

MESYS 計算ソフトウェア USER MANUAL

| | | |
|---------|-----------------------|----|
| 1. | 一般 | 17 |
| 1.1 | インストール | 18 |
| 1.1.1 | INIファイルによるコンフィギュレーション | 18 |
| 1.1.1.1 | ビデオのエクスポート | 23 |
| 1.1.1.2 | バックアップファイルの自動保存 | 23 |
| 1.1.2 | アップデート | 24 |
| 1.2 | 動作環境 | 24 |
| 1.3 | 一般的な使用方法 | 24 |
| 1.3.1 | グラフィックス2Dとダイアグラム | 26 |
| 1.3.2 | グラフィックス3D | 27 |
| 1.4 | コマンドラインパラメータ | 28 |
| 1.5 | データベース | 29 |
| 1.5.1 | データベースの名前を変更 | 30 |
| 1.5.2 | データベースに軸受を追加 | 30 |
| 1.5.3 | データベースのテーブル | 32 |
| 1.5.3.1 | 軸受内部すきま、軸受精度 | 32 |
| 1.5.3.2 | 材料(軸受) | 32 |
| 1.5.3.3 | 軸受メーカー | 32 |
| 1.6 | パラメータバリエーション | 33 |
| 1.6.1 | リスト作成 | 33 |
| 1.6.2 | パラメータリスト | 34 |
| 1.6.3 | グラフィックス | 35 |
| 1.6.4 | 最適化 | 36 |
| 1.6.5 | レポート | 39 |
| 1.6.6 | 設定 | 39 |
| 1.7 | 統計的パラメータバリエーション | 40 |
| 1.7.1 | リスト作成 | 41 |
| 1.7.2 | パラメータリスト | 42 |
| 1.7.3 | グラフィックス | 42 |
| 1.7.4 | 分布図 | 43 |
| 1.7.5 | レポート | 44 |
| 1.7.6 | 設定 | 44 |
| 1.8 | 最適化パラメータバリエーション | 45 |
| 1.8.1 | 最適化 | 45 |
| 1.8.2 | パラメータリスト | 46 |
| 1.8.3 | 設定 | 47 |
| 1.9 | 結果 | 48 |
| 1.9.1 | 結果の概要 | 48 |
| 1.9.2 | メインレポート | 49 |
| 1.9.2.1 | テンプレート | 49 |
| 1.9.3 | カスタムレポートテンプレート | 50 |
| 1.9.4 | 結果テーブル | 51 |

| | | |
|------------|---------------------------|-----------|
| 1.10 | COMインターフェース | 51 |
| 1.10.1 | COMサーバーの登録 | 51 |
| 1.10.2 | COMインターフェイスの方法 | 52 |
| 1.10.2.1 | 一般的な方法 | 52 |
| 1.10.2.2 | シャフト計算の追加手法 | 53 |
| 1.10.2.3 | 軸受計算の追加手法 | 54 |
| 1.10.2.4 | ボールねじ計算の追加手法 | 55 |
| 1.10.3 | COMサーバーの使用 | 55 |
| 1.11 | ツール | 60 |
| 1.11.1 | はめあい計算 | 60 |
| 2. | MESYS シャフト計算 | 63 |
| 2.1 | 入力パラメータ | 66 |
| 2.1.1 | システム入力 | 66 |
| 2.1.1.1 | プロジェクト名と計算の概要 | 66 |
| 2.1.1.2 | 設定 | 66 |
| 2.1.1.2.1 | 重量と加速度を考慮 | 66 |
| 2.1.1.2.2 | 重量に対する角度 | 67 |
| 2.1.1.2.3 | 固有振動数を計算 | 67 |
| 2.1.1.2.4 | ジャイロ効果の考慮 | 67 |
| 2.1.1.2.5 | 最大振動数 | 69 |
| 2.1.1.2.6 | 固有振動のモード数 | 69 |
| 2.1.1.2.7 | 静的平衡において動的負荷の考慮 | 69 |
| 2.1.1.2.8 | ハウジング材料、ハウジング温度 | 69 |
| 2.1.1.2.9 | 要求寿命 | 70 |
| 2.1.1.2.10 | 軸受の信頼度 | 70 |
| 2.1.1.2.11 | 強度計算 | 70 |
| 2.1.1.2.12 | 軸受の位置 | 70 |
| 2.1.1.2.13 | せん断変形 | 70 |
| 2.1.1.2.14 | 非線形シャフトモデルを考慮 | 71 |
| 2.1.1.2.15 | 荷重スペクトルを考慮 | 71 |
| 2.1.1.2.16 | 歯車を剛性として考慮 | 71 |
| 2.1.1.2.17 | 歯車を点荷重として考慮 | 72 |
| 2.1.1.2.18 | 修正定格軸受寿命を計算 | 72 |
| 2.1.1.2.19 | コンフィギュレーションを考慮 | 72 |
| 2.1.1.2.20 | ハウジングの剛性を考慮 | 72 |
| 2.1.1.3 | 潤滑油 | 73 |
| 2.1.1.4 | 画面設定 | 73 |
| 2.1.1.5 | システムツリーのシステムオプション | 74 |
| 2.1.2 | シャフトの定義 | 75 |
| 2.1.2.1 | 一般的なシャフトデータ | 76 |
| 2.1.2.1.1 | 名前 | 77 |
| 2.1.2.1.2 | 材料 | 77 |
| 2.1.2.1.3 | 位置決め | 77 |
| 2.1.2.1.4 | 回転数 | 77 |
| 2.1.2.1.5 | 温度 | 77 |
| 2.1.2.2 | 強度計算用のデータ | 77 |
| 2.1.2.2.1 | 荷重係数(静的) | 77 |

| | | |
|-------------|--------------------|-----|
| 2.1.2.2.2 | 荷重係数(疲労) | 77 |
| 2.1.2.2.3 | 過負荷ケース | 78 |
| 2.1.2.2.4 | 熱処理時の直径 | 78 |
| 2.1.2.2.5 | 荷重サイクルの数 | 78 |
| 2.1.2.2.6 | 表面硬さ係数 | 78 |
| 2.1.2.2.7 | 応力比 | 78 |
| 2.1.2.3 | 形状データ | 78 |
| 2.1.2.3.1 | 背景図面 | 79 |
| 2.1.2.3.2 | ポリラインとして形状を設定 | 80 |
| 2.1.2.4 | 荷重 | 80 |
| 2.1.2.4.1 | 荷重 | 81 |
| 2.1.2.4.2 | カップリング | 81 |
| 2.1.2.4.3 | 円筒歯車 | 82 |
| 2.1.2.4.4 | ベベルギア | 83 |
| 2.1.2.4.5 | ウオーム | 83 |
| 2.1.2.4.6 | ウオームギア | 84 |
| 2.1.2.4.7 | 偏心力 | 84 |
| 2.1.2.4.8 | 質量 | 85 |
| 2.1.2.4.9 | 不均衡 | 85 |
| 2.1.2.4.10 | 動的荷重 | 86 |
| 2.1.2.4.11 | プーリ | 86 |
| 2.1.2.5 | サポート | 87 |
| 2.1.2.5.1 | サポート | 88 |
| 2.1.2.5.2 | 一般サポート | 89 |
| 2.1.2.5.3 | 転がり軸受 | 90 |
| 2.1.2.5.3.1 | 拡張計算モデル | 92 |
| 2.1.2.5.3.2 | データベースからの軸受選択 | 93 |
| 2.1.2.5.4 | ラジアル円筒すべり軸受 | 93 |
| 2.1.2.5.5 | ボールねじ | 94 |
| 2.1.2.5.6 | 反作用トルクのカップリング | 94 |
| 2.1.2.5.7 | 剛性マトリックス | 94 |
| 2.1.2.5.8 | 減衰マトリックス | 95 |
| 2.1.2.5.9 | 溶接ポイント | 95 |
| 2.1.2.5.10 | 遊星サポート | 96 |
| 2.1.2.5.11 | アキシアル剛性 | 96 |
| 2.1.2.5.12 | 円筒サポート | 96 |
| 2.1.2.5.13 | 接触剛性 | 98 |
| 2.1.2.5.14 | 励振 | 98 |
| 2.1.2.6 | セクション | 99 |
| 2.1.2.7 | 設定 | 100 |
| 2.1.2.7.1 | 非線形軸受剛性を考慮 | 100 |
| 2.1.2.7.2 | 要素毎に温度を考慮 | 100 |
| 2.1.2.7.3 | パラメータバリエーションで形状を考慮 | 101 |
| 2.1.2.7.4 | ノード密度 | 101 |
| 2.1.2.7.5 | 3次元断面表示 | 101 |
| 2.1.2.7.6 | せん断変形 | 101 |
| 2.1.2.7.7 | 歯車を剛性として考慮 | 101 |
| 2.1.2.7.8 | 色の変更 | 101 |
| 2.1.2.8 | システムツリーのオプション | 102 |

| | | |
|-------------|-------------------------|-----|
| 2.1.2.8.1 | CADファイルからシャフト形状をインポート | 103 |
| 2.1.3 | シャフトグループ | 104 |
| 2.1.4 | 位置決め | 104 |
| 2.1.5 | 歯車接続 | 106 |
| 2.1.5.1 | 円筒歯車ペア | 106 |
| 2.1.5.1.1 | 歯面の修正 | 107 |
| 2.1.5.1.1.1 | 歯面ラインクラウニング | 107 |
| 2.1.5.1.1.2 | 歯面ライン傾斜の修正 | 108 |
| 2.1.5.1.1.3 | 歯面ラインのエンドレリーフ | 109 |
| 2.1.5.1.2 | 励振 | 110 |
| 2.1.5.2 | 遊星歯車セット | 111 |
| 2.1.6 | 荷重スペクトルの計算 | 111 |
| 2.1.6.1 | 1つの荷重スペクトル要素のみを計算 | 112 |
| 2.1.7 | コンフィギュレーション | 112 |
| 2.1.8 | ハウジング剛性マトリックス | 113 |
| 2.1.9 | 3次元弾性パーツ | 115 |
| 2.1.9.1 | シャフトとしての3次元弾性パーツ | 117 |
| 2.1.9.2 | 3次元弾性プラネットキャリア | 119 |
| 2.1.9.2.1 | パラメトリック円形プラネットキャリア | 119 |
| 2.1.9.2.2 | パラメトリックポリゴン型プラネットキャリア | 120 |
| 2.1.9.2.3 | パラメトリック星型プラネットキャリア | 120 |
| 2.1.9.3 | ハウジングとしての3次元弾性パーツ | 121 |
| 2.1.9.4 | CAD形状をインポート | 122 |
| 2.1.9.5 | インポート形状の面選択 | 123 |
| 2.1.9.6 | 設定 | 124 |
| 2.1.9.6.1 | 弾性軸受輪の場合の軸受すきまの詳細 | 126 |
| 2.1.9.6.2 | サブメインにメッシュを分割 | 127 |
| 2.2 | 固有振動数と周波数応答の計算 | 127 |
| 2.3 | 転がり軸受計算へのインターフェース | 128 |
| 2.4 | ボールねじ計算へのインターフェース | 128 |
| 2.5 | SKFベアリングモジュールへのインターフェース | 129 |
| 2.6 | 結果 | 130 |
| 2.6.1 | 結果の概要 | 131 |
| 2.6.2 | 結果テーブル | 131 |
| 2.6.2.1 | シャフトの表 | 132 |
| 2.6.2.2 | セクションの表 | 133 |
| 2.6.2.3 | 軸受の表 | 133 |
| 2.6.2.4 | 固有振動数の表 | 135 |
| 2.6.3 | レポート | 136 |
| 2.6.3.1 | レポートオプション | 137 |
| 2.6.4 | 結果テーブル | 137 |
| 2.6.5 | カスタムレポートテンプレート | 138 |
| 2.6.6 | グラフィックス | 138 |
| 2.6.6.1 | シャフト変位 | 139 |
| 2.6.6.2 | シャフト変位(ラジアル) | 139 |
| 2.6.6.3 | シャフト荷重 | 140 |
| 2.6.6.4 | シャフトモーメント | 140 |

| | | |
|------------|-------------------------|-----|
| 2.6.6.5 | シャフト応力 | 140 |
| 2.6.6.6 | シャフト等価応力 | 141 |
| 2.6.6.7 | シャフト 温度 | 141 |
| 2.6.6.8 | キャンベルダイアグラム | 141 |
| 2.6.6.9 | 速度に対する周波数応答 | 142 |
| 2.6.6.10 | 時間に対する周波数応答 | 142 |
| 2.6.6.11 | 周波数応答3D | 142 |
| 2.6.6.12 | 軸受解析のためのダイアグラム | 142 |
| 2.6.6.13 | 軸受の概要 | 143 |
| 2.6.6.14 | 軸受システムの信頼度 | 143 |
| 2.6.6.15 | 3次元形状 | 143 |
| 2.6.6.16 | 形状 3D (変形) | 144 |
| 2.6.6.17 | 形状 3D (変形アニメーション) | 144 |
| 2.6.6.18 | 形状 3D (アニメーション) | 144 |
| 2.6.6.19 | 3次元形状(パワーフロー) | 145 |
| 2.6.6.20 | 3D-弾性パーツ | 145 |
| 2.6.6.20.1 | 形状 | 145 |
| 2.6.6.20.2 | 形状 3D (変形) | 145 |
| 2.6.6.20.3 | 応力 | 146 |
| 2.6.6.20.4 | 軸受面の変形 | 146 |
| 2.6.6.20.5 | 軸受面の接触応力 | 146 |
| 2.6.6.20.6 | 軸受面のギャップ | 147 |
| 2.6.6.20.7 | 軸受面の通常変位における偏差 | 147 |
| 2.6.6.21 | 接続概要 | 147 |
| 2.6.6.22 | 接続 | 148 |
| 2.6.6.22.1 | 歯車線荷重とギャップ幅 | 148 |
| 2.6.6.22.2 | ギャップ幅 | 148 |
| 2.6.6.22.3 | 歯面の修正 | 148 |
| 2.6.6.22.4 | 相対変位 | 149 |
| 2.6.7 | グラフィックス領域 | 149 |
| 2.6.8 | CAD export | 149 |

3. MESYS 転がり軸受計算 151

| | | |
|----------|-----------------------|-----|
| 3.1 | 入力パラメータ | 154 |
| 3.1.1 | 一般 | 154 |
| 3.1.1.1 | プロジェクト名と計算概要 | 155 |
| 3.1.1.2 | 信頼度 | 155 |
| 3.1.1.3 | aiSOのリミット | 155 |
| 3.1.1.4 | 摩擦係数 | 155 |
| 3.1.1.5 | 潤滑油の膜厚を計算 | 156 |
| 3.1.1.6 | 遠心力を考慮 | 156 |
| 3.1.1.7 | はめあいに温度勾配を考慮 | 156 |
| 3.1.1.8 | 揺動軸受 | 157 |
| 3.1.1.9 | 要求硬化深さの計算 | 157 |
| 3.1.1.10 | 硬化深さに疲労強度を使う | 157 |
| 3.1.1.11 | 要求される表面下安全係数 | 157 |
| 3.1.1.12 | すきまの選択 | 157 |
| 3.1.1.13 | 転動体の温度 | 158 |
| 3.1.1.14 | 最初の転動体の位置 | 158 |
| 3.1.1.15 | ジャイロモーメントのオプション | 158 |

| | | |
|------------|----------------------------|------------|
| 3.1.1.16 | 転動体の寿命 | 159 |
| 3.1.1.17 | 弾性輪の膨張 | 160 |
| 3.1.1.18 | 荷重スペクトルを使う | 160 |
| 3.1.1.19 | 修正定格寿命の計算 | 161 |
| 3.1.1.20 | 圧力分布の拡張機能を使用 | 161 |
| 3.1.1.21 | 応力による静的安全係数の計算 | 161 |
| 3.1.2 | 軸受形状 | 162 |
| 3.1.2.1 | 軸受のタイプ | 162 |
| 3.1.2.1.1 | ラジアル深溝玉軸受 | 163 |
| 3.1.2.1.2 | 深溝玉軸受(2列) | 165 |
| 3.1.2.1.3 | スラスト深溝玉軸受 | 166 |
| 3.1.2.1.4 | ラジアルアンギュラ軸受 | 167 |
| 3.1.2.1.5 | 複列ラジアルアンギュラ軸受 | 167 |
| 3.1.2.1.6 | スラストアンギュラ軸受 | 169 |
| 3.1.2.1.7 | 複列スラストアンギュラ軸受 | 169 |
| 3.1.2.1.8 | ラジアル軸受として扱われる4点接触玉軸受 | 170 |
| 3.1.2.1.9 | スラスト軸受として扱われる4点接触玉軸受 | 171 |
| 3.1.2.1.10 | 3点接触玉軸受 | 172 |
| 3.1.2.1.11 | 自動調心玉軸受 | 172 |
| 3.1.2.1.12 | 自動調心玉軸受(複列) | 172 |
| 3.1.2.1.13 | 複列深溝玉軸受 | 173 |
| 3.1.2.1.14 | ラジアル円筒ころ軸受 | 174 |
| 3.1.2.1.15 | ラジアル円筒ころ軸受(複列) | 176 |
| 3.1.2.1.16 | ニードル軸受 | 176 |
| 3.1.2.1.17 | スラスト円筒ころ軸受 | 177 |
| 3.1.2.1.18 | スラスト円筒ころ軸受(複列) | 177 |
| 3.1.2.1.19 | ラジアル円すいころ軸受 | 178 |
| 3.1.2.1.20 | ラジアル円すいころ軸受(複列) | 179 |
| 3.1.2.1.21 | スラスト円すいころ軸受 | 180 |
| 3.1.2.1.22 | バーレルころ軸受 | 180 |
| 3.1.2.1.23 | トロイダルころ軸受 | 181 |
| 3.1.2.1.24 | 自動調心ころ軸受 | 182 |
| 3.1.2.1.25 | ハーフラジアル自動調心ころ軸受 | 182 |
| 3.1.2.1.26 | スラスト自動調心ころ軸受 | 183 |
| 3.1.2.1.27 | クロスローラ軸受 | 184 |
| 3.1.2.1.28 | アンギュラころ転がり軸受 | 184 |
| 3.1.2.2 | 軸受形状の近似 | 184 |
| 3.1.2.3 | 荷重容量 | 186 |
| 3.1.2.3.1 | 基本動定格荷重 | 186 |
| 3.1.2.3.2 | 基本静定格荷重 | 187 |
| 3.1.2.3.3 | 疲労限荷重 | 187 |
| 3.1.2.4 | 内径、外径、幅 | 187 |
| 3.1.2.5 | 軌道輪の変形量 | 187 |
| 3.1.2.6 | 転動体の数 | 189 |
| 3.1.2.7 | 転動体の径 | 190 |
| 3.1.2.8 | ピッチ円径 | 190 |
| 3.1.2.9 | 接触角 | 190 |
| 3.1.2.10 | 内輪と外輪の曲率比 | 191 |
| 3.1.2.11 | ころの曲率比 | 191 |
| 3.1.2.12 | 列間の距離 | 191 |

| | | |
|------------|-----------------------------|-----|
| 3.1.2.13 | ローラーの有効長さ | 191 |
| 3.1.2.13.1 | ローラーのプロファイルの設定 | 192 |
| 3.1.2.14 | ローラー中心のオフセット | 195 |
| 3.1.2.15 | 内輪と外輪の肩の径 | 196 |
| 3.1.2.16 | 列中心への距離 | 197 |
| 3.1.2.17 | 軸受内部すきま | 197 |
| 3.1.2.18 | ラジアルすきま | 198 |
| 3.1.2.19 | アキシアルすきま | 198 |
| 3.1.2.20 | 軸受精度 | 199 |
| 3.1.2.20.1 | 多層はめあい | 199 |
| 3.1.2.21 | シャフト/ハウジングのはめあい | 200 |
| 3.1.2.22 | シャフト内径/ハウジング外径 | 200 |
| 3.1.2.23 | シャフトとハウジングの表面粗さ | 201 |
| 3.1.3 | 軸受コンフィギュレーション | 201 |
| 3.1.4 | 潤滑油 | 202 |
| 3.1.4.1 | 汚染係数 | 202 |
| 3.1.4.2 | 動粘度 | 203 |
| 3.1.4.3 | EP-添加剤 | 203 |
| 3.1.4.4 | 潤滑油温度 | 204 |
| 3.1.4.5 | 潤滑油の密度 | 204 |
| 3.1.4.6 | 圧力粘度係数 | 204 |
| 3.1.5 | 材料 | 204 |
| 3.1.5.1 | 表面硬さ | 205 |
| 3.1.5.2 | コア強度(内溝、外溝) | 205 |
| 3.1.5.3 | 表面粗さ | 205 |
| 3.1.5.4 | 軌道輪、転動体、シャフト、ハウジングの材料 | 206 |
| 3.1.6 | 荷重 | 207 |
| 3.1.6.1 | 座標系 | 207 |
| 3.1.6.2 | 荷重に内輪が回転 | 207 |
| 3.1.6.3 | 内輪の温度 | 208 |
| 3.1.7 | 荷重スペクトル | 208 |
| 3.1.8 | トラックローラー | 209 |
| 3.1.8.1 | サポートする軸受のタイプ | 210 |
| 3.1.8.2 | トラックローラーの形状 | 211 |
| 3.1.8.3 | 対称型の形状 | 211 |
| 3.1.8.4 | せん断変形を考慮 | 211 |
| 3.1.8.5 | 標準値の計算 | 211 |
| 3.1.8.6 | L10r=1を使ったCwの計算 | 212 |
| 3.1.8.7 | C0wとCuwの計算オプション | 212 |
| 3.1.8.8 | 許容静的曲げ応力 | 213 |
| 3.1.8.9 | 許容動的曲げ応力 | 213 |
| 3.1.8.10 | 平均応力影響 | 214 |
| 3.1.8.11 | 荷重のアキシアル位置 | 214 |
| 3.1.8.12 | 形状データのマニュアル入力 | 214 |
| 3.1.8.13 | 二次モーメント | 214 |
| 3.1.8.14 | 重心位置 | 214 |
| 3.1.8.15 | 断面 | 214 |
| 3.1.8.16 | 限界点 | 215 |
| 3.1.8.17 | トラックローラー荷重 | 215 |
| 3.1.8.17.1 | トラックローラーの荷重スペクトル | 216 |

| | | |
|----------|-----------------------|-----|
| 3.2 | 熱許容回転数 | 217 |
| 3.3 | グリースの寿命 | 219 |
| 3.4 | 定格荷重ダイアグラム | 219 |
| 3.5 | ホイール軸受の計算 | 221 |
| 3.6 | 結果 | 222 |
| 3.6.1 | 結果の概要 | 223 |
| 3.6.2 | メイン結果レポート | 224 |
| 3.6.2.1 | メインレポートの保存 | 225 |
| 3.6.2.2 | レポートのロゴをカスタマイズ | 225 |
| 3.6.3 | 公差レポート | 225 |
| 3.6.4 | カスタムレポートテンプレート | 225 |
| 3.6.5 | 結果グラフィックス | 226 |
| 3.6.5.1 | 軸受コンフィギュレーション | 226 |
| 3.6.5.2 | 荷重分布 | 226 |
| 3.6.5.3 | 荷重分布2D | 227 |
| 3.6.5.4 | 荷重分布3D | 227 |
| 3.6.5.5 | ころ軸受の接触応力 | 227 |
| 3.6.5.6 | 接触応力 | 228 |
| 3.6.5.7 | 接触角 | 228 |
| 3.6.5.8 | スピン/ころがり比 | 228 |
| 3.6.5.9 | 最大溝間のボールギャップ | 229 |
| 3.6.5.10 | ボール公転速度 | 229 |
| 3.6.5.11 | ボール進み遅れ | 229 |
| 3.6.5.12 | ジャイロ効果の滑り係数 | 230 |
| 3.6.5.13 | 摩耗パラメータQV | 230 |
| 3.6.5.14 | 摩耗パラメータ PVmax | 230 |
| 3.6.5.15 | 摩耗パラメータ PV (長軸) | 231 |
| 3.6.5.16 | 接触応力と滑り速度(長軸) | 231 |
| 3.6.5.17 | 熱伝導 | 231 |
| 3.6.5.18 | 油膜パラメータ | 232 |
| 3.6.5.19 | 油膜厚 | 232 |
| 3.6.5.20 | 転動体荷重 | 232 |
| 3.6.5.21 | ローラープロファイル | 233 |
| 3.6.5.22 | 信頼度 | 233 |
| 3.6.5.23 | 表面下応力 | 233 |
| 3.6.5.24 | 直交せん断応力 | 234 |
| 3.6.5.25 | 直交せん断応力 深さ | 234 |
| 3.6.5.26 | 直交せん断応力 短軸 | 234 |
| 3.6.5.27 | 接触寸法 | 235 |
| 3.6.5.28 | 肩の接触寸法 | 235 |
| 3.6.5.29 | 定格荷重ダイアグラム | 235 |
| 3.6.5.30 | トラックローラー形状 | 236 |
| 3.6.5.31 | トラックローラー曲げモーメント | 236 |
| 3.6.5.32 | トラックローラー曲げ応力 | 236 |
| 3.6.5.33 | トラックローラー荷重 | 237 |
| 3.6.5.34 | トラックローラー変位 | 237 |
| 3.6.5.35 | 荷重に対する変位 | 237 |
| 3.6.5.36 | 荷重に対する回転 | 238 |
| 3.6.5.37 | 荷重に対する寿命 | 238 |

| | | |
|----------|------------------|-----|
| 3.6.5.38 | はめ合いの結果 | 238 |
| 3.6.5.39 | 軌道輪のラジアル膨張 | 239 |

4. MESYS ボールねじ計算 241

| | | |
|-----------|----------------------------|-----|
| 4.1 | 入力パラメータ | 242 |
| 4.1.1 | 一般 | 242 |
| 4.1.1.1 | プロジェクト名と計算概要 | 243 |
| 4.1.1.2 | 荷重スペクトルを使う | 243 |
| 4.1.1.3 | ISO 3408-5に従ってCOaを計算 | 244 |
| 4.1.1.4 | ISO 3408-5に従ってCaを計算 | 244 |
| 4.1.1.5 | ISO 3408-5に従って信頼度を計算 | 244 |
| 4.1.1.6 | 2点の接触角の入力 | 244 |
| 4.1.1.7 | 信頼度 S | 244 |
| 4.1.1.8 | 3D表示における応力の倍率 s | 244 |
| 4.1.1.9 | 最初の溝のスタート角 Ψ_0 | 244 |
| 4.1.1.10 | すきまの発生 | 245 |
| 4.1.1.11 | ボールねじとナットのアキシャル膨張 | 245 |
| 4.1.1.12 | 弾性輪の膨張 | 245 |
| 4.1.2 | ボールねじ形状 | 246 |
| 4.1.2.1 | 負荷容量 | 246 |
| 4.1.2.1.1 | 動定格荷重 | 247 |
| 4.1.2.1.2 | 静定格荷重 | 247 |
| 4.1.2.2 | 始点の数 | 247 |
| 4.1.2.3 | 巻数 | 247 |
| 4.1.2.4 | リード | 247 |
| 4.1.2.5 | リード角 | 247 |
| 4.1.2.5.1 | 方向 | 247 |
| 4.1.2.6 | 1巻毎のボール荷重の数 | 247 |
| 4.1.2.7 | 転動体径 | 247 |
| 4.1.2.8 | ピッチ円径 | 247 |
| 4.1.2.9 | 接触角 | 248 |
| 4.1.2.10 | ボールねじとボールナットの曲率比 | 248 |
| 4.1.2.11 | 内輪と外輪の肩の径 | 248 |
| 4.1.2.12 | アキシャルすきま | 249 |
| 4.1.2.13 | 精度クラス | 249 |
| 4.1.2.14 | 材料 | 249 |
| 4.1.2.15 | ボールねじの内径 | 250 |
| 4.1.2.16 | ナットの外径 | 250 |
| 4.1.2.17 | ボールねじリードエラー | 250 |
| 4.1.3 | 軸受コンフィギュレーション | 250 |
| 4.1.4 | 荷重 | 251 |
| 4.1.4.1 | 座標系 | 251 |
| 4.1.4.2 | 内輪が荷重に対して回転 | 251 |
| 4.1.4.3 | 外輪が荷重に対して回転 | 252 |
| 4.1.4.4 | ねじとナットの温度 | 252 |
| 4.1.5 | 荷重スペクトル | 252 |
| 4.2 | 結果 | 253 |
| 4.2.1 | 結果の概要 | 253 |
| 4.2.2 | 主な結果レポート | 254 |
| 4.2.2.1 | メインレポートの保存 | 254 |

| | | |
|--------------|------------------------------------|------------|
| 4.2.2.2 | レポートロゴのカスタマイズ | 254 |
| 4.2.3 | 結果グラフィックス | 255 |
| 4.2.3.1 | 荷重分布3D | 255 |
| 4.2.3.2 | 接触応力 | 255 |
| 4.2.3.3 | 接触角 | 256 |
| 4.2.3.4 | ボール荷重 | 256 |
| 4.2.3.5 | ボールの進み遅れ | 256 |
| 4.2.3.6 | ボール公転速度 | 257 |
| 4.2.3.7 | 接触応力と滑り速度(長軸) | 257 |
| 4.2.3.8 | 接触寸法 | 257 |
| 5. | MESYS ヘルツ計算 | 259 |
| 5.1 | 入力パラメータ | 260 |
| 5.1.1 | プロジェクト名と計算概要 | 261 |
| 5.1.2 | 接触している物体 | 261 |
| 5.1.2.1 | 曲率半径 | 261 |
| 5.1.2.2 | 材料特性 | 262 |
| 5.1.3 | 一般 | 262 |
| 5.1.3.1 | 通常の荷重 | 262 |
| 5.1.3.2 | 軸間の角度 | 262 |
| 5.1.3.3 | 線接触の長さ | 263 |
| 5.2 | 結果 | 263 |
| 5.2.1 | 結果の概要 | 264 |
| 5.2.2 | 主な結果レポート | 265 |
| 5.2.2.1 | メインレポートの保存 | 265 |
| 5.2.2.2 | レポートロゴのカスタマイズ | 265 |
| 5.2.3 | 結果グラフィックス | 265 |
| 5.2.3.1 | 物体1、物体2の応力曲線 | 266 |
| 5.2.3.2 | 荷重に対する変位 | 266 |
| 5.2.3.3 | 荷重に対する応力 | 266 |
| 5.2.3.4 | 直行せん断応力 | 267 |
| 5.2.3.5 | 直行せん断応力 2D | 267 |
| 6. | MESYS アキシアルラジアルころ軸受計算 | 269 |
| 6.1 | 一般的な使用方法 | 270 |
| 6.2 | 入力 | 270 |
| 6.2.1 | 一般 | 271 |
| 6.2.1.1 | パーツの数 | 271 |
| 6.2.1.2 | ベアリングの数 | 271 |
| 6.2.1.3 | メッシュのための最大角度 | 272 |
| 6.2.1.4 | ボルト締結の数 | 272 |
| 6.2.1.5 | 荷重スペクトルを考慮 | 272 |
| 6.2.1.6 | 入出力のみ | 272 |
| 6.2.1.7 | 一般形状入力を許可 | 272 |
| 6.2.1.8 | 面荷重の数 | 272 |
| 6.2.1.9 | 接触の数 | 272 |
| 6.2.1.10 | 転がり軸受の信頼度 | 273 |
| 6.2.1.11 | シリーズの計算 | 273 |
| 6.2.1.12 | 潤滑油 | 273 |

| | | |
|----------|---------------------------------|------------|
| 6.2.2 | パーツの形状 | 274 |
| 6.2.2.1 | 要素サイズ | 275 |
| 6.2.2.2 | 回転数 | 275 |
| 6.2.2.3 | 境界条件 | 275 |
| 6.2.3 | ボルト締結 | 276 |
| 6.2.4 | ベアリング | 277 |
| 6.2.4.1 | 転動体の数 | 277 |
| 6.2.4.2 | ころの直径 | 277 |
| 6.2.4.3 | ピッチ円径 | 277 |
| 6.2.4.4 | ローラーの有効長さ | 277 |
| 6.2.4.5 | ラジアル／アキシャルすきま | 278 |
| 6.2.4.6 | アキシャル位置 | 278 |
| 6.2.4.7 | プロファイル | 278 |
| 6.2.4.8 | 表面硬さ | 281 |
| 6.2.4.9 | 基本動定格荷重 | 282 |
| 6.2.4.10 | 基本静定格荷重 | 282 |
| 6.2.4.11 | 疲労荷重 | 282 |
| 6.2.5 | クロスローラベアリング | 282 |
| 6.2.6 | 荷重 | 283 |
| 6.2.6.1 | 面荷重 | 284 |
| 6.2.6.2 | 集中荷重 | 284 |
| 6.2.7 | 荷重スペクトル | 284 |
| 6.3 | 結果 | 284 |
| 6.3.1 | 変位のための係数 | 285 |
| 6.3.2 | 変形グラフィックス用の角度 | 285 |
| 6.3.3 | グラフィックスのための最小応力と最大応力 | 285 |
| 6.3.4 | 剛性の計算 | 285 |
| 6.3.5 | グラフィックス | 285 |
| 6.3.5.1 | 3Dビュー | 285 |
| 6.3.5.2 | 3次元形状断面図 | 285 |
| 6.3.5.3 | 軸受 3次元 | 286 |
| 6.3.5.4 | 形状 | 286 |
| 6.3.5.5 | 変形 | 287 |
| 6.3.5.6 | 変位 | 287 |
| 6.3.5.7 | 荷重係数に対する変位量 | 288 |
| 6.3.5.8 | 荷重係数に対する傾き角 | 288 |
| 6.3.5.9 | パーツの等価応力 | 289 |
| 6.3.5.10 | パーツのアキシャル、ラジアル、タンジェンシャル応力 | 289 |
| 6.3.5.11 | ベアリングの接触応力 | 290 |
| 6.3.5.12 | 角度による接触応力 | 290 |
| 6.3.5.13 | 角度による荷重 | 291 |
| 6.3.5.14 | ローラープロファイル | 291 |
| 6.3.5.15 | 角度によるボルト荷重 | 292 |
| 7. | MESYS 円筒歯車ペア | 293 |
| 7.1 | 入力パラメータ | 294 |
| 7.1.1 | 一般 | 294 |
| 7.1.2 | 形状 | 296 |
| 7.1.2.1 | 歯直角モジュール | 296 |

| | | |
|------------|-----------------------------|------------|
| 7.1.2.2 | 歯直角圧力角 | 296 |
| 7.1.2.3 | ねじれ角 | 296 |
| 7.1.2.4 | 中心距離 | 296 |
| 7.1.2.5 | 歯数 | 297 |
| 7.1.2.6 | 歯幅 | 297 |
| 7.1.2.7 | 転位係数 | 297 |
| 7.1.2.8 | 歯先直径 | 297 |
| 7.1.2.9 | 内径 | 297 |
| 7.1.2.10 | 歯直角歯厚許容値 DIN 3967 | 297 |
| 7.1.2.11 | 公差クラス ISO 1328 | 298 |
| 7.1.2.12 | 要求寿命 | 298 |
| 7.1.2.13 | 応用係数 | 298 |
| 7.1.2.14 | トルクと回転数 | 298 |
| 7.1.2.15 | 材料特性 | 298 |
| 7.1.2.16 | 潤滑材 | 298 |
| 7.1.3 | 基準プロファイル | 298 |
| 7.1.4 | 強度の詳細 | 299 |
| 7.1.5 | 荷重スペクトル | 300 |
| 7.1.5.1 | 単一の荷重スペクトル要素のみの計算 | 301 |
| 7.2 | 結果 | 301 |
| 7.2.1 | 結果グラフィックス | 301 |
| 7.2.1.1 | 直径によるすべり率 | 301 |
| 7.2.1.2 | 転位によるすべり率 | 302 |
| 7.2.1.3 | 転位による安全率 | 302 |
| 7.2.1.4 | 歯元応力 | 302 |
| 7.2.1.5 | 歯元応力 (2D) | 303 |
| 7.2.1.6 | 歯形 | 303 |
| 7.2.1.7 | 単一歯 | 303 |
| 7.2.1.8 | 加工 | 304 |
| 7.2.1.9 | 形状 (2D) | 304 |
| 7.2.1.10 | 形状 (3D) | 304 |
| 7.2.1.11 | 歯車かみ合い | 305 |
| 7.2.1.12 | 歯車かみ合い (3D) | 305 |
| 7.2.1.13 | 寿命による安全係数 | 305 |
| 7.2.1.14 | 寿命による限界応力 | 306 |
| 7.2.1.15 | 寿命による許容応力 | 306 |
| 7.2.1.16 | 寿命による許容トルク | 306 |
| 7.2.2 | CAD エクスポート | 306 |
| 8. | MESYS 単一円筒歯車 | 307 |
| 8.1 | 入力パラメータ | 308 |
| 8.1.1 | 一般 | 308 |
| 8.1.2 | 形状 | 308 |
| 8.2 | 結果 | 308 |
| 9. | MESYS 歯車位置決め計算 | 309 |
| 9.1 | 入力パラメータ | 310 |
| 9.1.1 | 一般 | 310 |
| 9.1.2 | 3つの歯車、2つのパス | 311 |

| | | |
|--------------|-------------------|------------|
| 9.1.2.1 | システムデータ | 312 |
| 9.1.2.2 | 歯車 | 313 |
| 9.1.3 | 4つの歯車、2つのパス | 313 |
| 9.1.3.1 | システムデータ | 313 |
| 9.2 | 結果 | 314 |
| 10. | 参考文献 | 317 |
| Index | | 323 |

一般

1 一般

この章では、MESYS 計算ソフトウェアに関する一般的な情報を提供します。インストール、アップデート、一般的な使用方法について説明します。

各計算プログラムの詳細については、次の章に記載されています。利用可能なプログラムは以下の通りです。

- [シャフト計算](#) ^[64]
- [転がり軸受の計算](#) ^[152]
- [ボールねじ計算](#) ^[242]
- [ヘルツ応力の計算](#) ^[260]
- [円筒歯車ペア計算](#) ^[294]
- [アキシアル/ラジアルアルにろ軸受の計算](#) ^[270]
- [歯車位置決め](#) ^[310]

1.1 インストール

インストーラーを実行する際に、インストール先のディレクトリを選択することができます。デフォルトは、“%Program Files%\MESYS 12/2024”です。そのディレクトリにすべてのファイルがインストールされます。また、スタートメニューにエントリが作成されます。

スタートメニューからアンインストーラーを呼び出すことができます。アンインストーラーをスタートメニューから呼び出すと、インストールディレクトリとスタートメニューのエントリが削除されます。

ライセンスファイルがない場合、ソフトウェアはデモバージョンとして動作します。デモバージョンでは、ファイルの保存、読み込みはできません。また、計算のたびにデモメッセージが表示され、いくつかの機能が無効になります。デモバージョンは、本ソフトウェアの評価のためにのみ使用することができます。

ライセンスファイル 'license.dat' はインストールディレクトリ (MesysShaft.exe と同じディレクトリ) に配置する必要があります。ソフトウェアがライセンスファイルを見つけられなくなるので、ライセンスファイル名は変更できません。

1.1.1 INIファイルによるコンフィギュレーション

ソフトウェアのいくつかのコンフィギュレーションは、インストールフォルダ内の 'mesys.ini' を使用して行うことができます。

現在のところ、データベースへのアクセスとレポートのフォーマットに関する設定に使用されています。

| セクション | 値 | 概要 |
|---------|------------------------|--|
| General | recentfilenumber | 本ソフトウェアのファイルメニューに表示される最近のファイルの数 |
| | floatinglicense | フローティングライセンスのライセンスファイルへのパス。このファイルは本ソフトウェアによって書き込まれますが、他のインストールにコピーされることもあります。 フォーマット: \\Server\Share\path\license.lic 注: 各「¥」はダブルでなければなりません。 |
| | floatingtimeout | プログラムを使用しない場合、フローティングライセンスが解除される時間(秒)です。デフォルトは1800です。 |
| | licenselogfile | フローティングライセンスでは、このエントリを使用してログファイルを定義できます。ソフトウェアの使用に関するいくつかの情報は、このファイルに報告されます。パスセパレーターは、/ または ¥ を使用し、¥ は使用しないでください。 |
| | fontsize | フォントサイズ(ポイント)、デフォルトは0、オペレーティングシステムに依存します。 |
| | style | Windows、Fusion、Windowsvistaのいずれか。 |
| | listseparator | テーブルエクスポートのセパレーターとして使用される文字。設定されていない場合、オペレーティングシステムのデフォルト設定が使用されます。 |
| | systemlocale | オペレーティングシステムの小数点に対応する場合はtrue、小数点以下の区切り文字に.は、false。 |
| | usecalculatethread | 計算が別スレッドで行われる場合はtrue、そうでない場合はfalseを指定します。 |
| | ffmpegpath | アニメーションからビデオを作成するためのプログラムffmpegへのパスです。これは www.ffmpeg.org にあります。 パスセパレーターは/または¥を使用しますが、¥は使用しません。 |
| | helpFormat | ヘルプを表示させるには、“mesys.chm”を使うために、“CHM”を使ってください。これはネットワーク上では動作しないかもしれません。よって、“WEB”を使用すると、ウェブブラウザでヘルプを表示することができます。“EXE”を使用すると、ネットワーク共有でも動作するカスタマービューア“MesysManual”が使用されます。 もう一つのオプションは“HTML”で、これはサブフォルダー“help”にあるヘルプを探します。この場合、デフォルトのインストールではこのフォルダーは提供されないため、 support@mesys.ch に連絡してください。 |
| | allownesteddockwindows | trueに設定すると、ドッキングされたウィンドウを複数の列に設定することができます。デフォルトはfalseです。 |
| | disablewheelforlists | trueに設定すると、マウスのホイールで選択入力に変化しないようになります。 |

| セクション | 値 | 概要 |
|-----------------|---------------------|--|
| | showcalculationtime | trueに設定すると、計算に必要な時間をステータスバーに表示します。 |
| database | path | データベースファイルのパスを定義することができます。データベースはサーバーにコピーすることができるので、すべてのソフトウェアユーザーが同じデータベースを共有することができます。ファイル名をパスなしで指定した場合、インストールディレクトリから開かれます。パス区切り文字として、'/' または '\¥' を使用しますが、¥ は使用しません。 |
| | iswritable | データベースを変更してもよい場合は、trueを指定します。falseに設定すると、本ソフトウェアによってデータベースが変更されることはありません。 |
| | usecache | trueに設定すると、データベースがメモリに読み込まれます。これにより、データベースがネットワークドライブにある場合、プログラムの動作が速くなります。デフォルトはfalseです。 |
| importdatabases | path_1 | 追加のデータベースへのパスを定義することができます。これらの追加データベースは読み取り専用で、オプションで暗号化されます。ファイル名をパスなしで指定した場合、インストールディレクトリから開かれます。パス区切り文字として、'/' または '\¥' を使用しますが、¥ は使用しません。 |
| | password_1 | 暗号化されたデータベースのパスワード。 |
| shaft | defaultinputs | デフォルト設定のxmlファイルのパス。パス区切り文字として、'/' または '\¥' を使用しますが、¥ は使用しません。 |
| | preloadcadlibrary | trueに設定すると、プログラムの起動時にCADライブラリが読み込まれます。その後のSTEPファイルのインポートが高速になります。 |
| | calculateonfileload | trueに設定するとファイルを読み込んだ時に計算が実行されます。デフォルトはtrueです。 |
| | acceptfiledrop | trueに設定すると、*.xml入力ファイルをメインウィンドウにドロップして読み込むことができます。 |
| | logo | システムページで使用するロゴをここで定義することができます。フォーマットは、PNGである必要があります。 |
| | backupinterval | TEMPディレクトリにバックアップファイルを保存する間隔(秒) |
| | backupstates | 保持するバックアップファイルの数。自動バックアップファイルを無効にするには、0を使用します。バックアップファイルは、ファイルを開いた後、ファイルを保存した後、またはファイルを新規作成した後に削除されます。 |
| | numberofthreads | FEAの計算で使用するスレッドの数です。デフォルトは物理コアの数です。 |
| | feamaxmemory | FEAソルバーが使用する最大メモリ容量(MB)。これ以上のメモリが必要な場合、ディスクにスワップされま |

| セクション | 値 | 概要 |
|-----------|--------------------------------|---|
| | | す。 |
| | feaswappath | メモリが足りない場合のFEA 計算用 swapfile を格納するディレクトリのパスです。デフォルトはオペレーティングシステムのtemp ディレクトリです。この設定により、十分な空き容量のある高速ドライブを代わりに使用することができます。 |
| | feamaxtotalmemory | FEA ソルバーが使用する最大メモリ容量 (MB) です。ソルバーがこれ以上のメモリを必要とする場合、計算がキャンセルされます。 'feamaxmemory'の代わりにこの設定を使用すると、ディスクへのスワップが回避され、計算時間が大幅に掛かります。エラーになると、メッシュサイズを変更しなければなりません。 |
| | externalcondensationcommand | 3D-弾性パーツの縮退を実行するための実行ファイルへのパスを指定できます。これにより、リモートサーバーのMesysShaftを起動し、縮退をより高速に実行することができます。 パス区切りは / または ¥ を使用し、¥ は使用しないでください。 |
| | externalcondensationparameters | 上記の外部プログラムのパラメータはここで指定できます。プレースホルダー %1 は、一時ファイルのファイル名で置き換えられます。 |
| rbc | defaultinputs | デフォルト設定のxmlファイルのパス パス区切りは / または ¥ を使用し ¥ は使用しないでください。 |
| | calculateonfileload | trueに設定するとファイルを読み込んだ時に計算が実行されます。デフォルトはtrueです。 |
| | acceptfiledrop | trueに設定すると、*.xml入力ファイルをメインウィンドウにドロップして読み込むことができます。 |
| | logo | システムページで使用するロゴをここで定義することができます。フォーマットは、PNG である必要があります。 |
| | backupinterval | TEMP ディレクトリにバックアップファイルを保存する間隔 (秒) |
| | backupstates | 保持するバックアップファイルの数。自動バックアップファイルを無効にするには、0を使用します。バックアップファイルは、ファイルを開いた後、ファイルを保存した後、またはファイルを新規作成した後に削除されます。 |
| | allowcontactangleoverride | trueに設定すると、データベースからアンギュラ軸受の接触角を上書きすることができます。 |
| ballscrew | defaultinputs | デフォルト設定のxmlファイルのパス。 パス区切りは / または ¥ を使用し ¥ は使用しないでください。 |
| | calculateonfileload | trueに設定するとファイルを読み込んだ時に計算が実行されます。デフォルトはtrueです。 |

| セクション | 値 | 概要 |
|--------|---------------------|---|
| | acceptfiledrop | trueに設定すると、*.xml入力ファイルをメインウィンドウにドロップして読み込むことができます。 |
| | logo | システムページで使用するロゴをここで定義することができます。フォーマットは、PNGである必要があります。 |
| | backupinterval | TEMPディレクトリにバックアップファイルを保存する間隔(秒) |
| | backupstates | 保持するバックアップファイルの数。自動バックアップファイルを無効にするには、0を使用します。バックアップファイルは、ファイルを開いた後、ファイルを保存した後、またはファイルを新規作成した後に削除されます。 |
| hertz | defaultinputs | デフォルト設定のxmlファイルのパス。パス区切りには/または\を使用し、¥は使用しないでください。 |
| | calculateonfileload | trueに設定すると、ファイルを読み込んだときに計算が実行されます。デフォルトはtrueです。 |
| | acceptfiledrop | trueに設定すると、*.xml入力ファイルをメインウィンドウにドロップして読み込むことができます。 |
| | logo | システムページで使用するロゴをここで定義することができます。フォーマットは、PNGである必要があります。 |
| | backupinterval | TEMPディレクトリにバックアップファイルを保存する間隔(秒) |
| | backupstates | 保持するバックアップファイルの数。自動バックアップファイルを無効にするには、0を使用します。バックアップファイルは、ファイルを開いた後、ファイルを保存した後、またはファイルを新規作成した後に削除されます。 |
| axrarc | numberofthreads | FEAの計算で使用するスレッドの数。デフォルトは2です。スレッド数が増えてもパフォーマンスへの影響はわずかですが、計算時間は短縮されます。 |
| | backupinterval | バックアップファイルをTEMPディレクトリに保存する間隔(秒) |
| | backupstates | 保持するバックアップ状態の数。自動バックアップファイルを無効にするには、0を使用します。バックアップファイルは、ファイルを開いた後、ファイルを保存した後、またはファイルを新規作成した後に削除されます。 |
| report | format | 出力されるレポートファイルは、異なるフォーマットを持つことができます。デフォルトでは、この値は"INTERNALPDF"になっていますが、次のように"INTERNALPDF", "DOCX", "DOC", "ODT"または"PDF"(引用符なし)に設定することもできます。 |
| | topmargin | レポートの上マージン(mm) |
| | bottommargin | レポートの下マージン(mm) |
| | leftmargin | レポートの左マージン(mm) |
| | rightmargin | レポートの右マージン(mm) |

| セクション | 値 | 概要 |
|-------|--------------------|---|
| | papersize | レポートの用紙サイズ。使用可能な値はA4およびLetterです。 |
| | template | レポート作成に使用されるテンプレートファイルへのパス。サポートされているファイルフォーマット。「DOCX」、「DOC」または「ODT」 |
| | logo | レポートで使用される別のロゴを定義することができます。フォーマットは、PNGである必要があります。 |
| | marginbox1\active | marginbox はtrueに設定すると使用され、それ以外はfalseに設定します。 |
| | marginbox1\rect | marginbox のサイズはmm 単位の値で定義されます。フォーマットは次のとおりです。@Rect(x1 y1 width height)。パラメータx1とy1はboxの左上隅を表します。正の値は上/左から、負の値は下/右から測定されます。 たとえば@Rect(-35 -20 30 20)は右下にある長方形です。 |
| | marginbox1\text | マージンボックスのテキスト。("テキスト"のように)引用符で囲んで設定する必要があります。通常のテキストまたはHTMLのいずれかを使用できます。いくつかのプレースホルダーが定義されています。 #page, #pageCount, #data, #datetime |
| | marginbox1\angle | マージンボックスの回転角度を度単位で指定します。角度の方向は、正の場合、時計回りです。 |
| | marginbox1\isHtml | テキストのタイプによってtrueまたはfalseに設定します。 |
| | marginbox1\drawBox | trueに設定すると、marginbox のサイズを示す矩形が描かれます。そうでない場合はfalseに設定します。 |
| | marginbox2\... | マージンボックス1と同様に、数を増やして追加のボックスを定義することができます。 |

マージンボックスのオプション(marginbox1¥..)は、フォーマットがINTERNALPDFである場合のみ有効であることに注意してください。

1.1.1.1 ビデオのエクスポート

アニメーションは、ビデオとしてエクスポートすることができます。この機能を有効にするには、www.ffmpeg.orgから"FFmpeg"をインストールし、実行ファイルに"ffmpegpath"を設定してください。

グラフィックスを外部出力する場合、コンテキストメニューから開始することができます。

1.1.1.2 バックアップファイルの自動保存

"backupstates"と"backupinterval"の設定値が0より大きい場合、自動バックアップはシステムのテンポラリディレクトリに保存されます。"backupstates"は保存するファイル数、"backupinterval"は時間差を秒単位で定義します。

