + L_{10h,B3.2}^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = \left[4'108^{-\frac{10}{9}} + 13'928^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = 3'343 \text{ h}$$

$$L_{10h,B3.3/B3.4} = \left[L_{10h,B3.3}^{-\frac{10}{9}} + L_{10h,B3.4}^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = \left[765'857^{-\frac{10}{9}} + 2'923'451^{-\frac{10}{9}} \right]^{-\frac{9}{10}} = 637'659 \text{ h}$$

→ 最後に、コンセプト 2 の接触応力は、代替案 1 の接触応力と同じような値を示すことが、グラフィックメニューから確認できます。この値のわずかな違いは、主に、計算において異なる点で傾斜角を考慮した場合に生じる荷重分布の違いによるものです。とはいえ、ここで示したように、同じ目的であれば、どちらの選択肢も問題なく独立して使用することができます：

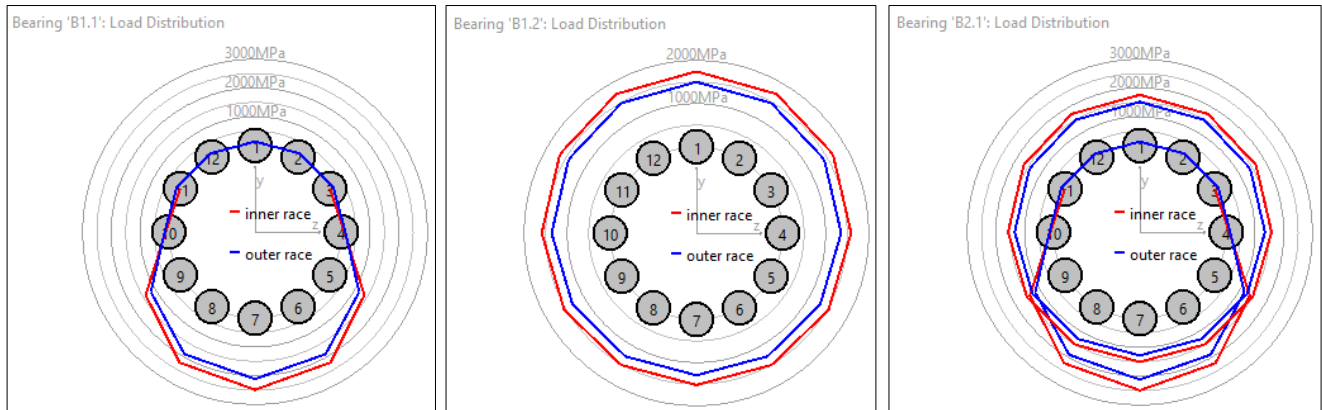


図 14: 固定ベアリング・コンセプト 1 とコンセプト 2 の荷重分布の比較

比較のため、3 つのコンセプトの主軸端のドキュメントポイント(図 4)からの剛性の結果(表 2)も以下に示します:

Shaft	Section	cxx [N/mm]	cyy [N/mm]	czz [N/mm]	cry [Nm/rad]	crz [Nm/rad]
Welle 1	Nose 1	92'809.9	6'700.1	5'738.3	16'965.4	17'917.7
Welle 2	Nose 2	92'846.5	6'492.5	5'560.6	16'888.4	17'851.2
Welle 3	Nose 3	92'809.4	6'699.7	5'738.2	16'965.1	17'917.1

表 2

MESYS のチュートリアルがお客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、ご不明な点がございましたら、info@mesys.ch までご連絡ください。