自動保存されたファイルは、“File”->“New”, “File”->“Open”, “File”->“Save” またはプログラムを閉じる際にファイルの保存に関する質問で“No”を選択すると、削除されます。したがって、これらのバックアップファイルは、ソフトウェアがクラッシュした場合、またはファイルが保存されていないで、元に戻すべき変更があった場合にのみ利用できます。

現在アクティブな計算のバックアップファイルをロードする必要がある場合、バックアップファイルは“File”->“Open”で削除されるため、ソフトウェアの別のインスタンスを起動することで行う必要があります。

1.1.2 アップデート

ソフトウェアを新しいバージョンに更新した場合、データベース'mesys.db'は上書きされないようにする必要があります。新しいインストールは新しいディレクトリで行うか、データベースファイルを別の場所にコピーしてください。

新しいバージョンを起動した後、メニュー'その他'->'データベース'->'古いデータベースよりインポート'を選択してデータベースを更新することができます。すべてのカスタム項目が更新されます。カスタムデータのみがコピーされるため、デフォルトデータへの変更は失われます。

'license.dat'に加えてフローティングライセンスを更新する場合は、'mesys.ini'内のfloatinglicense=を新しいバージョンにコピーする必要があります。

1.2 動作環境

本ソフトウェアは、Windows 10、11上で動作する64bitのWindowsプログラムとして提供されています。最低限必要なプロセッサはIntel Pentium 4以上です。

フルインストールには、約1.6GBのハードディスクスペースが必要です。本ソフトウェアの関係するものは、インストールディレクトリにすべて用意されます。したがって、他のマシンにコピーしたり、ネットワークやリムーバブルディスクから起動させることができます。

フローティングライセンスでは、ネットワーク共有の書き込み可能なディレクトリが必要です。

1.3 一般的な使用方法

計算を行うには、まず全ページのデータを入力します。その後、ボタンまたはF5を押して計算を実行します。すべてのデータが定義された後、各ページから計算を実行することができます。そのため、パラメータのバリエーションが簡単に作れます。

プログラム下部のステータスバーの右側にシンボルが表示されます。これは、現在の結果の状態を示しています。

| シンボル | 説明 |
|---|--|
|  | 計算として実行され、結果は、有効です。 |
|  | 計算実行後、一部の入力に変更されました。入力の変更によっては、結果が無効になる可能性があります。 |

| | |
|---|----------------------------|
|  | 計算の実行中にエラーが発生しました。結果は無効です。 |
|---|----------------------------|

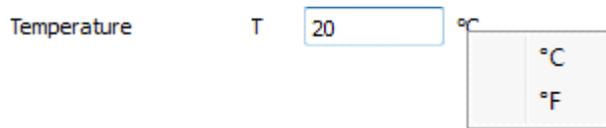
ステータスバーのこのシンボルの横に、小さなボタン「M」または「A」が表示されます。ボタンをクリックすると、「M」と「A」が切り替わります。「M」の場合は、計算を実行するために計算ボタンまたはF5をクリックする必要があります。「A」が表示されている場合は、入力ごとに計算が自動的に実行されます。このオプションは、負荷スペクトルが大きい場合など、計算時間が長い場合には使用しないでください。

ユーザーインターフェイスには、以下のような特殊なボタンがあります。

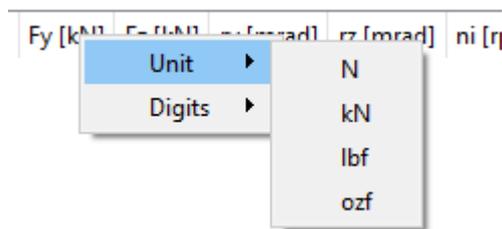
| ボタン | 説明 |
|---|---|
|  | このプラスボタンは、追加のインプットを含むダイアログを表示します。これらの入力のいくつかは定義する必要があり、いくつかは単なるオプションです。 |
|  | この変換ボタンは、他のタイプの入力からの変換を可能にします。例えば、ラジアルクリアランスはアキシャルクリアランスから変換することができます。 |
|  | この提案ボタンは、ソフトウェアによる入力の提案を提供します。 |

入力と出力の単位システムは、メニュー'拡張->単位システム'でメートル単位またはUS単位を選択することができます。

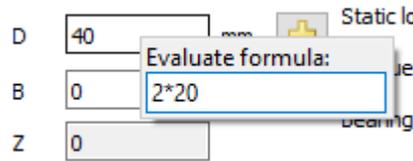
入力フィールドの単位のコンテキストメニューを使用して、現在の単位を変更することができます。この設定は、今後ソフトウェアを再起動したときのために保存されます。



表の場合、ヘッダー行のコンテキストメニュー(マウスの右ボタン)を使用して、列の単位を変更することができます。また、単位だけでなく、表示桁数も変更することができます。



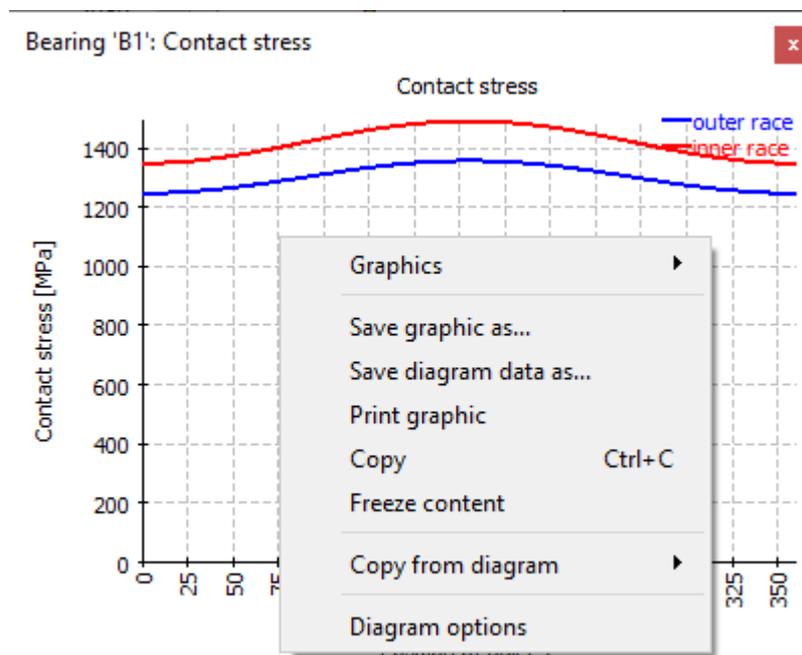
入力フィールドの上でマウスの右ボタンを押すと、計算式を入力するためのウィンドウが表示されます。素早い計算として利用することができます。



言語は、英語、ドイツ語、フランス語、スペイン語、トルコ語、中国語、韓国語、日本語に対応しています。また、メニューの拡張’で言語を選択することができます。

1.3.1 グラフィックス2Dとダイアグラム

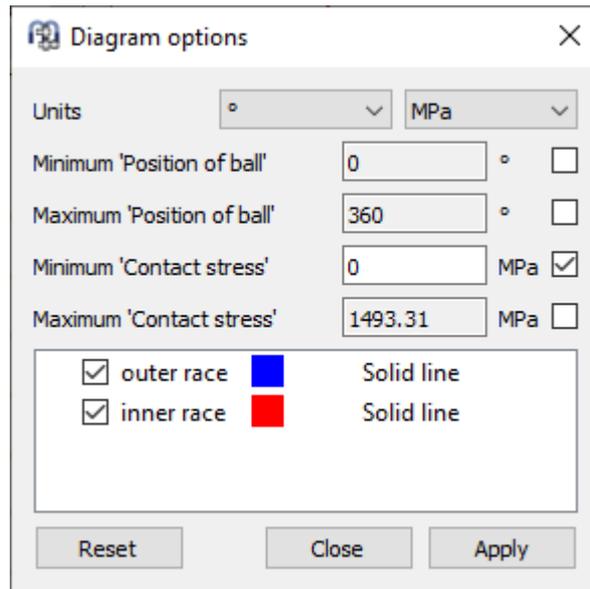
2Dグラフィックスとダイアグラムでは、コンテキストメニューでいくつかのオプションが利用できます。



すべてのグラフィックスは、グラフィックウィンドウのコンテキストメニュー(マウスの右ボタン)を使って、印刷したり、PNGやJPEGなどのさまざまなグラフィックフォーマットでエクスポートすることができます。エクスポートの際には、グラフィックのサイズを指定することができます。“コピー”オプションは画像をクリップボードにコピーするので、他のアプリケーションに貼り付けることができます。“コンテンツのフリーズ”を選択すると、計算の実行時にグラフィックの更新が抑えられるので、異なる入力データによる計算の間でグラフィックを比較することができます。

ダイアグラムからは、“ダイアグラムデータを名前を付けて保存...”、“ダイアグラムからコピー”、“ダイアグラムオプション”が追加されています。“ダイアグラムデータを名前を付けて保存...”では、ダイアグラムの数値をCSVまたはXLSフォーマットで保存することができます。“ダイアグラムからコピー”では、開いている他のダイアグラムから、同じ単位のカーブを現在のダイアグラムにコピーすることができます。これは、比較のために使用することができます。

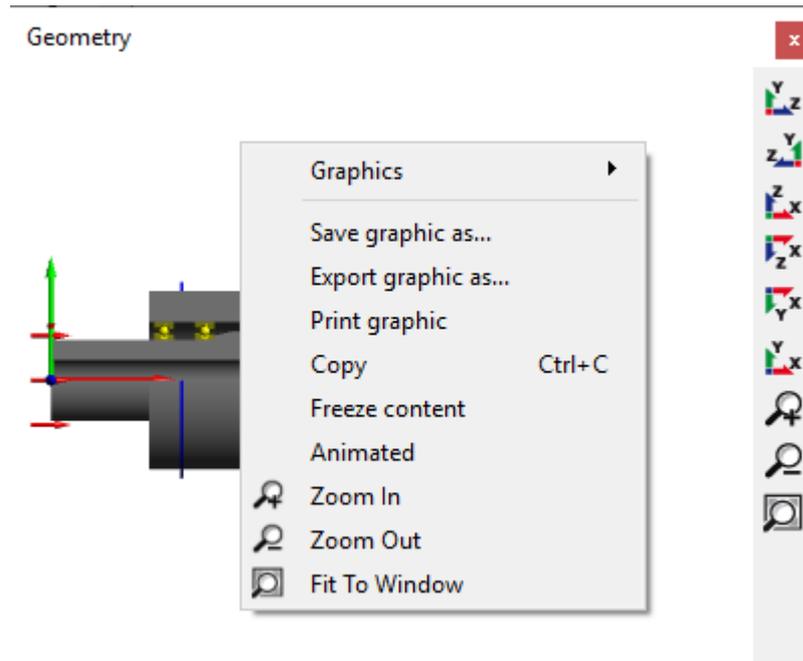
ダイアグラムオプションでは、ダイアグラムのフォーマットを変更することができます。



軸の単位と境界を設定することができます。さらに、興味のないグラフはチェックボックスで無効にすることができます。各曲線の名前、色、線のスタイルも変更できます。ダイアグラム・オプションの変更は、現在のダイアグラムにのみ適用され、保存はされず、新しく作成されたグラフィックス・ウィンドウにも適用されません。

1.3.2 グラフィックス3D

本ソフトウェアの3Dグラフィックス画面には、ズームイン、ズームアウト、ウィンドウへのフィットなどの3Dビュー操作のためのボタンがあり、また、異なる平面からの視点を選択することが可能です。3Dモデルは、Shiftキーを押しながらマウスでドラッグしたり、Ctrlキーを押しながらズームイン・ズームアウトすることができます。3Dマウスは3Dグラフィックスでサポートされています。アニメーションした3Dグラフィックスは、[mesys.ini](#)で `ffmpeg` のパスを指定すれば、ビデオとして保存することができます。



“グラフィックスを保存...”は画像をPNGのようなグラフィックフォーマットで保存します。“グラフィックスを外部出力...”は、標準的なグラフィックのSTLのみをサポートしていますが、サブメニューのCADから生成されたグラフィックの場合は、STEPとしてエクスポートすることもできます。

“コピー”は画像をクリップボードにコピーし、他のプログラムに貼り付けることができます。

“コンテンツのフリーズ”を有効にすると、新しい計算の実行時に表示のアップデートを抑止します。これは、比較のために使用できます。

“アニメーション”を選択すると、縦軸を中心にビューを回転させます。

1.4 コマンドラインパラメータ

本ソフトウェアは、いくつかのコマンドラインパラメータをサポートしています。

- -highDPIRoundUp は、高 DPI 設定の場合に、非整数スケール係数を切り上げます。
- -highDPIRoundDown は、高 DPI 設定の場合に、非整数スケール係数を切り下げます。
- -highDPIRound は、高 DPI 設定の場合に、非整数スケール係数を切り上げます。
- -highDPIRoundPreferDown は、高 DPI 設定の場合に、非整数スケール係数を切り上げます。50% の場合は切り下げられます。
- -desktopOpenGLは、ハードウェアOpenGLを使用するようソフトウェアに指示します。これはデフォルトです。

- -softwareOpenGLは、3Dグラフィックス用のソフトウェアドライバを使用するようソフトウェアに指示します。これは、上記の2つの設定からまくいかなない場合に使用できません。
- -ini=file.iniは、ソフトウェアがプログラムの設定に'file.ini'を使用するように指示します。
- -license=license.datをライセンスファイルとして使用するようソフトウェアに指示します。これは、異なるライセンスファイルが利用可能な場合に使用できます。
- -language=xxは、ユーザーインターフェースの言語を設定します。有効なオプションは次のとおりです。EN, DE, FR, ES, KR, ZH, JA, TR.
- -lockは、コマンドラインで定義された*.xml ファイルを、プログラムが終了するまで開いたままにします。これは、入力ファイルが解放されたときにチェックする他のプログラムからの呼び出しに使用することができます。
- -generatereport=filename.pdfは、コマンドラインで*.xmlファイルも渡された場合、レポートを生成します。その後、プログラムは閉じられます。
- -saveまたは-saveas=filename.xmlコマンドラインで*.xmlファイルが渡された場合、計算後に入力ファイルを名前を付けて保存します。その後、プログラムは終了します。シャフト計算では、デフォルトのxmlファイル形式に加えて、*.rexsファイルも入出力としてサポートされています。
- パラメータとして*.xmlファイル名を渡すと、そのファイルがソフトウェアによって開かれます。また、入力ファイルをデスクトップ上のプログラムアイコンにドロップすることも可能です。シャフト計算では、*.xmlの他に*.rexsを使用することができます。

1.5 データベース

データベースとして、SQLiteデータベースを使用しています。データベースを変更するには、ソフトウェアの機能に加えて、標準的なツールを使用することもできます。id > 100000データセットのみを追加し、id < 0のデータセットは内部で使用しているため、変更しないようお願いいたします。将来のバージョンでは、id < 100000のデータセットが変更または追加される可能性があります。

現在のバージョンでは、軸受、軸受内部すきま、軸受精度、材料、材料軸受、潤滑油のデータベーステーブルがあります。これらは、メニュー'Extras'の'Database'を使用して追加することができます。

MESYS Database editor {Material}

| | name | E [MPa] | nu | rho [kg/m ³] | alpha [10 ⁻⁵ /K] | thermalConductivity [W/mK] |
|---|-----------|---------|------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1 | Own Input | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | Steel | 207000 | 0.3 | 7850 | 11.5 | 42.6 |
| 3 | Si3N4 | 315000 | 0.26 | 3290 | 3.3 | 27 |
| 4 | S235JR | 210000 | 0.3 | 7850 | 11.5 | 42.6 |
| 5 | S275JR | 210000 | 0.3 | 7850 | 11.5 | 42.6 |

Buttons: Reset, Close, Apply, +, -, X, ←, →

データは、Applyボタンをクリックしたときのみデータベースに書き込まれますが、'Apply'をクリックする前に'Reset'を選択すると、変更を削除することができます。

行の追加は+ボタンで、選択した行の削除は-ボタンで行えます。Xボタンを使用すると、ファイルから項目を追加してインポートすることができます。ファイルの列は、表と同じ順序と単位でなければなりません。同様に、←ボタンを使って、表をエクスポートすることもできます。

1.5.1 データベースの名前を変更

計算ファイルを読み込むと、データセットのIDと名前の組み合わせをデータベースから検索します。見つからない場合、入力値は個別入力に変更されます。

そのため、異なるデータベースを持つソフトウェアの他のインストールで開かれた計算ファイルは、'個別入力'と表示され、正しい結果が得られます。

データベースの項目名を変更しても同じことが起こります。このエントリを使用していた古いファイルには個別入力が表示され、元のデータを使用することになります。

1.5.2 データベースに軸受を追加

データベースに軸受を追加するには、軸受計算の計算ウィンドウに形状データを入力し、計算を実行してから、'拡張→データベース→データベースへの軸受の追加'を選択してください。軸受名、コメント、メーカー、データベースモードを入力する画面が表示されます。

Add bearing to database

Bearing name:

Bearing comment:

Manufacturer:

Mode for bearing in database:

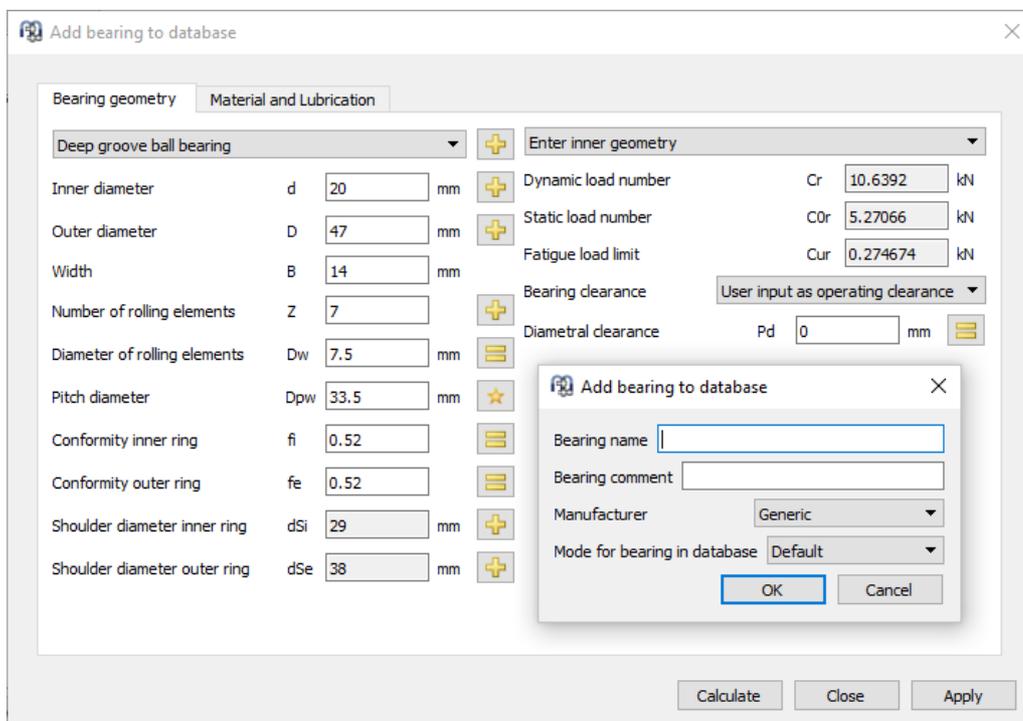
Buttons: OK, Cancel

もし、名前とメーカーの組み合わせが既にデータベースにある場合は、データセットを上書きするかどうか尋ねられます。

モードは以下の通りです。

- “デフォルト”：デフォルトの動作です。
- “近似”：近似内部形状に関するコメントがレポートに表示され、特性周波数は表示されません。
- “内部形状を隠す”：レポートと入力データで内部形状は見えなくなります。このオプションは、暗号化されたデータベースを追加するためのものです。

シャフト計算の場合、ベアリングウィンドウがアクティブな状態で‘拡張→データベース→データベースへの軸受の追加’が選択されると、上記のダイアログが表示されます。そうでない場合は、以下のダイアログが表示されます。



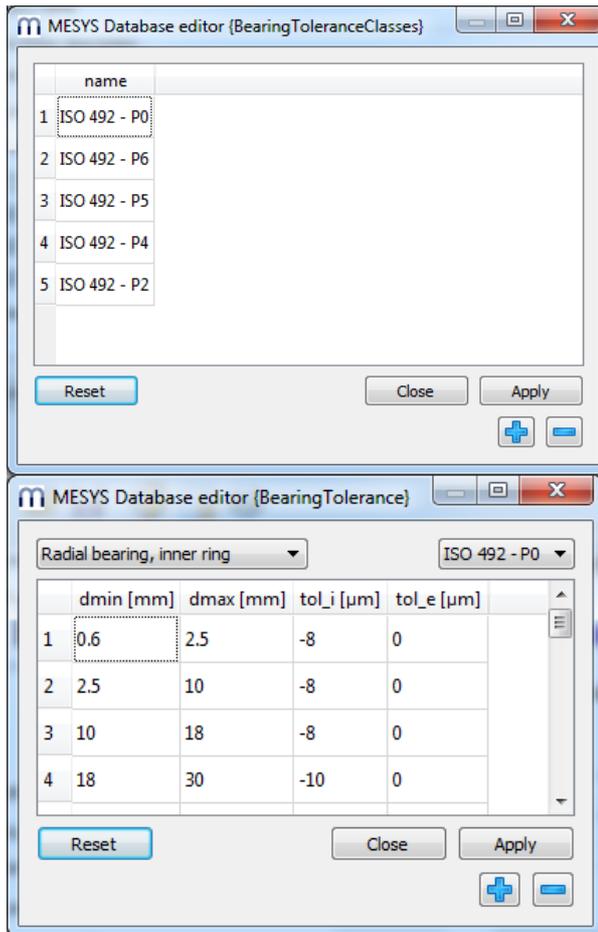
“軸受形状”と“材料と潤滑”という名前の2つのタブページを持つウィンドウが、シャフト計算で開かれます。これらのタブページは、ベアリング計算のインターフェイスにあるものと同じように操作します。この機能は、すべての必要なデータを入力することによって、ゼロから新しい軸受を作成し、追加する可能性を提供し、またはデータベースの既存の軸受を選択し、変更することができます。どちらの場合も、下部の“計算”ボタンを押すと、必要な幾何学的な入力からソフトウェアが負荷容量のデータを見つけ出すため、ユーザーは事前に知っておく必要はありません。すべてのデータが入力されたら、“Apply”ボタンを押し、新しい軸受の名前を入力するように指示されます。

1.5.3 データベースのテーブル

いくつかのデータベーステーブルについては、以下のセクションで使用方法について詳しく説明します。

1.5.3.1 軸受内部すきま、軸受精度

すきまおよび精度の設定には、2つのテーブルを使用する必要があります。軸受すきまクラスまたは軸受精度クラスのテーブルでは、利用可能な名称が定義されています。



'軸受すきまと軸受精度'のテーブルでは、実際の値は、直径によって定義されています。

1.5.3.2 材料(軸受)

'材料(軸受)'のテーブルでは、軸受計算のための許容応力に関する追加情報を設定することができます。

1.5.3.3 軸受メーカー

'軸受メーカー'のテーブルでは、軸受メーカーの名称を追加設定することができます。

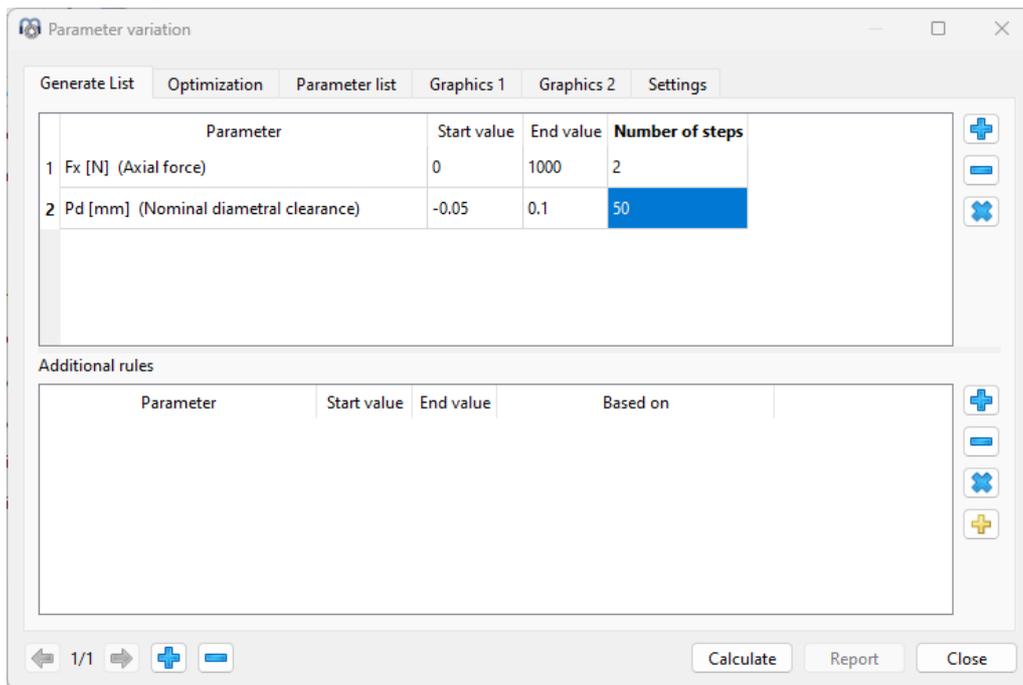
1.6 パラメータバリエーション

メニューの“計算”→“パラメータバリエーション”を使用すると、パラメータバリエーションに関するダイアログが表示されます。これにより、ユーザーは、表やグラフィックスで提供される結果を使用して、パラメータスタディをすることができます。典型的なアプリケーションは、例えば、すきまに対する寿命や荷重に対する変位を可視化することです。パラメータの最適化もオプションで可能です。

左下のボタンを使用して、パラメータバリエーションでいくつかの設定を定義できます。

1.6.1 リスト作成

複数の入力パラメータを“リスト作成”のテーブルに追加し、それらの範囲(開始/終了値)を定義することができます。ベアリングの計算では、ベアリングの種類によって、1回の計算で最大0.1秒かかることがあり、荷重スペクトルを使用し、多くのステップを定義すると、計算時間が長くなることがあります。

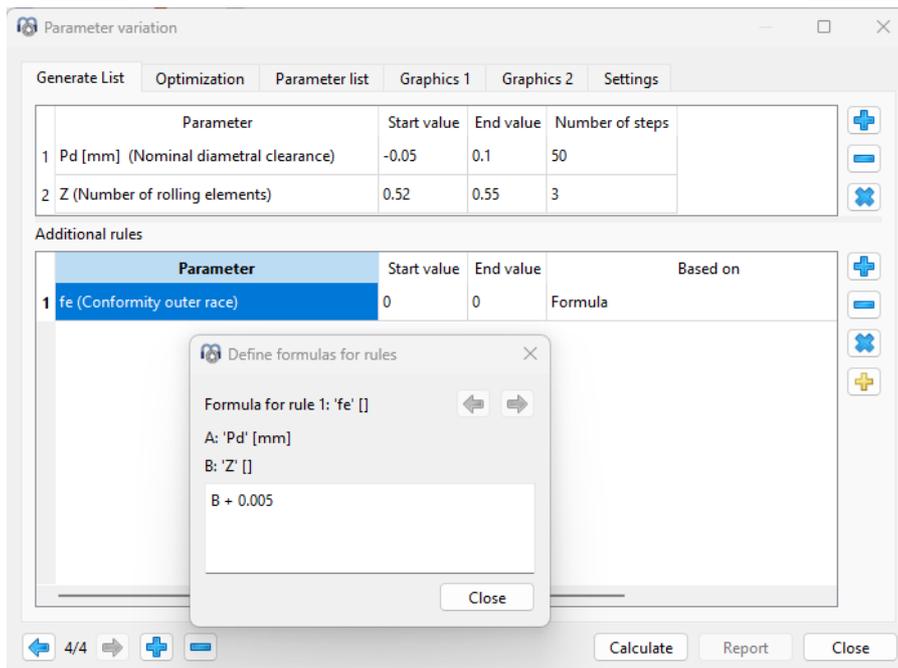


追加ルールは、最初のリストのパラメータに関連する追加の入力パラメータを設定するために使用することができます。追加パラメータは、他のパラメータを基にして、開始値と終了値の間で補間されます。例えば、範囲 $x_1 \sim x_2$ のパラメータ x に基づき、 $y_1 \sim y_2$ の間に追加パラメータ y を設定します。

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

ルールを使用する例としては、シャフト計算内で複数の軸受の内部すきまを同じ値に設定することができます。

ルールは、最初のテーブルのパラメータに基づく式を使用して定義することもできます。

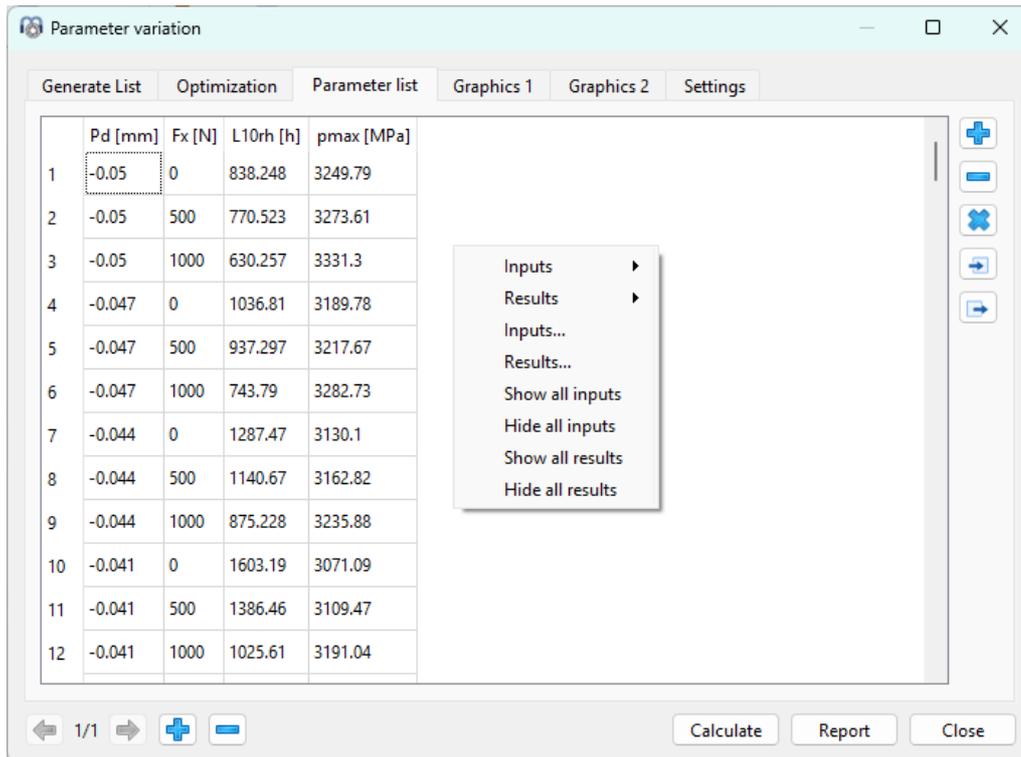


数式は、右側の $+$ ボタンを使用して定義することができます。

1.6.2 パラメータリスト

リストを作成する前に、まずタブウィンドウ'パラメータリスト'で興味のある出力や変数を定義しておく必要があります。

図に示すように、タブウィンドウ'パラメータリスト'でマウスを右クリックすると、コンテキストメニューが現れて、興味のある出力や結果に対応する列を追加することができます。行には、境界とステップの数に応じた変数の値が入ります。



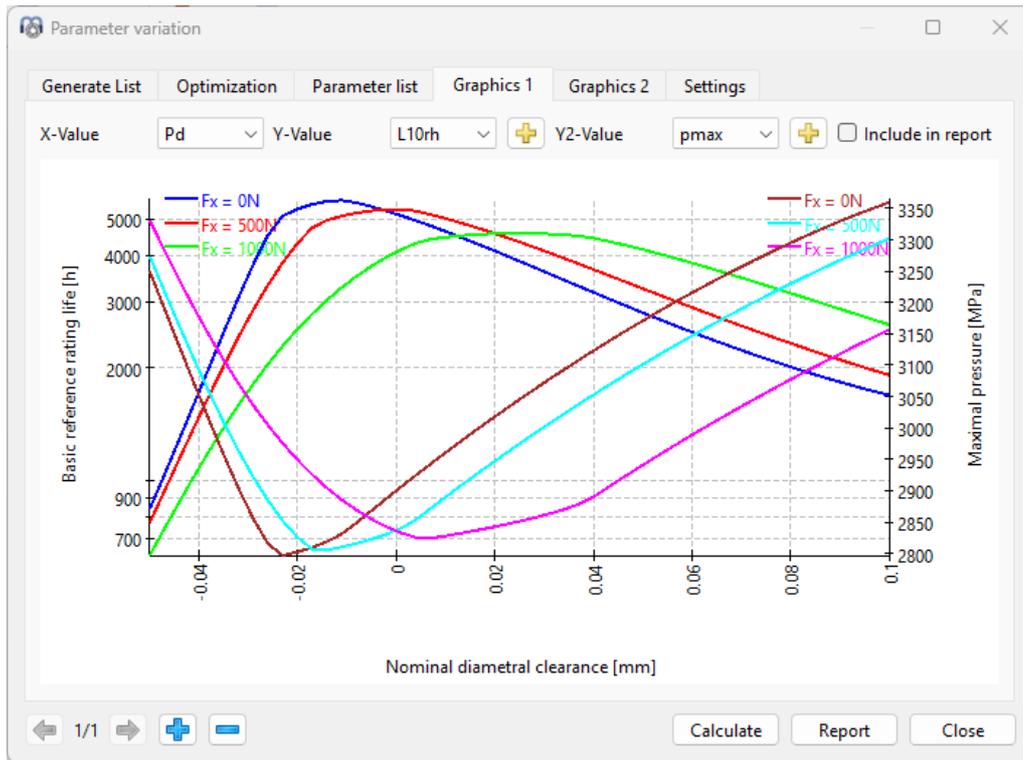
“リスト作成”タブ・ウィンドウがアクティブなときに“計算”をクリックすると、すべてのパラメータの組み合わせのリストが、対応するタブ・ウィンドウ‘パラメータリスト’に生成され、解析が実行されます。選択したパラメータとステップの数によっては、解析の計算時間が長くなる場合があります。

表（パラメータリスト）を作成するもう一つの方法は、行を追加し、**+** ボタンを使って手動で値を入力する方法です。また、**+** ボタンを使ってCSVファイルやXLSファイルから表全体をインポートしたり、**→** ボタンを使ってファイルにエクスポートしたりすることも可能です。そして、分析を実行するには、このページがアクティブな状態で“計算”としてクリックするだけです。ダイアログを閉じると、パラメータリストは保存されないことに注意してください。

1.6.3 グラフィックス

“グラフィックス1”と“グラフィックス2”のページでは、結果をグラフィックスで表示することができます。

パラメータリストを“リスト作成”で作成し、入力パラメータが2つ以下の場合は、ダイアグラムに線が使用されます。それ以上のパラメータや他のソースを使用した場合は、ポイントだけが表示されます。



“リスト作成”で2つのパラメータを変化させた場合、上の画像のように2つ目のパラメータに対する複数の曲線が表示され、呼びすきまやアキシアル力Fxのバリエーションが示されます。

グラフィックス領域は2種類のY軸で構成されており、異なるタイプの実出力結果(単位)を一度に比較することが可能です。さらに、グラフィックスでは基本定格寿命(L10rh)を主に分析していますが、+ボタンをクリックすると、2つの利用可能なY軸のうちの1つのLnmrhのように同じ単位を持つ他の出力を追加することも可能です。

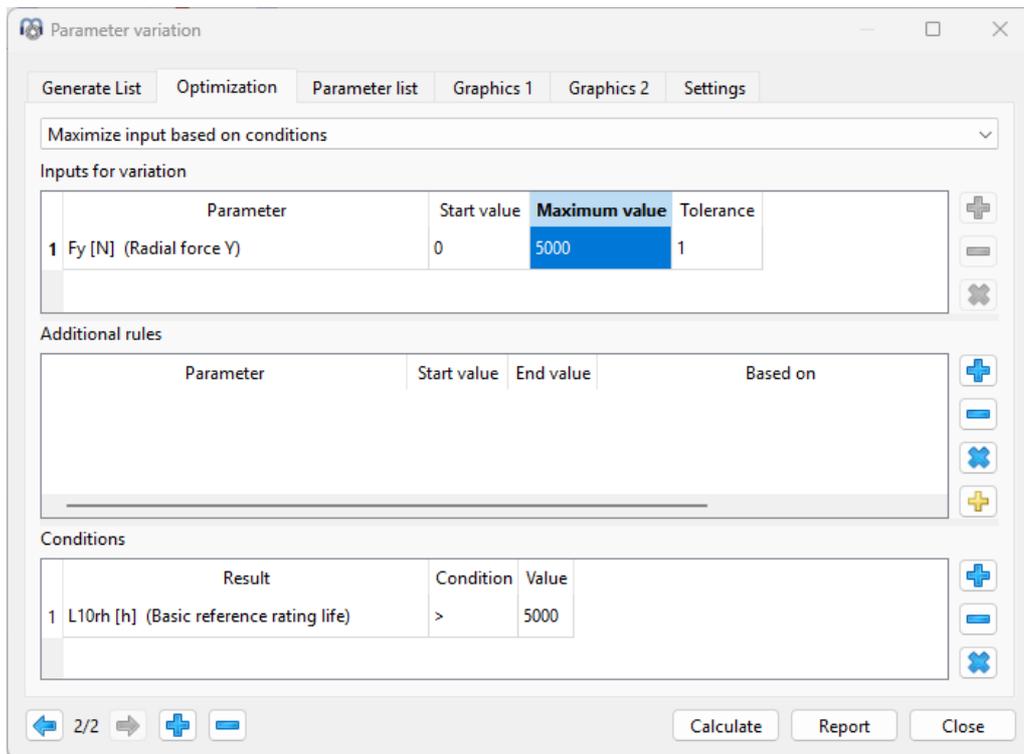
“設定”の下に、両軸の選択項目に入力と出力の値を含めるオプションがあります。これにより、水平軸と垂直軸を入れ替えることも可能になります。

1.6.4 最適化

オプションで最適化ステップを使用することができます。1つの入力パラメータの最適化にはさまざまなオプションが利用できます。

- 入力パラメータは、条件に基づいて最大化または最小化できます
- 結果パラメータは、最大化または最小化できます。このパラメータ変更では、1つの入力パラメータのみが変更されます。最小化または最大化のターゲットは、結果の合計に係数を掛けたものです。 $T = \sum_i f_i \cdot R_i$
- 結果パラメータのターゲットからの偏差が最小化されます。最適化のターゲット関数は、偏差の二乗の合計に係数を掛けたものです。 $T = \sum_i f_i \cdot (R_i - T_i)^2$

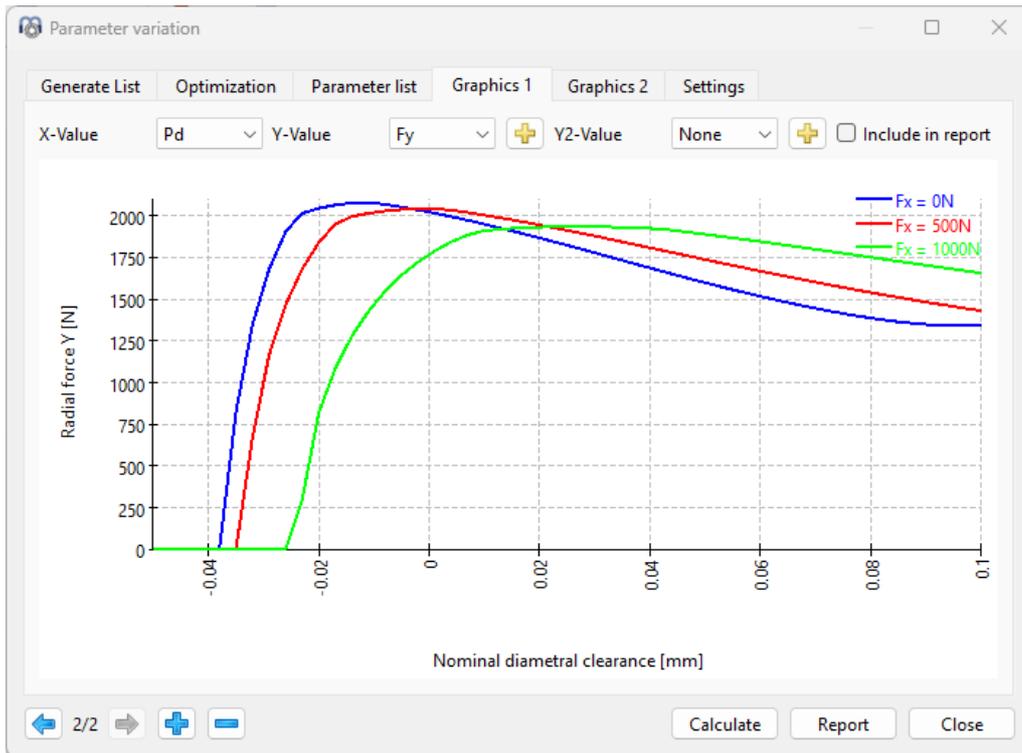
- 前の例では、ラジアル力 F_y を最大化して、 $L_{10rh}=5000h$ に達するようにする必要があります。



この条件は、パラメータの開始値で満たされる必要があります。そうでない場合、結果はゼロに設定されます。最大値で条件を満たした場合は、計算を停止し、結果もゼロになります。

追加ルールを定義して、最適化パラメータに基づく追加のインプットを設定することができます。追加のインプットは、開始値と最大値、最小値の間の最適化パラメータに依存し、開始値と終了値の間で補間されます。

下図の F_y の結果は、すきまが小さい場合、5000hに到達しないため、エラーとなります。



別の例では、結果を最大化するための最適化を示します。ベアリングの寿命を最大化するために、複数のアキシャル方向荷重に対してソフト ウェアによってすきまが選択されます。

The optimization window is configured to maximize the result based on the following conditions:

| Parameter | Factor |
|--|--------|
| 1 L10h [h] (Basic reference rating life) | 1 |

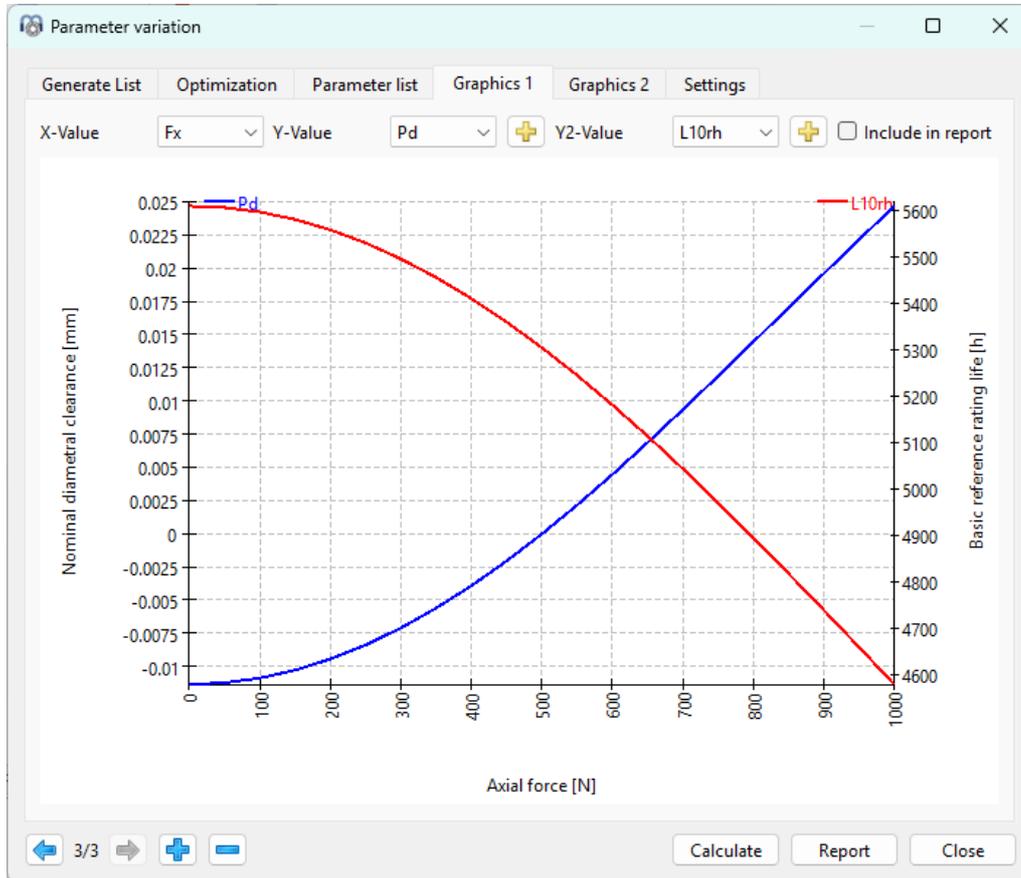
Inputs for variation:

| Parameter | Start value | Minimum value | Maximum value | Tolerance |
|---|-------------|---------------|---------------|-----------|
| 1 Pd [mm] (Nominal diametral clearance) | 0 | -0.05 | 0.1 | 0.01 |

Additional rules and conditions sections are currently empty.

この係数は結果値をスケールするために使用され、内部許容値は 10^{-4} に固定されているため、非常に小さいターゲットの場合は係数を増やす必要があります。パラメータの許容値はノルムによって使用され、必要な精度と関連している必要があります。

結果はグラフで表示されます。

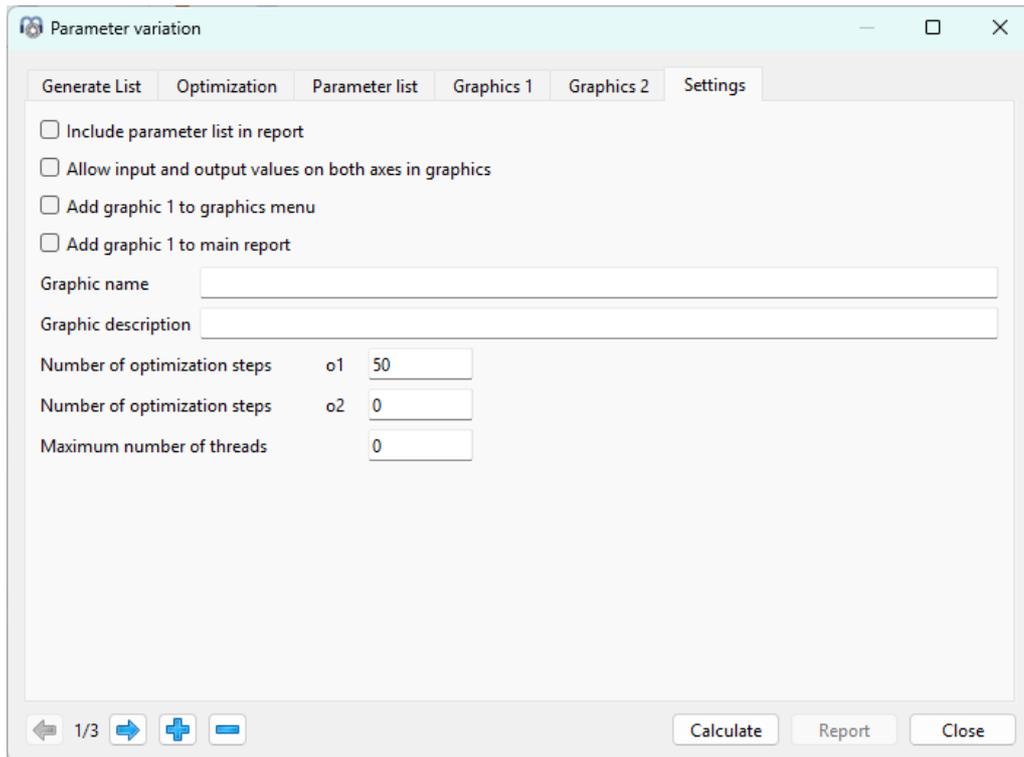


1.6.5 レポート

グラフィックスをレポートに含むには、チェックボックス“レポートに含む”をオンにする必要があります。また、“設定”タブでは、レポートにパラメータリストを含めるためのチェックボックスも用意されています。

1.6.6 設定

パラメータ・バリエーションのいくつかの設定が可能です:



- レポートのパラメータリストに含む: レポートに結果表を追加します。入力によってはかなり長くなります。
- グラフィックスの両方の軸で入力値と出力値を許可: このオプションにより、結果ダイアグラムの軸を切り替えることができます。
- グラフィック・メニューにグラフィック1を追加: メイン・グラフィックス・メニューのパラメトリック・ダイアグラムにグラフィック1を追加します。これは、データがテーブル“リスト作成”に基づいている場合にのみ機能します。
- メインレポートにグラフィック1を追加: グラフィック1をメインレポートに追加します。グラフィックは保存されず、生成されたレポートごとに新しく生成されます。
- グラフィックの名前と説明: これらは、グラフィックス・メニューおよびレポートのカスタム図に使用されます。
- スレッドの最大値: デフォルト設定のゼロでは、利用可能なすべてのプロセッサコアが計算に使用されます。非常に大きなモデルの場合、メモリ使用量が問題になることがありますので、ここでスレッド数を少なく定義することができます。

1.7 統計的パラメータバリエーション

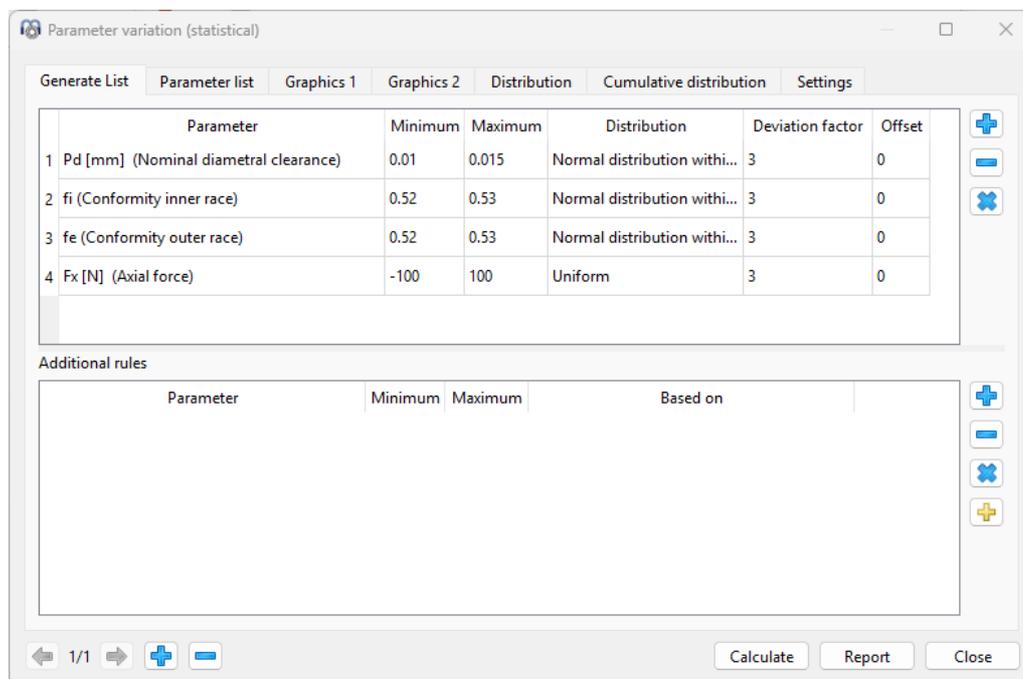
メニューの“計算”->“パラメータバリエーション(統計)”を使用すると、デフォルトのパラメータバリエーションに類似したツールを使用することができます。両者の主な違いは、パラメータバリエーションを行う際に、このツールで統計的評価をサポートすることです。

デフォルトのパラメータ・バリエーションは、1つのパラメータが1つまたは複数の結果に与える影響を可視化するのに役立ちます。統計的バージョンは、複数の不確実性の影響を評価する必要がある場合に使用することができます。複数のパラメータをマニュアルでチェックする代わりに、全範囲の自動計算を行うことができます。結果の背後にある理由を理解するためには、さらに評価を行う必要がありますが、このソフトウェアでは予想される結果の範囲が表示されます。

1.7.1 リスト作成

通常のパラメータバリエーションと同様に、複数の入力パラメータを“リスト作成”のテーブルに追加し、その範囲（開始値/終了値）を定義することができます。範囲については、計算ステップを必要としません。ただし、タブページ“設定”で統計計算の回数の制限を設定することができます。

“分布”列のセルをダブルクリックすると表示されるドロップダウンリストで、異なるタイプの確率分布を選択することができます。



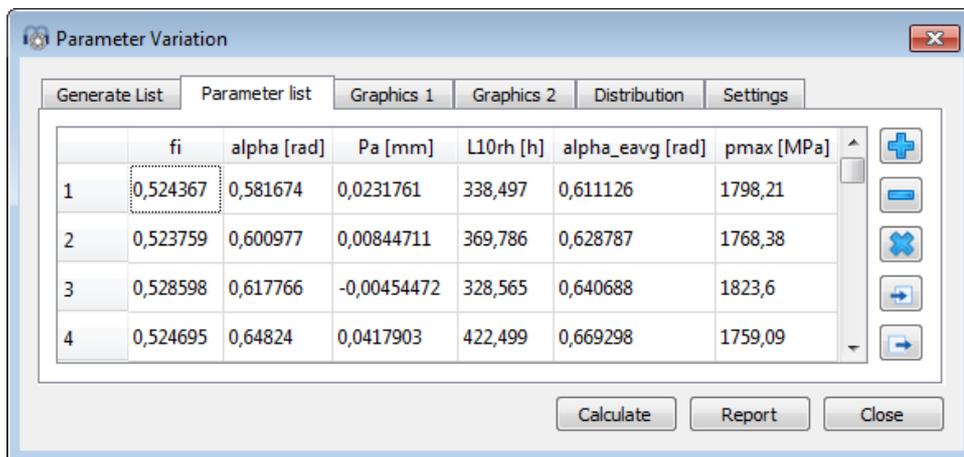
- 均一：パラメータの最大値と最小値の間の値の集合に対して、確率が等しく分布します。
- 範囲内の正規分布：最小値から最大値までの範囲の値の集合に対して、正規分布を用いて確率を計算します。
- 制限のない正規分布：理論的に $(-\infty, +\infty)$ の範囲にある値の集合に対して、正規分布を用いて確率を計算します。
- 最小、最大：パラメータの最大値と最小値の間に等しく分布する確率を考えます。

- 最小値、平均値、最大値：パラメータの最大値、平均値、最小値の間で確率が等しく分布しています。

さらに、偏差の因子を設定し、 $-1 \sim +1$ のオフセット値で'ベル曲線'を水平方向にシフトさせることができます。

1.7.2 パラメータリスト

パラメータリストの作成は、非-統計パラメータバリエーションで説明したように行います。“リスト作成”タブウィンドウがアクティブな状態で“計算”をクリックすると、対応するタブウィンドウ“パラメータリスト”にすべてのパラメータの組み合わせのリストが作成され、統計解析が実行されます。選択したパラメータの数と指定した計算の数によっては、分析に長い計算時間がかかることがあります。

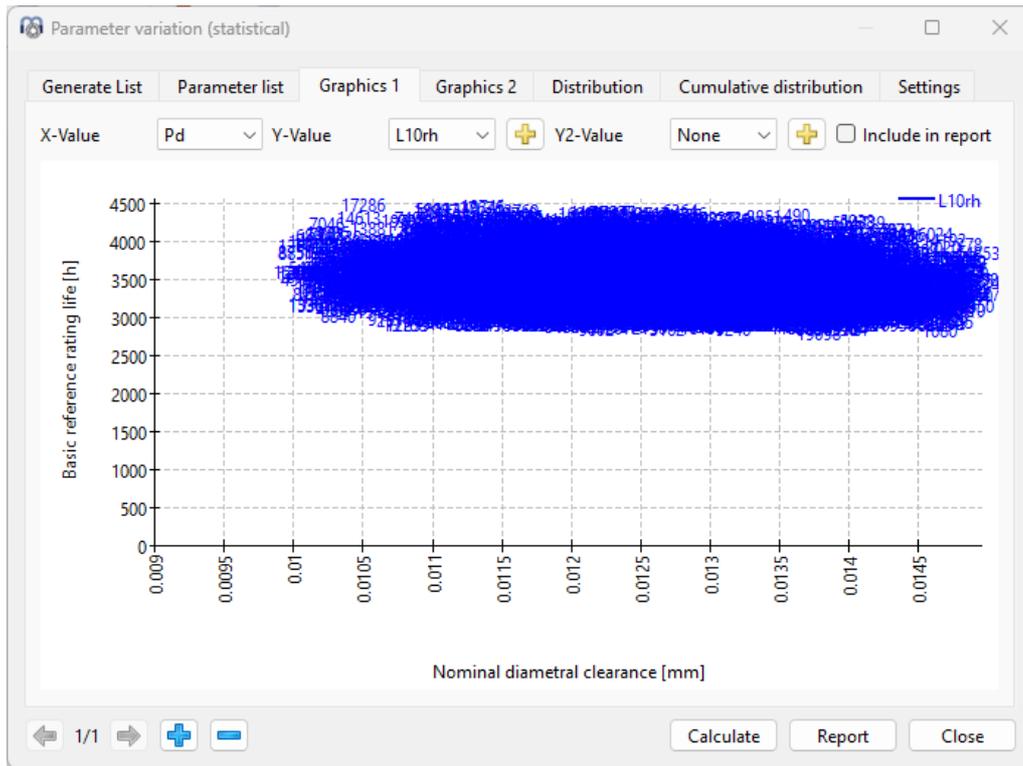


The screenshot shows a software window titled "Parameter Variation" with several tabs: "Generate List", "Parameter list", "Graphics 1", "Graphics 2", "Distribution", and "Settings". The "Parameter list" tab is active, displaying a table with 4 rows and 7 columns. The columns are labeled: "fi", "alpha [rad]", "Pa [mm]", "L10rh [h]", "alpha_eavg [rad]", and "pmax [MPa]". The first cell of the first row (0,524367) is highlighted with a dashed border. To the right of the table are several icons: a plus sign, a minus sign, a cross, and two arrows. At the bottom of the window are three buttons: "Calculate", "Report", and "Close".

| | fi | alpha [rad] | Pa [mm] | L10rh [h] | alpha_eavg [rad] | pmax [MPa] |
|---|----------|-------------|-------------|-----------|------------------|------------|
| 1 | 0,524367 | 0,581674 | 0,0231761 | 338,497 | 0,611126 | 1798,21 |
| 2 | 0,523759 | 0,600977 | 0,00844711 | 369,786 | 0,628787 | 1768,38 |
| 3 | 0,528598 | 0,617766 | -0,00454472 | 328,565 | 0,640688 | 1823,6 |
| 4 | 0,524695 | 0,64824 | 0,0417903 | 422,499 | 0,669298 | 1759,09 |

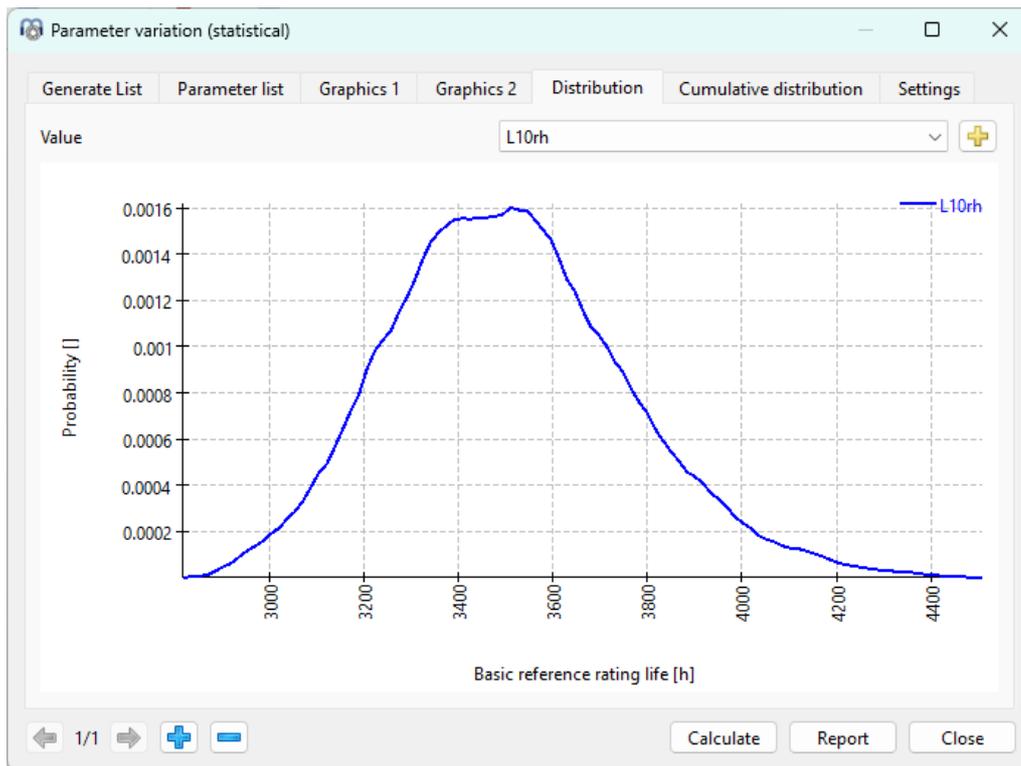
1.7.3 グラフィックス

“グラフィックス”タブでは、変数の組み合わせを点群として視覚化することができ、下図のようにパラメータ間の関係の傾向を認識することができます。



1.7.4 分布図

確率分布は、“分布”タブページでグラフィックス表示されます。**+**ボタンを押すだけで、システム内の異なる機械コンポーネントの統計結果同士を比較することができます。図に示すように、同じシャフトに取り付けられた異なる軸受の基本定格寿命の確率分布は、互いに比較されています。曲線の最大値は互いに接近していますが、転がり軸受“B2”の分散ははるかに大きくなっています。このような解析は、設計上の制約や弱点を特定するのに有効です。

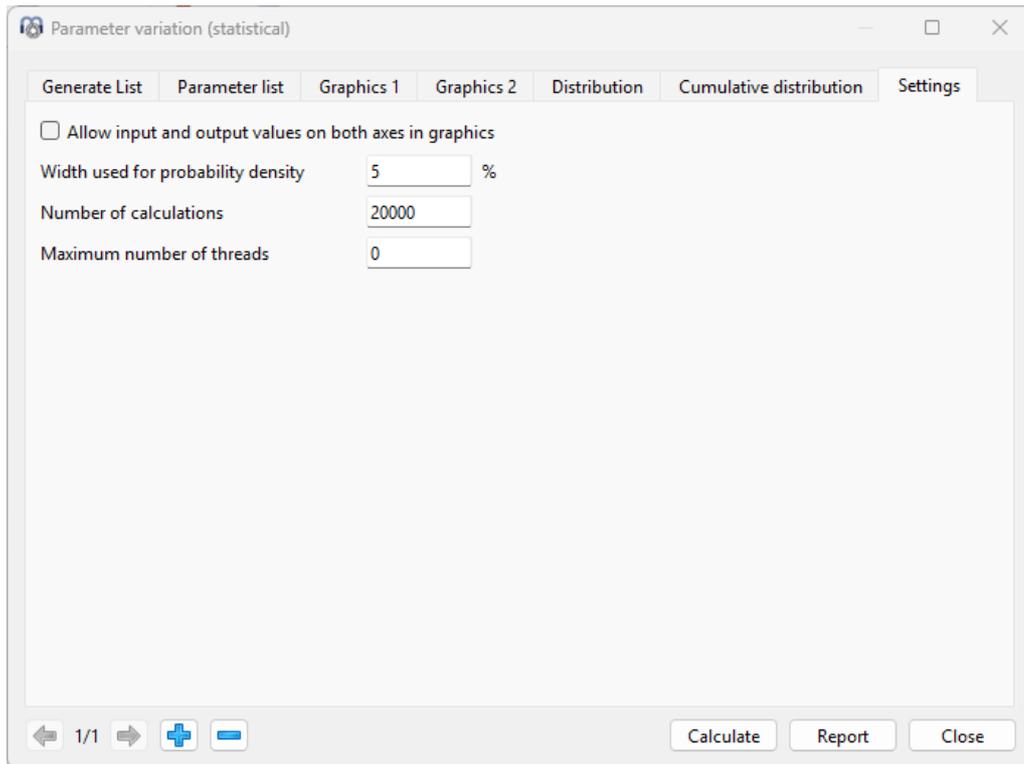


1.7.5 レポート

グラフィックスをレポートに含むには、チェックボックス“レポートに含む”を有効にする必要があります。レポートには、選択した各結果の最小値、最大値、平均値、標準偏差も表示されます。

1.7.6 設定

いくつかの設定は、統計パラメータのバリエーションで利用可能です:



- グラフィックスの両方の軸で入力値と出力値を許可: このオプションにより、結果図の軸を切り替えることができます。
- 確率密度に使用される幅: 分布を表示するには、内部ビンの幅が必要です。これはここで変更できます。値が大きいほど、曲線は滑らかになります。
- 計算の数: この入力値は、実行される計算の数を定義します。より良い分布のためには、数千回の計算がなされるべきです。
- スレッドの最大値: デフォルト設定のゼロでは、利用可能なすべてのプロセッサコアが計算に使用されます。非常に大きなモデルの場合、メモリ使用量が問題になることがありますので、ここでスレッド数を少なく定義することができます。

1.8 最適化パラメータバリエーション

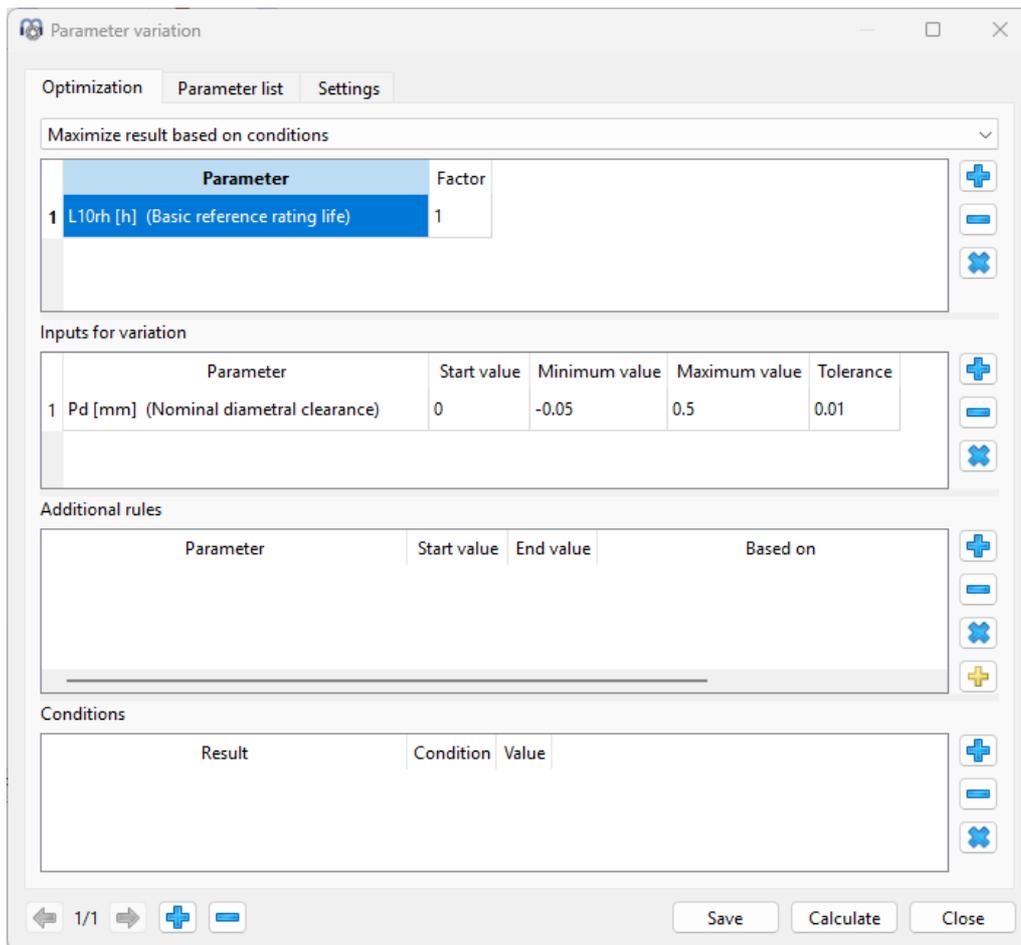
パラメータバリエーション(最適化)は、単一のケースの最適化のみを実行します。[保存] ボタンを使用すると、結果をメインの計算に読み戻すことができます。

1.8.1 最適化

最適化では、いくつかのオプションが利用できます:

- 入力パラメータは、条件に基づいて最大化または最小化できます

- 結果パラメータは、最大化または最小化できます。ここでは、いくつかの入力パラメータを定義できます。最小化または最大化のターゲットは、結果の合計に係数を掛けたものです。 $T = \sum_i f_i \cdot R_i$
- 結果パラメータのターゲットからの偏差は最小化されます。最適化のターゲット関数は、偏差の二乗の合計に係数を掛けたものです。 $T = \sum_i f_i \cdot (R_i - T_i)^2$



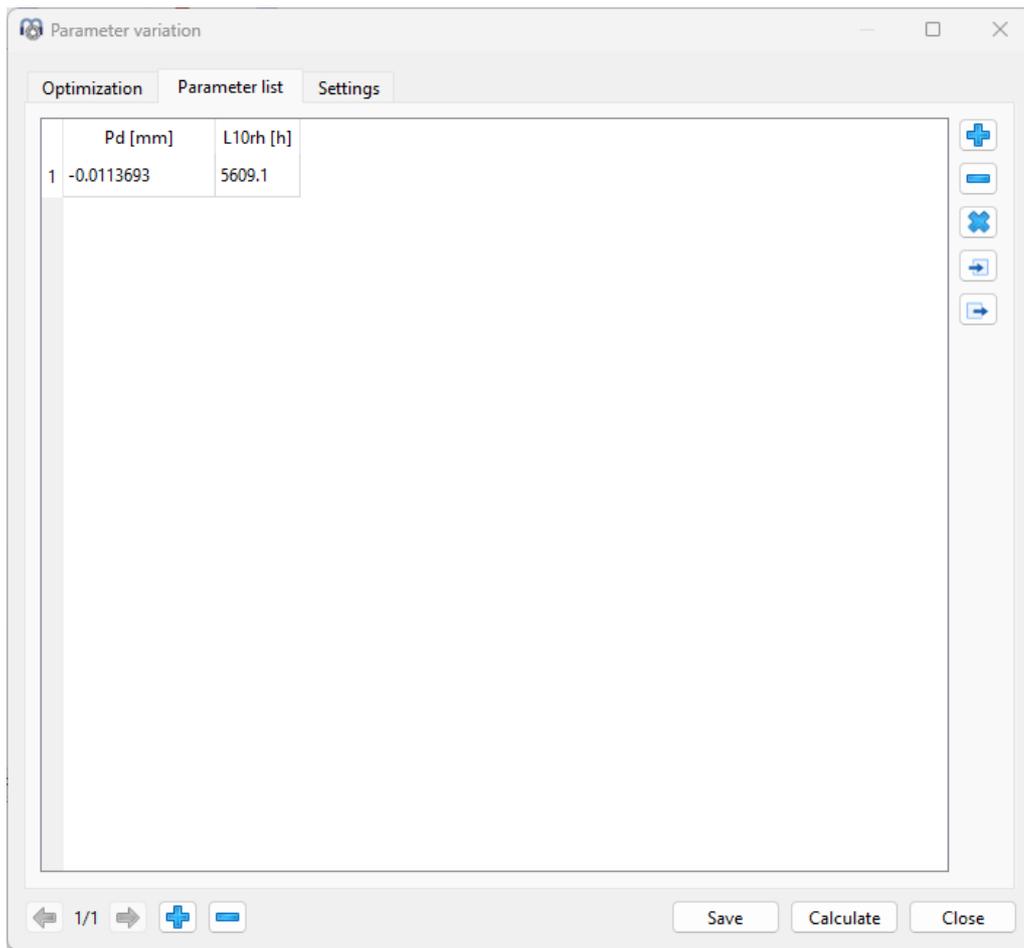
最初の2つのオプションでは、入力が最大化または最小化されるため、条件が必要です。結果値に関するオプションでは、条件はオプションです。

最適化ターゲットの係数を使用して、結果をスケールできます。収束の内部許容値は 10^{-4} に設定されています。

入力値の許容値は、入力値の必要な精度に関係している必要があります。

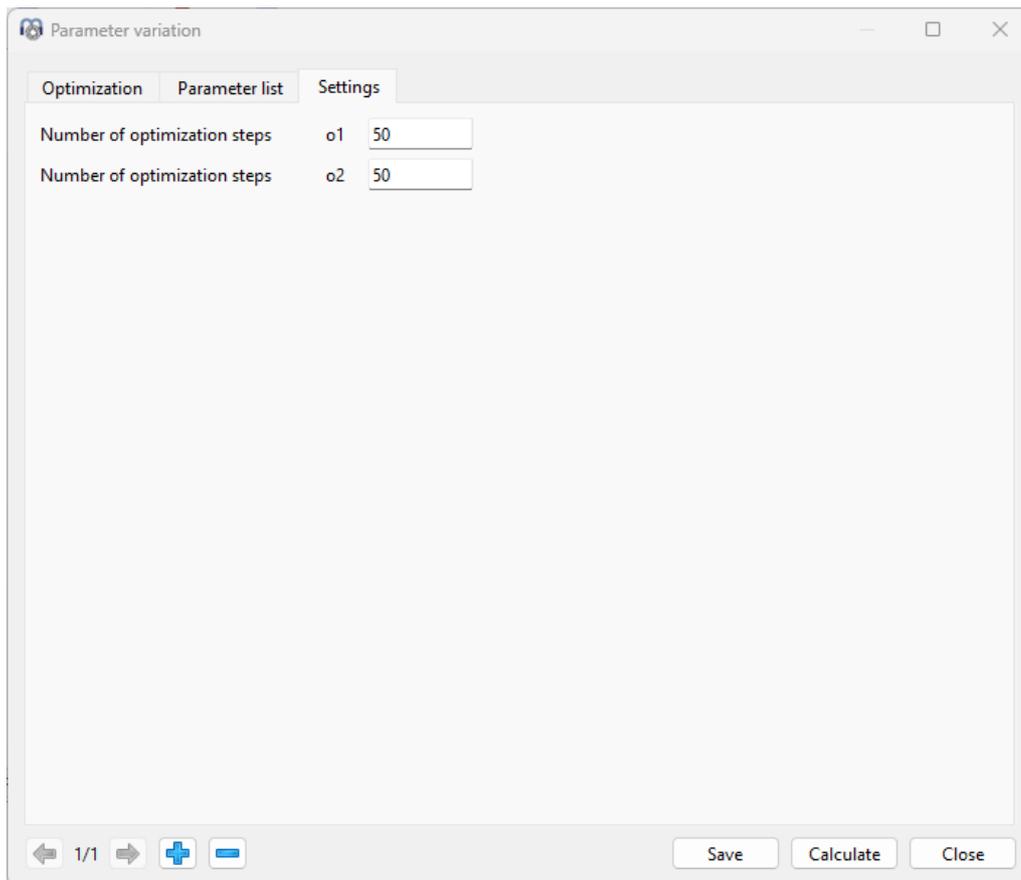
1.8.2 パラメータリスト

「パラメータリスト」ページで行が定義されていない場合は、計算の実行時に1行が追加されます。通常は1行が使用されますが、複数の入力ケースに対して最適化を実行する必要がある場合もあります。この場合、複数の行を手動で作成できます。



1.8.3 設定

2つのソルバーを使用した結果の最適化のステップ数は、設定で定義できます。最初のソルバーは関数値のみを使用し、勾配は使用しませんでした。精度は劣りますが、はるかに高速です。2番目のソルバーは関数値と勾配を使用し、時間がかかります。ステップ数が0より大きい場合は、両方が順番に呼び出されます。



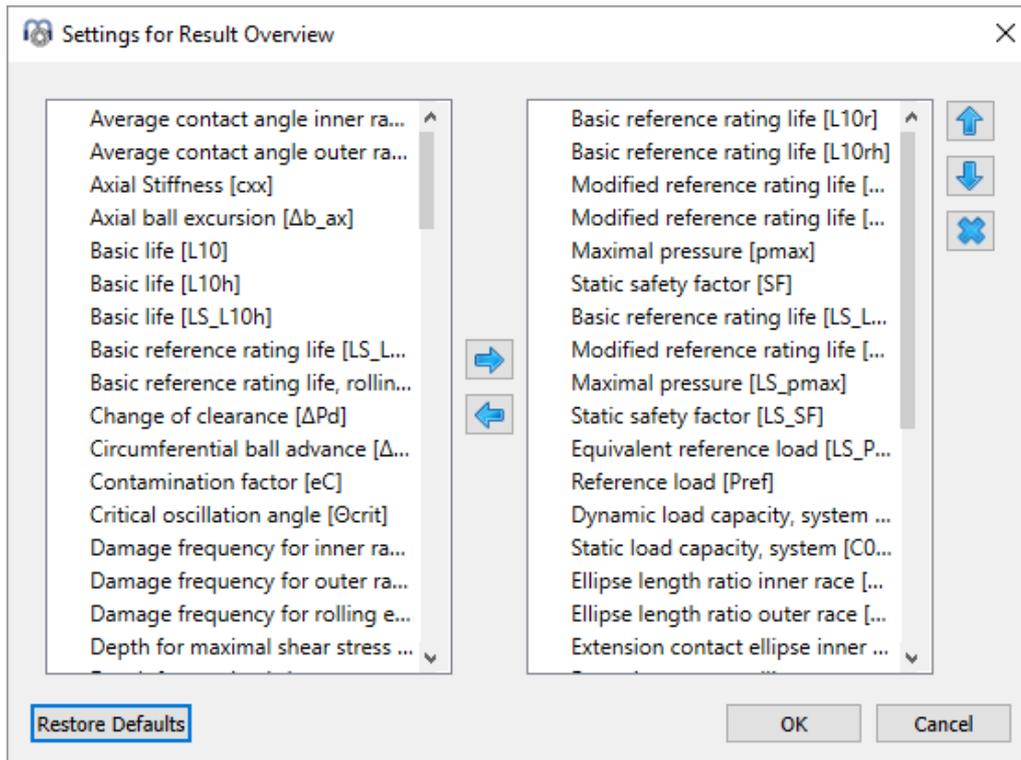
1.9 結果

結果は、ソフトウェアに直接表示される小さな結果の概要、基本のPDFフォーマットのメインテキストレポート、および計算モジュールによるオプションの追加レポートとして提供されます。レポート>結果テーブルでは、結果データを含むスプレッドシートをXLSXフォーマットでデフォルトで開くことができます。

グラフィックスウィンドウは、メインプログラムのインターフェイスにドッキングすることができ、計算ごとに自動的に更新されます。

1.9.1 結果の概要

ウィンドウの下部に表示される結果の概要には、最も重要な結果が表示されます。結果の概要は、拡張→'結果の概要'で設定できます。



左側のリストには、結果の概要で利用可能な全ての項目が表示されます。矢印を使用して、選択した項目を右側のリストに移動し、結果の概要に使用することができます。選択した結果の順序は、右側の上下矢印で変更することができます。結果の概要には、実際には有効な結果値のみが表示されます。そのため、設定で選択した値よりも少ない値が表示されます。

結果の概要の設定は、計算ファイルではなく、ユーザー設定に保存されます。そのため、異なる計算でも同じになります。

1.9.2 メインレポート

メインレポートは、レポート→'レポート表示'を選択して作成することができます。レポートはレポート→'レポート保存'を使って様々なフォーマットで保存することができます。

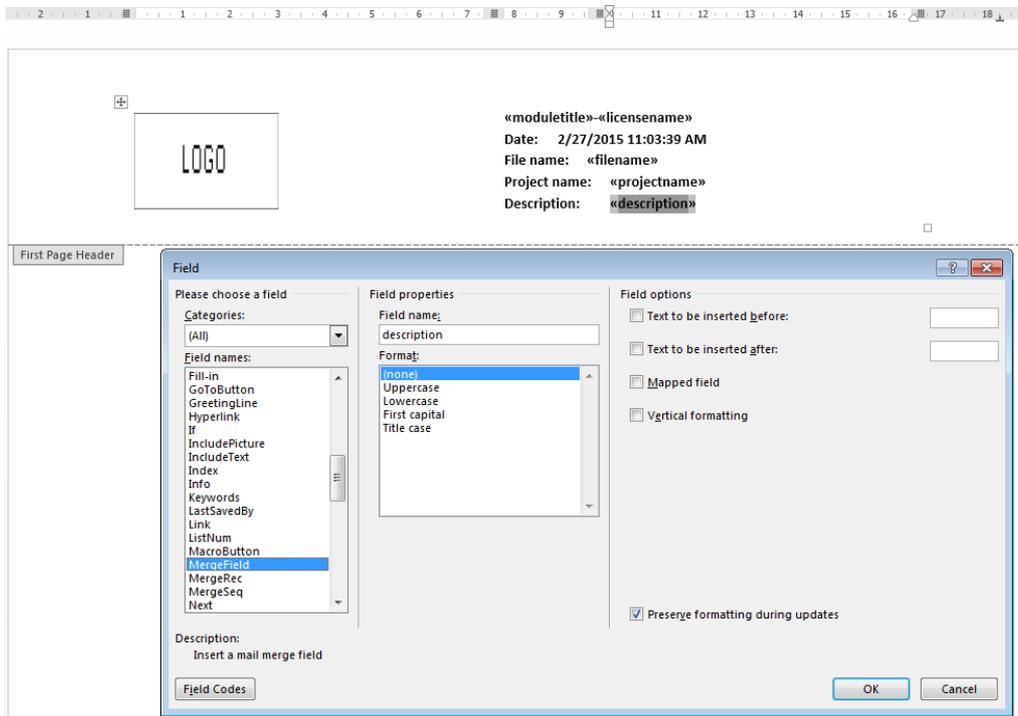
メニューのレポート>オプションでは、レポートの内容を設定することができます。レポートに含めるグラフィックスを選択し、関心のないセクションは削除することができます。すべての表パラメータの凡例をレポートに表示することができます。

レポートのロゴはmesys.iniで設定することができます。[INIファイルによる設定](#)¹⁸⁾を参照してください。

1.9.2.1 テンプレート

ソフトウェアレポートを作成する際に使用するテンプレートを(.docx)フォーマットで作成し、'mesys.ini'に定義することができます。現在のバージョンでは、ヘッダーとフッターに含まれる情報のみを編集することができます。Microsoft wordのテキストフィールドオプションを使用して、'モジュール名' 'ライセンス名' '日付' 'ファイル名' 'プロジェクト名' '説明'などの情報を

ソフトウェアにリンクさせることが可能です。さらに、レポートにデフォルトで表示されるMESYSのロゴの代わりに、会社のロゴを含めることができます。



'Mergefield' オプションで使用可能なフィールドは次のとおりです。

- filename
- projectname
- description
- licensename
- username
- modulettitle

1.9.3 カスタムレポートテンプレート

カスタムレポートテンプレートは、サブディレクトリ "templates/module-id" に追加できます。これらのテンプレートに基いたレポートは、Report→Report templatesでレポートテンプレートを選択することで作成できます。

レポートテンプレートは、DOCVARIABLEフィールドを持つワードファイルです。これらのフィールドは、レポート作成時に入力されます。

使用可能なフィールドは以下のとおりです。

- DOCVARIABLE VARname [unit]: 名前 'name' を持つ変数が印刷されます。オプションとして、[mm]のような括弧で単位を指定することができます。さ

らに、% 6.3g や % 6.3f のようなフォーマットを追加することができます。ここで、'f' は常に固定小数点出力を生成し、'g' は大きな数に対して指数的な出力を生成します。

- `DOCVARIABLE VARU name [unit]`: 名前 'name' を持つ変数と単位が表示されます。オプションとして、[mm] のような括弧で単位を指定することができます。
- `DOCVARIABLE TABLE tablename`: 表が挿入されます。
- `DOCVARIABLE GRAPHIC graphicName width=130 height=70`: グラフィックスが挿入されます。オプション高さと幅をミリメートルで指定することができます。

変数名、テーブル名、グラフィックス名の詳細については、support@mesys.ch にお問い合わせください。

1.9.4 結果テーブル

レポート>結果テーブルのメニューでは、テーブルを使用して結果データを出力することができます。テーブルのファイルフォーマットは、[INI Fileによる設定](#)¹⁸⁾で説明したとおり、さまざまな形式で作成することができます。

1.10 COMインターフェース

本ソフトウェアは、Windows上のCOMインターフェイスを介してアクセスすることができます。COMインターフェイスのインストールはオプションで、インストール時に選択することができます。最初に使用する前に、COMサーバーを登録する必要があります。

1.10.1 COMサーバーの登録

COMサーバーは、管理者として `MesysCOM(64).exe` を `-regserver` パラメータ付きで実行することにより、登録することができます。これは1回だけ実行する必要があります。登録の解除には、パラメータ `-unregserver` を使用します。

インストールディレクトリには、`RegisterMesysCOM` と `UnRegisterMesysCOM` の2つのバッチファイルが用意されており、コマンドウィンドウを使用せずに登録を行うことができます。これらは、マウスの右ボタンを使って、管理者として起動することができます。これは、ネットワーク共有にインストールされている場合には動作しませんので、ネットワークの場合には、コマンドウィンドウを使用する必要があります。

1.10.2 COMインターフェイスの方法

サーバーは、計算モジュールの作成に使用できるインターフェイスMesysCOMを提供します。使用可能なメソッドは次のとおりです。:

- `void setLanguage([in] BSTR p_lang);`
Pass language as two characters ("de", "en", "fr", "es", "tr", "ko", "zh", "ja")
- `int getVersion();`
Returns version in format yyyyymm.
- `MesysRBC* createRBC();`
Create bearing calculation module without user interface.
- `MesysSHAFT* createSHAFT();`
Create shaft calculation module without user interface.
- `MesysHERTZ* createHERTZ();`
Create Hertz stress calculation module without user interface.
- `MesysBALLSCREW* createBALLSCREW();`
Create ball screw calculation module without user interface.
- `MesysCYLGEARPAIR* createCYLGEARPAIR();`
Create cylindrical gear pair calculation module without user interface.
- `MesysGUIRBC* createGUIRBC();`
Create bearing calculation module with user interface.
- `MesysGUIHERTZ* createGUIHERTZ();`
Create hertz stress calculation module with user interface.
- `MesysGUISHAFT* createGUISHAFT();`
Create shaft calculation module with user interface.
- `MesysGUIBALLSCREW* createGUIBALLSCREW();`
Create ball screw calculation module with user interface.
- `MesysGUICYLGEARPAIR* createGUICYLGEARPAIR();`
Create cylindrical gear pair calculation module with user interface.

The interfaces MesysRBC, MesysSHAFT and others without GUI create calculation modules without user interface. MesysGUIRBC, MesysGUISHAFT are calculation modules with user interface.

1.10.2.1 一般的な方法

全ての計算モジュールの一般的な方法は

- `VARIANT_BOOL calculate();`
Run calculation.
- `VARIANT_BOOL loadFile([in] BSTR p_filename);`
Load file.
- `VARIANT_BOOL saveFile([in] BSTR p_filename);`
Save calculation file.
- `VARIANT_BOOL generateReport([in] BSTR p_filename);`
Generate a report into the filename.
- `VARIANT_BOOL showReport([in] BSTR p_filename);`
Generate the report into the filename and call a program to view it.
- `VARIANT_BOOL generateSpecialReport([in] BSTR p_type, [in] BSTR p_filename);`
Generate a special report into the filename. Use type as "resultTables" for result tables.
- `VARIANT_BOOL generateImage([in] BSTR p_imageID, [in] BSTR p_filename, [in] int p_dpi, [in] int p_widthinMM, [in] int p_heightinMM);`
Generate an image and save it as file.
- `VARIANT_BOOL generateImage3D([in] BSTR p_imageID, [in] BSTR p_filename, [in] int p_dpi, [in] int p_widthinMM, [in] int p_heightinMM, [in] double p_dirX, [in] double p_dirY, [in] double p_dirZ, [in] double p_upX, [in] double p_upY, [in] double p_upZ);`
Generate an image of a 3D-scene and save it as file. dir is a vector in view direction, up is a vector for the up-direction of the view.
- `SAFEARRAY(VARIANT) getDiagramData([in] BSTR p_imageID);`
Get the diagram data for diagrams. The format of the return value is [{"name", ["x", "abscissa label", "abscissa unit", [1, 2, 3, ...], "y", "ordinate label", "ordinate unit", [1, 2, 3, ...], "name", ...]}

- VARIANT_BOOL saveVariableList([in] BSTR p_path);
Save the list of available variables into an XLSX file. The available variables depend on the input data.
- SAFEARRAY(VARIANT) getVariableList();
Get the available variables as list. The available variables depend on the input data. The format is [{"name", "type", "unit", "description"}, ...]
- VARIANT_BOOL runParameterVariation([in] int p_index, [in] BSTR p_resultFilePath);
Call the parameter variation with defined input settings for given index and saves the result table
- SAFEARRAY(VARIANT) runParameterVariation_1([in] int p_index);
Call the parameter variation with defined input settings for given index and returns the result table
- VARIANT_BOOL setVarDouble([in] BSTR p_name, [in] double p_value);
Set variable to double value.
- VARIANT_BOOL setVarBool([in] BSTR p_name, [in] VARIANT_BOOL p_value);
Set variable to boolean value.
- VARIANT_BOOL setVarInt([in] BSTR p_name, [in] int p_value);
Set variable to integer value.
- VARIANT_BOOL setVarString([in] BSTR p_name, [in] BSTR p_value);
Set variable to character value.
- VARIANT_BOOL getVarDouble([in] BSTR p_name, [in,out] double *p_value);
Read back double variable.
- VARIANT_BOOL getVarBool([in] BSTR p_name, [in,out] VARIANT_BOOL *p_value);
Read back boolean variable.
- VARIANT_BOOL getVarInt([in] BSTR p_name, [in,out] int *p_value);
Read back integer variable.
- VARIANT_BOOL getVarString([in] BSTR p_name, [in,out] BSTR *p_value);
Read back character variable.
- VARIANT_BOOL setVar([in] BSTR p_name, [in] VARIANT p_value);
Set variable using variant
- VARIANT getVar([in] BSTR p_name);
Get variable using variant
- VARIANT_BOOL resizeArray([in] BSTR p_name, [in] int p_count);
Resize array variable

Each calculation module with GUI provides following methods:

- void showWindow();
Show user interface.
- void hideWindow();
Hide user interface.
- void exec();
Show user interface and process events until the window is closed.
- void setLanguage([in] BSTR p_lang);
Pass language as two characters ("de", "en", "fr", "es", "tr", "ko", "zh", "ja")
- MesysModule* getCalcModule();
Get the calculation module from the user interface.
- void setCalcModule(MesysModule*);
Set the calculation module for the user interface.

The names for variables of the calculation modules are the same as provided for the [custom report templates](#)^[50]. Currently the use for the shaft calculation is limited as additional functions for changing loads and supports are missing.

1.10.2.2 シャフト計算の追加手法

シャフト計算の追加方法は

- VARIANT_BOOL importREXS([in] BSTR p_path);
Import system in REXS format
- VARIANT_BOOL exportREXS([in] BSTR p_path);
Export system in REXS format
- void resizeLoadSpectrum([in] int p_count);
Resize load spectrum, which needs to be active.

- VARIANT_BOOL setLoadSpectrumElement([in] int p_id, [in] BSTR p_component, [in] int p_index, [in] double p_value);
Set data for load spectrum element
- VARIANT_BOOL setPosition([in] int p_id, [in] double p_position);
Set position for force or support
- SAFEARRAY(VARIANT) getShaftIds();
Get list of shaft IDs
- SAFEARRAY(VARIANT) getForceIds();
Get list of force IDs
- SAFEARRAY(VARIANT) getSupportIds();
Get list of support IDs
- SAFEARRAY(VARIANT) getSectionIds();
Get list of section IDs
- SAFEARRAY(VARIANT) getBearingIds();
Get list of bearing IDs
- SAFEARRAY(VARIANT) getBallScrewIds();
Get list of ballscrew IDs
- SAFEARRAY(VARIANT) getGroupIds();
Get list of group IDs
- SAFEARRAY(VARIANT) getElasticPartIds();
Get list of elastic part IDs
- int getShaftIdByName([in] BSTR p_name);
Get ID for first shaft with given name. Returns zero if not found.
- int getForceIdByName([in] BSTR p_name);
Get ID for first force with given name. Returns zero if not found.
- int getSupportIdByName([in] BSTR p_name);
Get ID for first support with given name. Returns zero if not found.
- int getSectionIdByName([in] BSTR p_name);
Get ID for first section with given name. Returns zero if not found.
- int getBearingIdByName([in] BSTR p_name);
Get ID for first bearing with given name. Returns zero if not found.
- int getBallScrewIdByName([in] BSTR p_name);
Get ID for first ballscrew with given name. Returns zero if not found.
- int getElasticPartIdByName([in] BSTR p_name);
Get ID for first elastic part with given name. Returns zero if not found.
- BSTR getName([in] int p_id);
Get element name for ID
- VARIANT getIDVar([in] int p_id, [in] BSTR p_name);
Get variable for element with given ID
- VARIANT_BOOL setIDVar([in] int p_id, [in] BSTR p_name, [in] VARIANT p_value);
Set variable for element with given ID
- VARIANT_BOOL resizeIDArray([in] int p_id, [in] BSTR p_name, [in] int p_count);
Resize array variable for element with given ID
- MesysRBC* getBearingModule([in] int p_id);
Get bearing calculation for given ID as copy
- VARIANT_BOOL setBearingModule([in] int p_id, [in] MesysRBC* p1);
Set bearing calculation for given ID
- MesysBALLSCREW* getBallScrewModule([in] int p_id);
Get ballscrew calculation for given ID as copy
- VARIANT_BOOL setBallScrewModule([in] int p_id, [in] MesysBALLSCREW* p1);
Set ballscrew calculation for given ID

1.10.2.3 軸受計算の追加手法

軸受計算の追加方法は

- VARIANT_BOOL calculateBearing([in] VARIANT_BOOL p_enterFx, [in] double p_Fx_or_Ux, [in] VARIANT_BOOL p_enterFy, [in] double p_Fy_or_Uy, [in] VARIANT_BOOL p_enterFz, [in] double p_Fz_or_Uz, [in] VARIANT_BOOL p_enterMy, [in] double p_My_or_Ry, [in] VARIANT_BOOL p_enterMz, [in] double p_Mz_or_Rz, [in] double p_ni, [in] double p_ne, [in] double p_Ti, [in] double p_Te);
Run bearing calculation with given loading.
- VARIANT_BOOL setupLoadSpectrum([in] int p_count, [in] VARIANT_BOOL p_enterFx, [in] VARIANT_BOOL p_enterFy, [in] VARIANT_BOOL p_enterFz, [in] VARIANT_BOOL p_enterMy, [in] VARIANT_BOOL p_enterMz);
Setup load spectrum definition.
- VARIANT_BOOL setLoadSpectrumLoad([in] int p_loadCase, [in] double p_frequency, [in] double p_Fx_or_Ux, [in] double p_Fy_or_Uy, [in] double p_Fz_or_Uz, [in] double p_My_or_Ry, [in] double

- p_Mz_or_Rz, [in] double p_ni, [in] double p_ne, [in] double p_Ti, [in] double p_Te, [in] double p_TOil);
Set load spectrum load for each load case
- VARIANT_BOOL selectBearingFromDatabase([in] BSTR p_manufacturer, [in] BSTR p_bearingName);
Selects a bearing based on name and manufacturer from the database
 - VARIANT_BOOL getStiffnessMatrix([in,out] double *p_c11, [in,out] double *p_c12, [in,out] double *p_c13, [in,out] double *p_c14, [in,out] double *p_c15, [in,out] double *p_c21, [in,out] double *p_c22, [in,out] double *p_c23, [in,out] double *p_c24, [in,out] double *p_c25, [in,out] double *p_c31, [in,out] double *p_c32, [in,out] double *p_c33, [in,out] double *p_c34, [in,out] double *p_c35, [in,out] double *p_c41, [in,out] double *p_c42, [in,out] double *p_c43, [in,out] double *p_c44, [in,out] double *p_c45, [in,out] double *p_c51, [in,out] double *p_c52, [in,out] double *p_c53, [in,out] double *p_c54, [in,out] double *p_c55);
Reads back the bearing stiffness matrix with units N, Nm, mm, rad. The order of rows and columns is like in the report ux, uy, uz, ry, rz.
 - SAFEARRAY(VARIANT) getStiffnessMatrixAsVector();
Reads back the bearing stiffness matrix as vector with units N, Nm, mm, rad. The order of the elements is per row.
 - SAFEARRAY(VARIANT) getRollingElementResults([in] int p_loadCase, [in] int p_bearing, [in] int p_row, [in] int p_rollingElement, [in] int p_section);
Returns results for single rolling elements. The parameter 'section' is only used for roller bearings, for section=-1 the forces acting on the roller are returned. The parameter 'loadCase' is only used if a load spectrum is defined.

1.10.2.4 ボールねじ計算の追加手法

ボールねじ計算の追加方法は

- VARIANT_BOOL calculateBallScrew([in] VARIANT_BOOL p_enterFx, [in] double p_Fx_or_Ux, [in] VARIANT_BOOL p_enterFy, [in] double p_Fy_or_Uy, [in] VARIANT_BOOL p_enterFz, [in] double p_Fz_or_Uz, [in] double p_Rx, [in] VARIANT_BOOL p_enterMy, [in] double p_My_or_Ry, [in] VARIANT_BOOL p_enterMz, [in] double p_Mz_or_Rz, [in] double p_ni, [in] double p_ne, [in] double p_Ti, [in] double p_Te);
Run ball screw calculation with given loading
- VARIANT_BOOL setupLoadSpectrum([in] int p_count, [in] VARIANT_BOOL p_enterFx, [in] VARIANT_BOOL p_enterFy, [in] VARIANT_BOOL p_enterFz, [in] VARIANT_BOOL p_enterMy, [in] VARIANT_BOOL p_enterMz);
Setup load spectrum definition
- VARIANT_BOOL setLoadSpectrumLoad([in] int p_loadCase, [in] double p_frequency, [in] double p_Fx_or_Ux, [in] double p_Fy_or_Uy, [in] double p_Fz_or_Uz, [in] double p_Rx, [in] double p_My_or_Ry, [in] double p_Mz_or_Rz, [in] double p_ni, [in] double p_ne, [in] double p_Ti, [in] double p_Te);
Sets load spectrum load for each load case
- VARIANT_BOOL getStiffnessMatrix([in,out] double *p_c11, [in,out] double *p_c12, [in,out] double *p_c13, [in,out] double *p_c14, [in,out] double *p_c15, [in,out] double *p_c21, [in,out] double *p_c22, [in,out] double *p_c23, [in,out] double *p_c24, [in,out] double *p_c25, [in,out] double *p_c31, [in,out] double *p_c32, [in,out] double *p_c33, [in,out] double *p_c34, [in,out] double *p_c35, [in,out] double *p_c41, [in,out] double *p_c42, [in,out] double *p_c43, [in,out] double *p_c44, [in,out] double *p_c45, [in,out] double *p_c51, [in,out] double *p_c52, [in,out] double *p_c53, [in,out] double *p_c54, [in,out] double *p_c55);
Reads back the stiffness matrix with units N, Nm, mm, rad. The order of rows and columns is like in the report ux, uy, uz, ry, rz.
- SAFEARRAY(VARIANT) getStiffnessMatrixAsVector();
Reads back the bearing stiffness matrix as vector with units N, Nm, mm, rad. The order of the elements is per row.
- SAFEARRAY(VARIANT) getRollingElementResults([in] int p_loadCase, [in] int p_bearing, [in] int p_thread, [in] int p_rollingElement);
Returns results for single rolling elements. The parameter 'loadCase' is only used if a load spectrum is defined and should be set to zero otherwise.

1.10.3 COMサーバーの使用

COM サーバーを使用すると、他のプログラムからMESYSソフトウェア内の関数を呼び出すことができます。

A simple example in a VisualBasic function:

```
Public Sub test()
```

```

Dim mesys As MesysCOM
Set mesys = New MesysCOM
Dim rbc As MesysRBC

Set rbc = mesys.createRBC
Dim d As Long
Dim pmax As Double

Call rbc.setVarInt("inputType", 2)
Call rbc.setVarInt("Z", 12)
Call rbc.setVarDouble("Dw", 5)
Call rbc.setVarDouble("Dpw", 50)
Call rbc.setVarDouble("Fy", 1000)
Call rbc.setVarDouble("ni", 500)

result = rbc.Calculate
Call rbc.showReport("c:/temp/report.pdf")
Call rbc.getVarDouble("pmax", pmax)
Call rbc.getVarInt("Z", d)
Call rbc.calculateBearing(True, 0, True, 1000, True, 0, False, 0, False, 0, 500, 0, 20, 20)
Call rbc.getVarDouble("pmax", pmax)
Set rbc = Nothing
Set mesys = Nothing

End Sub

```

And here the same example in Python using the members with variants as [in, out] parameters do not work from python:

```

import comtypes.client

mesys = comtypes.client.CreateObject("MesysCOM64.MesysCOM")
rbc = mesys.createRBC()
rbc.setVar("inputType", 2)
rbc.setVar("Z", 12)
rbc.setVar("Dw", 5)
rbc.setVar("Dpw", 50)
rbc.setVar("Fy", 1000)
rbc.setVar("ni", 500)
rbc.calculate()
rbc.showReport("c:/temp/report.pdf")
pmax = rbc.getVar("pmax")
z = rbc.getVar("Z")
rbc.calculateBearing(True, 0, True, 1000, True, 0, False, 0, False, 0, 500, 0, 20, 20)
pmax2 = rbc.getVar("pmax")
stiffness = rbc.getStiffnessMatrixAsVector()
rbc = None
mesys = None

```

The server provides the interface MesysCOM which can be used to create calculation modules. Available methods are:

- **void** setLanguage([in] BSTR p_lang);
Pass language as two characters ("de", "en", "fr", "es", "tr", "ko", "zh", "ja")
- **int** getVersion();
Returns version in format yyyyymm.
- **MesysRBC*** createRBC();
Create bearing calculation module without user interface.
- **MesysSHAFT*** createSHAFT();
Create shaft calculation module without user interface.
- **MesysHERTZ*** createHERTZ();
Create Hertz stress calculation module without user interface.
- **MesysBALLSCREW*** createBALLSCREW();
Create ball screw calculation module without user interface.

- **MesysGUIRBC*** createGUIRBC();
Create bearing calculation module with user interface.
- **MesysGUIHERTZ*** createGUIHERTZ();
Create hertz stress calculation module with user interface.
- **MesysGUISHAFT*** createGUISHAFT();
Create shaft calculation module with user interface.
- **MesysGUIBALLSCREW*** createGUIBALLSCREW();
Create ball screw calculation module with user interface.

The interfaces MesysRBC, MesysSHAFT and others without GUI create calculation modules without user interface. MesysGUIRBC, MesysGUISHAFT are calculation modules with user interface.

General methods for all calculation modules are:

- VARIANT_BOOL calculate();
Run calculation.
- VARIANT_BOOL loadFile([in] BSTR p_filename);
Load file.
- VARIANT_BOOL saveFile([in] BSTR p_filename);
Save calculation file.
- VARIANT_BOOL generateReport([in] BSTR p_filename);
Generate a report into the filename.
- VARIANT_BOOL showReport([in] BSTR p_filename);
Generate the report into the filename and call a program to view it.
- VARIANT_BOOL generateSpecialReport([in] BSTR p_type, [in] BSTR p_filename);
Generate a special report into the filename. Use type as "resultTables" for result tables.
- VARIANT_BOOL generateImage([in] BSTR p_imageID, [in] BSTR p_filename, [in] int p_dpi, [in] int p_widthinMM, [in] int p_heightinMM);
Generate an image and save it as file.
- SAFEARRAY(VARIANT) getDiagramData([in] BSTR p_imageID);
Get the diagram data for diagrams. The format of the return value is [{"name", ["x", "abscissa label", "abscissa unit", [1, 2, 3, ...], ["y", "ordinate label", "ordinate unit", [1, 2, 3, ...], ["name", ...]}]
- VARIANT_BOOL setVarDouble([in] BSTR p_name, [in] double p_value);
Set variable to double value.
- VARIANT_BOOL setVarBool([in] BSTR p_name, [in] VARIANT_BOOL p_value);
Set variable to boolean value.
- VARIANT_BOOL setVarInt([in] BSTR p_name, [in] int p_value);
Set variable to integer value.
- VARIANT_BOOL setVarString([in] BSTR p_name, [in] BSTR p_value);
Set variable to character value.
- VARIANT_BOOL getVarDouble([in] BSTR p_name, [in,out] double *p_value);
Read back double variable.
- VARIANT_BOOL getVarBool([in] BSTR p_name, [in,out] VARIANT_BOOL *p_value);
Read back boolean variable.
- VARIANT_BOOL getVarInt([in] BSTR p_name, [in,out] int *p_value);
Read back integer variable.
- VARIANT_BOOL getVarString([in] BSTR p_name, [in,out] BSTR *p_value);
Read back character variable.
- VARIANT_BOOL setVar([in] BSTR p_name, [in] VARIANT p_value);
Set variable using variant
- VARIANT getVar([in] BSTR p_name);
Get variable using variant
- VARIANT_BOOL resizeArray([in] BSTR p_name, [in] int p_count);
Resize array variable

Additional methods for bearing calculation:

- VARIANT_BOOL calculateBearing([in] VARIANT_BOOL p_enterFx, [in] double p_Fx_or_Ux, [in] VARIANT_BOOL p_enterFy, [in] double p_Fy_or_Uy, [in] VARIANT_BOOL p_enterFz, [in] double p_Fz_or_Uz, [in] VARIANT_BOOL p_enterMy, [in] double p_My_or_Ry, [in] VARIANT_BOOL p_enterMz, [in] double p_Mz_or_Rz, [in] double p_ni, [in] double p_ne, [in] double p_Ti, [in] double p_Te);
Run bearing calculation with given loading.

- VARIANT_BOOL setupLoadSpectrum([in] int p_count, [in] VARIANT_BOOL p_enterFx, [in] VARIANT_BOOL p_enterFy, [in] VARIANT_BOOL p_enterFz, [in] VARIANT_BOOL p_enterMy, [in] VARIANT_BOOL p_enterMz);
Setup load spectrum definition.
- VARIANT_BOOL setLoadSpectrumLoad([in] int p_loadCase, [in] double p_frequency, [in] double p_Fx_or_Ux, [in] double p_Fy_or_Uy, [in] double p_Fz_or_Uz, [in] double p_My_or_Ry, [in] double p_Mz_or_Rz, [in] double p_ni, [in] double p_ne, [in] double p_Ti, [in] double p_Te, [in] double p_TOil);
Set load spectrum load for each load case
- VARIANT_BOOL selectBearingFromDatabase([in] BSTR p_manufacturer, [in] BSTR p_bearingName);
Selects a bearing based on name and manufacturer from the database
- VARIANT_BOOL getStiffnessMatrix([in,out] double *p_c11, [in,out] double *p_c12, [in,out] double *p_c13, [in,out] double *p_c14, [in,out] double *p_c15, [in,out] double *p_c21, [in,out] double *p_c22, [in,out] double *p_c23, [in,out] double *p_c24, [in,out] double *p_c25, [in,out] double *p_c31, [in,out] double *p_c32, [in,out] double *p_c33, [in,out] double *p_c34, [in,out] double *p_c35, [in,out] double *p_c41, [in,out] double *p_c42, [in,out] double *p_c43, [in,out] double *p_c44, [in,out] double *p_c45, [in,out] double *p_c51, [in,out] double *p_c52, [in,out] double *p_c53, [in,out] double *p_c54, [in,out] double *p_c55);
Reads back the bearing stiffness matrix with units N, Nm, mm, rad. The order of rows and columns is like in the report ux, uy, uz, ry, rz.
- SAFEARRAY(VARIANT) getStiffnessMatrixAsVector();
Reads back the bearing stiffness matrix as vector with units N, Nm, mm, rad. The order of the elements is per row.
- SAFEARRAY(VARIANT) getRollingElementResults([in] int p_loadCase, [in] int p_bearing, [in] int p_row, [in] int p_rollingElement, [in] int p_section);
Returns results for single rolling elements. The parameter 'section' is only used for roller bearings, for section=-1 the forces acting on the roller are returned. The parameter 'loadCase' is only used if a load spectrum is defined.

Additional methods for ball screw calculation:

- VARIANT_BOOL calculateBallScrew([in] VARIANT_BOOL p_enterFx, [in] double p_Fx_or_Ux, [in] VARIANT_BOOL p_enterFy, [in] double p_Fy_or_Uy, [in] VARIANT_BOOL p_enterFz, [in] double p_Fz_or_Uz, [in] double p_Rx, [in] VARIANT_BOOL p_enterMy, [in] double p_My_or_Ry, [in] VARIANT_BOOL p_enterMz, [in] double p_Mz_or_Rz, [in] double p_ni, [in] double p_ne, [in] double p_Ti, [in] double p_Te);
Run ball screw calculation with given loading
- VARIANT_BOOL setupLoadSpectrum([in] int p_count, [in] VARIANT_BOOL p_enterFx, [in] VARIANT_BOOL p_enterFy, [in] VARIANT_BOOL p_enterFz, [in] VARIANT_BOOL p_enterMy, [in] VARIANT_BOOL p_enterMz);
Setup load spectrum definition
- VARIANT_BOOL setLoadSpectrumLoad([in] int p_loadCase, [in] double p_frequency, [in] double p_Fx_or_Ux, [in] double p_Fy_or_Uy, [in] double p_Fz_or_Uz, [in] double p_Rx, [in] double p_My_or_Ry, [in] double p_Mz_or_Rz, [in] double p_ni, [in] double p_ne, [in] double p_Ti, [in] double p_Te);
Sets load spectrum load for each load case
- VARIANT_BOOL getStiffnessMatrix([in,out] double *p_c11, [in,out] double *p_c12, [in,out] double *p_c13, [in,out] double *p_c14, [in,out] double *p_c15, [in,out] double *p_c21, [in,out] double *p_c22, [in,out] double *p_c23, [in,out] double *p_c24, [in,out] double *p_c25, [in,out] double *p_c31, [in,out] double *p_c32, [in,out] double *p_c33, [in,out] double *p_c34, [in,out] double *p_c35, [in,out] double *p_c41, [in,out] double *p_c42, [in,out] double *p_c43, [in,out] double *p_c44, [in,out] double *p_c45, [in,out] double *p_c51, [in,out] double *p_c52, [in,out] double *p_c53, [in,out] double *p_c54, [in,out] double *p_c55);
Reads back the stiffness matrix with units N, Nm, mm, rad. The order of rows and columns is like in the report ux, uy, uz, ry, rz.
- SAFEARRAY(VARIANT) getStiffnessMatrixAsVector();
Reads back the bearing stiffness matrix as vector with units N, Nm, mm, rad. The order of the elements is per row.
- SAFEARRAY(VARIANT) getRollingElementResults([in] int p_loadCase, [in] int p_bearing, [in] int p_thread, [in] int p_rollingElement);
Returns results for single rolling elements. The parameter 'loadCase' is only used if a load spectrum is defined and should be set to zero otherwise.

Additional methods for the shaft calculation:

- VARIANT_BOOL importREXS([in] BSTR p_path);
Import system in REXS format
- VARIANT_BOOL exportREXS([in] BSTR p_path);
Export system in REXS format

- `void` `resizeLoadSpectrum`([in] `int` `p_count`);
Resize load spectrum, which needs to be active.
- `VARIANT_BOOL` `setLoadSpectrumElement`([in] `int` `p_id`, [in] `BSTR` `p_component`, [in] `int` `p_index`, [in] `double` `p_value`);
Set data for load spectrum element
- `VARIANT_BOOL` `setPosition`([in] `int` `p_id`, [in] `double` `p_position`);
Set position for force or support
- `SAFEARRAY(VARIANT)` `getShaftIds`();
Get list of shaft IDs
- `SAFEARRAY(VARIANT)` `getForceIds`();
Get list of force IDs
- `SAFEARRAY(VARIANT)` `getSupportIds`();
Get list of support IDs
- `SAFEARRAY(VARIANT)` `getSectionIds`();
Get list of section IDs
- `SAFEARRAY(VARIANT)` `getBearingIds`();
Get list of bearing IDs
- `SAFEARRAY(VARIANT)` `getBallScrewIds`();
Get list of ballscrew IDs
- `SAFEARRAY(VARIANT)` `getGroupIds`();
Get list of group IDs
- `SAFEARRAY(VARIANT)` `getElasticPartIds`();
Get list of elastic part IDs
- `int` `getShaftIdByName`([in] `BSTR` `p_name`);
Get ID for first shaft with given name. Returns zero if not found.
- `int` `getForceIdByName`([in] `BSTR` `p_name`);
Get ID for first force with given name. Returns zero if not found.
- `int` `getSupportIdByName`([in] `BSTR` `p_name`);
Get ID for first support with given name. Returns zero if not found.
- `int` `getSectionIdByName`([in] `BSTR` `p_name`);
Get ID for first section with given name. Returns zero if not found.
- `int` `getBearingIdByName`([in] `BSTR` `p_name`);
Get ID for first bearing with given name. Returns zero if not found.
- `int` `getBallScrewIdByName`([in] `BSTR` `p_name`);
Get ID for first ballscrew with given name. Returns zero if not found.
- `int` `getElasticPartIdByName`([in] `BSTR` `p_name`);
Get ID for first elastic part with given name. Returns zero if not found.
- `BSTR` `getName`([in] `int` `p_id`);
Get element name for ID
- `VARIANT` `getIDVar`([in] `int` `p_id`, [in] `BSTR` `p_name`);
Get variable for element with given ID
- `VARIANT_BOOL` `setIDVar`([in] `int` `p_id`, [in] `BSTR` `p_name`, [in] `VARIANT` `p_value`);
Set variable for element with given ID
- `VARIANT_BOOL` `resizeIDArray`([in] `int` `p_id`, [in] `BSTR` `p_name`, [in] `int` `p_count`);
Resize array variable for element with given ID
- `MesysRBC*` `getBearingModule`([in] `int` `p_id`);
Get bearing calculation for given ID as copy
- `VARIANT_BOOL` `setBearingModule`([in] `int` `p_id`, [in] `MesysRBC*` `p1`);
Set bearing calculation for given ID
- `MesysBALLSCREW*` `getBallScrewModule`([in] `int` `p_id`);
Get ballscrew calculation for given ID as copy
- `VARIANT_BOOL` `setBallScrewModule`([in] `int` `p_id`, [in] `MesysBALLSCREW*` `p1`);
Set ballscrew calculation for given ID

Each calculation module with GUI provides following methods:

- `void` `showWindow`();
Show user interface.
- `void` `hideWindow`();
Hide user interface.
- `void` `exec`();
Show user interface and process events until the window is closed.
- `void` `setLanguage`([in] `BSTR` `p_lang`);
Pass language as two characters ("de", "en", "fr", "es", "tr", "ko", "zh", "ja")
- `MesysModule*` `getCalcModule`();
Get the calculation module from the user interface.
- `void` `setCalcModule`(`MesysModule*`);
Set the calculation module for the user interface.

- `void runParameterVariation([in] BSTR p_resultFilePath);`
Runs the parameter calculation with the given definitions and saves the results table into the given file. Only available for shaft, bearing and ball screw calculation.

The names for variables of the calculation modules are the same as provided for the [custom report templates](#)^[50]. Currently the use for the shaft calculation is limited as additional functions for changing loads and supports are missing.

1.11 ツール

メニューの“その他”→“ツール”では、いくつかの追加計算ツールを利用できます。

1.11.1 はめあい計算

このツールは、熱膨張と遠心力を考慮した多層はめあいの計算を可能にします。

Calculate interference fit ✕

Inner diameter d mm Number of layers

Internal pressure pi MPa External pressure pe MPa

Rotation speed n rpm Width b mm

| | 1 | 2 |
|---|-----------|---------|
| Diameter D [mm] | 50 | 70 |
| Interference lw [μm] | 5 | 0 |
| Temperature T [°C] | 20 | 20 |
| Youngs modulus E [MPa] | 207000 | 207000 |
| Poisson number ν [-] | 0.3 | 0.3 |
| Density rho [kg/m ³] | 7850 | 7850 |
| Thermal elongation coeff. α [10 ⁻⁶ /K] | 11.5 | 11.5 |
| Friction coefficient μ | 0.1 | 0.1 |
| Inner diameter change Δd [μm] | 0 | 4.14279 |
| Outer diameter change ΔD [μm] | -0.857214 | 3.57137 |
| Radial stress at inner diameter σ _{ri} [MPa] | | -5.0693 |
| Radial stress at outer diameter σ _{re} [MPa] | -5.0693 | 0 |
| Tangential stress at inner diameter σ _{ti} [MPa] | | 15.6303 |
| Tangential stress at outer diameter σ _{te} [MPa] | -5.0693 | 10.561 |
| Maximal axial force F _{max} [N] | 0 | |
| Maximal torque T _{max} [Nm] | 0 | |

ウィンドウの上部で内側セクションの内径を定義し、各セクションには外径のみを入力することができます。また、内部圧力は内層に、外部圧力は外層に定義することができます。はめあいには各層の追加のインプットであり、直径では決定されません。

摩擦係数と幅が定義されている場合、最大許容アキシアル荷重とトルクが最後の2行に表示されます。

MESYS シャフト計算

2 MESYS シャフト計算

シャフト計算 (Version 12/2024) は、境界条件で接続された複数のシャフトの変位、内力、固有振動数を計算します。以下の機能がサポートされています。

- 複数の同軸シャフトの定義が可能
- 平行シャフトの定義 (シャフトシステムの拡張機能)
- 任意方向のシャフトの定義が可能 (アドバンスシャフトシステムの拡張機能)
- シャフト形状を円筒形および円錐形要素で設定可能
- 内側と外側の形状を独立して設定可能
- せん断変形を考慮することがオプションとして可能
- 非線形シャフトモデルをオプションとして可能
- シャフトの重量は任意に考慮することがオプションとして可能
- 各シャフトには、点荷重または線荷重として、任意の数の荷重を定義することができます。荷重 (質量なし) は、シャフト形状の外側にも定義できます。利用可能な荷重要素は以下の通りです。
 - 力とモーメントのそれぞれ3つの成分を持つ力要素
 - 極座標の3つの力成分を持つ偏心力要素
 - 歯車データとトルクを入力とするヘリカルギア要素
 - 歯車データとトルクを入力とするベベルギア/ハイポイドギア要素
 - 歯車データとトルクを入力とするウォームギア (Worm / Worm Gear) 要素
 - トルクのみを入力するカップリング要素
 - トルクとプリテンションを入力するプリー要素
 - 固有振動数のための重量と慣性を入力するための質量要素
 - 周波数応答のための不均衡と周期的な動的荷重
- システムに対して加速を設定し、慣性力として考慮することができます。
- シャフトと剛体ハウジングの間、または2つの同軸シャフトの間に、任意の数の境界拘束を定義することができます。
- ノードあたり3自由度または6自由度のハウジング剛性マトリックスを考慮することができます。
- 2次元DXFまたは3次元STEPファイルとしてシャフト形状をインポート

- DIN 7431による強度計算(シャフト強度の拡張機能)
- 円筒歯車ペアによる接続(シャフトシステムのための拡張機能)
- ベベルギアペアによる接続(アドバンスシャフトシステム用の拡張機能)
- ウォームギアによる接続(アドバンスシャフトシステムのための拡張機能)
- 遊星歯車セット(アドバンスシャフトシステム用に拡張機能)
- プラネットシャフトにおける遠心力の考慮
- 与えられた拘束を考慮したシャフト回転数の計算(シャフトシステムのための拡張機能)
- ギア計算のための複数のプログラムとのデータ交換(シャフトシステムのための拡張機能)
- 非線形の転がり軸受剛性を考慮することができます。
- データベースから軸受を選択することができます。
- [MESYS転がり軸受計算は](#)^{152]}、シャフト計算に完全に統合されています。
- [MESYSボールネジ計算は](#)、^{242]}シャフト計算に完全に統合されています。
- [MESYS円筒歯車ペアは](#)、^{294]}シャフト計算に完全に統合されています。
- 荷重スペクトルを用いた計算
- ねじり、曲げ、アキシアルモードを考慮した固有振動数の計算(固有値解析のための拡張機能)。
- キャンベルダイアグラム(固有値解析のための拡張機能)
- 周期的な力に対する調和応答(固有値解析のための拡張機能)
- 指定された範囲での周波数応答(固有値解析のための拡張機能)
- 熱膨張、オプションでシャフト上の温度を変化させた場合の熱膨張。
- パラメータバリエーション
- 3次元FEAで考慮される3次元軸対称弾性パーツ(3次元弾性パーツのための拡張機能)
- パラメータ設定もしくはSTEPファイルとしてインポートされた3次元弾性プラネットキャリア(3次元弾性パーツのための拡張機能)
- ハウジングをSTEPファイルとしてインポートし、剛性マトリックスとして考慮、オプションでモーダル縮退を行う(3次元弾性パーツのための拡張機能)

- 軌道輪の弾性変形の考慮(3次元弾性パーツとフルの軸受計算のための拡張機能)
- ギアボディの変形の考慮(3次元弾性パーツとシャフトシステムのための拡張機能)

2.1 入力パラメータ

入力パラメータは、システムツリーで選択できる複数のページで表示されます。

2.1.1 システム入力

左のシステムツリーで'システム'を選択すると、一般的なデータを定義することができます。

The screenshot displays the MESYS Shaft Calculation software interface. On the left, a system tree shows a hierarchy: System > Shafts > Shaft. The main window is titled 'mesys Shaft Calculation' and features a 'Project name' and 'Calculation description' input field. Below this, there are three tabs: 'Settings', 'Lubrication', and 'Display settings'. The 'Settings' tab is selected, showing a list of configuration options:

- Consider weight
- Angle for weight: β_w -90 °
- Calculate natural frequencies
- Consider gyroscopic effect
- Maximum frequency: f_{max} 1000 Hz
- Number of frequencies: N_{rec} 10
- Consider gears as stiffness
- Consider gears as point load
- Consider housing stiffness
- Housing material: Steel
- Housing temperature: T_h 20 °C
- Required life: H 20000 h
- Bearing reliability: S 90 %
- Strength calculation: Infinite life according DIN 743
- Bearing position: Definition for each bearing
- Shear deformations: According Hutchinson
- Consider nonlinear shaft model
- Consider load spectrum
- Calculate modified bearing life

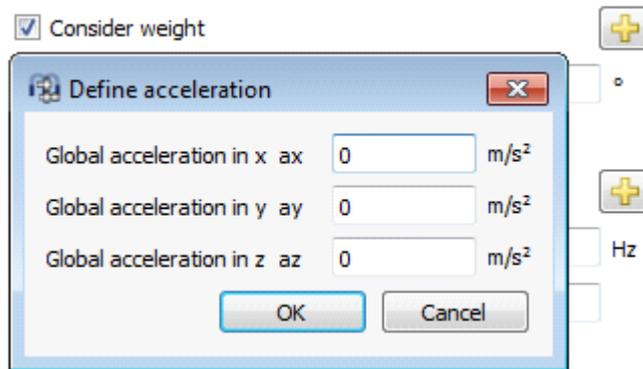
2.1.1.1 プロジェクト名と計算の概要

プロジェクト名と計算概要は、レポートヘッダに表示される単なる入力項目です。これらは、文書のために計算の目的についての情報を入力するために使用することができます。

2.1.1.2 設定

2.1.1.2.1 重量と加速度を考慮

このオプションが設定されている場合、シャフトと追加質量の重量を考慮した計算が行われます。

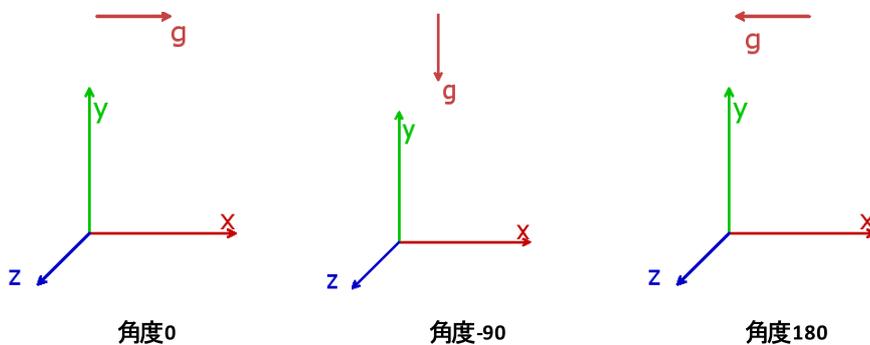


重量チェックボックスの隣にある+ ボタンをクリックすると、3軸のグローバル加速度を定義することができます。この加速度は、荷重スペクトルの定義でも使用できます。

フラグ“重量を考慮”を設定することで、重量はすでに考慮されています。加速度として入力する必要はありません。加速度の入力は、自動車のギアボックスのような追加の加速度のために考えられています。

2.1.1.2.2 重量に対する角度

この設定により、重量の方向を定義することができます。角度はx-y平面で、z軸（軸周り）の回転です。値が0の場合、シャフト軸の方向に重量が設定されます。重量の方向はシャフトグラフィックスに矢印で表示され、荷重スペクトル内で変化させることができます。



2.1.1.2.3 固有振動数を計算

固有振動数の計算を行うかどうかは、ここで設定することができます。固有振動数を計算しない方が、計算の実行が速くなります。荷重スペクトルがアクティブな場合、固有振動数は選択された結果の要素に対してのみ計算されます。

固有振動数の計算は、動的負荷に対する周波数応答が計算される場合にも有効にする必要があります。

2.1.1.2.4 ジャイロ効果の考慮

この設定を有効にすると、固有振動数の計算でジャイロ行列が考慮されます。このジャイロ行列には、x軸まわりの質量の慣性およびシャフトの回転数が必要です。

Campbell diagram options

Start factor for speed: 0

End factor for speed: 5

Factor for frequency range: 1

Number of speeds: 15

Number of harmonics: 1

Maximum number of threads: 0

Accuracy for critical frequency: 0.02 Hz

Increase accuracy for mode changes

Calculate critical frequencies

Consider gear frequencies

Simplified method for harmonic response

Coefficient for global Rayleigh damping α : 0 rad/s

Coefficient for global Rayleigh damping β : 0 s

OK Cancel

+ ボタンを使用すると、キャンベルダイアグラムにいくつかの追加のインプットを行うことができます。

- ダイアグラムは、現在の速度の入力値に対する始点と終点の係数による速度から生成されます。
- 周波数範囲の係数は、キャンベル図の縦座標の長さを定義します。係数が大きいほど、特定の速度範囲に対してより多くの周波数が計算されます。
- 回転数の数(速度)は、計算ポイントの数です。計算を速くするには、これを小さくします。速度に対する周波数応答は、値を大きくすると曲線が滑らかになります。
- ハーモニクス数(速度)は、シャフト速度の倍数に対して追加の線を表示します。
- キャンベルダイアグラムは、デフォルトで並列に計算されます。計算スレッドの最大値は、使用するスレッドの数を制限するために使用することができます。これは、大規模なシステムの複数の並列計算に対してシステムメモリが十分でない場合に、アプリケーションとして適用することができます。
- 危険振動数の精度は、シャフト速度と固有周波数の交点としての危険速度の計算のための公差です。

- 'モード変化の精度を上げる'を選択すると、例えばアキシャルモードがラジアルモードに変化したときに追加のポイントが計算されます。
- '危険振動数を計算する'が選択された場合、危険振動数はキャンベルダイアグラムが表示されているときに計算されます。そうでない場合は、危険速度のレポートに対してのみ計算されます。このオプションを設定すると、危険速度での追加の計算点が考慮されるため、速度に対するダイアグラムの周波数応答がより正確になります。
- '歯車の周波数を考慮する'が選択された場合、歯車の歯の周波数のための追加の線が表示され、対応する危険振動数が計算されます。
- 周波数応答の簡素化手法を有効にすると、周波数応答はモード形状の重ね合わせとして計算されます。解の精度は、この場合に計算されるモード形状の数に依存します。大規模なシステムでは、このオプションを有効にすると計算が速くなる場合があります。オプションが有効でない場合、結果はより正確です。
- グローバルなレイリー減衰の係数は、グローバルな質量マトリックスMとグローバルな剛性マトリックスKを使用して、 $D = \alpha * M + \beta * K$ としてグローバルな減衰マトリックスを設定するために使用されます。サイジングボタンを使用すると、ユーザーが設定した減衰比が2つの振動数に対して生じるように値を計算することができます。

2.1.1.2.5 最大振動数

注目する固有振動数の最大値を入力することができます。この最大周波数が小さすぎると、場合によっては固有振動数の結果が表示されないことがあります。

2.1.1.2.6 固有振動のモード数

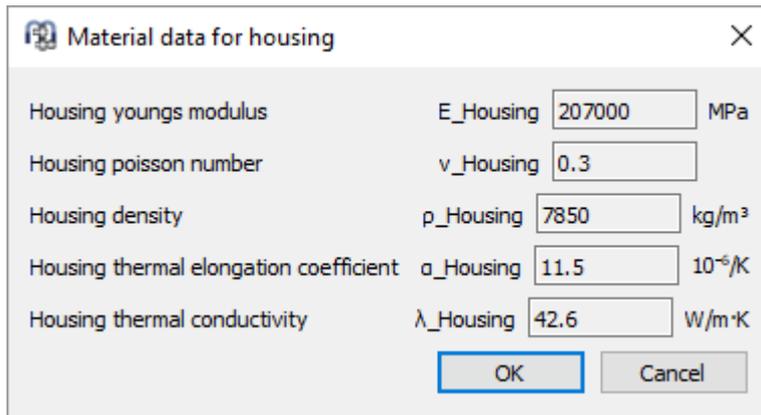
計算する固有振動数の数を指定することができます。通常、最初の数モードのみが注目されます。固有振動のモード数と最大周波数の両方の制限が考慮されます。キャンベルダイアグラムに十分な線が表示されない場合、これらの制限が原因であることが多いです。

2.1.1.2.7 静的平衡において動的負荷の考慮

このオプションが設定されている場合、動的荷重と不均衡が静的平衡に考慮されます。この近似は、シャフトの回転数が危険速度よりかなり低い場合に十分です。力の値は時間ゼロで取られるため、不均衡の方向は入力位相の方向となります。

2.1.1.2.8 ハウジング材料、ハウジング温度

ハウジングの材料データは、ハウジングの温度とともに、ハウジングに接続された境界条件の軸方向変位を計算するために使用されます。シャフト計算としては、熱膨張係数のみが重要であり、その他のデータは軸受計算への転用のためにのみ使用されます。



The image shows a dialog box titled "Material data for housing" with a close button (X) in the top right corner. It contains five rows of input fields for material properties, each with a label, a variable name, a text input field, and a unit. At the bottom, there are "OK" and "Cancel" buttons.

| Property | Variable | Value | Unit |
|--|-----------|--------|---------------------|
| Housing youngs modulus | E_Housing | 207000 | MPa |
| Housing poisson number | v_Housing | 0.3 | |
| Housing density | ρ_Housing | 7850 | kg/m ³ |
| Housing thermal elongation coefficient | α_Housing | 11.5 | 10 ⁻⁶ /K |
| Housing thermal conductivity | λ_Housing | 42.6 | W/m·K |

2.1.1.2.9 要求寿命

要求寿命は、システムに接続された歯車計算に引き継がれ、シャフト強度計算に使用されます。

2.1.1.2.10 軸受の信頼度

軸受の信頼度は、オプションでシステムレベルで定義することができ、すべての軸受の計算に使用されます。

2.1.1.2.11 強度計算

シャフトの強度計算の方法を選択することができます。現在、[DIN 743 \(2012\)](#)³¹⁸のみ利用可能です。無限寿命と有限寿命のどちらを考慮した計算を行うかを選択することができます。有限寿命の場合、“要求寿命”の入力によりサイクルの回数を計算します。

2.1.1.2.12 軸受の位置

転動体の初期位置は、この設定によりグローバルに定義することができます。[転動体の初期位置](#)¹⁵⁸参照してください。

すきまがあり、非常に小さな荷重の軸受の場合、1つの転動体にしか荷重が伝わらないことがあります。この場合、荷重に垂直な剛性がゼロとなるため、収束の問題が発生する可能性があります。その場合、オプションで“転動体間の荷重方向”を設定することが有効です。また、“転動体の初期位置 荷重方向”の設定は、ほとんどの場合、最大の接触応力と最小の軸受寿命につながります。通常、転動体の数が少ない軸受では、顕著な効果はありません。

2.1.1.2.13 せん断変形

せん断変形は、これらの変形があるため、通常は考慮する必要があります。他の計算との比較のために、せん断変形を無視することができます。非線形シャフトモデルの場合、収束を向上させるためにせん断変形を考慮する必要があります。

異なるオプションが利用可能です。固定値を入力することも可能です。通常、円柱には1/1.1が使用されます。'Cowper'によるオプションと'Hutchinson'によるオプションは、中空

シャフトの内径と材料のポアソン比を考慮したものです。[Hutchinson](#)^[321]は、[Cowper](#)^[321]よりも高次の項を式で考慮しています。

- Hutchinson (Circular Cross Section):

$$k = \frac{6(1 + \nu)^2}{7 + 12\nu + 4\nu^2}$$

- Hutchinson (Hollow Circular Cross Section):

$$k = \frac{6(a^2 + b^2)^2(1 + \nu)^2}{7a^4 + 34a^2b^2 + 7b^4 + \nu(12a^4 + 48a^2b^2 + 12b^4) + \nu^2(4a^4 + 16a^2b^2 + 4b^4)}$$

ここで、'b'は外半径、'a'は内半径、'ν'はポアソン比です。

- Cowper (Circular Cross Section):

$$k = \frac{6(1 + \nu)}{7 + 6\nu}$$

- Cowper (Hollow Circular Cross Section):

$$k = \frac{6(1 + \nu)(1 + m^2)^2}{(7 + 6\nu)(1 + m^2)^2 + (20 + 12\nu)m^2}$$

ここで $m = b/a$ は内半径と外半径の比、'ν'はポアソン比です。

2.1.1.2.14 非線形シャフトモデルを考慮

非線形シャフトモデルを考慮することができます。非線形モデルは、変形した状態での荷重の均衡を計算します。

片側が固定され、もう片側がラジアル荷重の梁は、線形モデルではラジアル方向のたわみしか示しません。非線形モデルでは、端点は軸方向にも移動し、梁の長さは増加しません。両側を固定した梁は、中央部の荷重に対する剛性が増加し、軸方向荷重が発生するため、荷重とともに剛性は増加します。非線形モデルが必要なのは大きな変位の場合だけで、機械工学における通常のシャフトでは非線形モデルは必要ありません。

2.1.1.2.15 荷重スペクトルを考慮

荷重スペクトルを考慮する場合は、このオプションを選択します。左側のツリーに荷重スペクトルの項目が追加表示されます。荷重スペクトルの定義については、[荷重スペクトルを用いた計算](#)^[111]を参照してください。

2.1.1.2.16 歯車を剛性として考慮

デフォルトでは、ギアは単に荷重要素としてみなされ、シャフトに質量も剛性も追加しません。

オプションで、ギア本体を質量と剛性としてみなすことができます。使用可能なオプションは次のとおりです:

- 「シャフト径の増加」: このオプションを選択すると、シャフト径はルート径に0.4*モジュールを加えた値に自動的に増加します。ルート径については、参照プロファイルの歯底が

1.25 であると想定されます。このオプションを使用すると、シャフトはギア本体内で変形できないため、硬くなりすぎます。

- 「中央ノードに3Dモデル」: ギア本体には、内側と外側の円筒が円筒形のままであるという制限付きで3D-FEAモデルが使用されます。3Dモデルのため、内径と外径のねじり変形と曲げ変形は異なる場合があります。3Dモデルの外径は、ルート径に0.4*モジュールを加えた値に設定されます。シャフトと同じ材料特性が使用されます。
- 「3Dモデル」: 弾性ギアとして3D弾性パーツが使用されているかのように、ギア本体に3D FEAモデルが使用されます。3D弾性パーツのライセンスが必要です。3Dモデルのため、内径と外径のねじり変形と曲げ変形は異なる場合があります。3Dモデルの外径は、ルート径に0.4*モジュールを加えた値に設定されます。シャフトと同じ材料特性が使用されます。
- 「歯が付いた3Dモデル」: ギア本体には、弾性ギアとして3D弾性部品が使用され、歯が3Dモデルに追加されているかのように3D-FEAモデルが使用されます。3D弾性部品のライセンスが必要です。3Dモデルのため、内径と外径のねじり変形と曲げ変形は異なる場合があります。このオプションでは、初期計算にかなり長い時間がかかり、ギアデータの変更ごとに更新する必要があります。したがって、設計の最終段階でのみアクティブにする必要があります。シャフトと同じ材料特性が使用されます。

2.1.1.2.17 歯車を点荷重として考慮

このオプションを選択すると、歯車の噛み合わせによる線荷重が点荷重に変換されます。これは、ユーザーが歯車の中心が完全に一致した荷重、つまり歯の噛み合わせにずれがない荷重を考慮したい場合に、軸受荷重を計算するのに有効です。

2.1.1.2.18 修正定格軸受寿命を計算

この設定は軸受計算に引き継がれ、結果への修正定格寿命の出力を有効または無効にします。潤滑油に関する情報がない場合は、無効にすることができます。

2.1.1.2.19 コンフィギュレーションを考慮

複数のグループを使用する場合、コンフィギュレーションを有効にするためのオプションが追加表示されます。コンフィギュレーション用の新しい入力ページを使用して、接続の状態を変更し、パワーフローに異なるオプションを使用できるようになります。使用方法については、[コンフィギュレーション](#)¹¹²を参照してください。

2.1.1.2.20 ハウジングの剛性を考慮

このオプションを設定すると、システムツリーにハウジング剛性マトリックスの定義用のページが追加表示されます。使い方の詳細は、[ハウジング剛性マトリックス](#)¹¹³を参照してください。

ハウジング剛性は、[ハウジングとして3次元弾性パーツ](#)¹²¹を使用することによっても考慮することができます。これはそのままの剛性マトリックスと比較してより簡単に使用することができます。

2.1.1.3 潤滑油

潤滑油のデータは、軸受や歯車の計算に転用するためのだけのものです。入力の詳細については、転がり軸受の計算のドキュメントを参照してください。'FZG 負荷ステージ' は、歯車計算に渡される追加のインプットです。

2.1.1.4 画面設定

タブページ '設定' で設定できるさまざまな表示オプションがあります。

3次元断面表示：既存の全てのシャフトの断面表示を作成することができます。必要であれば、切断面表示は中空シャフトにのみ適用することができます。この設定は、個々のシャフトに対して上書きすることができます。

3Dアニメーションの設定に関して、モード形状の周波数と回転速度の両方を調整することができます。上記のモード形状の固有振動周期をデフォルトの0.2Hzに設定すると、アニメーションは5秒周期で再生されます。軸受の3次元圧力分布は、スケールファクター'Sp'を使って簡単に誇張することができます。また、'Su'で3Dの変形形状をスケールアップすることができます。'Su'をゼロに設定すると、スケールなしで3Dの変形された形状が表示されますので、スケールファクターは1になります。

照明係数 'fl' を適用することにより、2Dのシャフト形状の見た目を強調することができます。係数 'fld' は、2Dダイアグラムのシャフト背景グラフィックスに使用されます。

'sigV' の入力値により、ユーザーは、任意のシャフトが負荷時に到達すべき最大許容応力を指定することができます。この方法により、ソフトウェアは等価応力の最大値を受けるシャフトの要求直径の近似値をグラフィカルに表示します。要求直径のダイアグラムを可視化する方法については、このドキュメントの 'グラフィックスエリア' のセクションを参照してください。

ウィンドウの右側で軸受の色を指定することができます。左のボタンは1つのシャフトとハウジングに接続されている軸受用で、右のボタンは2つのシャフトに接続されている軸受用です。上の色は、近似内部形状を持つデータベースからのベアリング、次に内部形状を含むデータベースからのベアリング、そしてカスタム形状入力を持つベアリングです。

さらに、シャフトと歯車のデフォルト色を定義することができます。

2.1.1.5 システムツリーのシステムオプション

システムツリーの "シャフト" と "軸受" の下にあるコンテキストメニューを使用すると、いくつかのオプションを利用できます。

"シャフト" のコンテキストメニューには、以下のオプションがあります。

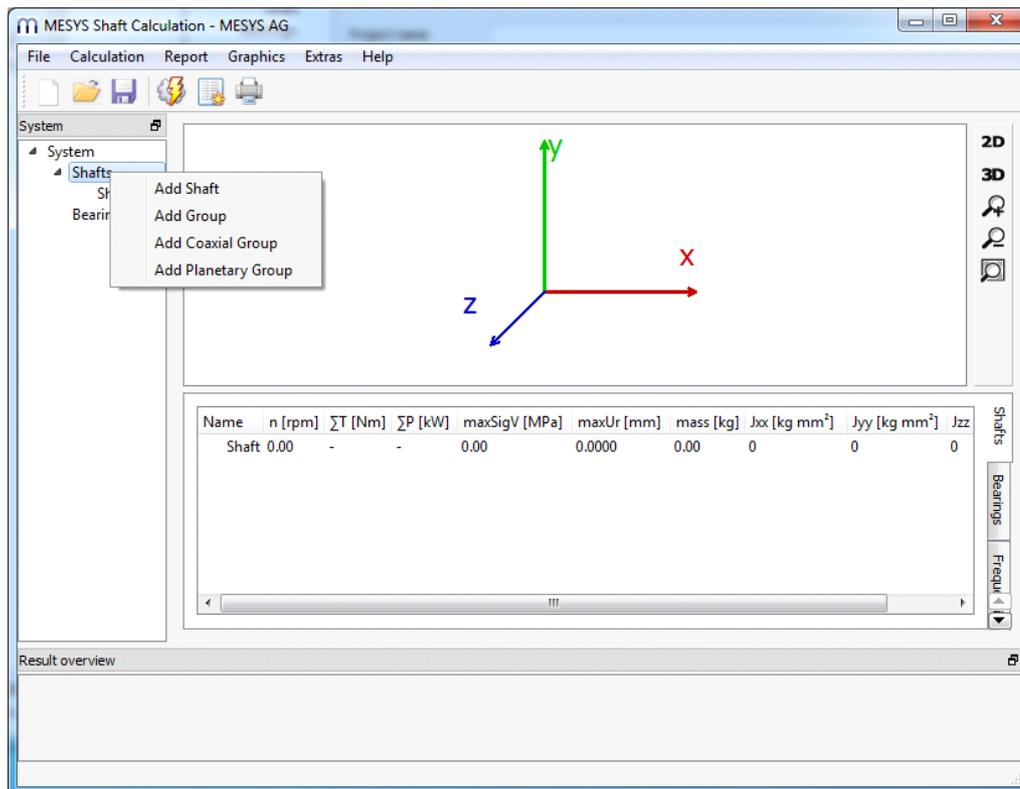
- "シャフトを追加" は、システムにシャフトを追加します。グループが使用されている場合、シャフトはグループにのみ追加できます。
- "グループを追加" は、システムにグループを追加します。
- "同軸グループを追加" は、同軸グループを追加します。同軸グループとグループの違いは、同軸グループには軸方向の位置しかなく、サポート要素は異なる同軸グループのシャフト間で使用できることです。
- "遊星グループを追加" は、遊星グループを追加します。プラネットグループはキャリアシャフトを中心に回転し、グループ上にプラネットの数を定義することができます。すべての要素は、"プラネットの数" だけ生成されます。
- "ハウジングとして弾性パーツを追加" は、3次元弾性パーツをハウジングとして追加します。このパーツは回転しません。詳しくは、[ハウジングとして3次元弾性パーツ](#) ¹²¹ をご覧ください。
- "シャフトとして弾性パーツを追加" は、3D-弾性パーツをシャフトとして追加します。このパーツは回転することができ、またプラネットキャリアにもなります。詳しくは、[シャフトとしての3次元弾性パーツ](#) ¹¹⁷ をご覧ください。

- “シャフトシステムをインポート”は、既存のシャフトシステムをインポートすることができます。MESYSシャフト計算のファイルか、REXSフォーマットのファイルのどちらかを選択することができます。
- “シャフトシステムをエクスポート”は、REXSフォーマットでシステムを外部出力することができます。このフォーマットは、他のCAEソフトウェアとのデータ交換を可能にします。
- “形状をエクスポート”は、システムをSTEPファイルとしてエクスポートします。歯車や軸受形状は簡素化された形状のみが使用されます。このエクスポートは、例えばハウジングに合うかどうかをチェックするために使用することができます。
- “グループとシャフトをソート”は、シャフトとシャフトをアルファベット順にソートします。初期状態では、要素は作成順にソートされています。
- “システムを追加”は、で円筒歯車ボックスまたは遊星歯車ボックスを生成します。

“軸受”のコンテキストメニューで、すべての軸受計算の設定を同時に有効化または無効化することができます。

```
Activate 'Extended pressure distribution' for all roller bearings
Deactivate 'Extended pressure distribution' for all roller bearings
Activate 'Consider centrifugal force' for all bearings
Deactivate 'Consider centrifugal force' for all bearings
Select minimum clearance for all bearings
Select medium clearance for all bearings
Select maximum clearance for all bearings
Select 'Elastic ring expansion is not considered' for all bearings
Select 'Elastic ring expansion based on minimum radial force' for all bearings
Select 'Elastic ring expansion based on medium radial force' for all bearings
Select 'Gyroscopic moment is not considered' for all ball bearings
Select 'Gyroscopic moment based on outer raceway control' for all ball bearings
Select 'Gyroscopic moment based on outer raceway control, distributed force' for all ball bearings
Select 'Gyroscopic moment based on friction' for all ball bearings
```

2.1.2 シャフトの定義

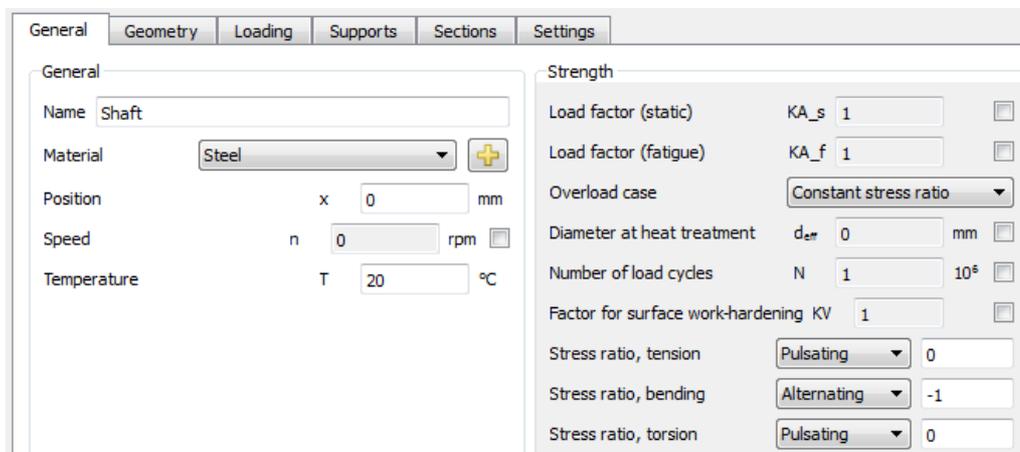


システムツリーで“シャフト”を右クリックすると、シャフトをシステムに追加することができます。シャフトは、システムツリーで選択することで定義することができます。

シングルシャフトまたは同軸シャフトのみが使用されている場合、いずれかのシャフトを直接追加することができます。一般的なシャフトシステムでは、グループまたは同軸グループを使用してシャフトシステムを構築することができます。遊星グループは、遊星歯車セットをモデル化するために遊星シャフトに使用されます。

2.1.2.1 一般的なシャフトデータ

最初のページ“一般”では、一般的なデータと強度計算のためのデータを各シャフトについて定義することができます。



2.1.2.1.1 名前

各シャフトの名前を定義し、システムツリー、メッセージ、レポートでシャフトを識別するために使用されます。

2.1.2.1.2 材料

材料はデータベースから選択することができます。✚ボタンを押すと材料データを見ることができ、ユーザー入力を選択されている場合はデータを変更することができます。

2.1.2.1.3 位置決め

複数のシャフトが定義されている場合、それらのシャフトは異なるアキシャル位置を持つことができます。位置の値は、グループに関連してシャフトの開始点または左端の位置を定義します。すべての荷重と境界条件は、この始点に関連して定義されます。

軸の位置は、2Dビューでマウスの左ボタンとShiftおよびControlキーを使用して軸をドラッグすることによっても変更することができます。

2.1.2.1.4 回転数

シャフトの回転速度は、軸受寿命やジャイロ効果による固有振動数に影響を与えます。入力の後ろのチェックボックスが選択されていない場合、ソフトウェアは拘束を使って計算しようとします。シャフトが他と接続されていない場合は、0に設定されています。

正の速度は、X方向に見て時計回りに回転していることを意味します。

2.1.2.1.5 温度

シャフトの温度を定義することができます。この温度は軸受の計算に反映され、シャフトにアキシャル応力を発生させます。

シャフトの温度が均一でない場合、ユーザーはタブページ設定'で'要素毎に温度を考慮'に対応するフラグを設定する必要があります。これにより、ユーザーはタブページ'一般'で事前に設定した温度に対して、外周形状で作成した各要素の温度差 ΔT (✚) を追加することができるようになります。応力場がない場合の基準温度は20°Cです。

2.1.2.2 強度計算用のデータ

DIN 743に基づく強度計算には、各シャフトに定義されたいくつかの入力があります。

2.1.2.2.1 荷重係数(静的)

静的安全係数の計算としては、最大荷重に静的荷重係数を乗じます。

2.1.2.2.2 荷重係数(疲労)

疲労に対する安全係数の計算として、最大荷重に荷重係数(疲労)を乗じます。

2.1.2.2.3 過負荷ケース

過負荷ケースは、許容応力の計算方法について定義します。“一定応力比”または“一定平均応力”のいずれかを選択することができます。“一定応力比”は安全係数が小さくなるため、安全側になります。

2.1.2.2.4 熱処理時の直径

熱処理時の直径は、与えられた材料の引張強度と降伏点を計算するために使用されます。ソフトウェアでは自動的に最大径に設定されますが、中空シャフトに熱処理が施された場合は、肉厚をマニュアルで選択することができます。

2.1.2.2.5 荷重サイクルの数

有限寿命の計算を行う場合、デフォルトでは回転速度と要求寿命から荷重サイクルの数を導き出します。しかし、回転しないシャフトの場合、これは不可能です。その場合、荷重サイクルの数はマニュアルで入力することができます。

2.1.2.2.6 表面硬さ係数

DIN 743では、表面硬化係数KVIによって許容応力が増加します。この値は、焼入れやショットピーニングのような機械的処理に対して設定することができます。規格ではこの値の範囲が広いので、ユーザーが設定する必要があります。

2.1.2.2.7 応力比

応力比Rは通常、最小応力値を最大応力値で割った値で定義され、 $-\infty$ から+1までの値になっています。

本ソフトウェアでは-1~+1の値を使用し、以下の定義で応力比を定義しています。

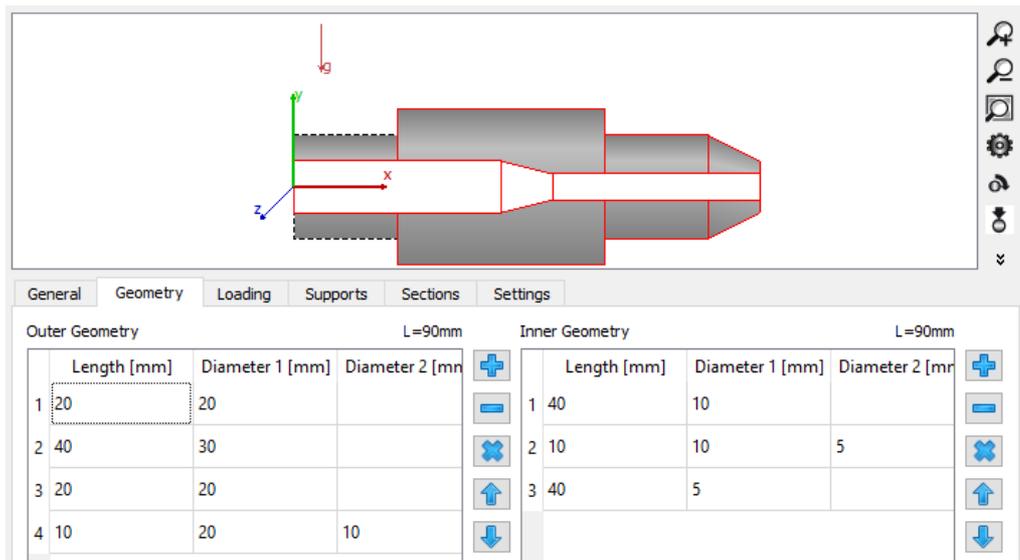
$$R = \begin{cases} \frac{\sigma_1}{\sigma_2} & |\sigma_2| > |\sigma_1| \\ \frac{\sigma_2}{\sigma_1} & |\sigma_1| > |\sigma_2| \end{cases}$$

この定義を用いると、ゼロと正または負の値の間の片振りの荷重には、 $R=0$ を使用することができます。両振りの荷重の場合は $R=-1$ 、一定の荷重の場合は $R=+1$ 。

応力比は、引っ張り、曲げ、ねじりに対してそれぞれ独立して定義することができます。回転するシャフトの場合、曲げの応力比は通常-1です。ねじりの応力比が与えられていない場合、例えば、一定と片振りの2つのケースで計算します。現在の負荷によって、どちらのケースが保守的であるかは異なります。

2.1.2.3 形状データ

シャフトの形状データは、“形状”のページで設定します。形状は、外側と内側の形状に円筒形と円錐形の要素を使用して設定することができます。シャフトの形状は、CADファイルからインポートすることもできます。[CADファイルからシャフト形状をインポート](#)¹⁰³を参照してください。



内側と外側の両方の“形状”のための入力テーブルがあります。プラスとマイナスのボタンで行の追加と削除ができ、矢印でテーブル内の要素を上下に移動することができます。

長さや‘直径1’は、各要素について定義する必要があります。‘直径2’が空白の場合、円錐以外の円柱が使用されます。負の値は許されません。全長は表の上に表示されます。

内部形状として右側からの穴を設定する場合、穴の開始位置に到達するために直径0の最初の要素を入力します。

各要素の寸法は、ビューで変更することもできます。そのためには、Shiftキーとマウスの左ボタンを使用します。長さを変更するには、要素の右3分の1の位置でクリックする必要があります。直径を変更するには、要素の上3分の1の位置でクリックする必要があります。円柱をコーンに変更するには、マウスを要素の左側の3分の1の位置に置く必要があります。インタラクティブな変更は、1mmグリッドに制限されています。シフトボタンとコントロールボタンを使用すると、要素を変更する代わりにシャフトを移動します。

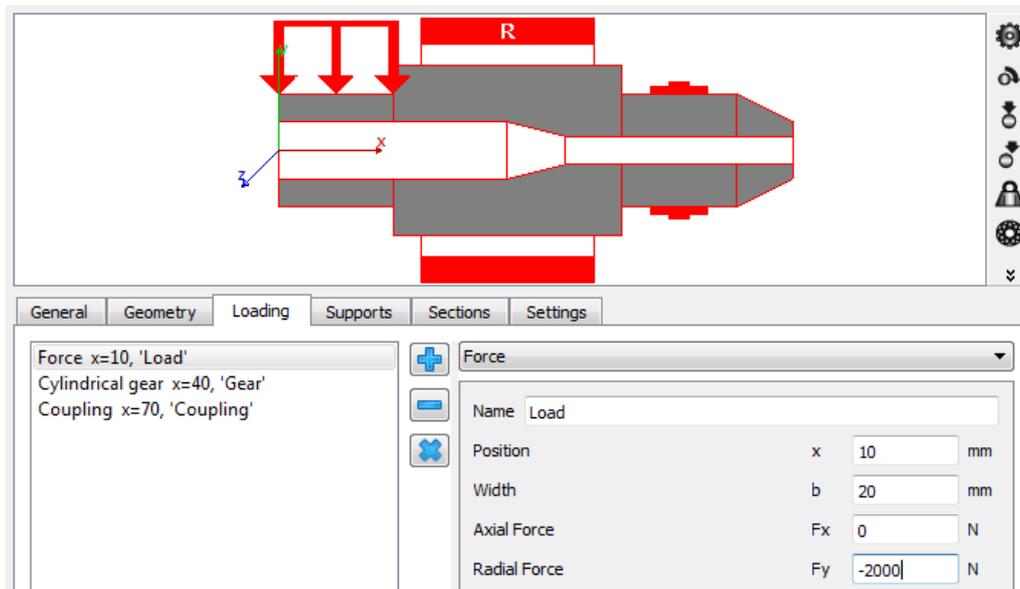
外側形状のテーブルでは、設定にある対応するオプションが有効な場合、温度差の入力も可能です。

2.1.2.3.1 背景図面

コンタクトメニュー(マウスの右ボタン)を使って、2Dグラフィックに背景グラフィックを追加することができます。PDF図面しかない場合は、CAD図面を背景に設定することができます。

背景図は、PDF図面にセクションをコピーした後、“クリップボードから設定”を使って追加されます。次に“基点を設定”で図面の位置を設定し、“水平倍率を設定”または“垂直倍率を設定”で倍率を設定します。図面上の位置とは、右クリックをした位置のことです。ですから、まず基点の位置で右クリックして“基点を設定”を選択し、次に垂直または水平方向の距離を指定した点をクリックして、縮尺を選択します。

また、コンタクトメニューで背景図を手前に移動させたり、回転させたりすることも可能です。



荷重は、リストの横にあるプラスボタンで追加することができます。荷重のタイプは右側のリストで選択できます。各荷重要素には、それを識別するための名前、シャフトの左端からの相対位置、および幅があります。

グラフィックス表示は荷重の記号を示すだけで、6つの成分を持つことがあるため、実際の方法は表示されません。座標系を左図に示します。シャフトの軸はx方向、y軸は上へ、z軸は手前へ。重りはデフォルトで負のy方向(角度 $\beta_{\omega} = -90^{\circ}$)になります。

2.1.2.4.1 荷重

荷重要素“荷重”では、力とモーメントをそれぞれ3つの成分で定義することができます。モーメントは軸周りのモーメントです。つまり、Fxはアキシアル荷重、Mxはx軸周りのモーメントなので、トルクとなります。

2.1.2.4.2 カップリング

カップリングでは、トルクの定義のみが可能です。トルクの方法は、その符号によって定義するか、または“駆動されるシャフト”(トルクは回転速度と同じ符号を持つ)か“駆動しているシャフト”(トルクは回転速度と異なる符号を持つ)かを選択することができます。

2.1.2.4.3 円筒歯車

円筒歯車の形状データとトルクを入力することで、荷重を定義することができます。

トルク方向は、符号で指定するか、“シャフトが駆動されている”/“シャフトが駆動している”を選択することができます。接触点は接触角で与えられ、それはy軸上でゼロ、z軸上で90°です。

歯車は、歯車図面上の通常のパラメータで定義されます：歯数、直角モジュール、直角圧力角、ねじれ角とその方向、オプションとして、相手歯車の歯数、中心距離を入力します。これらを入力すると、基準直径よりも正確な動作中心距離で荷重が計算されます。

内歯車の場合、歯数は負の値で入力する必要があり、中心距離は歯車形状をISO 21771 で定義されているように常に正の値です。

オプションで、外歯車のギア本体を定義できます。ギア本体の情報は、直径に対するギア本体の左右の幅の軸方向位置を使用して定義できます。最初のポイントはシャフトの直径にマッピングされます。最後のポイントはギアのルーツ直径に接続されます。内部的には、ギア本体はシャフトとギアの直径、およびギアの面幅の係数として保存されます。したがって、ギアデータが変更されると、ギア本体も変更されます。ギア本体は、オプション「[歯車を剛性として考慮](#)」⁷¹が弾性ギア本体を考慮するように設定されている場合にのみ考慮されます。

2.1.2.4.4 ベベルギア

ベベルギアやハイポイドギアのトルクと形状データを設定することができます。

トルク方向は、符号で定義するか、“シャフトが駆動されている”/“シャフトが駆動している”の選択で定義することができます。接触角はy軸が0、z軸が90°となります。

ピッチ角は直接定義するか、軸角度と相手歯車の歯数を用いて計算します。

平均直角モジュールの代わりに、外周ピッチ径を入力として使用することができます。

幅はギアの幅(フランクの長さ)で、負荷のかかるシャフトの軸方向の長さは、ピッチ角度によって小さくなります。

| | | |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| Name | Bevel gear | |
| Position | x | 40 mm |
| Width | b | 20 mm |
| Torque | T | 0 Nm |
| Direction of torque | Own Input | |
| Orientation | Apex on the right | |
| Angle to contact | ζ | 0 ° |
| Number of teeth | z | 25 |
| Normal module | mn | 2 mm <input checked="" type="radio"/> |
| Pitch diameter | de | 64.1421 mm <input type="radio"/> |
| Profile shift coefficient | x | 0 |
| Generated pressure angle | α_{nd} | 20 ° |
| Generated pressure angle | α_{nc} | 20 ° |
| Helix angle | β_m | 0 ° |
| Helix direction | Spur gear | |
| Pitch angle | δ | 45 ° <input type="checkbox"/> |
| Number of teeth of mating gear | z2 | 25 |
| Axis angle | Σ | 90 ° |
| Center distance | a | 0 mm |

2.1.2.4.5 ウォーム

ウォームのトルクと形状データを設定して、荷重を定義することができます。

トルク方向は、符号で定義するか、“シャフトが駆動されている”/“シャフトが駆動している”を選択します。接触角はy軸が0、z軸が90°となります。歯車は、歯車図面の通常データで定義されます: 歯数、軸直角モジュール、直角圧力角、リード角とその方向。歯車の摩擦係数 μ_z は、歯車の接触面に対して設定することができます。

| | | |
|---------------------------|-----------------|---------|
| Name | Worm | |
| Position | x | 1500 mm |
| Width | b | 200 mm |
| Torque | T | 0 Nm |
| Direction of torque | Own Input | |
| Angle to contact | ζ | 0 ° |
| Number of teeth | z | 1 |
| Axial module | mx | 20 mm |
| Normal pressure angle | α_n | 20 ° |
| Lead angle | γ_m | 5 ° |
| Helix direction | Helix left hand | |
| Gear friction coefficient | μ_z | 0 |

2.1.2.4.6 ウォームギア

ウォームギアのトルクと形状データを設定し、荷重を定義することができます。

トルクの方法は、符号で定義するか、“シャフトが駆動されている”/“シャフトが駆動している”の選択で定義することができます。接触角はy軸が0、z軸が90°となります。歯車は、歯車図面上の通常のパラメータによって定義されます: 歯数、正面モジュール、直角圧力角、ねじれ角とその方向。オプションで、相手歯車の歯数、中心距離を入力することができます。また、歯車の摩擦係数 μ_z を設定することができます。

| | | | |
|---------------------------|-----------------|-----|----|
| Name | Worm gear | | |
| Position | x | 500 | mm |
| Width | b | 200 | mm |
| Torque | T | 0 | Nm |
| Direction of torque | Own Input | | |
| Angle to contact | ζ | 0 | ° |
| Number of teeth | z | 40 | |
| Transverse module | mt | 20 | mm |
| Profile shift coefficient | x | 0 | |
| Normal pressure angle | α_n | 20 | ° |
| Helix angle | β_m | 5 | ° |
| Helix direction | Helix left hand | | |
| Gear friction coefficient | μ_z | 0 | |

2.1.2.4.7 偏心力

偏心力とは、シャフトの軸上でない場所に3つの成分を持つ力を入力することができます。点と力は極座標で定義されます。角度は円筒歯車の接触角と同じように定義します(上を参照)。

ラジアル荷重はシャフト中心から離れると正になり、接線方向荷重は角度の方向に正になります。モーメントは与えられた点と力によって計算されます。

2.1.2.4.8 質量

質量は、“質量”要素を使用して定義することができます。その質量に加えて、3軸まわりの慣性質量モーメントも定義することができます。質量の重量を考慮し、固有振動数の計算で考慮されます。★ボタンを押すと、円柱の形状を基にして質量と慣性力を計算することができます。

幅が入力されると、質量はこの線の上に均等に配分されます。この分散された質量の総質量慣性が入力値となり、 J_{yy} と J_{zz} が最小値となります。入力値が小さすぎる場合は、メッセージが表示されます。アキシャルオフセットは、荷重要素の幅中心から質量中心までの軸方向距離です。

付加質量が偏心している場合、回転アンバランスが発生し、以下の式により調和力とみなすことができます。 $F = m e_{cc} \omega^2 \cdot e^{i(\omega t + \varphi)}$ (e_{cc} : 偏心量 (mm))。不均衡力の位相角、 φ (°)も考慮することができます。不均衡は、周波数応答の結果にのみ影響します。軸受寿命、接触応力、またはシャフト強度の安全係数は変わりません。静的な平衡状態で動的荷重を考慮⁹⁹⁾するオプションを設定すると、軸受寿命または安全係数が変化しますが、これはあくまでも近似値です。

2.1.2.4.9 不均衡

不均衡がシャフトに質量を加えることなく力としてのみ考慮される必要がある場合、この要素を使用する必要があります。不均衡力は調和力とみなされ、偏心質量の場合と同じ方法で計算されます。つまり、 $F = m e_{cc} \omega^2 \cdot e^{i(\omega t + \varphi)}$ 、しかし、シャフトの慣性と固有振動数は影響を受けません。

アキシャルオフセットは、荷重要素の位置と不均衡の中心との間のアキシャル方向のオフセットを定義することができます。これは、追加のモーメント荷重につながります。

不均衡は、周波数応答の結果にのみ影響します。軸受寿命、接触応力、またはシャフト強度の安全係数は変わりません。

[静的平衡で動的荷重を考慮](#)^[69]するオプションを設定すると、軸受寿命または安全係数に変化が生じますが、これは近似値でしかありません。

2.1.2.4.10 動的荷重

この要素によって、ユーザーはシャフト上の調和荷重（モーメントまたは力）を、以下のように考慮することができます。

$F = \bar{F} \cdot e^{i(\omega t + \varphi)}$ 。シャフトの回転する周波数に係数 h が掛けられます。周波数がシャフト回転数に依存しない場合は、ソフトウェアダイアログの“周波数”の横のボックスをチェックすることによって、手動で指定することができます。力の位相角も定義することができます。

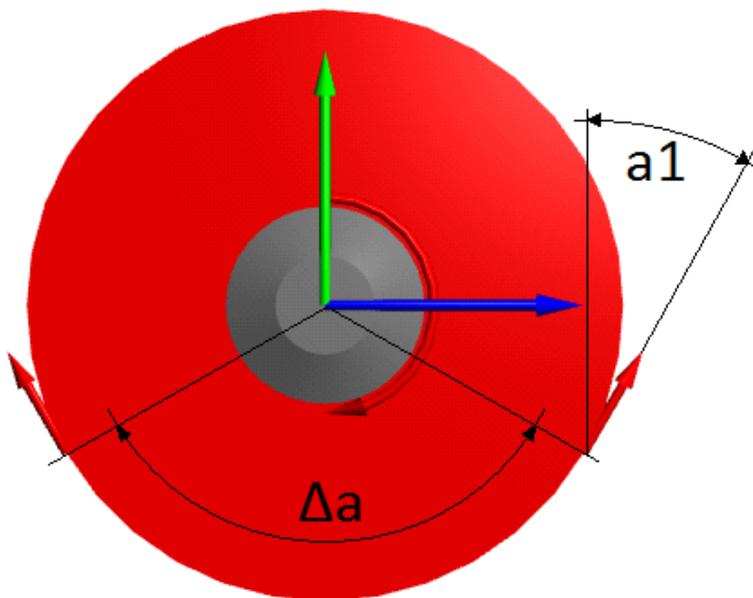
| Parameter | Value | Unit |
|----------------|---------------|-----------------------------|
| Name | Dynamic force | |
| Position | x: 0 | mm |
| Axial Force | Fx: 0 | N |
| Radial Force | Fy: 0 | N |
| Radial Force | Fz: 0 | N |
| Torque | Mx: 0 | Nm |
| Bending moment | My: 0 | Nm |
| Bending moment | Mz: 0 | Nm |
| Frequency | f: 0 | Hz <input type="checkbox"/> |
| Harmonic | h: 1 | |
| Phase | φ: 0 | ° |

動的荷重は、周波数応答の結果にのみ影響します。軸受寿命、接触応力、またはシャフト強度の安全係数は変更されません。オプション[静的平衡における動的荷重を考慮](#)^[69]を設定すると、軸受寿命または安全係数が変更されますが、これは近似にすぎません。

2.1.2.4.11 プーリ

負荷は、プーリにかかるトルクとベルトから来るプリテンションを定義することができます。

| Pulley | | | |
|----------------------|------------------|-----|-------------------------------------|
| Name | Pulley | | |
| Position | x | 40 | mm |
| Width | b | 10 | mm |
| Pretension force | Fpre | 20 | N |
| Torque | T | 200 | Nm |
| Direction of torque | Shaft is driving | | |
| Angle of first force | α_1 | 30 | ° |
| Wrap angle | $\Delta\alpha$ | 120 | ° |
| Diameter | d | 60 | mm <input checked="" type="radio"/> |
| Number of teeth | z | 0 | <input type="radio"/> |
| Pitch | p | 0 | mm |



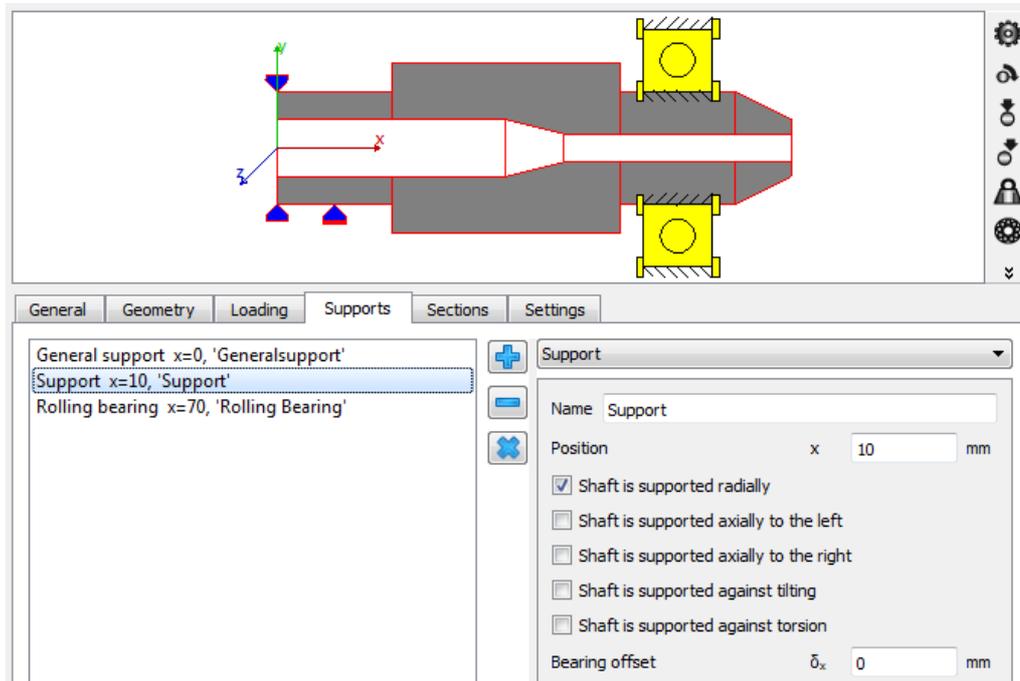
トルクの方法は、符号または“シャフトが駆動されている”/“シャフトが駆動している”の選択によって定義することができます。接触面の位置決めは、下図に示すように、Y軸のゼロから時計回りにスタートする最初の接触角と、それに続く巻付け角で与えられます。プーリの直径は、そのまま設定することもできますし、歯数とピッチで設定することもできます。

トルクは、ベルトの片側で力が増加し、反対側で力が減少するようになります。引っ張りのないプーリを使用する場合は、このモデルが正しいです。

2.1.2.5 サポート

境界条件は、“サポート”のページで定義することができます。また、グラフィックスをダブルクリックして編集したり、Shiftキーを押しながらマウスの左ボタンを使って移動することもできます。転がり軸受を含むサポート要素は、境界条件を定義するだけで、質量や重量を持ち

ません。ほとんどのサポートは、周波数応答の計算で考慮される励振を定義することができます。[励振を参照。](#)⁹⁸



2.1.2.5.1 サポート

“サポート”要素は、シャフトとハウジングの間の拘束を定義することができる使いやすい要素です。5つのチェックボックスがあり、シャフトがどの方向でサポートされるかを定義します。アキシアル方向については、右と左への動きを独立して拘束することができます。

3つの方向に対して、軸受オフセットを定義することができます。オフセットとは、ハウジング上の点がこの方向に移動することを意味します。その結果、シャフトにかかる力はオフセットの方向になります。

2.1.2.5.2 一般サポート

“一般サポート”は、シャフトとハウジングの間、または6つの自由度すべてについて2つのシャフト間の拘束を独立して定義することができます。

まず、シャフトがどの要素に接続されているかを選択することができます。それは、ハウジングまたは第2のシャフトであることができます。

各自由度について、拘束のタイプを定義することができます。

- 拘束なし: 方向の拘束なしが定義されます。
- 固定: 両要素間の自由度は正負両方向にカップリングされます。オプションでオフセットやすきまを定義することができます。オフセットに正の値を設定すると、現在のシャフトがこの方向に移動するか、選択されたシャフトにこの方向の力が加わります。すきまは、ゼロまたは正の値で、負にすることはできません。すきまは、2つの端の値間の距離として定義されます。
- 左に固定(または右に固定): “左に固定”は、選択されたシャフトが負方向(水平軸の左側)にのみ拘束されることを意味します。“右に固定”は、正の方向にのみ拘束されることを意味します。一方向の拘束には、オフセットを定義することができます。
- 剛性: “剛性”は、バネのような働きをします。オフセットとすきまを定義することができます。オフセットとすきまは、上記の“固定”の説明と同じように定義します。
- 左に剛性(または右に剛性): 剛体拘束のように、剛性も一方向にだけ定義できます。剛性とオフセットを定義することができます。

☰ ボタンを使用すると、与えられた予圧に基づいてx方向のアキシャルオフセットを計算することができます。オフセットは、サポートにかかる軸方向の荷重が予圧と等しくなるまで変化させます。予圧の値の符号は重要です。この計算は、シャフトの計算が完全に定義され、シャフトシステム全体の反復解に基づいている場合にのみ機能します。

2.1.2.5.3 転がり軸受

“転がり軸受”要素は、転がり軸受の計算への接続を定義します。

現在のシャフトは、転がり軸受の内輪または外輪に接続することができます。軸受のもう一方のリングは、ハウジングまたは別のシャフトに接続することができます。位置決めは、軸受幅の中央で、青い矢印を使って、シャフトの肩間で軸受を移動させることができます。

‘形状、材料、温度、潤滑が接続される’というボタンをクリックすると、ポップアップウィンドウが表示され、軸受の計算に転送されるデータのフラグを設定することができます。シャフトの直径、材料データ、潤滑油と温度データは、軸受計算に転送することができます。変位、荷重、回転数は常に接続されています。

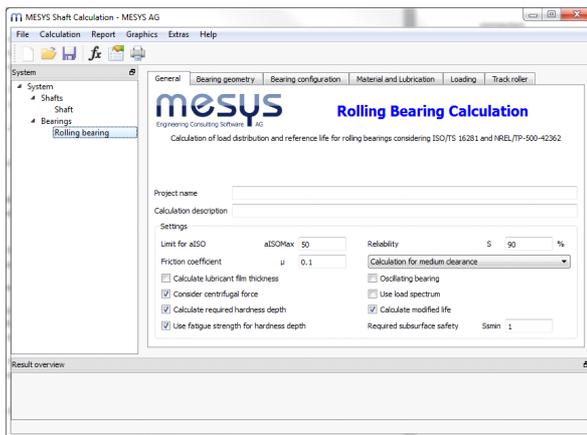
デフォルトの計算モデルでは、転がり軸受は内輪と外輪のシャフトのノード間にある非線形バネとなります。シャフトをラジアル方向及び左と右のアキシアル方向にサポートすることができます。この設定は、軸受外輪をシャフト／ハウジングに接続することを変更できます。軸受がある動きを拘束できない場合、その方向への反力は発生しません。

軸受オフセットは、セカンダリシャフト（またはハウジング）のノードをこの方向に移動させるので、現在のシャフトにオフセットの方向に力を発生させることとなります。オフセットは、アキシアル方向で軸受のプリテンションを生成したり、ハウジングのミスアライメントを考慮するために使用することができます。☰ボタンを使用すると、与えられた予圧に基づいてアキシアルオフセットを計算することができます。アキシアル軸受の荷重が予圧と等しくなるまで、オフセットを変化させることができます。予圧の値の符号は重要です。この計算は、シャフト計算が完全に定義され、シャフトシステム全体の反復解に基づいている場合にのみ機能します。

減衰係数が定義されている場合、剛性に依存する減衰マトリックスが生成され、その係数は[ジャイロ効果の考慮](#)⁶⁷⁾で指定されたグローバルなレイヤー減衰を上書きします。

軸受タイプの横にある \oplus ボタンを使用すると、データベースから軸受を選択するための転がり軸受の計算ウィンドウが表示されます。このダイアログは、2Dグラフィックスで軸受を右クリックしたときにも表示されます。

転がり軸受の要素が追加された場合、システムツリーにその軸受の項目が追加されます。この要素が選択されると、転がり軸受計算のダイアログがアクティブになり、軸受を定義することができます。



2.1.2.5.3.1 拡張計算モデル

拡張計算モデルでは、アキシャルおよびラジアル接続のための異なる要素を定義することができます。また、軸受輪とシャフトまたはハウジングのすきまを考慮することができます。軸受輪とシャフトまたはハウジングの間のすきまは、軸受計算の結果であり、軸受計算で弾性輪の膨張を¹⁶⁰使用した場合、軸受輪の弾性膨張をオプションで含めることができます。

各リングには、いくつかのオプションがあります。

- “内外輪用の追加シャフトなし”：デフォルトモデルと同様に、リングは1つの中心節点を使用してシャフトに接続されます。アキシャル荷重とラジアル荷重は伝達され、(軸受輪とシャフトまたはハウジングの間)すきまはサポートされません。
- “内輪用の追加シャフト、アキシャルフリー”内輪用の追加内部シャフトが生成され、このシャフトはアキシャル方向に自由です。ラジアル方向では、軸受計算で定義されたすきまが考慮されます。ラジアルすきまがある場合、リングはすきまと幅に基づいて傾けることができます。
- “内外輪用の追加シャフト、アキシャル接触あり”：リングに追加の内部シャフトが生成され、両側のアキシャル方向の接触は、ラジアル方向の接触と同じシャフト、異なるシャフト、または隣接する軸受のいずれかに定義することができます。接続されたシャフトは、軸受リングまで延長する必要があります。アキシャルすきまを設定することができます。オプションとして、アキシャル剛性を定義し、スプリングのブロック長に対するすきまを定義することができます。スプリングは、呼びリング径に作用し、傾斜角で反力モーメントが発生すると考えられます。以前と同様に、軸受の計算で定義されたラジアルすきまが考慮されます。リングが隣接する軌道輪に接続されている場合、軌道輪間の距離がサポートされます。この場合、右側のベアリングと同じ材料と温度を持つと仮定して、スペーサーの直径を定義できます。

追加のすきまを考慮した場合、システムが静的に定義されていないと、収束の問題が発生する可能性があります。軸受輪とハウジングの間に内部すきまを設定した場合、負荷

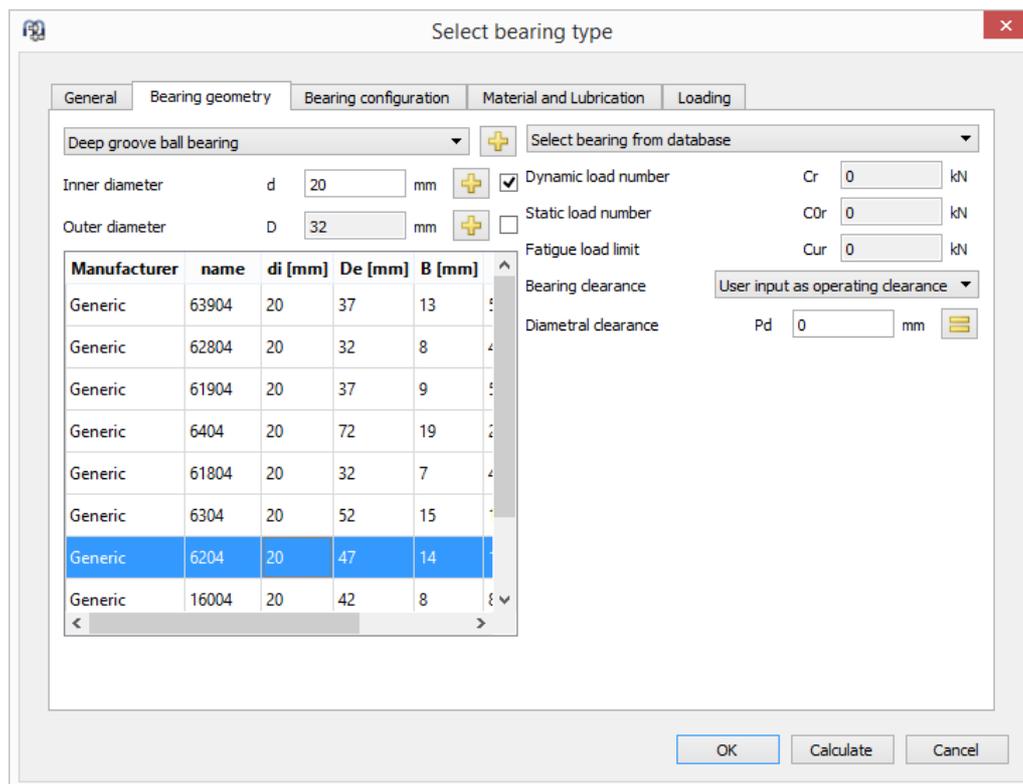
なし、予圧なしの軸受では、収束の問題が発生します。このようなケースは、軸受の損傷につながる可能性があるため、実際には避けるのが一般的です。したがって、拡張軸受モデルは、追加的な効果を評価する必要がある場合にのみ有効であり、標準設定として使用することは有効ではありません。

追加のシャフトを備えた拡張計算モデルが3D弾性パーツと一緒に使用される場合、3Dパーツではラジアル接触のみが「弾性ベアリング」タイプになる可能性があります。軸方向コンタクトは、タイプ「剛体」または「平均」で定義された単一ノードのみに行うことができます。

2.1.2.5.3.2 データベースからの軸受選択

転がり軸受計算ソフトの標準的なインターフェースで、転がり軸受を選択する方法を示します。データベースから軸受を選択するか、カスタム入力を選択します。データベースから軸受を選択した場合、内径と外径の制約を適用することができます。

アンギュラ転がり軸受や円すいころ軸受の場合、接触角の方向もダイアログの下部で定義することができます。



2.1.2.5.4 ラジアル円筒すべり軸受

すべり軸受の荷重-変位特性はISO 7902-2^[319]に従って計算されています。したがって、幅

と直径の比は次のように制限されます。 $0.25 \leq B/D \leq 1.5$ 。

このタイプの軸受の定義に使用されるパラメータは、添付の図に示されています。すきまは、ジャーナルと軸受の間の直径方向の総運転すきまを表します。偏心は、yおよびx方向に対応するオフセット入力によって導入されます。

温度入力は、潤滑油の粘度にのみ影響します。すきまに影響を与えることはありません。

表面粗さは、シャフトと軸受の間の平均値で、必要最小限の膜厚を計算するために使用されます。

流体潤滑円筒すべり軸受の計算に使用する直径は、軸受が配置されるシャフトの外径です。軸受の外輪は、ハウジングまたは別のシャフトに接続することができます。

モーダル解析では、FEAライブラリの制限により、滑り軸受の非対称剛性マトリックスを2つの直交バネに置き換えています。そのため、固有振動数はあくまで近似値です。このソフトでは安定性解析は行えません。また、減衰も考慮していません。

2.1.2.5.5 ボールねじ

ボールねじは、サポート要素として使用することができます。ボールねじの計算への接続を定義することができます。ボールねじの形状は、システムツリーのボールねじ要素で定義するか、“ボールねじの設定”をクリックすることで定義できます。

2.1.2.5.6 反作用トルクのカップリング

反作用トルクのカップリングは、シャフトの回転角度を固定するものです。トルクの合計は、この要素で取られます。

追加のチェックボックスにより、固有値解析ではこの拘束を考慮するかしないかを選択できます。

2.1.2.5.7 剛性マトリックス

一般的な対称剛性マトリックスは、シャフトとハウジングの間、または2つのシャフトの間に定義することができます。

Stiffness matrix

Name Stiffness matrix

Position x 100 mm

Connect to housing

| | ux [mm] | uy [mm] | uz [mm] | rx [mrad] | ry [mrad] | rz [mrad] |
|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Fx [N] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fy [N] | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fz [N] | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mx [Nm] | | | | 0 | 0 | 0 |
| My [Nm] | | | | | 0 | 0 |
| Mz [Nm] | | | | | | 0 |

2.1.2.5.8 減衰マトリックス

一般的な減衰マトリックスはシャフトとハウジングの間、または2つのシャフトの間に定義することができます。

Damping matrix

Name Damping matrix

Position x 0 mm

Connect to housing

| | vx [m/s] | vy [m/s] | vz [m/s] | ω_x [rad/s] | ω_y [rad/s] | ω_z [mrad/s] |
|---------|----------|----------|----------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Fx [N] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fy [N] | | 500 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fz [N] | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mx [Nm] | | | | 0 | 0 | 0 |
| My [Nm] | | | | | 0 | 0 |
| Mz [Nm] | | | | | | 0 |

2.1.2.5.9 溶接ポイント

溶接ポイントは、6つの自由度をすべて固定します。すべてのコンポーネントを“固定”として設定した[一般サポート](#)⁸⁹よりも使いやすいたが、機能は同じです。溶接ポイントは、幅を定義する追加オプションがあります。幅>0が定義されている場合、複数の溶接ポイントが自動的に考慮されます。

2.1.2.5.10 遊星サポート

遊星用サポートは、遊星用シャフトをサポートするために用意されています。遊星シャフトは常にキャリアによってラジアル方向と円周方向にサポートされます。アキシアル方向の拘束、傾きやねじりに対する拘束は、それぞれ独立して作動させることができます。

2.1.2.5.11 アキシアル剛性

アキシアル剛性は、アキシアル方向の非線形ばねを定義するために使用することができます。アキシアル方向のすきまは、すきまやプリテンションを定義するために使用することができ、表のデータは(0, 0)で始まる必要があります。直径が定義されている場合、アキシアル剛性はこの直径に分布した剛性として機能するため、アキシアル方向に荷重が加わるとサポートは傾きモーメントをサポートすることもできます。

アキシアル剛性は、テーブルの最後の変位点の後ろに非常に大きな値で設定されます。

Axial stiffness

Name: Axial stiffness

Position: x 0 mm

Connect to housing: [dropdown]

Stiffness to the right: [dropdown]

Axial clearance: Pa 0 mm

Diameter: D 20 mm

| | u [mm] | F [N] |
|---|--------|-------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 500 |
| 3 | 2 | 2000 |

2.1.2.5.12 円筒サポート

円筒サポートは、ある幅のラジアルすきまや、2つのパーツ間のアキシアルすきまを定義することができます。シャフト上またはシャフト内のリングをモデル化するために使用することができます。拘束は、剛体または剛性を定義することができます。アキシアル拘束のために、直径を定義して、分布したアキシアル剛性を使用してモーメント荷重を受けるようにすることができます。円筒形のサポートは、内側シャフトに定義する必要があります。

Cylindrical constraint

Name

Position x mm

Connect to housing

Width b mm

Diametral clearance Pd mm

Radial stiffness Cr N/mm

Consider temperature for radial clearance

Shaft is supported against torsion

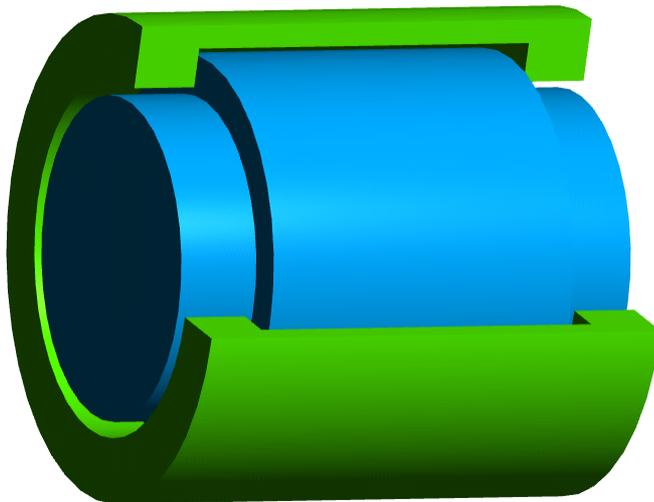
Shaft is supported axially to the left

Axial clearance PaL mm

Diameter DL mm

Axial stiffness CaL N/mm

Shaft is supported axially to the right



2.1.2.5.13 接触剛性

接触剛性は、円周上の複数の位置で非線形バネを定義します。主に3次元弾性パーツや弾性面で使用されることが多いようです。サポートは、“弾性軸受”タイプの面に接続することができます。ばねは、面に対して垂直な方向に作用し、そこで定義されます。アキシアル剛性のために、正しい直径を定義することが重要です。すきまは、1つのばねのすきまなので、ラジアル接触の場合、直径ではなく、半径を基にします。

剛性法則は、異なる変位に対する荷重を表にして定義することができます。表は値(0, 0)で開始しなければなりません。最後の値より大きな変位では、剛性は非常に大きくなります。

バネの位置は角度で定義することができます。すきまがグローバルに定義されていない場合、各スプリングに個別にすきまを定義

することができます。★ボタンを押すと、等距離のスプリングでテーブルを埋めることができます。

Contact stiffness

Name Contact stiffness

Position x 0 mm

Connect to housing

Clearance C 0 mm

Diameter D 100 mm

Definition of stiffness

| | u [mm] | F [N] |
|---|--------|-------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 500 |
| 3 | 2 | 2000 |

Definition of positions

| | ϕ [°] |
|---|------------|
| 1 | 0 |
| 2 | 90 |
| 3 | 180 |
| 4 | 270 |

2.1.2.5.14 励振

剛体環境に接続されたサポートに対して、励振を定義することができます。これらは、周波数応答の計算として考慮されます。

Housing:S1

Base excitation

| | f [Hz] | phase [°] | ux [mm] | uy [mm] | uz [mm] | rx [rad] | ry [rad] | rz [rad] |
|---|--------|-----------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1 | 100 | 0 | 0 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Excitation based on shaft rotation

| | h | phase [°] | ux [mm] | uy [mm] | uz [mm] | rx [rad] | ry [rad] | rz [rad] |
|---|---|-----------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0.001 | 0 | 0 | 0 | 0 |

OK Cancel

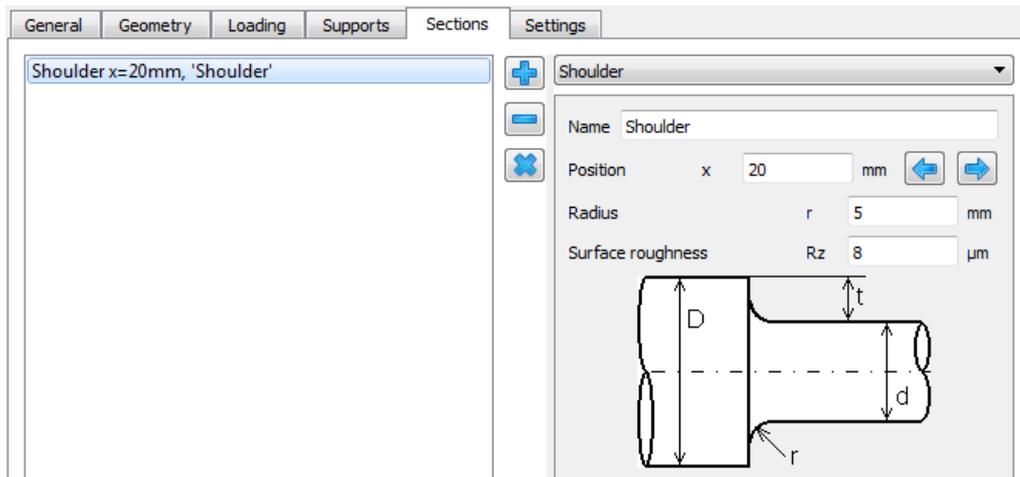
いくつかのタイプの励振を考慮することができます。

- 基礎励振は、剛体環境におけるノードの調和変位または回転です。これは、周波数を与えることによって定義されなければならない。これは地面の振動に使用することができます。
- シャフトの回転に基づく基礎励振は、シャフトと一緒に回転します。真円度エラーのモデル化に使用できます。ハーモニクスの係数が定義されており、係数が1であれば、シャフト回転数で励振することになります。
- 内輪の回転に基づく励振は、剛体の軸受輪の場合、転動体のために定義することができます。ここでもハーモニクスが定義され、内輪と一緒に回転するように励振されます。
- 外輪の回転に基づく励振は、剛体の軸受輪の場合、転動体のために定義することができます。ここでもハーモニクスが定義され、励振は外輪と一緒に回転します。
- 保持器の回転に基づく励振は、剛体の軸受輪の場合、転動体に対して定義することができます。ここでもハーモニクスが定義され、保持器の回転数に応じて励振が回転します。保持器回転数は、呼び接触角を使用して計算されます。

2.1.2.6 セクション

“セクション”を使用すると、強度計算のためにいくつかの断面を定義することができます。セクションの1つのタイプは、強度計算のためのモジュールなしで使用できる“ドキュメンテーションポイント”です。この場合、変位と荷重がレポートに記録されるだけで、DIN 743に合った強度計算は実行されません。

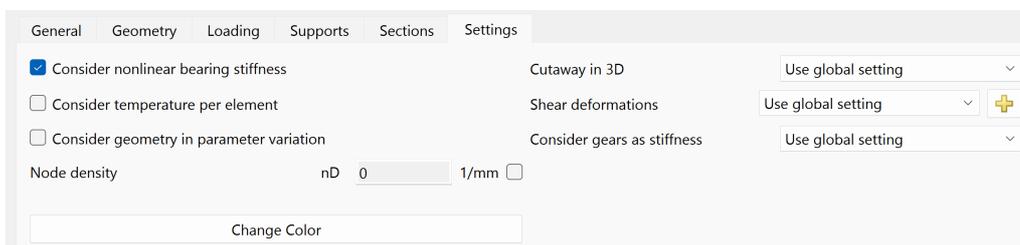
選択されたセクションのタイプにより、切欠き効果の詳細を定義するためにいくつかの入力が必要です。(DIN 743-2, Dezember 2012)のすべてのタイプがサポートされています。



“ドキュメンテーションポイント”には、“剛性の計算”の設定があります。このオプションを有効にすると、シャフトのこの点の6自由度での剛性が結果の概要とレポートに表示されます。剛性は、このポイントに縮退されたシステム剛性のコンプライアンス行列の主対角線の逆数です。つまり、例えば、 F_y, F_z, M_x, M_y, M_z の力とモーメントが一定であれば、 $c_{xx} = dF_x / du_x$ となります。

2.1.2.7 設定

1つのシャフトに対していくつかの設定を入力することができます。



2.1.2.7.1 非線形軸受剛性を考慮

デフォルトでは、転がり軸受に対して非線形軸受剛性を考慮します。大規模なシステムでは、このオプションをクリアすることで、計算時間を短縮することができます。このオプションがない場合、ベアリングは剛体とみなされます。このオプションは各シャフトで利用できるもので、ベアリングの剛性が重要な場所で設定し、他のシャフトでクリアすることができます。

接触角のある軸受を使用する場合は、アキシアル荷重とラジアル荷重のカップリングを考慮し、非線形剛性マトリックスを検討する必要があります。

2.1.2.7.2 要素毎に温度を考慮

このフラグを設定することで、ユーザーは、タブページ“一般”であらかじめ設定した温度に対して、外形で作成した各要素の温度差 ΔT (±) を追加することができます。また、温度差は荷重スペクトル内で変化させることができます。

2.1.2.7.3 パラメータバリエーションで形状を考慮

このオプションが設定されている場合、このシャフトの形状はパラメータバリエーションで変更できます。多数のシャフトを持つギアボックスの場合、パラメータバリエーションで多くの入力パラメータが発生する可能性があるため、デフォルトではアクティブではありません。

2.1.2.7.4 ノード密度

ユーザーは、FEAモデルのノード密度を上書きすることができます。静的線形計算の場合、ダイアグラムの解像度を向上させるために節点が追加されます。結果は円錐形状の場合にのみ影響し、円筒形状の要素には影響しません。モーダル解析の場合は、ノード数によって結果が異なります。

節点密度を下げると計算時間が短縮されます。

2.1.2.7.5 3次元断面表示

各シャフトの3次元断面表示の設定は、タブページ'表示設定'で選択した一般的なオプションとは別に設定することができます。

2.1.2.7.6 せん断変形

ここでは、選択したシャフトに考慮されるせん断係数の値(μ)を定義することができます。デフォルトでは、グローバル設定で定義されたものが使用されます。 κ (カッ μ)の計算のための他のアプローチは、ドロップダウン・リストから選択することができます。'ユーザー入力 κ (カッ μ)'が選択された場合、ユーザーは \oplus ボタンを押し、希望する値を入力する必要があります。

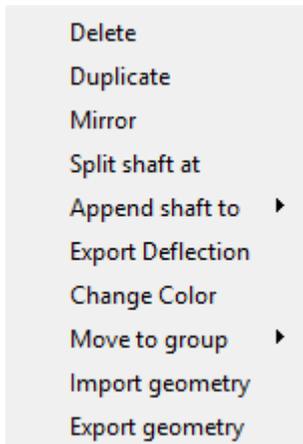
2.1.2.7.7 歯車を剛性として考慮

各シャフトについて、ギアを剛性として考慮する設定は、ギアを剛性として考慮するのグローバル設定とは独立して個別に設定できます。[Consider gears as stiffness](#)^[71]。

2.1.2.7.8 色の変更

シャフトの色を変更することができます。透明度は3D表示時のみ考慮され、2D表示時は考慮されません。

2.1.2.8 システムツリーのオプション



システムツリーのシャフト上でマウスの右ボタンを押すと表示されるコンテキストメニューには、いくつかの追加オプションがあります。

- “削除”は、シャフトを削除します。
- “複製”は、シャフトを複製します。これは、ギアボックスでいくつかの類似したシャフトが必要な場合に便利です。
- “ミラー”は、シャフトの形状と荷重とサポートの位置をミラーリングします。力とサポートの方向は変更されません。
- “シャフトを分割”は、シャフト上の位置を尋ねて、シャフトを2つのシャフトに分割します。
- “シャフトを付け加える”は、シャフトを同じグループ内の別のシャフトに付け加えます。
- “変位をエクスポート”は、シャフトの変位を*.csvファイルにエクスポートします。メニューレポートの“結果テーブル”にもこの情報が含まれますが、1つのシャフトだけでなく、すべてのシャフトについて含まれます。
- “色を変更”は、シャフトの色を変更します。
- “グループに移動”は、シャフトを別のグループに移動することができます。これは、“複製”の後によく使用されます。
- “形状をインポート”は、シャフトの形状を2次元DXFまたは3次元STEPで入力することができます。以下を参考にしてください。
- “形状をエクスポート”は、シャフトを3D STEPまたはIGESとしてエクスポートします。ギアと軸受はエクスポートに含まれます。

2.1.2.8.1 CADファイルからシャフト形状をインポート

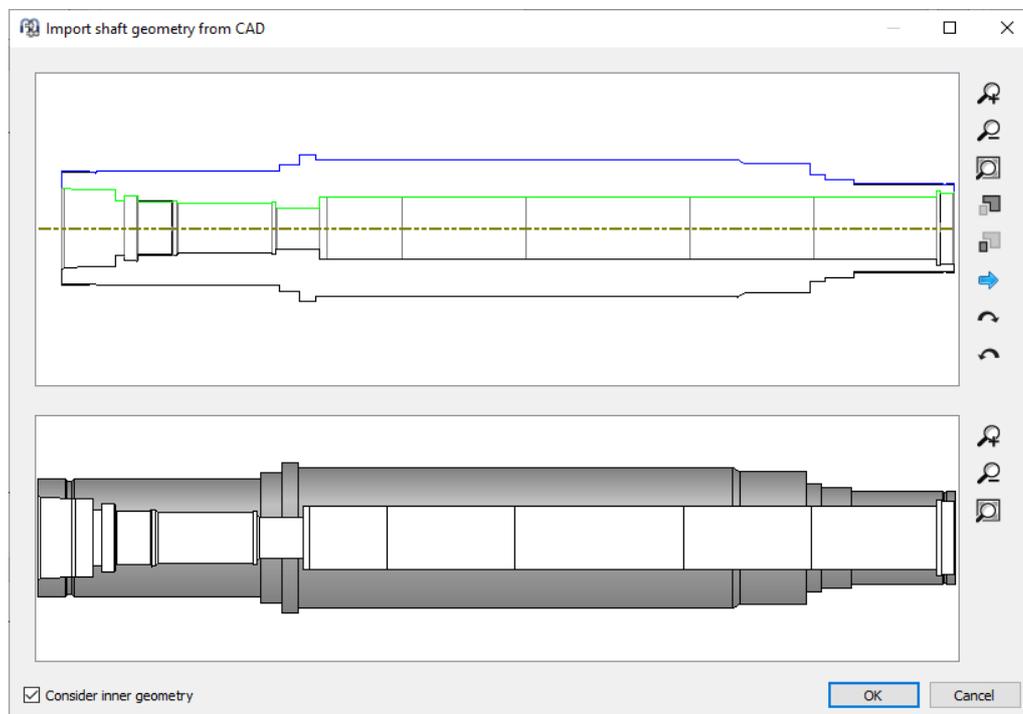
シャフト形状を2D DXFまたは3D STEPファイルからインポートすることができます。3D-STEPファイルの場合、x/y平面、x/z平面、y/z平面でのパーツの交差が行われ、結果のエッジはDXF入力の場合と同様に考慮されます。CADモデル内のレリーフ溝は、多くのインポート要素につながる可能性があります。

DXFファイルでは、通常の図面を選択することができます。マウスの左ボタンを使用すると、いくつかのジオメトリを選択することができます。選択されたジオメトリは、削除または分割を選択することができます。これにより、インポートに必要な形状を選択することができます。

→ ボタンを使用すると、DXFファイル内の異なるレイヤ、またはSTEPインポート内の異なるパーツまたはセクションを切り替えることができます。

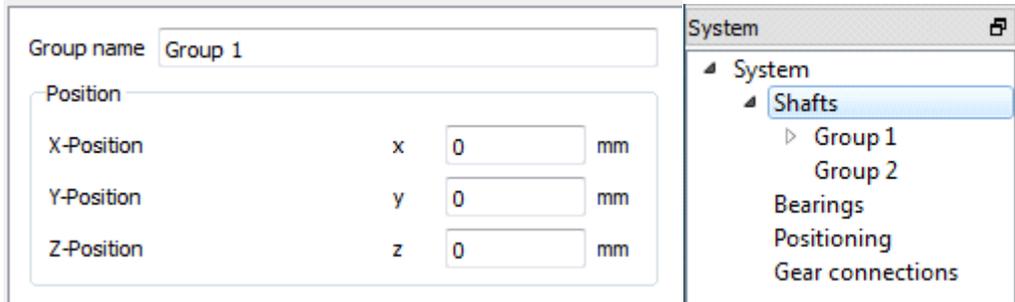
内部形状をインポートする場合は、ウィンドウの下部にあるフラグをオンにする必要があります。

DXFファイルには線しか含まれていません。ソフトウェアがこれらの線間の正しい接続を検出できないことがあります。この場合、間違っ使用されている線を選択し、削除することができます。ウィンドウの下部には、現在検出されているジオメトリ入力が表示されます。アンダーカットのある線分を選択し、「c」キーを押すと、アンダーカットが削除されます。隙間のある2つの線を選択し、「c」キーを押すと、その隙間を塞ぐことができます。軸の始点終点と同じである2つの線を選択し、キー「c」を押すと、軸の位置を定義するために使用される垂直線が追加されます。



2.1.3 シャフトグループ

同軸でないシャフトを持つシステムでは、シャフトグループを追加する必要があります。各グループの位置は定義することができます。



位置決め拘束が使用されている場合、位置はソフトウェアによって計算されることもあります。以下を参照してください。

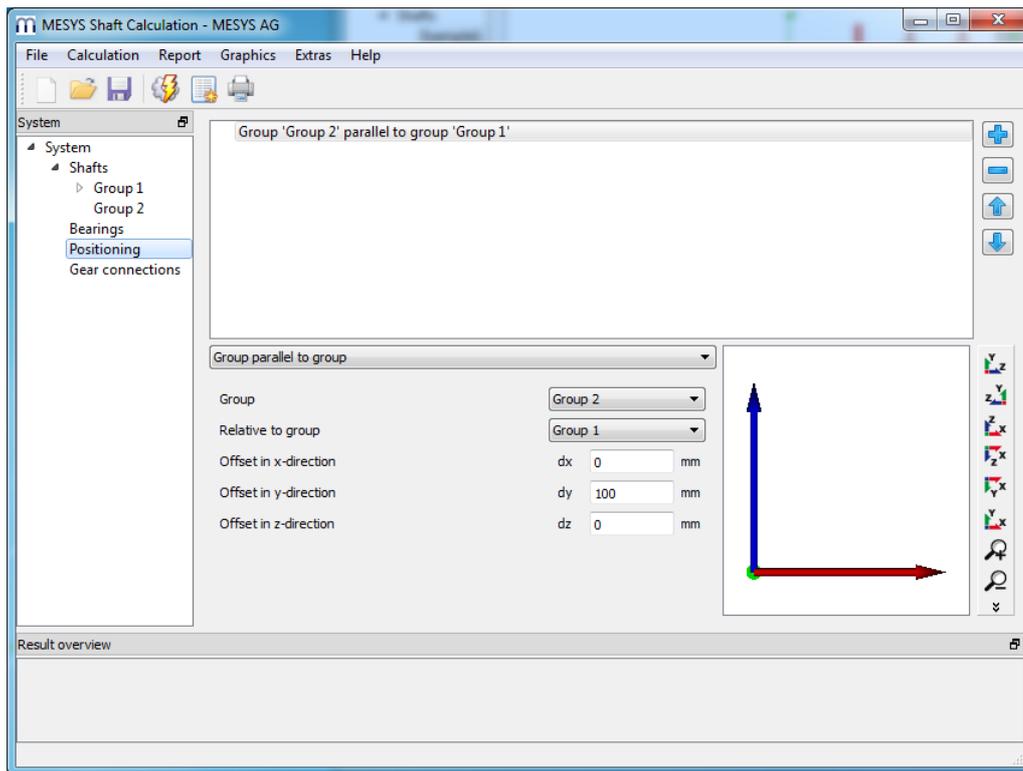
グループには3つのタイプがあります。

1. 標準グループ: 標準グループは、任意の位置を持つことができ、サブグループを保持することができます。異なるグループのシャフトをサポートで接続することはできません。
2. 同軸グループ: 同軸グループは、親グループに対して軸方向にのみ位置決めすることができます。異なる同軸グループのシャフトは、転がり軸受や他のサポートによって接続することができます。
3. 遊星グループ: 遊星歯車セットを定義するには、遊星グループが必要です。位置決めだけでなく、プラネットの数も定義することができます。遊星グループのシャフトは、プラネットキャリアの周りを回転します。この回転によって生じる遠心力が考慮されます。遊星グループ内の軸受やその他のサポートについては、各遊星の結果が結果に表示されます。

2.1.4 位置決め

複数のグループを使用する場合、システムツリーに位置決め用のエントリが追加表示されます。

“位置決め”のページでは、グループの位置に対する拘束を定義することができます。新しい拘束は、**+** ボタンを使って追加され、矢印を使ってソートすることができます。拘束は計算ごとに評価されるので、順序は重要です。

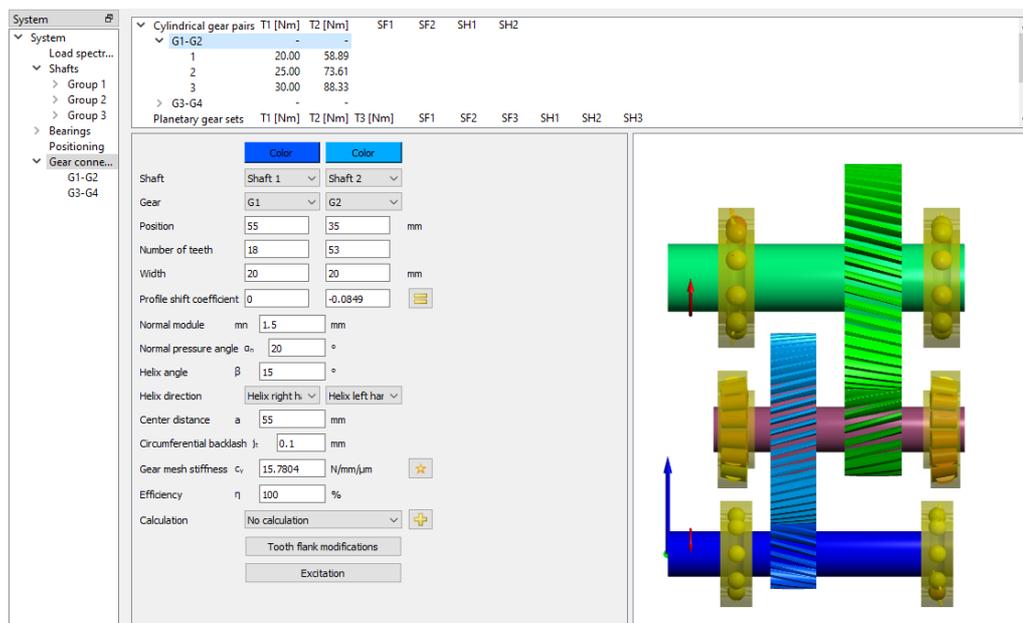


さまざまな拘束が利用できます。

- グループに平行なグループ: 2つのグループ間のオフセットを指定します。
- 歯車ペアに従うグループ: 選択されたグループは、選択された歯車ペアに従うように位置決めされます。追加の角度を指定する必要があり、ゼロはY軸の中心距離のためです。ギアの中心がアキシアル方向に一致しない場合は、アキシアルオフセットを入力することができます。
- 2つの歯車ペアに従うグループ: 1つのグループは、2つの歯車ペアの中心距離に従って位置決めされます。アキシアル方向の位置は、第1歯車ペアによって定義されます。
- ベベルギアペアに従うグループ: ベベルギアの形状データにより、1つのグループを位置決めします。基準グループの接触角は定義することができます。
- 歯車ペアに従うシャフト: この拘束は、ギアの中心が一致するように、シャフトを軸方向に移動させます。アキシアル方向のオフセットはオプションで入力できます。
- 歯車ペアに従う歯車: この拘束は、ギアをアキシアル方向に移動させ、相手のギアと一致させます。ここでは、軸方向のオフセットもオプションで入力できます。
- ウォーム歯車ペアに従うグループ: 選択されたグループは、選択されたウォームギアペアに従うように位置決めされます。追加の角度を指定する必要があり、ゼロはY軸の中心距離となります。ウォームに対するオフセットもアキシアル方向に入力できます。

2.1.5 歯車接続

複数のグループが定義されている場合、歯車接続のページが表示されます。歯車接続は、**+** ボタンを使って追加することができます。接触するシャフトと歯車を定義することができます。歯車ペアの基本データが表示されます。歯車のデータは、1つのシャフトでの入力に加えて、このウィンドウで変更することができますが、接続を使用すると、同時に両方の歯車のデータを変更することができます。



各歯車ペアのトルクは上部のリストに表示されます。歯車計算プログラムとの接続が設定されている場合、安全係数も表示されます。

左側のシステムツリーの歯車ペアの項目をクリックすると、歯車計算プログラムが起動し、歯車ペアの詳細を定義することができます。シャフト計算は、基本的な歯車形状 (z , b , x , m_n , α_n , β , x , a) と荷重を歯車計算に渡し、同じ形状データと安全係数を受け取ります。歯車の色は、図の“色” ボタンをクリックすることで変更することができます。

接続で歯車が考慮された場合、そのトルク入力は、対応する入力ウィンドウの“荷重” ページで非表示になります。

2.1.5.1 円筒歯車ペア

円筒歯車ペアの場合、サイジング ボタンを使用して、ISO 6336-1 に従ってかみ合い剛性を選択できます。 $c_{\gamma\alpha}$ または $c_{\gamma\beta}$ のいずれかを選択できます。係数 C_B と C_R は、かみ合い剛性の計算では1に等しいと想定されます。

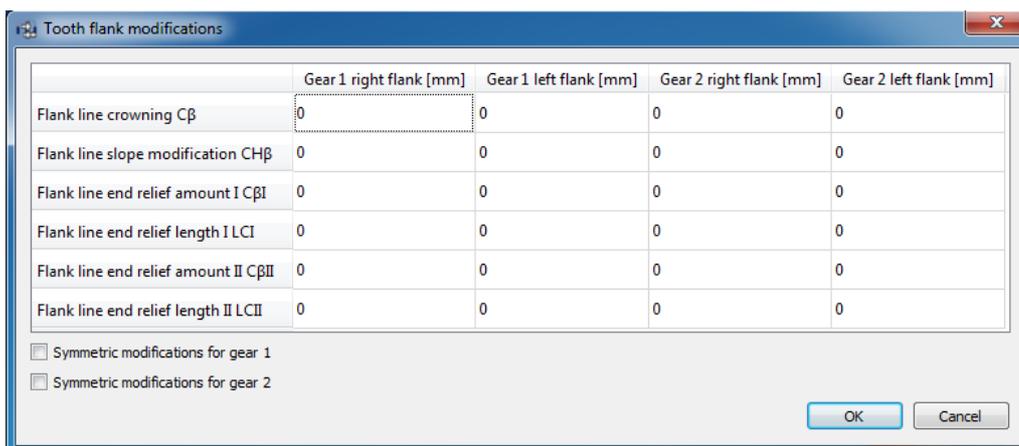
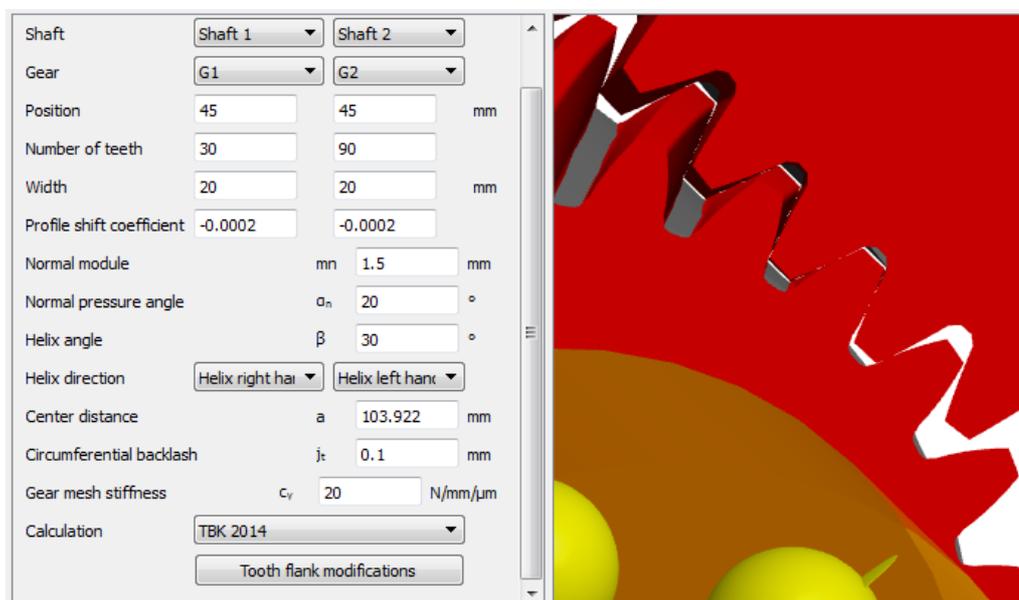
計算プログラムの選択の後ろにある **+** ボタンは、ギア計算プログラムに面荷重係数を渡すことができます。歯面荷重係数は次のように計算されます。:

$$K_{H\beta} = \max(K_{H\beta,min}; K_{H\beta,add} + \frac{W_{max}}{W_{avg}}; \frac{W_{max,fma}}{W_{avg}})$$

f_{ma} の値が定義されている場合、その値は、一定の傾斜角度を維持するギアの剛性に基づいて最大線荷重を計算するために使用されます。

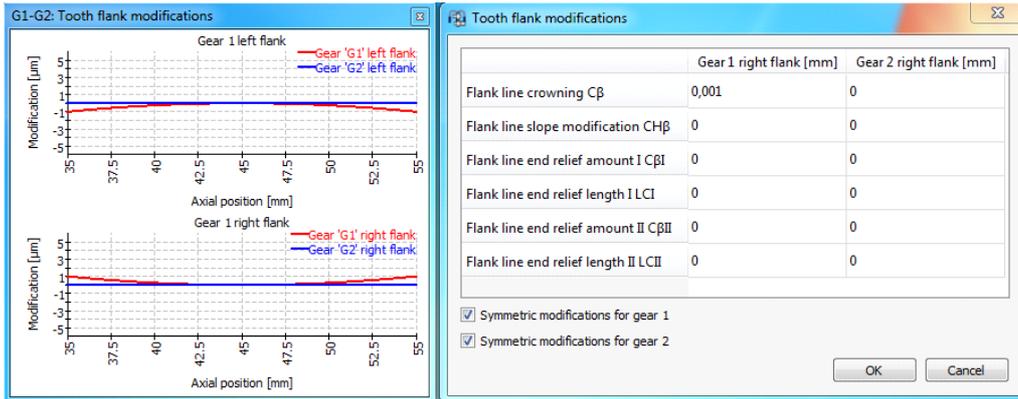
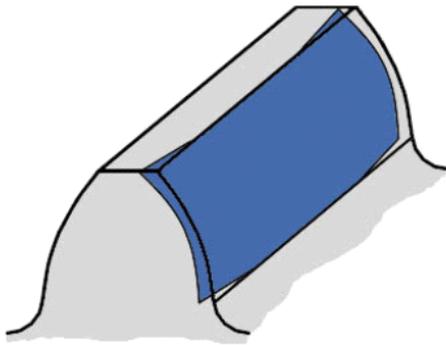
2.1.5.1.1 歯面の修正

歯車の歯面を最適にするために、歯車ペアの歯面は、規格(ISO 21771:2007, September 2007)に従って、3種類のアプローチで修正することができます。すなわち、歯面クラウニング、歯面ライン傾斜修正、歯面ラインエンドリリーフです。“歯車の接続”のページで“歯面の修正”を押すと、ポップアップウィンドウが表示され、これらのアプローチに関連する幾何学的データを入力することができます。それぞれの歯車について、下部のフラグを設定またはクリアすることで、対称または非対称の修正を行うことが可能です。非対称歯面の修正を有効にすると、対応するデータ列がウィンドウに追加されます。



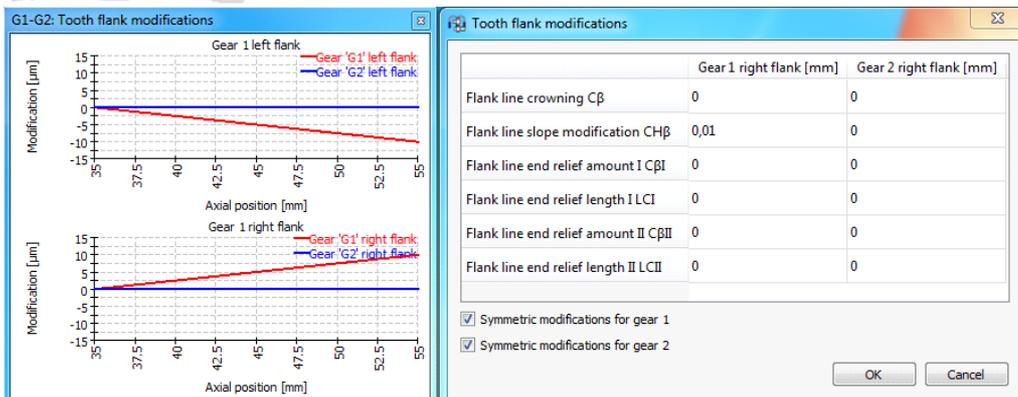
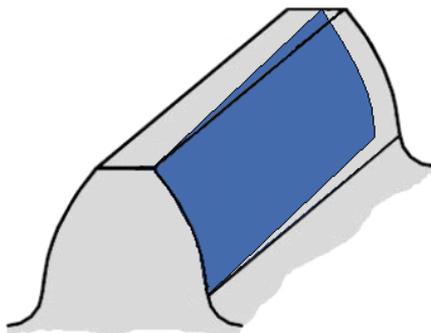
2.1.5.1.1.1 歯面ラインクラウニング

歯幅の中点を接線とする円弧を基点としたリリーフとなります。歯先からの逃げ量を指定する必要があります。



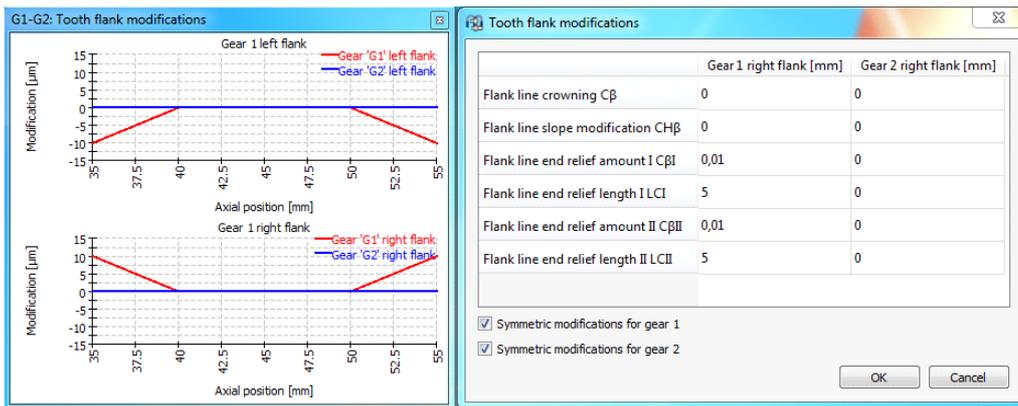
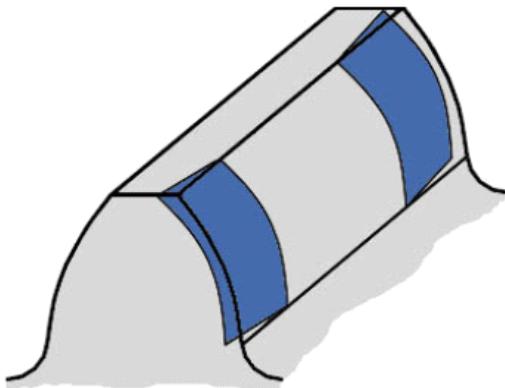
2.1.5.1.1.2 歯面ライン傾斜の修正

歯幅全体にわたって、直線的に増加するレリーフ線から構成されています。そのため、片方の端からもう片方へのレリーフ線の勾配を指定する必要があります。

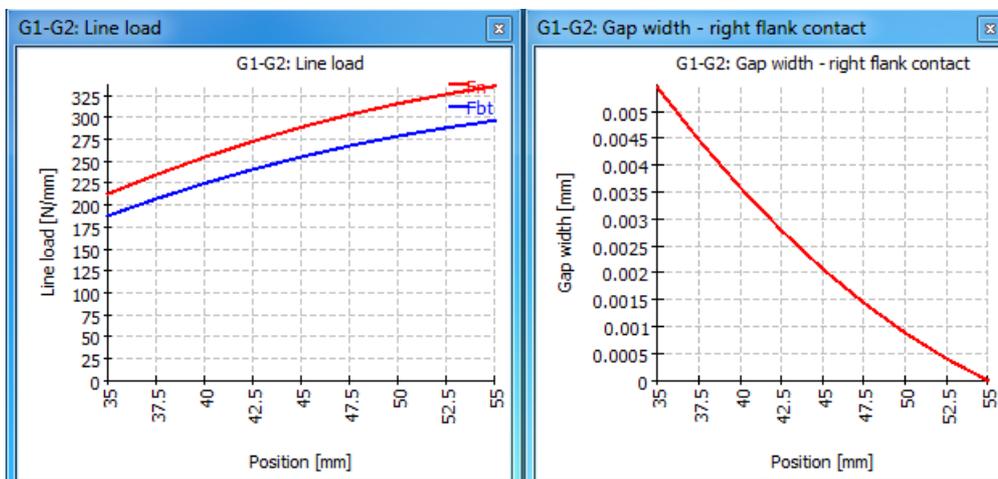


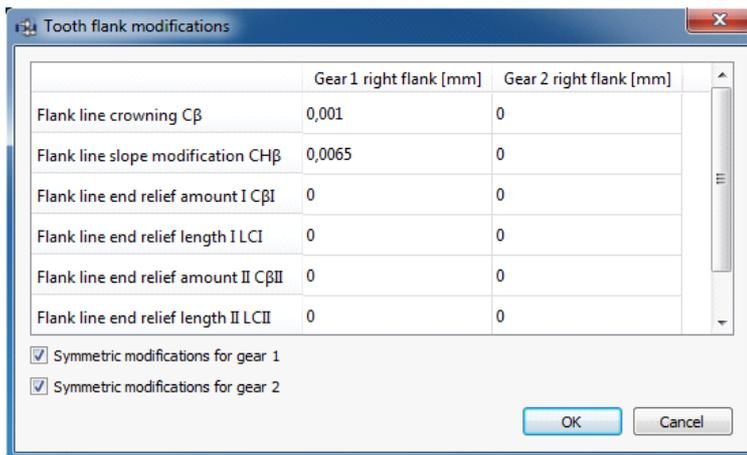
2.1.5.1.1.3 歯面ラインのエンドレリーフ

ある点から始まり、フランクラインの端まで直線的な逃げを大きくしていくものです。歯面の両端から測定した逃げ量と長さを指定する必要があります。

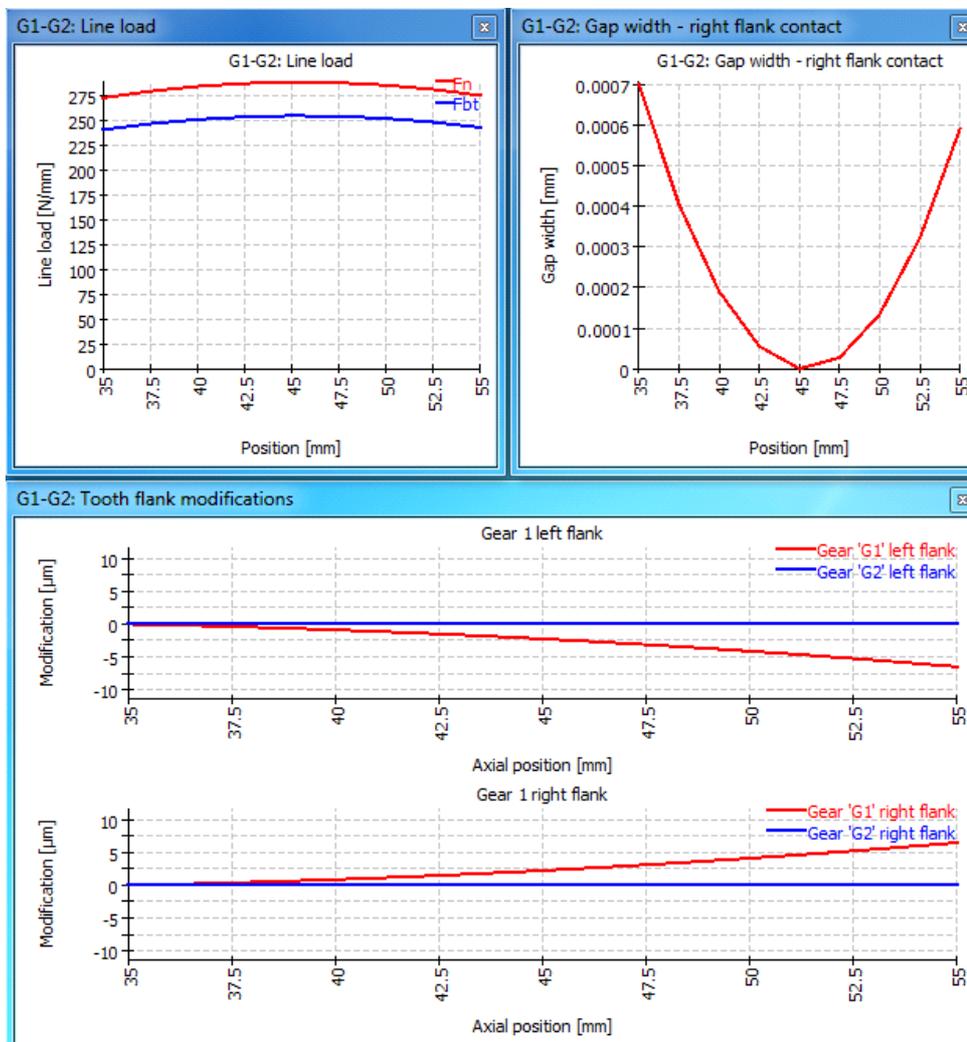


全体として、ユーザーは線荷重とギャップ幅のグラフィックスをガイダンスとして利用し、フランク修正案を確立することができます。例えば、このような歯車のメッシュの状態からスタートし、歯面補正の組み合わせを適用するとします。





歯面クラウニングと歯面ライン傾斜の修正を組み合わせると、次の図のように線荷重を均等にすることができ、大きな助けとなります。



2.1.5.1.2 励振

円筒歯車ペアでは、3種類の励振が定義できます。

- かみ合い励振は、接触経路で定義されます。ピッチエラーは、ギアのかみ合い周波数に基づいた励振につながります。高次のものはハーモニクスを入力として定義することができます。
- 歯車1の真円度エラーに基づく励振を定義することができます。ここでは、半径の変動が使用されます。基準周波数は歯車の回転数です。
- 歯車1の場合と同様に、歯車2の真円度エラーに基づく励振を定義することができます。

この励振は、周波数応答の計算として考慮されます。疑似的静計算の結果には影響しません、歯車の安全係数にも影響しません。

Excitation - G1-G2

Mesh excitation

| | h | phase [°] | Δr [mm] |
|---|---|-----------|-----------------|
| 1 | 1 | 0 | 0.005 |

Gear 1 excitation

| | h | phase [°] | Δr [mm] |
|---|---|-----------|-----------------|
| 1 | 1 | 0 | 0.005 |

Gear 2 excitation

| | h | phase [°] | Δr [mm] |
|--|---|-----------|-----------------|
|--|---|-----------|-----------------|

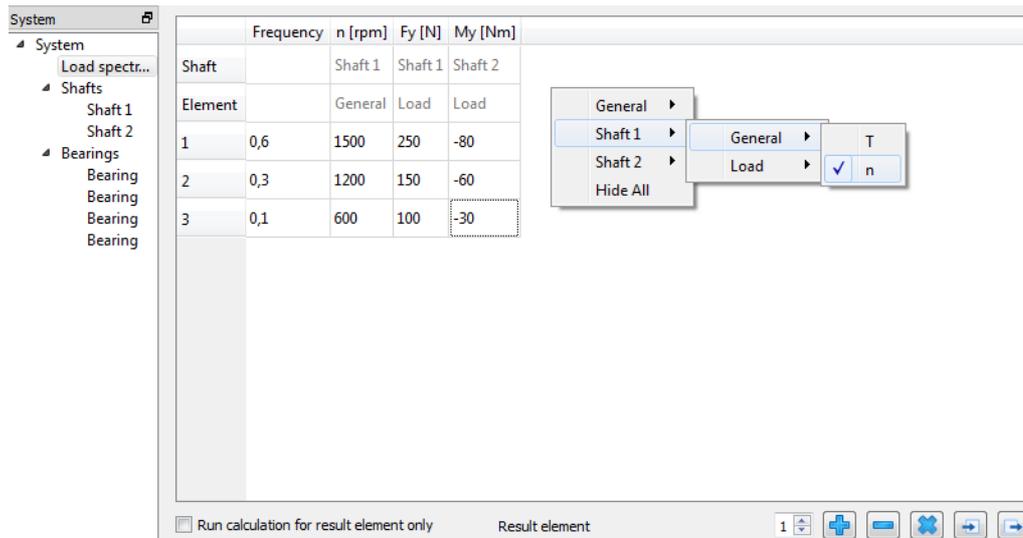
OK Cancel

2.1.5.2 遊星歯車セット

遊星歯車セットは、「太陽-プラネット」ペアと「プラネット-リング」ペアを選択することで定義できます。この設定は、ギアパラメータと荷重をギア計算プログラムに渡すためこのみ使用されます。外部ギア計算プログラムがない場合は、ギアペアを定義するだけで十分です。

2.1.6 荷重スペクトルの計算

“システム” ページで荷重スペクトルによる計算のフラグが設定されている場合、システムツリーに荷重スペクトルという項目が追加表示されます。



デフォルトでは、表は空です。負荷周波数の列ヘッダーのみが表示されます。ウインドウのどこかを右クリックすると、負荷ケースのさまざまな計算パラメータを列ヘッダーとして任意に追加することができます。これらのパラメータは、“一般”と“荷重”に分類されます。表の行については、**+** ボタンを使って追加することができます。また、行を選択して、**-** ボタンを使って削除することもできます。これらの行は“要素”と呼ばれ、計算パラメータに対応する値（入力）を入力できる負荷ケースとして考慮されます。**X** ボタンを押すと、テーブルのすべての入力、および要素（行）がクリアされます。

ヘッダを右クリックして“隠す”を選択すると、任意の列を非表示にすることができます。表に表示されていない全ての負荷成分には、デフォルト値が使用されます。

↵ ボタンを使用すると、荷重スペクトルをファイルから読み込むことができます。ファイル内の列は、表に表示されているのと同じ順序と単位でなければなりません。同様に、作成した荷重スペクトル表は、対応する **→** ボタンを使用してエクスポートすることができます。

選択した“結果の要素”に対して、たわみに関するデフォルトのグラフィックスが表示されます。固有振動数もこの“結果の要素”に対して計算されます。

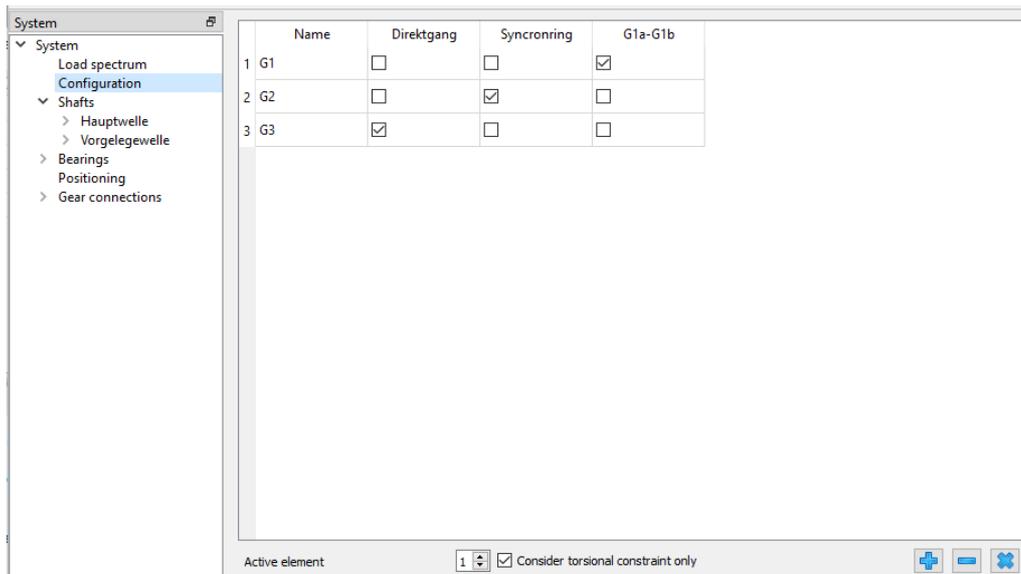
2.1.6.1 1つの荷重スペクトル要素のみを計算

ユーザーが‘結果の要素のみを計算実行’ というフラグを設定すると、1つの要素（荷重ケース）に対してのみ計算を実行することが可能です。希望する荷重ケースは、**+** ボタンの横にある小さなボックスの矢印を使うか、要素番号を直接入力することで選択します。グラフィックスは、選択された要素に対してのみ表示されます。

これにより、荷重スペクトル計算を独立した荷重ケースの入力インターフェースとして使うことができ、独立した計算を行うことができます。

2.1.7 コンフィギュレーション

コンフィギュレーションは、複数のグループが定義されている場合、最初の入力ページで有効にすることができます。



マウスの右ボタンを使用すると、ビューに列を追加することができます。利用できるのは、歯車接続、リアクションカップリング、一般的な拘束、サポート、円筒拘束です。拘束は、ねじりが拘束に固定されている場合のみ利用可能です。

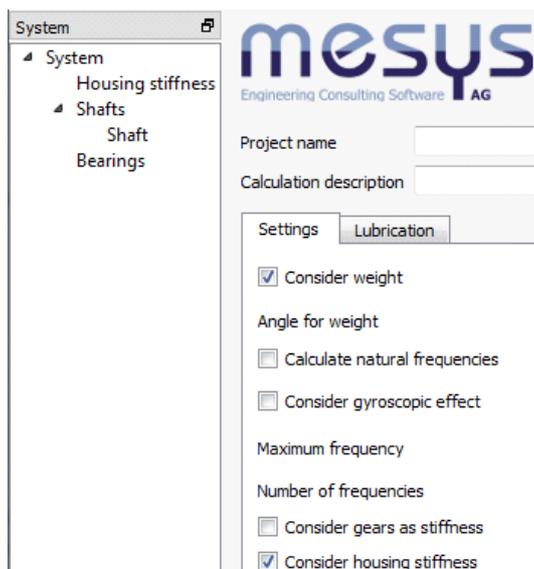
行は  ボタンで追加でき、チェックボックスで各構成のアクティブな要素を選択することができます。

オプション“Consider torsional constraint only”が有効な場合、拘束のフラグをクリアにして、一般的な拘束のねじり拘束のみが無効になり、他のすべての方向の制約には影響しません。オプションが無効でない場合、拘束はすべての方向で無効化されます。

有効なコンフィギュレーションは、ウィンドウの下部または荷重スペクトル内で選択することができます。

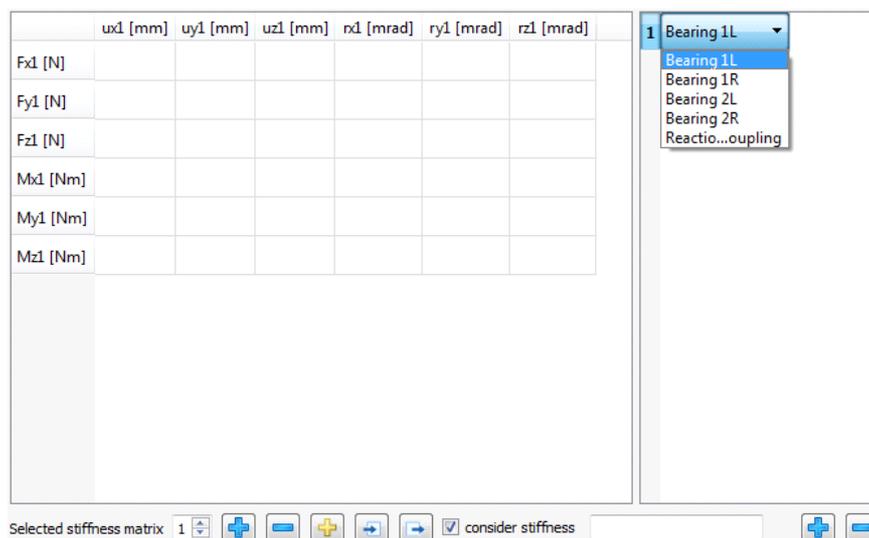
2.1.8 ハウジング剛性マトリックス

サポート（ハウジングに接続されているもののみ）とハウジングの間で、対称的な剛性マトリックスを定義することができます。



このオプションを使用するためには、ソフトウェアツリーから“システム”を選択したときに表示されるタブページ“設定”で、“ハウジング剛性を考慮する”の対応するフラグを有効にする必要があります。

マトリックスの下にある+ボタンを使用すると、追加の剛性マトリックスを作成することができます。このマトリックスは、'Selected stiffness matrix' というタイトルのボックスに表示される番号で参照されます。これらの作成されたマトリックスの1つまたはすべては、'Consider stiffness' というタイトルのフラグを使用して、いつでも計算から除外することができます。このように、解析に使用しないマトリックスデータも残しておくことができます。万が一、マトリックスを消去したい場合は、-ボタンを使用することができます。入力欄には名前をつけることができ、その名前はレポートに表示されます。



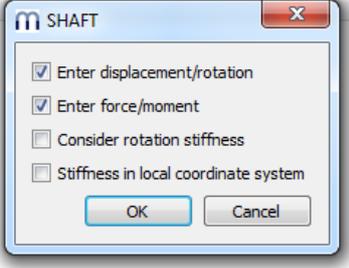
右下隅にある+ボタンを1回クリックすると、その上のウィンドウに新しい番号付けされた要素が表示され、より大きなウィンドウにマトリックスが表示されます。この要素をダブルクリックすると、ドロップダウンリストが表示され、考慮すべきサポートを選択することができます。この手順を繰り返すことで、既存の軸受やサポートをリストに追加することができ、剛性マトリックスの対応する行と列が表示され、考慮されるようになります。

| | ux1 [mm] | uy1 [mm] | uz1 [mm] | ux2 [mm] | uy2 [mm] | uz2 [mm] | |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| Fx1 [N] | 2e+11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 Bearing 1L |
| Fy1 [N] | | 2e+11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 Bearing 1R |
| Fz1 [N] | | | 2e+11 | 0 | 0 | 0 | |
| Fx2 [N] | | | | 1.5e+11 | 0 | 0 | |
| Fy2 [N] | | | | | 1.5e+11 | 0 | |
| Fz2 [N] | | | | | | 1.5e+11 | |

剛性の値はすべて、セルをダブルクリックしてマニュアルで入力することもできますし、インポートボタンを使って、有限要素解析から得られることもあるマトリックスとして読み込むこともできます。同様に、作成されたマトリックスは、対応するエクスポートボタンでエクスポートすることができます。

ボタンを使用すると、ポップアップウィンドウで4つの追加オプションを有効にすることができます。次の図に示すように、例えば、回転剛性の考慮を省略し、接続点に対して、必要な任意の方向に、'荷重/モーメントを入力'で荷重またはモーメントを、また'変位/回転を入力'で特定の変位または回転を定義する可能性を有効にすることができます。

| | ux1 [mm] | uy1 [mm] | uz1 [mm] | F/Mext |
|---------|----------|----------|----------|--------|
| Fx1 [N] | 2e+11 | 0 | 0 | 0 |
| Fy1 [N] | | 2e+11 | 0 | 0 |
| Fz1 [N] | | | 2e+11 | 0 |
| du/dr | 0 | 0 | 0 | |



最後のオプションを使用すると、グローバル座標系における剛性を考慮するのではなく、接続点のローカル座標系における剛性を考慮することができます。

2.1.9 3次元弾性パーツ

“シャフト”またはグループのコンテキストメニューから、“3次元弾性パーツをシャフトとして”または“3次元弾性パーツをハウジングとして”挿入することができます。新しいパーツはシャフト/グループツリーに表示されます。

3次元弾性パーツは、通常のシャフトに使用されているFEAビームモデルと3次元ソリッドメッシュを組み合わせたものです。3Dソリッドの剛性は剛性マトリックスに縮退され、ビームモデルのソルバーで考慮されます。3次元弾性パーツを初めて使用する際、縮退された剛性マトリックスが生成されますが、メッシュのサイズによってはしばらく時間がかかることがあります。その後、縮退された剛性はファイルと共に保存され、材料、メッシュ、または面の選択を変更した場合にのみ再生成される必要があります。

3次元弾性パーツは剛性として考慮され、オプションでモーダル縮退が行われます。モーダル縮退を行わない場合、質量は考慮されません。熱膨張と重量は考慮されます。“シャフトとしての3次元弾性パーツ”は、X軸を回転軸とし、回転数を定義することができます。

す。“ハウジングとしての3次元弾性パーツ”は、回転することができず、空間に固定されていなければなりません。

3次元弾性パーツの“変位を計算する”オプションが選択されている場合、サーフェスの変位フィールドは、縮退剛性の初期計算時に接続された各自由度に対して計算されます。これにより、初期計算時間とファイルサイズが増加しますが、変形後の形状を可視化することができます。“モード形状を計算する”オプションも同様で、こちらは可視化のみに使用されます。

モーダル解析がサポートされている場合、変位場とモード形状を計算する必要がありません。したがって、オプション“変位を計算”と“モード形状を計算”は、縮退に必要な時間に影響を与えません。必要なファイルサイズに影響するだけです。

オプション“2次要素を使う”を有効にすると、線形形状関数の代わりに2次形状関数が使われます。8ノードの六面体は、代わりに27ノードの六面体になります。ノードの数が増えると、計算時間やメモリ使用量も増えます。一般に、2次メッシュの方がより正確です。細かい線形メッシュではなく、より大きなメッシュサイズと2次要素を使うのがよいでしょう。

ジオメトリのインポートまたは生成時に、いくつかの場所で“2次メッシュを生成”オプションが使用できます。このオプションを設定すると、2次サーフェスマッシュが生成されます。線形メッシュに比べて約4倍のメモリが必要になりますが、“2次メッシュの使用”を有効にすると、ジオメトリの近似値が向上します。インポート時のオプションはサーフェスマッシュにのみ影響しますが、“一般”の“2次メッシュの使用”オプションは、使用する3Dメッシュのタイプを定義します。

選択された面は1つのノード（または弾性軸受、歯車、接触）に縮退され、サポートエレメントに接続することができます。以下のオプションが利用できます。

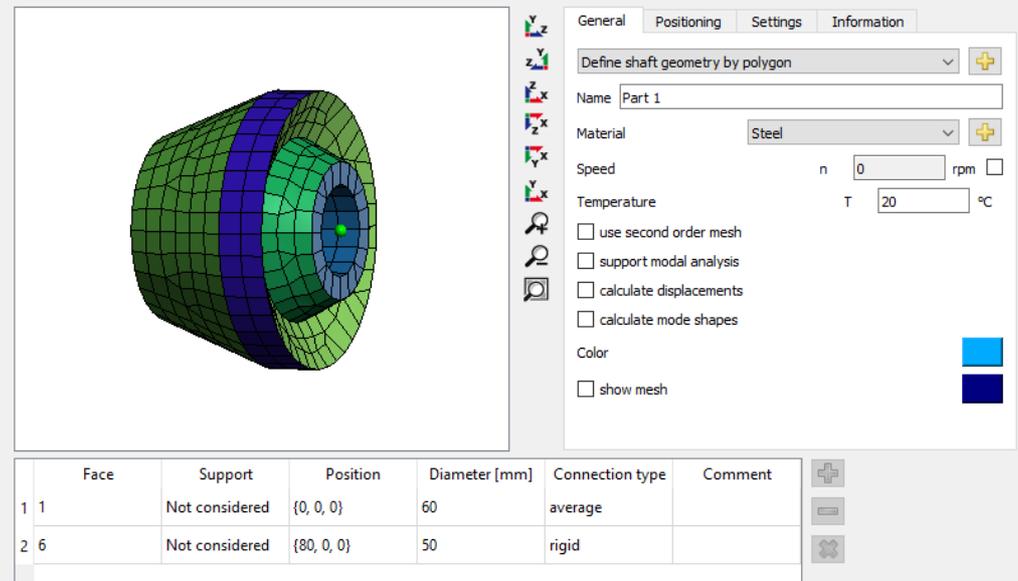
- 既存のサポートを選択することができます。このサポートは、剛体環境の代わりに3次元弾性パーツに接続されます。
- シャフトに可能な新しいサポートを定義することができます。シャフト計算で利用可能なタイプのサブセットのみがサポートされています。剛性によってインポートされたハウジングをサポートするために使用することができます。
- 縮退されたノードに力を追加することができます。
- シャフトを選択することができます。これにより、6つの自由度すべてにおいて、シャフトへの剛体接続ができます。シャフトに溶接ポイントを追加し、これを3次元弾性パーツに接続するのと同じです。シャフトは、“剛性”、“平均”、“弾性接触”のいずれかの縮退タイプを選択できます。“弾性接触”の場合、面は各セグメントで円筒形のまゝになりますが、アキシャル方向の位置では変形できません。
- 「剛性を計算」は、選択した面の剛性値を報告します。このノードに対して、システム全体の静的縮約が実行されます。
- “固定として設定”は、“ハウジングとして3次元弾性パーツ”で利用可能です。このノードは、剛体環境に接続されます。

面の縮退には、接続タイプとして5つのオプションが用意されています。

- 平均: 反力は面のすべてのノードに分配され、面の変位の平均値が使用されます。このオプションはパーツを剛体化しません。
- 固定: 縮退された節点と面のすべての節点との剛体接続が追加されます。これにより、パーツが剛体化されます。
- 弾性軸受: このオプションは、転がり軸受にのみ接続でき、軸受の荷重分布にパーツの弾性変形を考慮します。軌道輪の変形を含む軸受計算ソフトのライセンスが必要です。現在、弾性外輪はアキシャル固定軸受にのみ許可されています。
- 弾性歯車: このオプションは、今のところ円筒歯車にのみ接続することができ、歯車本体の弾性変形を考慮することになります。このためには、シャフトシステムオプションが必要です。
- 弾性接触: このオプションは、2つのパーツの面の接続のために、溶接ポイントまたは円筒拘束のどちらかのみ使用することができ、両方とも弾性接触として縮退されます。両方の接触面の寸法は同じでなければなりません。さらにシャフトへの接続も可能です。

2.1.9.1 シャフトとしての3次元弾性パーツ

シャフトとしての3次元弾性パーツは、他のシャフトに接続可能な1軸の回転パーツです。現在、ポリゴンまたはSTEPインポートによって定義された軸対称パーツを考慮することができます。



| Face | Support | Position | Diameter [mm] | Connection type | Comment |
|------|----------------|------------|---------------|-----------------|---------|
| 1 1 | Not considered | {0, 0, 0} | 60 | average | |
| 2 6 | Not considered | {80, 0, 0} | 50 | rigid | |

“ポリゴンでシャフト形状を設定”の後ろの+ボタンを使用すると、ポリゴンを使用して形状を設定するためのダイアログが開きます。時計回りに定義する必要があります。“x”はアキシャル座標で、“y”は半径です。通常のシャフトとのオプションの接続は、“面として考慮

“または”エッジとして考慮”として定義することができます。面上のすべての点、またはエッジ上の点のみが、シャフトサポート要素に接続されます。

| | x [mm] | y [mm] | Connection |
|---|--------|--------|--------------------|
| 1 | 0 | 20 | Not considered |
| 2 | 0 | 40 | Considered as face |
| 3 | 50 | 60 | Not considered |
| 4 | 70 | 60 | Not considered |
| 5 | 60 | 40 | Not considered |
| 6 | 80 | 30 | Not considered |
| 7 | 80 | 20 | Considered as face |
| 8 | 0 | 20 | Not considered |

Maximum mesh size hmax 10 mm
 Minimum mesh size hmin 0 mm
 Use alternative meshing method
 Use hexahedral mesh
 OK Cancel

さらに、メッシュサイズもこのダイアログで定義することができます。

その他の設定として、材料、回転速度、2次(2次)メッシュを選択するオプション、変位を計算するかどうかのオプションがあります。精度を上げるためには、2次メッシュを使用することをお勧めします。変位を計算すると計算時間が長くなり、3Dビューでは変形した形状のみ表示されます。

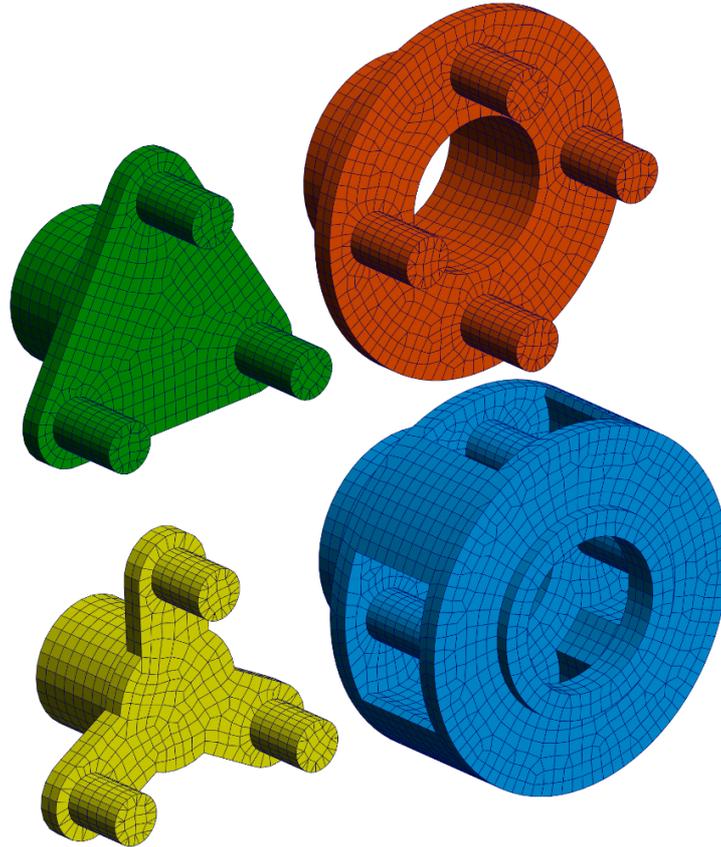
“位置決め”では、アキシアル位置を定義することができます。

メインビューの表では、シャフトのサポート要素は“サポート”の下で選択する必要があります。接続タイプ“固定”は、選択した面/エッジをシャフトのビームノードに剛体接続します。接続タイプ“平均”は、ノードへの平均的な接続を実施し、3次元弾性パーツの剛性を低下させます。

STEPインポートの場合、3Dビューでダブルクリックすることで面を選択することができます。面を結合するには、2つの面を選択して表でマークし、コンテキストメニュー(マウスの右ボタン)で“面のマージ”を選択します。マージできるのは隣接する面のみです。インポートシャフトの場合、X軸は回転軸でなければなりません。位置決めのところで、“パーマネント座標変換”を選択すると、方向を変更することができます。パーツ内に面がある場合、3Dビューのコンテキストメニューを使用して、前面の面のクリッピングを有効にすることができます。Altボタンとマウスの左ボタンを使って、クリップ面を移動することができます。

2.1.9.2 3次元弾性プラネットキャリア

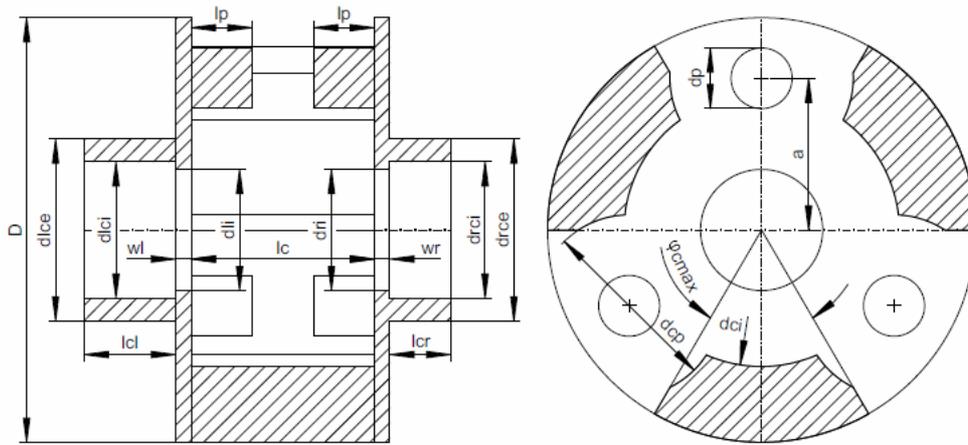
3次元弾性シャフトの場合、プラネットキャリアも定義することができます。STEPファイルとしてインポートするか、パラメトリックプラネットキャリアとしてインポートします。パラメトリックプラネットキャリアでは、以下の基本形状が利用可能です。



インポートされたプラネットキャリアの場合、回転軸はX軸である必要があります。“位置決め”のページで、パーマメント座標変換を使用して、インポートした方向を回転軸としてX軸に変更することができます。

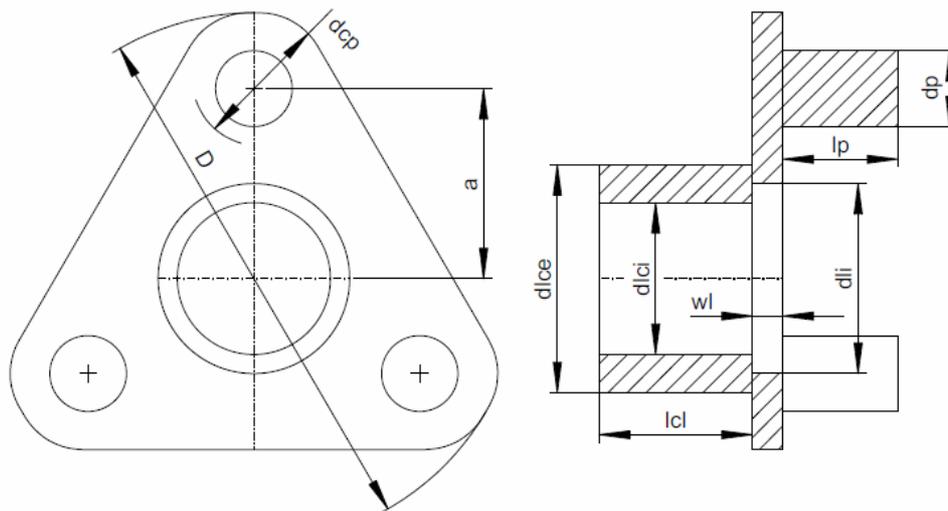
2.1.9.2.1 パラメトリック円形プラネットキャリア

パラメトリック円形プラネットキャリアのパラメータ設定は、片面または両面のいずれかを選択できます。形状を次の図に示します。



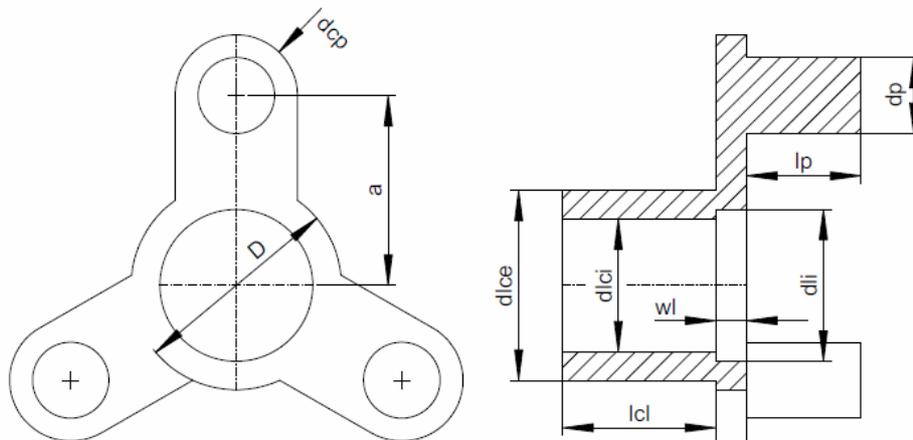
2.1.9.2.2 パラメトリックポリゴン型プラネットキャリア

ポリゴンパラメトリックキャリアの形状を以下の図に示します。



2.1.9.2.3 パラメトリック星型プラネットキャリア

星型パラメトリックキャリアの形状は、以下の図のとおりです。



2.1.9.3 ハウジングとしての3次元弾性パーツ

ハウジングとしての3次元弾性パーツは、異なるグループのシャフトに接続することができ、回転せず、少なくとも1つの面を固定として設定する必要があります。現在、CAD形状をSTEPファイルまたはNastranメッシュとしてのみインポートすることができます。

| Face | Support | Position | Connection type | Comment |
|------|----------------|---------------------------------|-----------------|--------------------------|
| 1 6 | Set as fixed | {0.00141155, 0.000495987, -2.5} | rigid | Set bottom face as fixed |
| 2 38 | Not considered | {-39.9998, -33.5, 59.9998} | rigid | |
| 3 39 | Not considered | {-40.0005, 33.5, 60.0003} | rigid | |
| 4 40 | Not considered | {20.0015, -33.5, 60} | rigid | |
| 5 41 | Not considered | {20.0021, 33.5, 59.9993} | rigid | |

“CAD形状をインポート”の後ろにある \oplus ボタンを使用すると、STEPファイルを選択することができます。パーツが接続されたアセンブリは、自動的に接合されます。その後、必要なメッシュサイズを入力することができます。また、Nastranメッシュをインポートすることもできますが、この場合はサーフェスマッシュのみが保持されます。

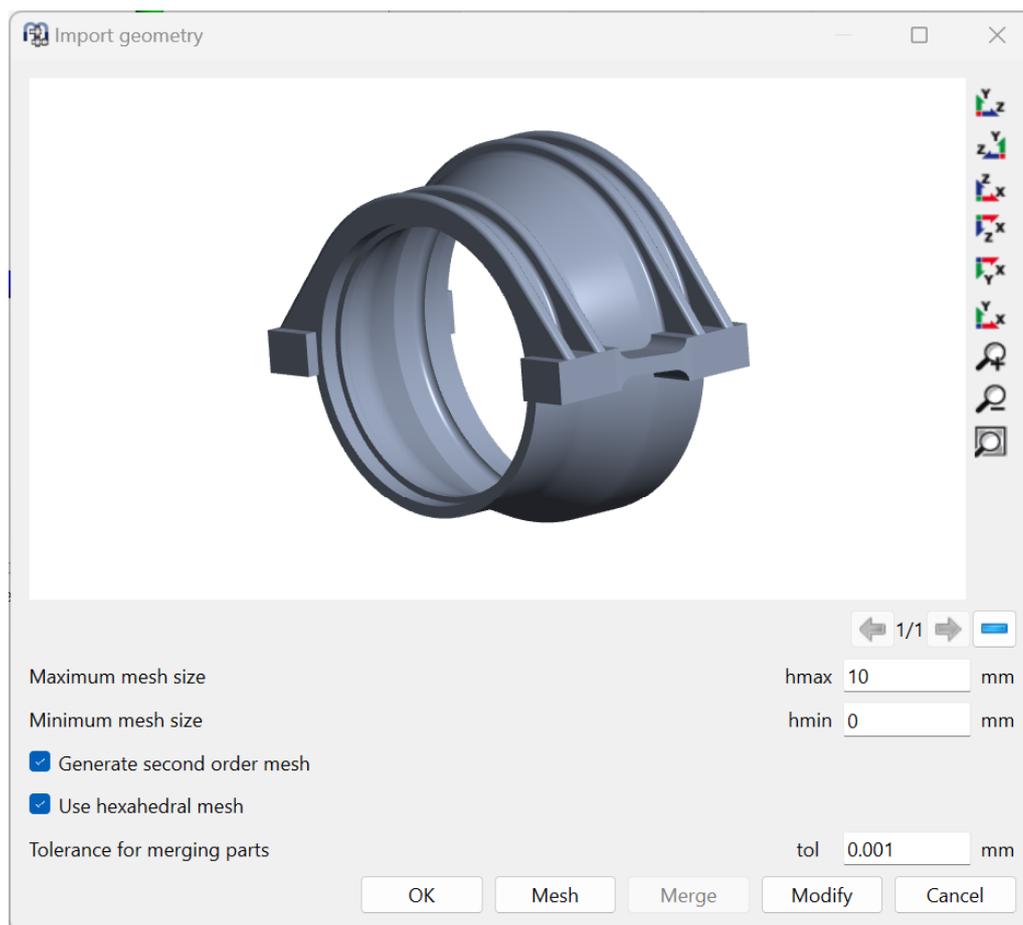
パーツの3Dビューでは、面をダブルクリックすることで複数の面を選択することができます。その面をシャフトサポート要素に接続するか、“固定として設定”することができます。上記のように、剛体接続または平均化接続を選択することができます。接続された2つの面をマージするには、表で両方の面を選択し、マウスの右ボタンを押し、“面をマージ”を選択します。パーツ内側に面がある場合、3Dビューのコンテキストメニューを使用して、前面の面のクリッピングを有効にすることができます。Altボタンとマウスの左ボタンを使って、クリップ面を移動することができます。

以前の設定と同様に、材料と次(二次)メッシュのオプション、変位計算のオプションを選択できます。加えて、3D弾性ハウジングはモーダル解析でサポートされます。もし、“モード形状の計算”を選択すると、モード形状も表示されます。“位置決め”では、3Dパーツの位置と回転を定義することができます。

選択されたサポート要素は、選択された面の節点に接続されます。剛体または平均化された接続が考慮され、接触やすきまは考慮されません。

2.1.9.4 CAD形状をインポート

CADからの形状をインポートする場合、最初にプレビューダイアログが表示されます。



このダイアログには、ファイル内で使用可能なパーツの数が表示され、パーツの削除や残りのパーツのマージが可能です。パーツは、メッシュの品質を評価するために、異なる設定で再メッシュすることができます。

“修正”を使用すると、面取り、フィレット、小さな穴を形状から削除し、モデルを簡素化することができます。これにより、必要なノードの数を減らすことができ、その結果、計算の時間を減らすことができます。

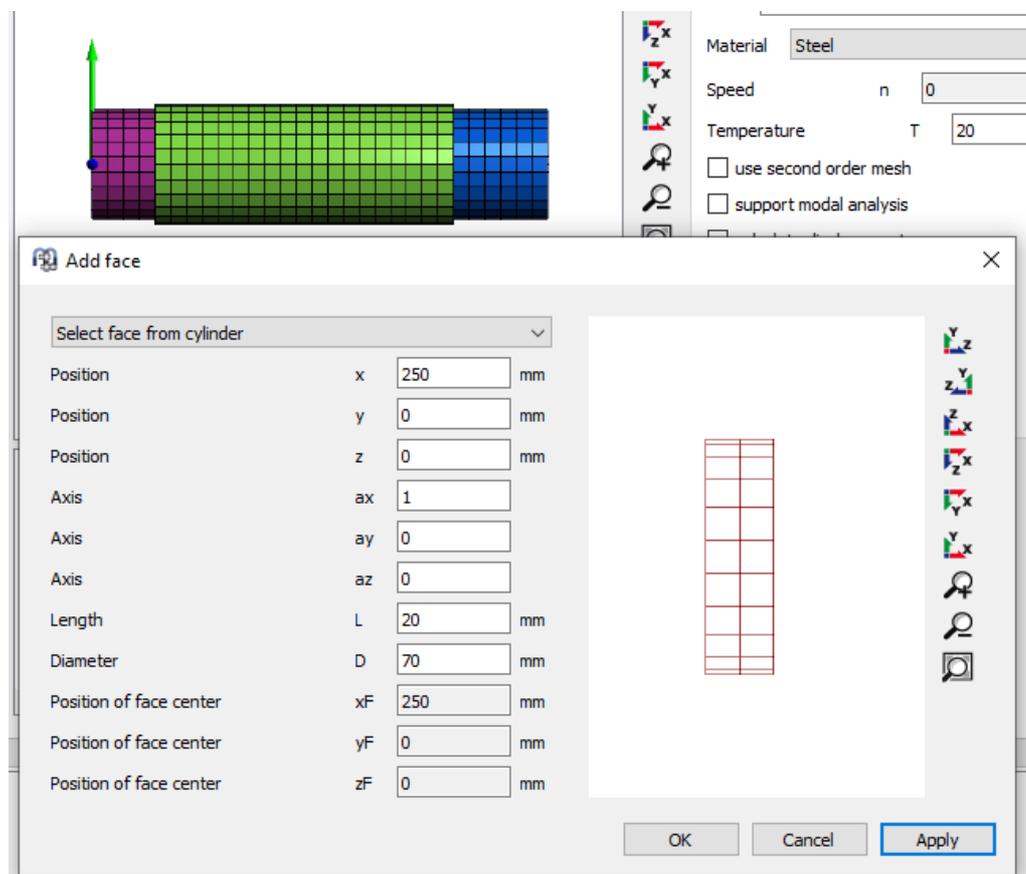
現在選択されているパーツのみがメッシュ化され、インポートされます。パーツを結合するには、“マージ”機能を使用し、適度なマージ公差を設定する必要があります。メッシュ作成後、メッシュの複雑さを知るために、面ノードの数がウィンドウに表示されます。

「2次メッシュを生成」オプションが設定されている場合、2次サーフェスマッシュが生成されて保存されます。「六面体メッシュを使用する」設定では、サーフェスマッシュに三角形ではなく主に四角形が生成されます。

2.1.9.5 インポート形状の面選択

STEPファイルやメッシュをインポートした後、マウスで面をダブルクリックすると、複数の面を選択することができます。2つの面を結合するには、テーブルで両方の面を選択し、マウスの右ボタンを押し、“面をマージ”を選択します。パーツ内側に面がある場合、3Dビューのコンテキストメニューで前面の面のクリッピングを有効にすることができます。Altボタンとマウスの左ボタンを使って、クリップ面を移動することができます。

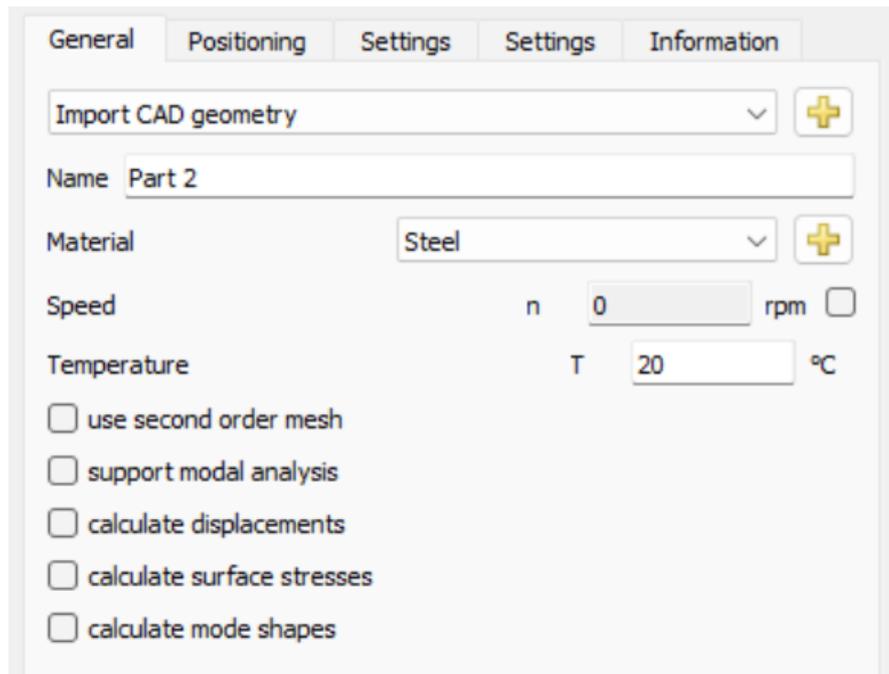
テーブルのコンテキストメニューから“面を追加”を選択すると、新しい面を定義することができます。新しい面は、円筒、軸受、ボックスによって選択できます。



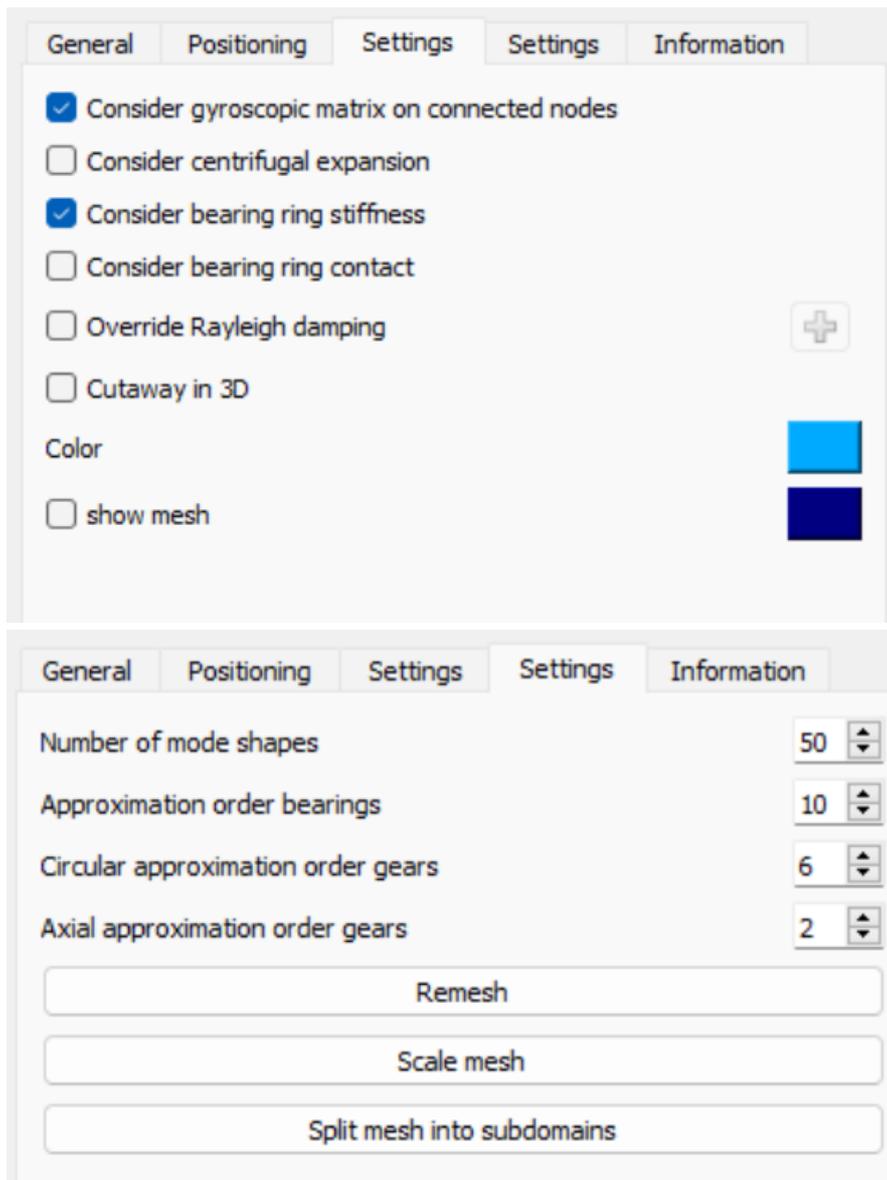
円柱の中心位置、直径、長さを定義します。“適用”をクリックすると、範囲内のすべての要素が選択され、新しい要素が赤色で表示されます。既存の選択面は黒色でメッシュを表示します。箱の場合、直径と長さの代わりに3方向の距離dx、dy、dzを定義する必要があります。軸受の場合、位置、直径、長さは自動的に設定されます。これにより、新たにインポートすることなくインポートしたパーツに面を追加することができます。

2.1.9.6 設定

3次元弾性パーツには、いくつかの設定があります。



“一般”のページでは、材料、回転数、温度を定義することができます。材料を変更する場合は、パーツを新たに縮退する必要があります。



設定には2つのページがあります。最初のページの設定はすべて新しい縮退を必要とせず、2番目のページの設定はすべて新しい縮退を必要とします。

パーツとメッシュの色は、標準の3次元形状を表示する際に使用する色を設定することができます。

3次元弾性パーツの縮退は、質量および剛性マトリックスのみによります。ジャイロ行列は考慮されません。近似的に、極慣性は、x軸上の接続された縮退ノード上にジャイロ行列を考慮することができます。オプション“接続されたノードにジャイロ行列を考慮”が設定されている場合、極慣性はすべての可能なノードに等しく分散されます。

オプション“遠心膨張を考慮”を考慮すると、パーツに遠心膨張の効果が追加されます。これは、3D-弾性シャフトに対してのみ有効です。

オプション“軌道輪剛性を考慮”は、弾性軸受の軸受リングの剛性を考慮します。リングがすでに3D-弾性パーツに含まれている場合、このオプションは無効にする必要がありません。

す。“軸受輪の接触を考慮”を使用すると、軸受輪とパーツの間に接触モデルが追加されます。そうすると、はめあい計算で軸受の運転内部すきまが直接設定されることはありませんが、弾性パーツの膨張・圧縮の影響を受けてはめあい計算が行われるようになります。パーツの剛性が均一でない場合、取り付け後に既に軌道輪の変形が発生しています。

オプション“上書きレリー減衰”を設定すると、3次元弾性パーツに対して、グローバルシステムとは異なるレリー減衰を設定することができます。

オプション“3次元断面表示”を有効にすると、シャフトの場合と同じように、システムの3次元断面表示の設定が可能になります。

2ページ目の“設定”では、モーダル縮退に使用するモード形状の数を定義することができます。数を増やすと精度が上がりますが、メモリと縮退に必要な時間が増えます。通常、20以上の値を使用する必要があります。最大周波数は、“情報”のページに表示されています。この周波数は、そのシステムで注目される最大周波数より大きくする必要があります。

弾性軸受輪と弾性歯車の近似次数は、ここで定義することができます。歯車の横方向近似次数が2であれば、横方向の変形に放物線が使用されることを意味します。1の場合は直線のみとなります。歯車の面幅が大きい場合は、2より大きい次数が適切な場合があります。近似順序は、面のテーブルのコンタクトメニューで上書きすることができます。

“再メッシュ”ボタンでパーツの再メッシュができます。メッシュサイズや六面体・四面体のタイプを変更することができます。これは以前のメッシュの再メッシュであることに注意してください。一般的に、メッシュサイズを変更する場合は、CADファイルを新たにインポートする方がよいでしょう。“メッシュ倍率”は、メッシュにスケールファクターを適用することができます。インポート時の単位システムが正しくない場合に役立ちます。“サブドメインにメッシュ分割”は、円筒またはボックスの選択に基づいてメッシュをサブドメインに分割し、各サブドメインに異なる材料特性を選択することができます。どちらのボタンもパーツの新しい縮退が必要となります。

2.1.9.6.1 弾性軸受輪の場合の軸受すきまの詳細

軸受の接触面の変形は、軸受輪の変形として使用します。熱膨張を二重に考慮しないように、呼び径に基いた熱膨張を軸受変形量から差し引きます。熱膨張のために、軸受計算で定義されたシャフト／ハウジングの材料および温度が使用されます。

遠心膨張を2回考慮することができます。一度は部品の変形で、そこでアクティブ化させれば、そして一度は、軸受の運転のすきまで、はめ合いが考慮されれば、これを避けるために、軸受輪の接触モデルを使用するか、パーツの遠心膨張を無効にします。

軸受輪を追加剛性として考慮し、接触モデルを使用しない場合、軸受輪の係数の代わりにパーツの熱膨張係数が使用されます。これは、追加の変形を避けるためです。熱膨張は、軸受の変形から差し引かれます。FEAモデルにはめ合いを含めるには、接触モデルを使用する必要があります。

接触モデルを使用した場合、軸受計算で運転すきまを考慮した軌道輪の変形は、FEAモデルの弾性変形から差し引かれます。そのため、はめあいを二重に考慮することはありません。3D弾性パーツに遠心力による膨張がある場合は、それを有効にします。軸受に内

輪も外輪もない場合、二重考慮とならないように、軸受計算で求めたすきまの変化をFEAの変形から差し引きます。

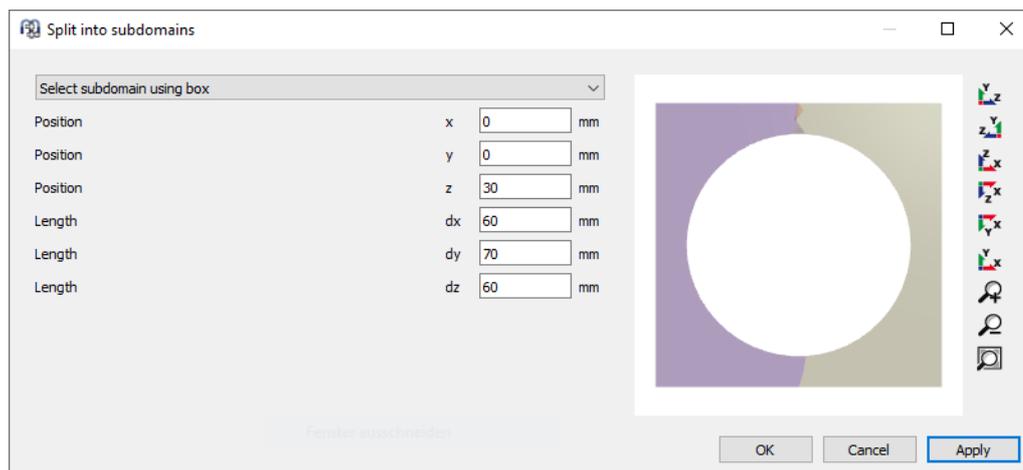
面の変形ダイアグラムは、常にこれらの補正を除いたパーツの変形を表示しています。軸受輪の変形は、温度やはめあいによる影響を補正して減った値を示します。

温度の影響を考慮する場合、3次元弾性パーツの軸受輪の接触を考慮することをお勧めします。

2.1.9.6.2 サブドメインにメッシュを分割

設定の“サブドメインにメッシュを分割”では、円柱または箱の選択に基づいて、メッシュをサブドメインに分割することができます。各サブドメインに対して、異なる材料特性を定義することができます。このオプションでは、選択されたすべての面が失われます。

ボックスや円筒を使って、現在のメッシュの要素を選択し、新しいサブドメインに割り当てることができます。現在のところ、サブドメインを再び直接結合することはできませんが、すべての要素を含むボックスを選択することで可能になります。



2.2 固有振動数と周波数応答の計算

オプションで、固有振動数と周波数応答を計算することができます。このためには[固有振動数を計算する](#)⁶⁷設定が有効でなければなりません。

まず、非線形静的平衡が計算されます。次に、固有振動数と周波数応答は、静的平衡からの接線剛性マトリックスと線形運動方程式を使用して計算されます。したがって、結果は静的解の周りの小振幅に対してのみ有効です。

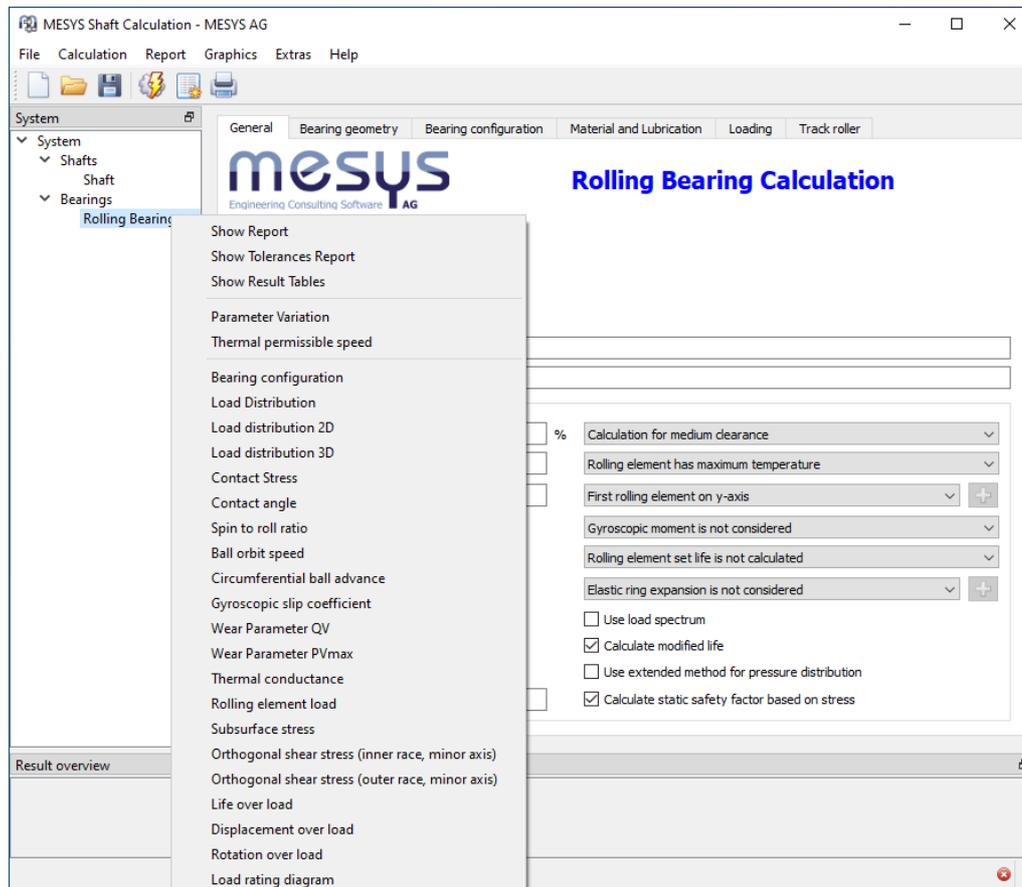
固有振動数は、与えられた回転速度を用いて計算されます。危険周波数は、シャフト回転数とこのシャフト回転数における固有振動数の交点です。危険周波数は、特別レポートで表示されるか、キャンベルダイアグラムで確認することができます。

「計算」メニューでは、周波数応答の追加計算が利用可能です。これを使用するには、1つ以上の動的荷重をシャフトに加え、固有振動数の計算をアクティブにする必要があります。これにより、1つの動的荷重を定義し、指定された範囲でその周波数を変化させるこ

ことができます。変位、速度、力の結果は、ドキュメンテーションポイントまたはサポートで可能です。

2.3 転がり軸受計算へのインターフェース

[MESYS転がり軸受計算](#)^[152]のダイアログは、シャフト計算と完全に統合されています。

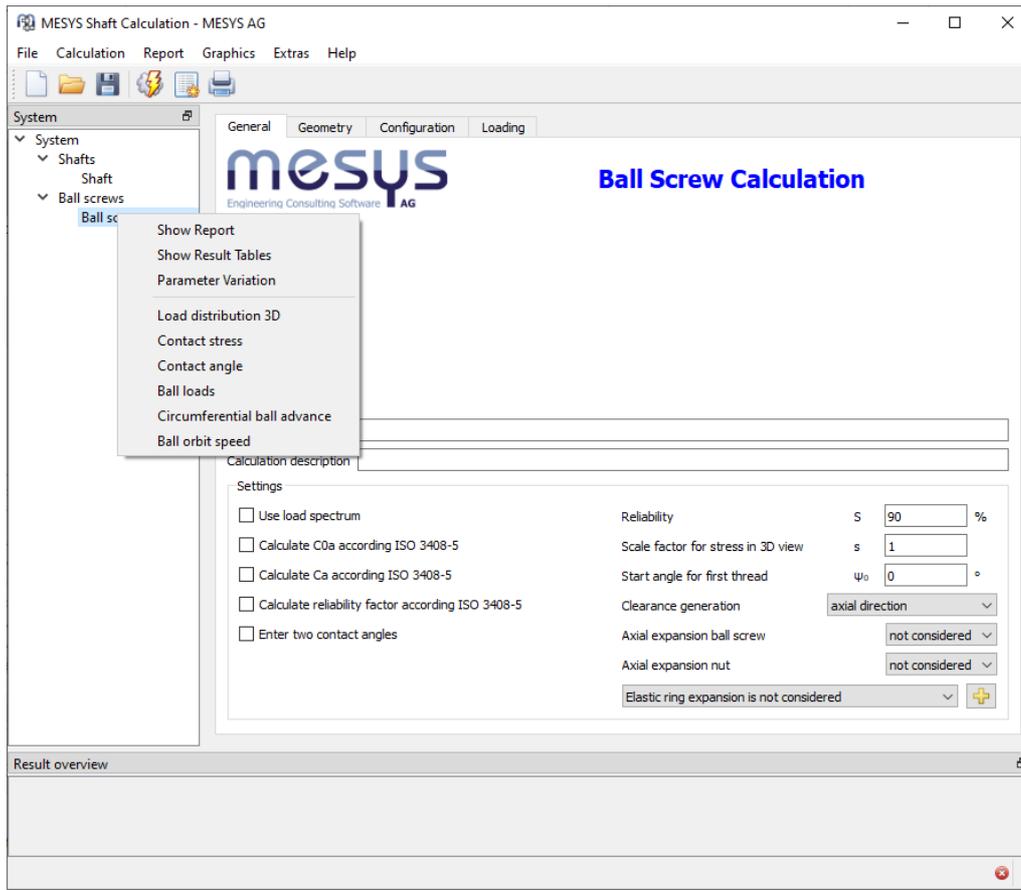


軸受計算を開いている間は、ファイル操作、計算、レポート作成の機能は、軸受計算のみに使用されます。したがって、軸受の計算のみが行われ、結果概要に軸受の結果が表示されます。しかし、CTRL+F5を押すことで、軸受の計算中にシャフト全体の計算を実行することができます。

グラフィックスと公差レポートは、システムツリーでマウスの右ボタンを使って開くことができます。グラフィックスは、グラフィックのためのメニューでも利用可能です。異なる軸受からのグラフィックスは、同時に表示することができます。

2.4 ボールねじ計算へのインターフェース

[ボールねじ計算](#)^[242]のすべてのダイアログは、転がり軸受計算と同様にシャフト計算と完全に統合されています。

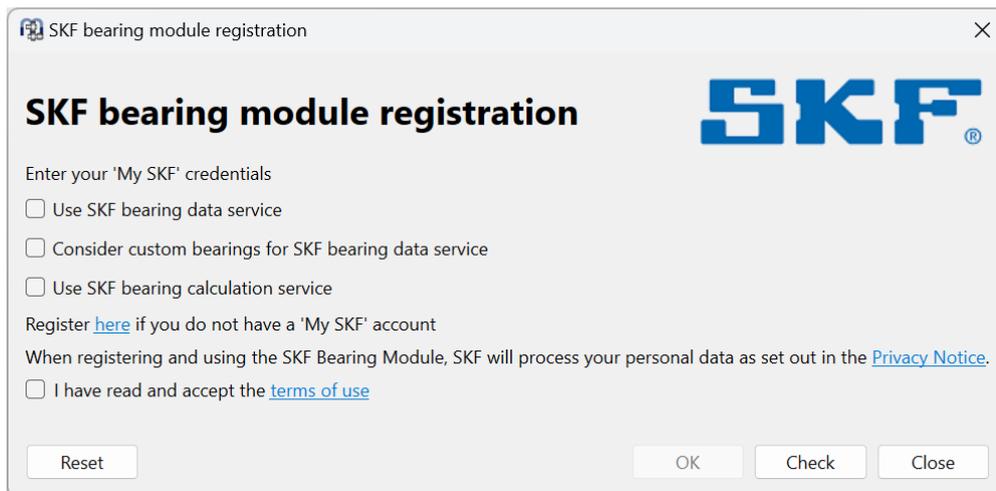


ボールねじ計算を開いている間は、ファイル操作、計算、レポート作成などの機能は、ボールねじ計算のみで使用されます。そのため、ボールねじの計算のみが行われ、結果概要にボールねじの結果が表示されます。ただし、ボールねじの計算中にCTRL+F5キーを押すことで、シャフト全体の計算を実行することができます。

システムツリーでマウスの右ボタンを使用すると、グラフィックスを開くことができます。グラフィックスは、グラフィックのメニューでも利用できます。異なるボールねじのグラフィックスを同時に表示することができます。

2.5 SKFベアリングモジュールへのインターフェース

メニュー“その他”で、SKFベアリングモジュールの認証情報を入力できます。



SKF bearing module registration

SKF bearing module registration 

Enter your 'My SKF' credentials

Use SKF bearing data service

Consider custom bearings for SKF bearing data service

Use SKF bearing calculation service

Register [here](#) if you do not have a 'My SKF' account

When registering and using the SKF Bearing Module, SKF will process your personal data as set out in the [Privacy Notice](#).

I have read and accept the [terms of use](#)

Reset OK Check Close

使用条件に同意して「チェック」ボタンをクリックすると、Web ブラウザにログインダイアログが表示されます。SKF ベアリング モジュールの資格情報が利用できない場合は、まずサービスに登録してください。ログインに成功すると、ウィンドウに「アクセスが許可されました」と表示されます。「リセット」を使用すると、サービスが無効になり、SKF サーバーにそれ以上のリクエストは送信されなくなります。

2つのサービスが利用できます：

- SKF ベアリング計算サービスは、すべての登録ユーザーが利用できます。これを有効にすると、結果の概要に SKF ベアリング寿命の2つの列が追加され、SKF 結果の表がレポートに追加されます。SKF の修正寿命定格は、aSKF の計算方法が aISO と異なるため、ISO 281 寿命定格とは異なる場合があります。
- SKF ベアリングデータサービスを使用すると、SKF サーバーから詳細なベアリングデータを取得できます。このサービスを使用するには、SKF による追加の権限が必要です。このサービスについては、SKF アプリケーションサポートにお問い合わせください。当初、ベアリングデータサービスは超精密ベアリングでのみ使用可能で、後で拡張される予定です。当初サポートされているベアリングタイプは、アンギュラコンタクト ベアリング、単列および複列テジアル円筒ころ軸受で、超精密ベアリングに限定されています。
- インストール内の SKF データベースには、近似内部形状のみが含まれています。このサービスを使用すると、SKF からの詳細な内部形状がメモリにロードされ、ソフトウェアを閉じると再び失われます。内部形状が使用可能な場合、ベアリングはベアリングデータベースで太字で印刷され、2D シャフト エディターでは別の色が使用されます。これらの色は、シャフト計算の表示設定で選択できます。「SKF Consider custom bearings for SKF bearing data service」オプションがアクティブの場合、ベアリングが近似ベアリング形状に設定され、製造元名が「SKF」で始まる場合、ソフトウェアはカスタムベアリングデータベース内のベアリングの内部データも取得しようとします。

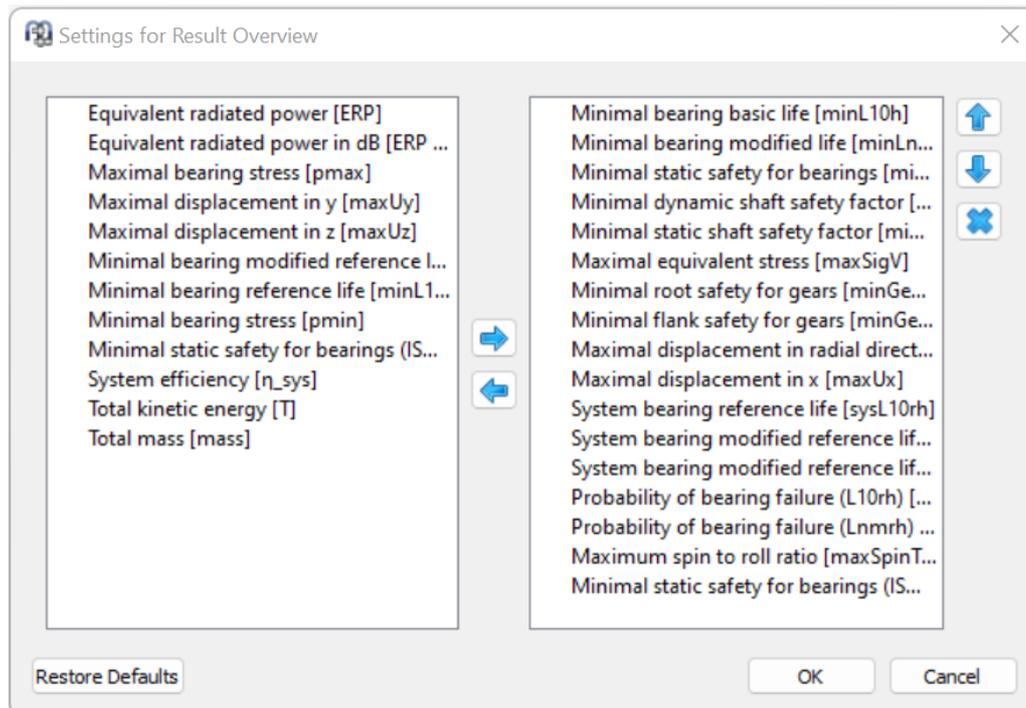
2.6 結果

結果は、さまざまな出力で利用できます。ユーザーインターフェースの下部にあるデフォルトの結果の概要、軸受荷重と固有振動数の概要、いくつかのグラフィックス、レポートがあり

ます。

2.6.1 結果の概要

ウィンドウの下部にある結果の概要には、最小の軸受寿命、最小の静的軸受安全係数、および最大のシャフトの変位が表示されます。結果の概要は、“拡張→結果の概要”の下で構成することができます。

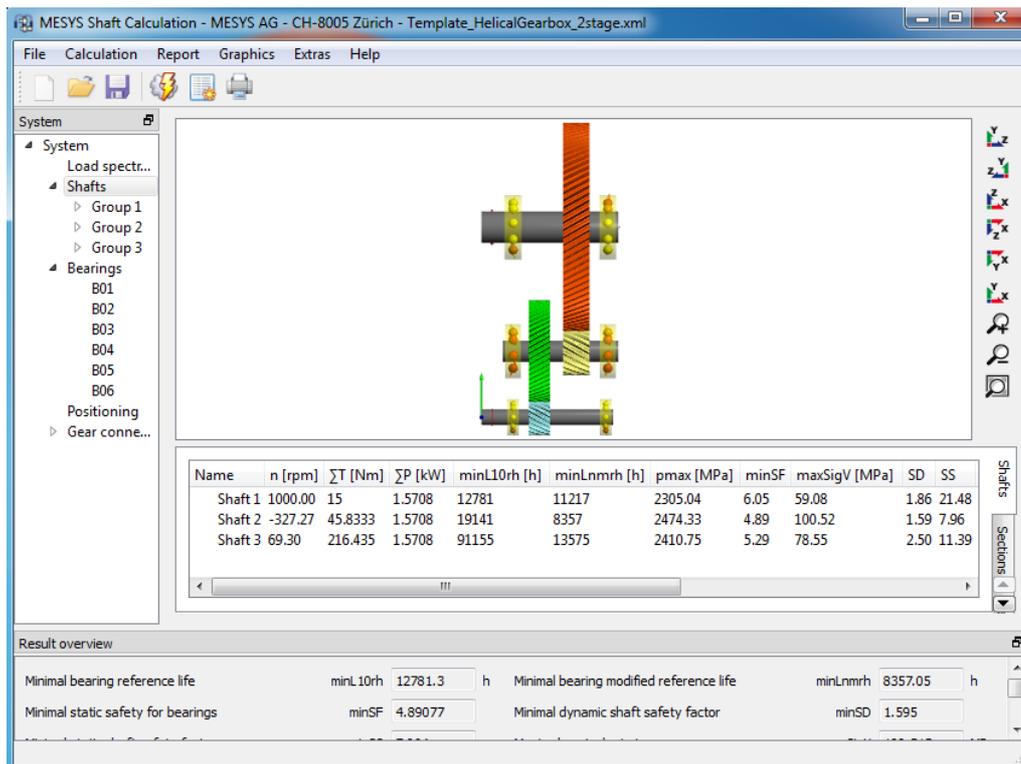


左側のリストには、結果の概要で利用可能な全ての項目が表示されます。矢印を使用して、選択した項目を右側のリストに移動し、結果の概要に使用することができます。選択した結果の順序は、右側の上/下矢印で変更することができます。結果の概要には、実際には有効な結果値のみが表示されます。そのため、設定で選択した数よりも少ない値が表示されます。

結果の概要の設定は、計算ファイルではなく、ユーザー設定に保存されます。そのため、異なる計算でも同じになります。

2.6.2 結果テーブル

“シャフト”、“軸受”、またはグループを選択すると、いくつかの結果テーブルを利用できます。



2.6.2.1 シャフトの表

各シャフトごとの結果を表示したテーブルです。

| Name | n [rpm] | ΣT [Nm] | ΣP [kW] | minL10rh [h] | minLnmrh [h] | pmax [MPa] | minSF | maxSigV [MPa] | SD | SS | maxUr [mm] | mass [kg] | Jxx [kg mm ²] | Jyy [kg mm ²] | Jzz [kg mm ²] |
|------|---------|---------|---------|--------------|--------------|------------|-------|---------------|------|-------|------------|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| S1 | 1000.00 | 100 | 10.472 | 3330 | 5121 | 2678.03 | 3.86 | 41.06 | 3.94 | 8.28 | 0.0380 | 1.38 | 196.17 | 4204.48 | 4204.48 |
| S2 | -395.35 | 252.941 | 10.472 | 2757 | 1931 | 2920.93 | 2.97 | 23.86 | 3.96 | 11.92 | 0.0506 | 3.09 | 1025.99 | 8636.34 | 8636.34 |
| S3 | 149.35 | 669.55 | 10.472 | 5764 | 1685 | 2849.53 | 3.20 | 52.04 | 3.88 | 5.53 | 0.0334 | 4.06 | 1707.99 | 12817.2 | 12817.2 |

利用可能な結果は以下の通りです。

- 'n': シャフトの回転数
- 'ΣT': 同じ符号のすべてのトルクの合計
- 'ΣP': 同じ符号のすべての力入力の合計
- 'minL10rh': このシャフト上のすべての軸受の[ISO 16281](#)^[319]に従った最小基準寿命L10rh。または、[ISO 281](#)^[318]に従ったL10h表示されます。
- 'minLnmrh': このシャフト上のすべての軸受の[ISO 16281](#)^[319]に従った最小修正定格寿命Lnmrh。または、[ISO 281](#)^[318]に従ったLnmhが表示されます。
- 'pmax': 軸受の最大接触応力
- 'minS0eff': このシャフトのすべての軸受の[ISO 17956](#)^[319]に従った最小静的安全係数
- 'maxSigV': このシャフトでの最大等価応力

- 'SD' : このシャフトのDIN 743^[318]に従った疲労に対する安全性
- 'SS' : このシャフトのDIN 743^[318]に従った静的安全係数
- 'maxUr' : シャフトの最大ラジアル変位量
- 'mass' : このシャフトの質量
- 'Jx, Jy, Jz' : シャフトの慣性モーメント

2.6.2.2 セクションの表

セクションの表は、各シャフトの各セクションの詳細を示しています。切欠き効果の種類、強度、荷重とモーメント、変位のための安全係数が表示されています。

| Name | Type | x [mm] | SD | SS | Fx [kN] | Fy [kN] | Fz [kN] | Mx [Nm] | My [Nm] | Mz [Nm] | ux [mm] | uy [mm] | uz [mm] | rx [°] | ry [°] | rz [°] |
|------|------------------|--------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
| 4 Sl | | | 3.94 | 8.28 | | | | | | | | | | | | |
| A | Shoulder | 38 | 5.35 | 8.28 | 0.000 | -1.034 | -2.826 | -100.00 | -22.57 | 8.22 | 0.0048 | -0.0107 | -0.0282 | 1.20 | 0.01 | -0.00 |
| B | Shoulder | 172 | 27.83 | 87.42 | 0.000 | 0.403 | 1.095 | 0.00 | -8.74 | 3.20 | 0.0048 | -0.0063 | -0.0165 | 1.18 | -0.02 | 0.01 |
| C | Interference fit | 55 | 4.47 | 10.46 | 0.000 | -1.033 | -2.826 | -100.00 | -70.61 | 25.78 | 0.0048 | -0.0122 | -0.0324 | 1.19 | 0.01 | -0.00 |
| D | Interference fit | 95 | 3.94 | 12.44 | 0.000 | 0.361 | 0.995 | -2.57 | -93.09 | 34.06 | 0.0048 | -0.0132 | -0.0351 | 1.18 | -0.00 | 0.00 |

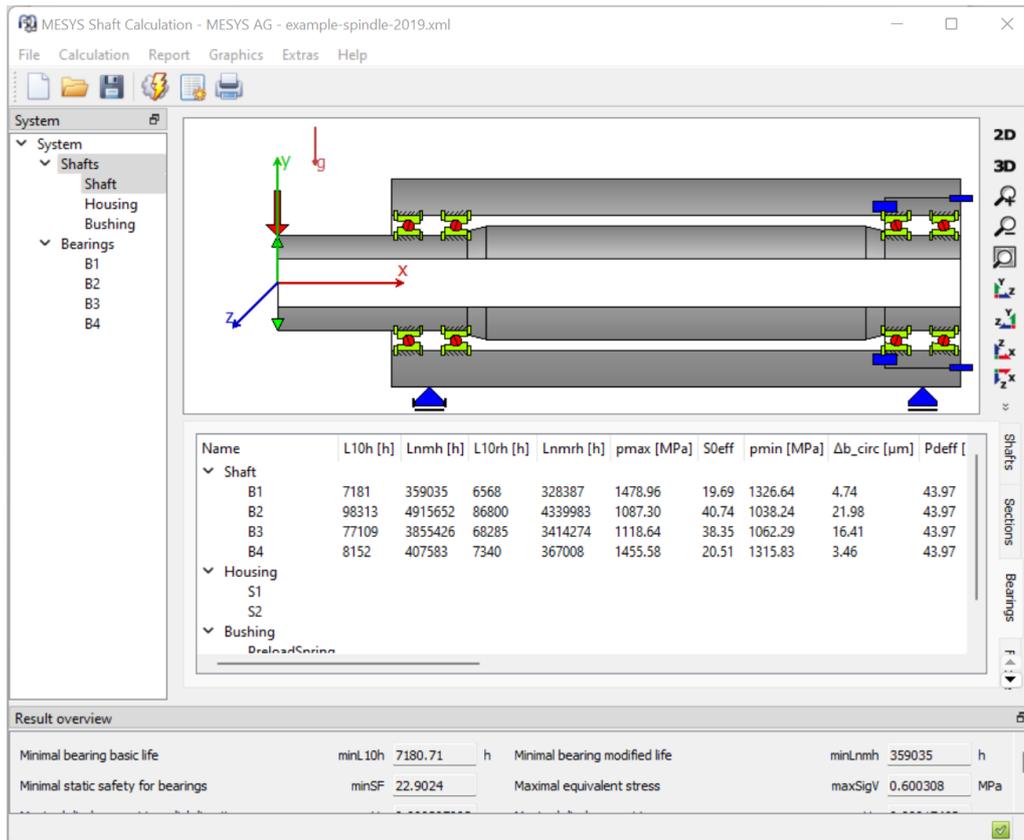
利用可能な結果は以下の通りです。

- 'SD' : このセクションのDIN 743に従った疲労に対する安全性。
- 'SS' : このセクションのDIN 743に従った静的安全係数。
- 'Fx, Fy, Fz' : シャフトのセクションの荷重。弾性パーツの面では、力はパーツに作用します。
- 'Mx, My, Mz' : シャフトのセクションのモーメント。弾性パーツの面では、力はパーツに作用しています。
- 'ux, uy, uz' : この位置でのアキシャルとラジアルの変位。
- 'rx, ry, rz' : この位置でのねじり角と傾斜角。
- 'cxx, cyy, czz' : この位置に縮退されたシステムの剛性。コンプライアンス行列の主対角線の逆数を示す。
- 'orx, ory, orz' : この位置に縮退されたシステムの回転剛性。コンプライアンス行列の主対角線の逆数を示す。

2.6.2.3 軸受の表

軸受の表は、軸受とサポートの寿命と荷重を示したものです。荷重の符号は、シャフトから軸受にかかる力を示しています。

転がり軸受の場合は、荷重とモーメントに加えて、寿命と圧力が表示されます。マウスの右ボタンを使用すると、運転すきまやスピン/ころがり比などの結果を追加で表示することができます。



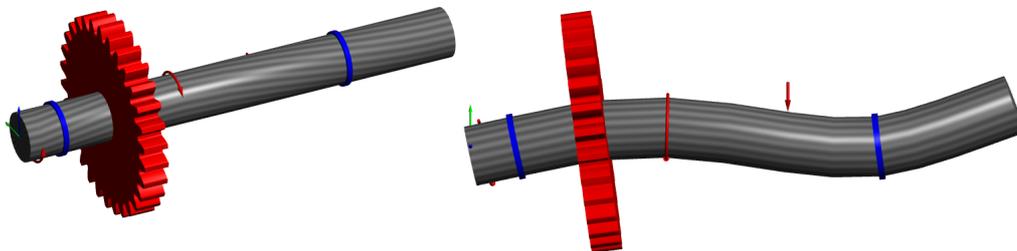
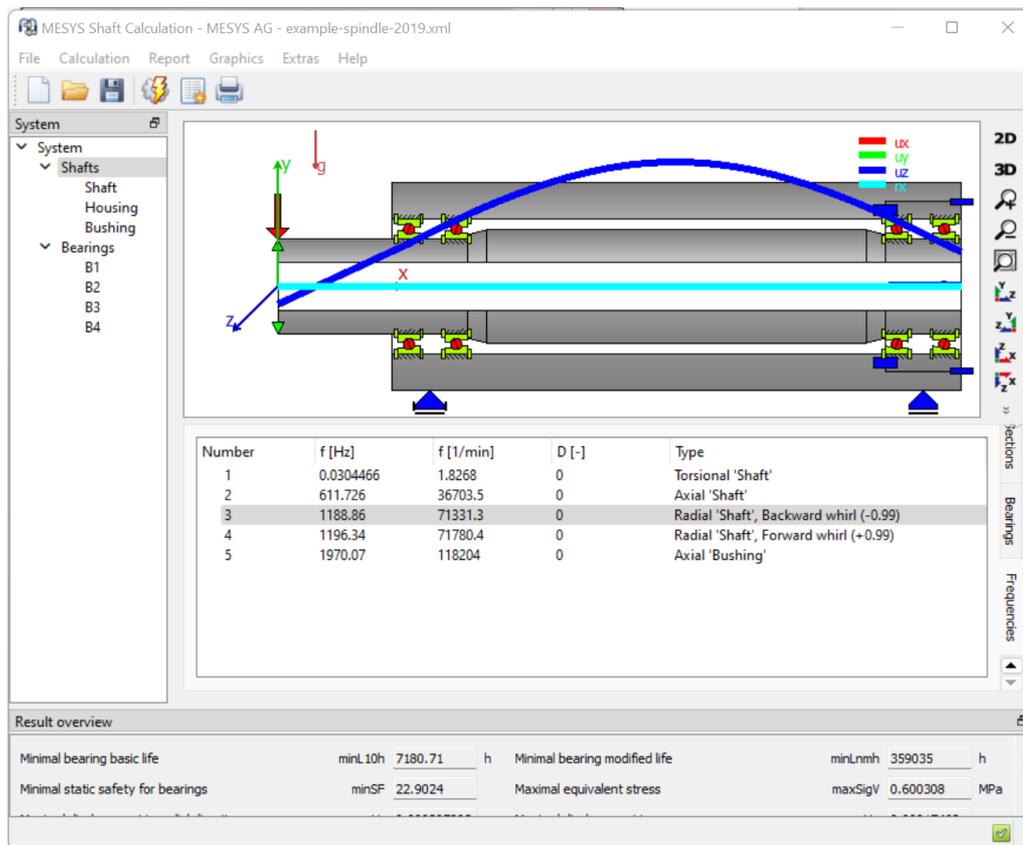
利用可能な結果は以下の通りです。

- 'L10h': [ISO 281](#)^[318]に従った定格寿命。
- 'Lnmh': [ISO 281](#)^[318]に従った修正定格寿命。
- 'L10rh': [ISO 16281](#)^[319]に従った基準定格寿命。
- 'Lnmrh': [ISO 16281](#)^[319]に従った修正基準定格寿命。
- 'pmax': 軸受の最大接触応力。
- 'S0eff': 軸受内の荷重分布に基づき[ISO 17956](#)^[319]に従った静的安全係数。
- 'pmin': 軸受の最小接触応力。この値がゼロより大きい場合、すべての転動体に荷重がかかる。
- ' $\omega_{\text{spin}} / \omega_{\text{roll}}$ ': ボール軸受のスピン/ころがり比。
- ' Δb_{circ} ': ボール軸受の円周方向のボールの進み遅れ。
- ' ΔT ': この軸受の[DIN 732](#)^[318]に従った温度上昇値。
- 'nt': [DIN 732](#)^[318]に従った最大許容回転数。
- 'k': この軸受の粘度比。通常 1 から 4 の間であるべきです。

- 'Pdeff': 運転状態における軸受の有効ラジアルすきま。
- 'Paeff': 運転状態における軸受の有効アキシャルすきま。
- ' α_{0eff} ': ボール軸受のための有効なフリー接触角。
- ' $\Delta\alpha$ ': ボール軸受の内輪と外輪の接触角の違い。この値は、いくつかのメーカーによると 15° より小さいはずです。
- 'pFitShaft': シャフトと内輪の間にかかるはめあいの圧力。通常ゼロより大きくなくてはなりません。
- 'eLR_i, eLR_e': ボール軸受の接触楕円の長さです。100% 以下の場合は切り捨てとなります。
- 'F_x, F_y, F_z, Fr': 軸受力、Frはラジアル荷重です。力はサポートに作用しています。
- 'M_x, M_y, M_z, Mr': モーメント、Mrは傾きモーメント。モーメントはサポートに作用します。
- 'u_x, u_y, u_z, u_r': シャフトのノードと2番目のノード(またはハウジング)の相対変位、u_rは半径方向の変位です。
- 'r_x, r_y, r_z, rr': 2番目のノード(またはハウジング)に対するシャフトノードの相対回転、rrは結果として生じる傾斜角度です。

2.6.2.4 固有振動数の表

概要では固有振動数も表示されます。周波数が選択されると、対応するモード形状がグラフィックスに表示されます。2D表示では、3つの変位とねじり角が表示されます。3Dビューでは、モード形状がアニメーションで表示されます。



利用可能な結果は以下の通りです。

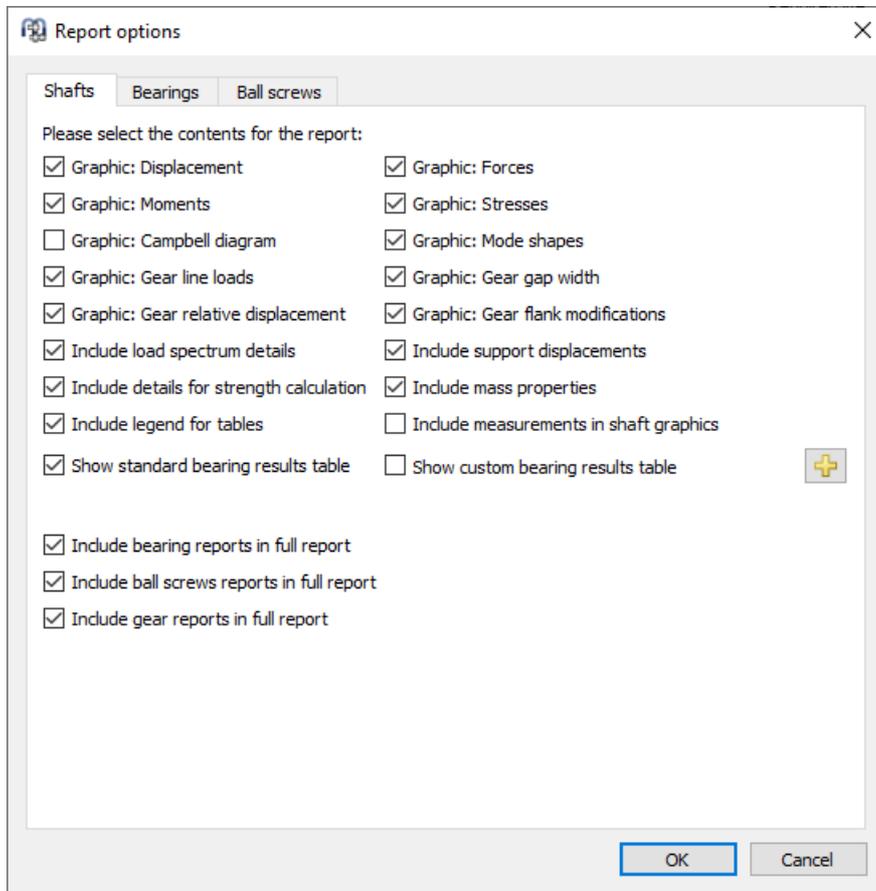
- 'f': Hzと毎分の固有振動数。
- 'D': 減衰が定義されている場合のモードの減衰比。
- 'タイプ': モードの運動エネルギーに基づいてモードのタイプを分類しようとします。旋回の向きの数値が与えられます。+1は円形の前方向旋回、0は直線軌道、-1は円形の後方向旋回です。

2.6.3 レポート

ツールバーボタンまたは“レポート”->“レポート表示”を使用すると、シャフト計算のためのレポートが作成され、軸受の結果の概要のみが表示されます。また、“レポート”->“全レポート”では、シャフト計算の結果と軸受計算の完全なレポートを作成することができます。

2.6.3.1 レポートオプション

レポート”->”レポートオプション”を使用して、レポートの内容を構成することができます。



シャフト計算、軸受計算、ボールねじ計算の出力にそれぞれ1ページずつ用意されています。ベアリングとボールねじの設定は、対応する計算に渡されます。全てのテーブルパラメータの凡例はレポートに表示することができます。軸受計算のライセンスがあれば、軸受の結果用のカスタムテーブルを構成することができます。

2.6.4 結果テーブル

レポート”->”結果テーブル”メニューでは、結果データをテーブルとして出力することができます。テーブルのファイル形式は、“INI-File”によるコンフィギュレーション”で説明したように、さまざまなファイル形式で作成することができます。

軸受とボールねじの詳細結果を含む結果テーブルは、システムツリー上の軸受またはボールねじを右クリックすることで開くことができます。

2.6.5 カスタムレポートテンプレート

カスタムレポートのテンプレートは、サブディレクトリ“templates/shaft”に追加することができます。レポート“>”レポートテンプレート”でレポートテンプレートを選択することにより、これらのテンプレートに基づいてレポートを作成することができます。

レポートテンプレートは、DOCVARIABLEフィールドを持つワードファイルです。これらのフィールドは、レポート作成時に入力されます。

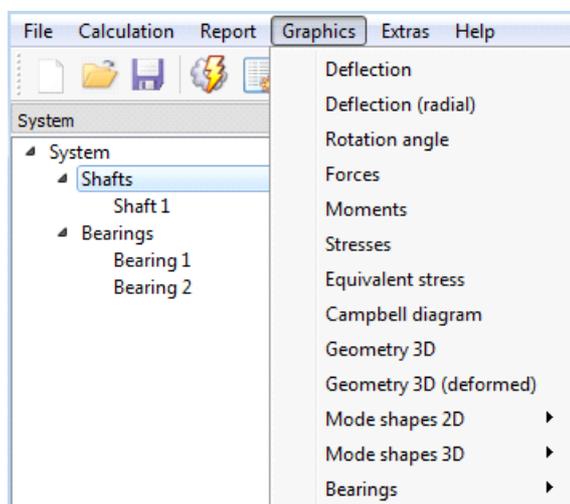
使用可能なフィールドは以下の通りです。

- DOCVARIABLE VARname [unit]: 名前 'name' を持つ変数が印刷されます。オプションで、[mm]のような括弧で単位を指定することができます。さらに、% 6.3g や % 6.3f のような形式を追加することができます。ここで 'f' は常に固定小数点出力を生成し、'g' は大きな数に対して指数出力を生成します。
- DOCVARIABLE VARU name [unit]: 名前 'name' を持つ変数と単位がプリントされます。オプションとして、[mm]のような括弧で単位を指定することができます。
- DOCVARIABLE TABLE tablename : 表が挿入されます。
- DOCVARIABLE GRAPHIC graphicName width=130 height=70 : DOCVARIABLEが挿入されます。グラフィックスが挿入されます。オプションで heightとwidthをミリメートルで指定することができます。

変数名、テーブル名、グラフィックス名の詳細については、support@mesys.chに追加ドキュメントを依頼してください。

2.6.6 グラフィックス

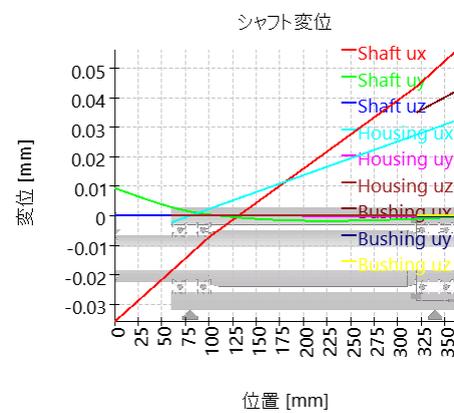
いくつかの結果はグラフィックスとして表示することができます。全グラフィックスはレポートに添付されますので、1つのドキュメントで完全なドキュメントが提供されます。



すべてのダイアグラムのダイアグラムオプションは、マウスの右ボタンで使用できます。座標システムや単位を変更することができます。また、コンテキストメニューからエクスポートと印刷が可能です。

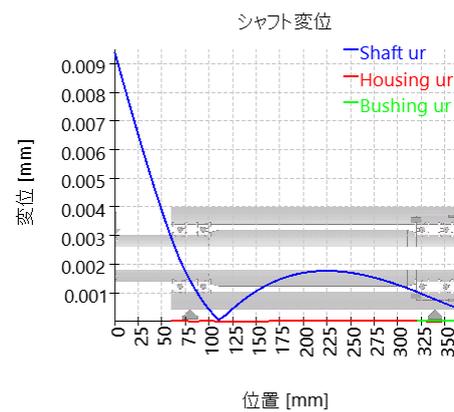
2.6.6.1 シャフト変位

各シャフトの3つの変位座標に対して、シャフトの変位を示します。



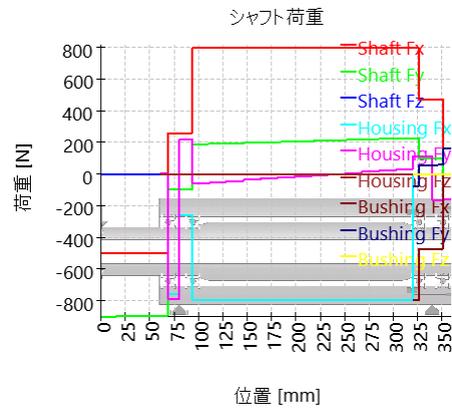
2.6.6.2 シャフト変位(ラジアル)

ラジアル変位図は、シャフトの総ラジアル変位の絶対値を示しています。



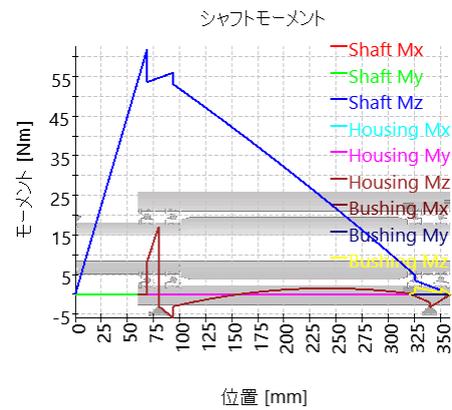
2.6.6.3 シャフト荷重

各シャフトの3つの荷重成分を示しています。



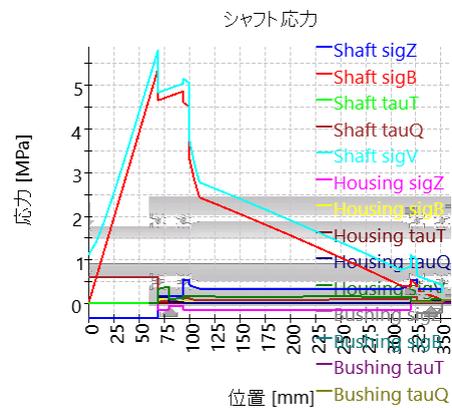
2.6.6.4 シャフトモーメント

各シャフトの2つの曲げモーメントとトルクを表示しています。



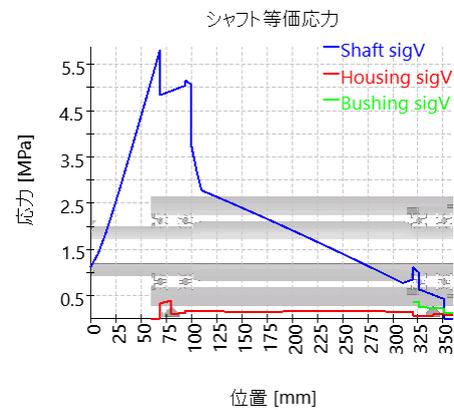
2.6.6.5 シャフト応力

全てのシャフトについて、応力成分を表示しています。複数のシャフトを使用した場合、そのダイアグラムでは曲線が多くなりすぎるため、等価応力のみを示したダイアグラムもあります。



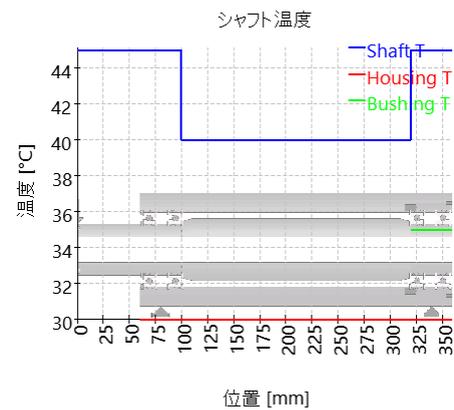
2.6.6.6 シャフト等価応力

この図は、すべてのシャフトの等価応力を示しています。



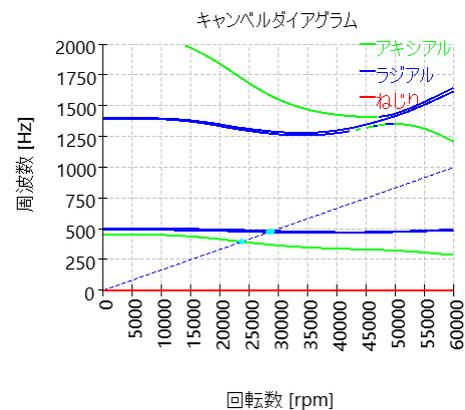
2.6.6.7 シャフト 温度

この図には各シャフトの温度が表示されています。シャフトの各セクションに異なる温度を定義するには、[要素毎に温度を考慮](#)¹⁰⁰。



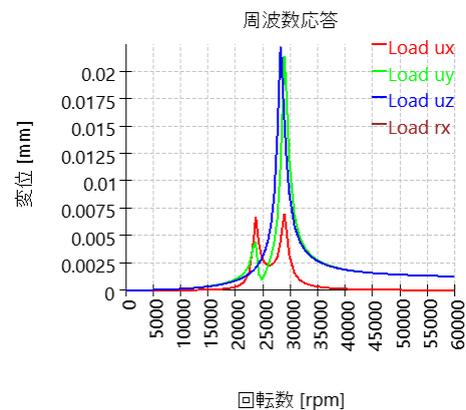
2.6.6.8 キャンベルダイアグラム

キャンベルダイアグラムは、シャフトの回転数に対する固有振動数の変化を示したものです。この計算では、すべてのシャフトの回転数に同じ係数を掛けています。シャフトの回転数は破線で表示されます。この計算は、常にジャイロ効果を考慮して行われます。



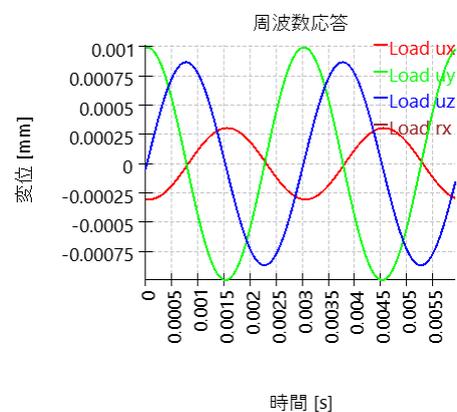
2.6.6.9 速度に対する周波数応答

速度に対する周波数応答を表示することができます。計算は、キャンベルダイアグラムと一緒に行われます。
すべてのサポートで可能な力のダイアグラムと、荷重と“ドキュメントポイント”タイプのセクションの位置で可能な変位のダイアグラムがあります。



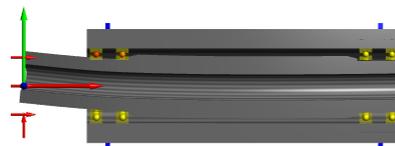
2.6.6.10 時間に対する周波数応答

時間に対する周波数応答は、荷重と変位の時間的な変化を示しています。この計算は、現在の回転数に対して行われます。



2.6.6.11 周波数応答3D

周波数応答3Dは、時間に対する動的な変位を3D表示したものです。

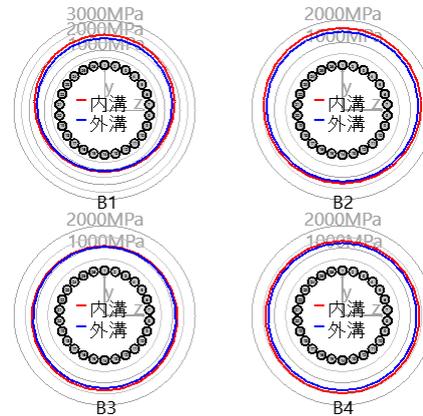


2.6.6.12 軸受解析のためのダイアグラム

加えて、軸受解析用のダイアグラムがいくつかあります。詳細は軸受解析のドキュメントをチェックしてください。[軸受の結果グラフィックス²²⁶](#)をご覧ください。

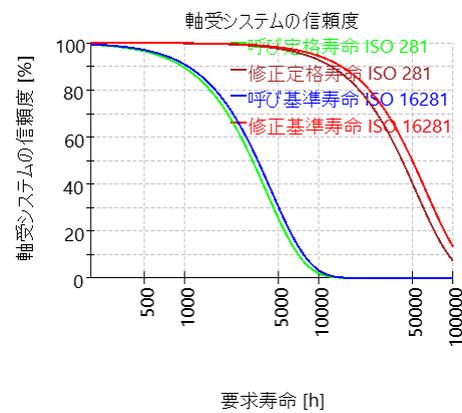
2.6.6.13 軸受の概要

軸受のいくつかのグラフィックスは、各々の軸受のための同じダイアグラムを示す概要グラフィックスとして利用可能です。これにより、すべての軸受の動作の概要を簡単に把握することができます。



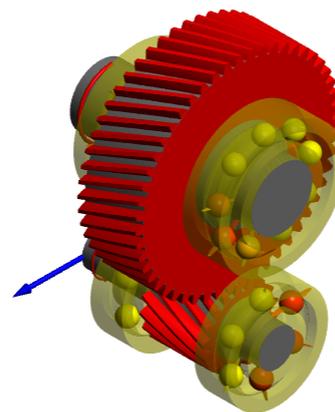
2.6.6.14 軸受システムの信頼度

全ての軸受を考慮したシステムの信頼度をダイアグラムで表示しています。軸受の信頼度は、軸受寿命の4種類の結果について示しています。



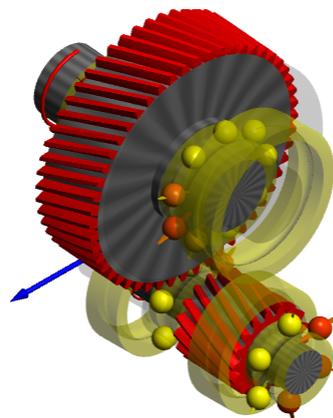
2.6.6.15 3次元形状

3次元形状を、変形なしまたは誇張された変形を表示することができます。ダイアグラムは、システム全体とグループごとに用意されています。



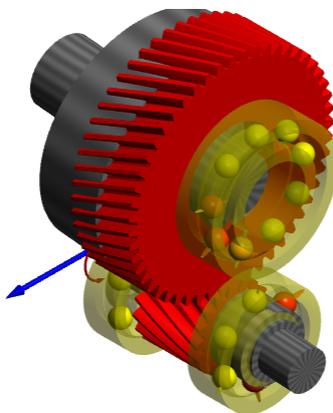
2.6.6.16 形状 3D (変形)

この図は、誇張された変形を伴うグループまたはシステムの3D形状を示しています。



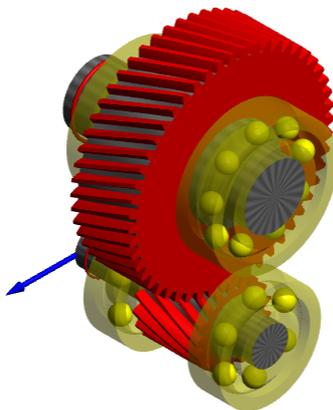
2.6.6.17 形状 3D (変形アニメーション)

この図は、誇張された変形を伴うグループまたはシステムの3D形状のアニメーションを示しています。



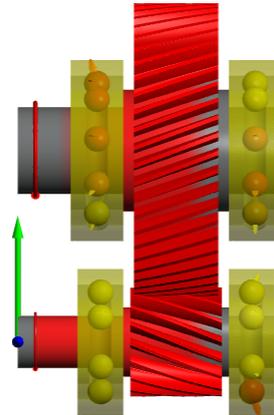
2.6.6.18 形状 3D (アニメーション)

この図は、アニメーション化された回転を伴うシステムの3D形状を示しています。主にギアボックスの回転方向を確認するために使用されます。



2.6.6.19 3次元形状(パワーフロー)

トランスミッションシステムのパワーフローを3Dグラフィックスで表示することができます。

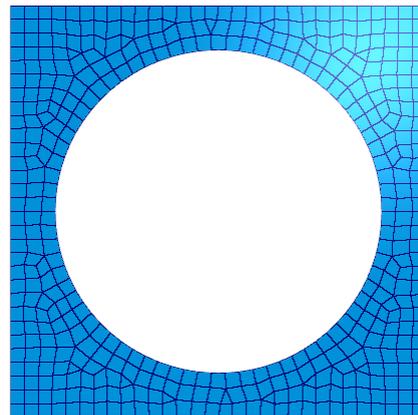


2.6.6.20 3D-弾性パーツ

いくつかの図が3D弾性部品の結果に対して、利用可能です。

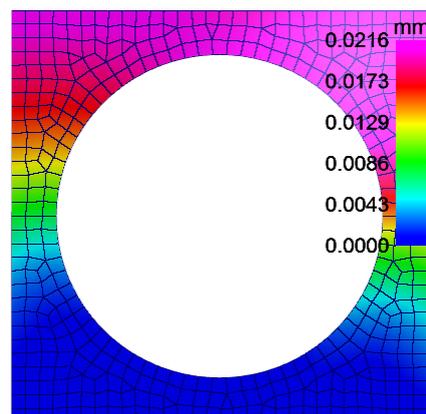
2.6.6.20.1 形状

この図は、3D弾性部品の3Dジオメトリを示しています。



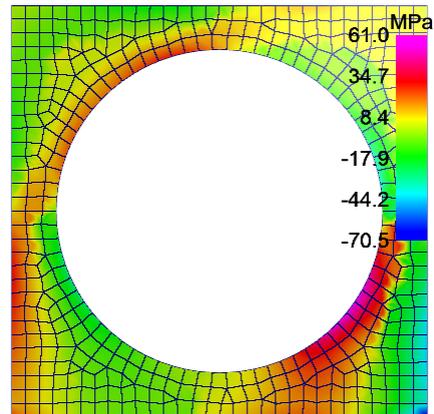
2.6.6.20.2 形状 3D (変形)

The 3D geometry of the 3D-elastic parts is shown with deformations as color scale. The graphic is also available with deformation components in X, Y, Z-directions or normal to the surface.



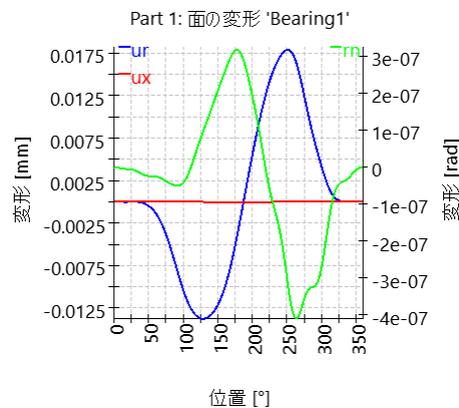
2.6.6.20.3 応力

縮退中に表面応力場が計算された場合、いくつかの応力図が利用できます: 等価応力、符号付き等価応力、X、Y、Z方向および表面に対して垂直な応力、最大、最小主応力など、



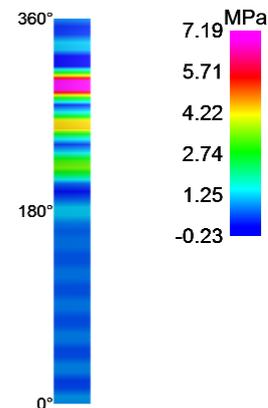
2.6.6.20.4 軸受面の変形

弾性ベアリング面の変形は、図で表示できます。面のローカル座標系における角度位置の上に、半径方向と軸方向の変形と傾斜角度が表示されます。この図には、ベアリング計算で可能な変形図から減算される剛体の変位が含まれています。



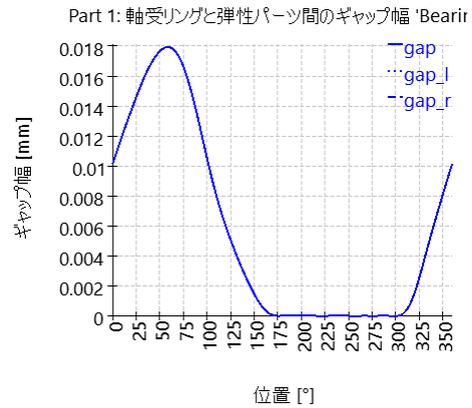
2.6.6.20.5 軸受面の接触応力

この図には、ベアリング面の接触部分のおおよその応力が示されています。潜在的なギャップを評価するには、代わりにギャップの図を使用する必要があります。



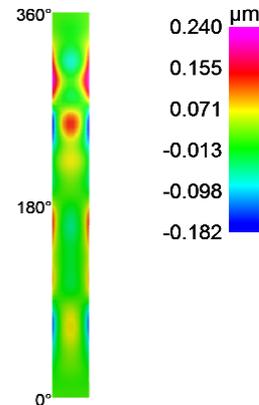
2.6.6.20.6 軸受面のギャップ

この図は、ベアリングリングと3D弾性部品の面との間の隙間の幅を示しています。これを使用して、ベアリングリングと弾性部品の間隙があるかどうかを確認できます。



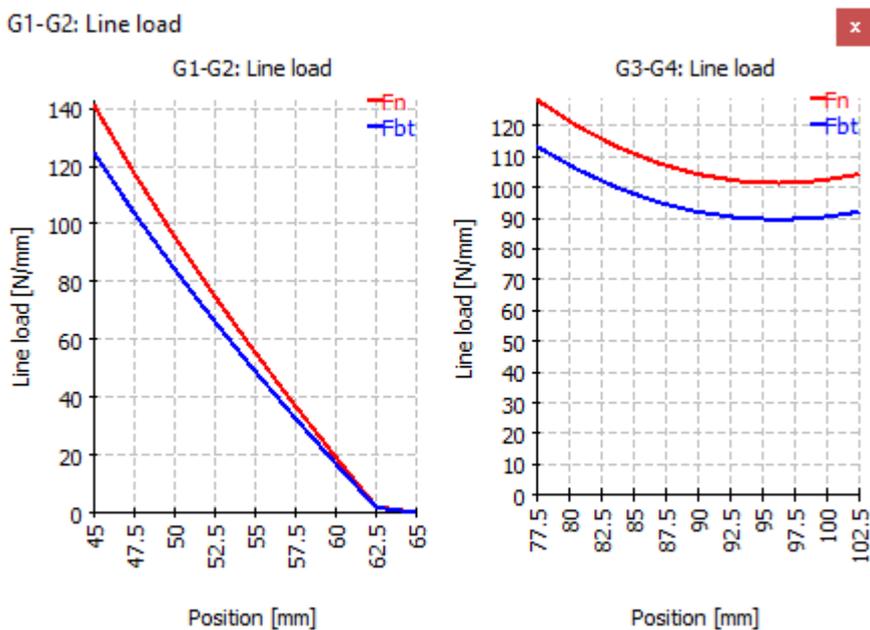
2.6.6.20.7 軸受面の通常変位における偏差

このグラフは、ベアリング接触に使用されるフーリエ近似と節点変位の変位を示しています。グラフは、変位フィールドが計算されている場合にのみ使用できます。通常、誤差は1ミクロンよりはるかに小さくなります。誤差が大きすぎると思われる場合は、3D弾性部分の設定で近似次数を増やすことができます。



2.6.6.21 接続概要

接続のためのいくつかのグラフィックスは、各接続のための同じダイアグラムを表示する概要グラフィックスとして利用可能です。これにより、すべての接続の動作の概要を簡単に把握することができます。

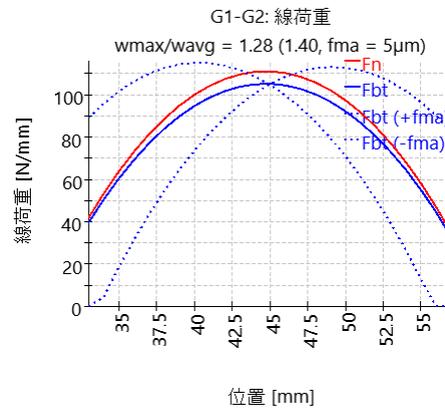


2.6.6.22 接続

接続のためのいくつかの図が利用できます。

2.6.6.22.1 歯車線荷重とギャップ幅

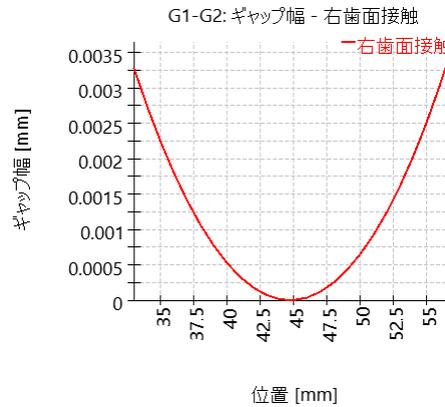
歯車ペアの線荷重は、図に表示できます。この図では、設定においてギアを剛性として考慮するか、シャフトの直径をギア本体の剛性として考慮できるほど大きくする必要があります。この図は、1つの図に表示されるすべての荷重スペクトル結果にも使用できます。これにより、荷重スペクトル内で最悪のケースをすばやく確認できます。



グラフィックオプションでかみ合いミスアライメント「fma」が定義されている場合、線荷重も、ギア荷重と傾斜角度が一定であると仮定して、これらの変動に対して評価されます。

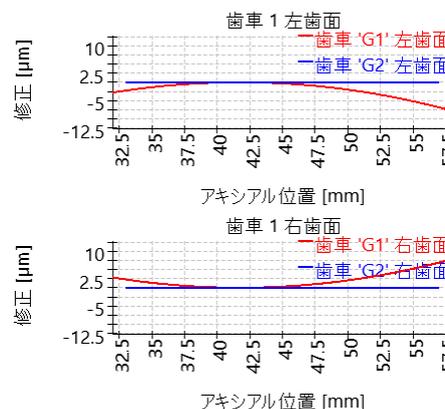
2.6.6.22.2 ギャップ幅

ギアペアのギャップ幅の図は、歯面線修正の提案に使用できます。



2.6.6.22.3 歯面の修正

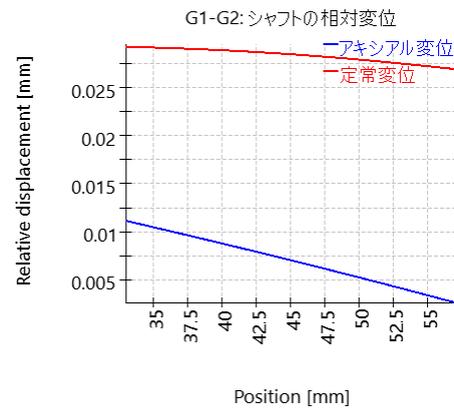
最適な歯当たりを得るために行った歯面修正による歯面プロファイルを示します。このように、x軸は歯の幅をmm単位で表し、y軸は歯面が受けた幾何学的変化をµm単位で表します。



2.6.6.22.4 相対変位

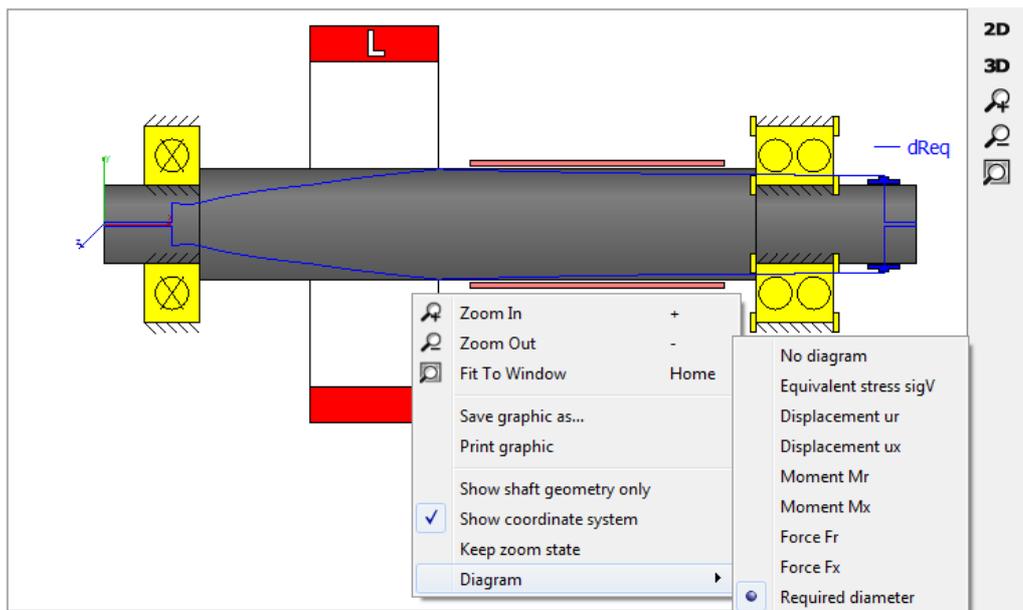
円筒歯車ペアごとに、シャフトの相対変位ダイアグラムを示します。これは両シャフトの相対変位を歯車の幅で表したものです。アキシアル変位は中心距離の変化、定常変位は2つのシャフトの平面に垂直な方向への移動です。

このダイアグラムは、要求される修正、すきまの変化、すきまを理解するために役立ちます。



2.6.7 グラフィックス領域

2D モードでメイングラフィックス領域を右クリックすると、'ダイアグラム' というコンテキストメニューが表示され、シャフト関連のダイアグラムをシャフトの実際の形状に重ね合わせることができます。



'要求直径' と呼ばれる追加のダイアグラムをシャフトの2D 形状に重ね合わせることができます。これは、'タブページ' '画面設定' で定義される最大等価応力値(上の画像を参照)を超えないように直径をどの程度にすべきかを示す手がかりとなります。

2.6.8 CAD export

メニューの「グラフィックス」→「CAD」でいくつかのグラフィックスを選択できます。シャフトの計算では、これらはシャフトの形状、または簡略化または詳細なサポートと力を備えたシャフトの形状です。これらのグラフィックはSTEPとしてエクスポートできます。ソフトウェアではすべての形状の詳細が利用できるわけではなく、簡略化が行われているため、これらのSTEPファイルは製造には使用できません。

エクスポートは、ジオメトリ生成または比較のスタート点として使用できます。

MESYS 転がり軸受計算

3 MESYS 転がり軸受計算

転がり軸受計算 (Version 12/2024) は、以下のタイプの軸受について、[ISO 16281](#)³¹⁹⁾ (DIN 26281) による荷重分布、基準寿命、修正基準寿命を計算するものです。

- 深溝ラジアル玉軸受
- 複列深溝玉軸受
- スラスト深溝玉軸受
- ラジアルアンギュラ玉軸受
- スラストアンギュラ玉軸受
- 複列ラジアルアンギュラ玉軸受
- 複列スラストアンギュラ玉軸受
- 単列自動調心玉軸受
- 複列自動調心玉軸受
- 4点接触玉軸受(ラジアル)
- 4点接触玉軸受(アキシアル)
- 内輪分割を持つ3点接触玉軸受
- 外輪分割を持つ3点接触玉軸受
- 複列玉軸受
- ラジアル円筒ころ軸受
- 複列ラジアル円筒ころ軸受
- スラスト円筒ころ軸受
- 複列スラスト円筒ころ軸受
- バーレルころ軸受
- トロイダルころ軸受
- ニードル軸受
- 円すいころ軸受
- 複列円すいころ軸受
- スラスト円すいころ軸受

- ラジアル自動調心ころ軸受
- ラジアルハーフ自動調心ころ軸受
- スラスト自動調心ころ軸受
- クロスローラ軸受(ラジアル)
- クロスローラ軸受(アキシアル)
- アンギュラころ軸受(ラジアル)
- アンギュラころ軸受(アキシアル)

今後、軸受のタイプは追加される予定です。

軸受の内部形状は、ソフトウェアで近似することも、ユーザーから提供されることも可能です。運転すきまを指定することができます。はめあい、温度、遠心荷重がすきまに与える影響を考慮することができます。転動体にかかる遠心荷重とジャイロモーメントは、ボールベアリングにのみ考慮されます。

ISO 16281の拡張として、NRELガイドラインDG03に従って、材料硬度低下の影響を考慮することができます。これには、ケースコア界面のチェックも含まれます。

潤滑油の膜厚をソフトウェアで計算することができます。これは、ハリスに従って行われます。Harris: Rolling bearing analysis.

荷重は、5つの自由度のそれぞれについて、荷重とモーメント、または変位と回転として独立して指定することができます。軸受セットは、複数の列を持つコンフィギュレーションを使用して定義することができます。これは、スピンドルや多列円筒ころ軸受に使用することができます。

レポートには、以下の結果が記載されています。

- ISO 16281に基づく基準寿命
- [ISO 16281](#)^[319]に基づく修正基準寿命
- [ISO 281](#)^[318]による定格寿命と修正定格寿命の比較
- 転動体間の荷重分布
- 反力/モーメントと変位/回転数
- 各接触の接触圧力
- 玉軸受の接触楕円に必要な肩の高さ
- 静的安全係数
- 最大表面下応力とケースコア界面の応力

- クーロン摩擦に基づく玉軸受の荷重依存の摩擦トルク
- はめ合いと温度によるすきまの変化
- 玉軸受のPVやQVなどの摩耗パラメータ

レポートに加えて、結果はいくつかのグラフィックスで表示されます。レポートとユーザーインターフェイスは、どちらもメートル単位またはUSカスタム単位で利用可能です。ユーザーインターフェイスとレポートでサポートされている言語は、英語、ドイツ語、フランス語、スペイン語、中国語、イタリア語、トルコ語、中国語、日本語、韓国語です。

パラメータのバリエーションは、複数のパラメータに範囲を指定して行うことができます。パラメータバリエーションの結果は、テーブルまたはグラフィックスで表示されます。いくつかの入力に対して提案があり、アキシアルすきまをラジアルすきまに変換することも可能です。

外輪の弾性変形は、基本ソフトの拡張機能で考慮することができます。ラジアル方向、アキシアル方向、接線方向の複数点での荷重を指定でき、外輪を変形させた場合の寿命と荷重分布を計算することができます。この機能の主な用途はトラックローラーですが、外輪として遊星歯車の変形も考慮することができます。弾性外輪を考慮できる軸受のタイプは以下の通りです。深溝玉軸受、ラジアルアンギュラ玉軸受、4点玉軸受、3点玉軸受、ラジアル円筒ころ軸受、複列円すいころ軸受です。多列軸受は、軸受コンフィギュレーションを使って考慮することができます。

3.1 入力パラメータ

入力パラメータは5つのタブページで表示されます。

3.1.1 一般

最初の入力画面では、プロジェクト名のほか、いくつかの設定を行うことができます。

3.1.1.1 プロジェクト名と計算概要

プロジェクト名と計算概要は、レポートヘッダに表示される単なる入力項目です。これらは、文書化のために計算の目的についての情報を入力するために使用することができます。

3.1.1.2 信頼度

デフォルトでは、軸受の寿命は信頼度90%で計算されます。信頼度は、90%、<100%で変更することができます。信頼度 a_1 の寿命修正係数は、[ISO/TR 1281-2](#)^[318]の式で示される3パラメータのワイブル関係を使って、この入力値に従って計算されます。[ISO 281](#)^[318]の表もこの式に従って計算されており、旧版の規格と変更になっています。

3.1.1.3 aISOのリミット

システムアプローチにおける寿命修正係数 a_{ISO} は、軸受の潤滑特性及び疲労限界を考慮し、 L_{10r} 寿命に乗じて修正基準寿命を得ます。[ISO 281](#)^[318]によると、この係数は最大値50に制限されています。風力発電機などでは、より小さな最大値3.8が要求される場合もあります。

a_{ISO} 係数の上限を指定することができます。この入力は、 a_{ISO} のファクターの上限値のみであり、(ISO 281, 2007)に従って計算されます。

3.1.1.4 摩擦係数

摩擦係数は、接点でのクーロン摩擦を想定した軸受の摩擦モーメントを計算するために使用します。実際のバージョンでは、玉軸受のみ使用可能です。摩擦モーメントは、摩擦の荷重に依存する部分のみを考慮し、無負荷の部分は考慮しません。

(Harris, et al., 2007)により、摩擦係数の値を0.1とすることが提案されています。

3.1.1.5 潤滑油の膜厚を計算

修正定格寿命の計算には粘度比 κ が必要です。この比は潤滑油粘度と基準粘度 ν_1 から計算されるか、潤滑油の膜パラメータ Λ から次のように計算することもできます。

$\kappa = \Lambda^{1.3}$ [ISO 281](#)^[318] および [ISO/TR 1281-2](#)^[318] に従って。

粘度比は、表面粗さ、荷重、オイルの圧力粘度係数、幾何学的特性などの標準的な設定値を用いて計算されるため、潤滑油の膜厚を使用する場合は、実際の軸受のパラメータをより考慮する必要があります。基準粘度 ν_1 の定義については、[Baalmann](#)^[320] または [Heemskerk](#)^[320] の導出を参照してください。

この設定が有効な場合、潤滑油の膜厚は [Harris](#)^[320] に従って計算されます。玉軸受の場合、最小膜厚は Hamrock と Dowson による式 4.60 ([Harris](#)^[320]) を使用して計算されます。ころ軸受では、Dowson と Higginson による式 4.57 ([Harris](#)^[320]) が使用されています。 Λ 計算には、[ISO/TR 1281-2](#)^[318] と同じ公式が使用されます。ソフトウェアでは、 Λ の計算に最小膜厚を使用しており、中心膜厚を使用している [Heemskerk](#)^[320] とは対照的です。

また、バージョン 08-2016 からは熱補正が適用されます。熱補正係数は、Wilson と Murch の式 4.62 を用いて、[Koch](#)^[320] に従って計算されます。異なる文献では異なる補正係数を提供しており、[Baly](#)^[320] または [Gohar](#)^[320] を参照してください。温度は潤滑油の温度を入力として使用します。高速回転数では、熱補正係数が膜厚を減少させます。

この計算には、表面粗さ、オイル密度、オイル圧力粘度係数の入力が必要です。玉軸受の場合、すべての接点における最小膜厚が使用されます。ころ軸受の場合は、各セクションの最小膜厚を計算し、そのセクションのシステムアプローチ a_{ISO} の寿命修正係数の計算に使用します。

3.1.1.6 遠心力を考慮

本バージョンでは、玉軸受とラジアル円筒ころ軸受について、遠心力を考慮することができます。また、将来的には他のローラー軸受についても追加する予定です。

遠心力は、外輪の圧力を増加させますが、内輪の圧力は減少させます。その結果、内輪と外輪の接触角が異なり、スピン/ころがり比が大きくなります。

3.1.1.7 はめあいに温度勾配を考慮

このオプションを有効にすると、内輪と外輪用の追加シャフト温度に加え、シャフトとハウジングの温度も入力として使用できるようになります。このオプションは、シャフトと内輪、または外輪とハウジングの間の温度勾配を考慮する必要がある場合にのみ有効にしてください。

このオプションをアクティブにすると、特にシャフト計算から使用する場合は、4つの温度すべてを定義することを確認してください。シャフト計算のシャフト温度は軸受のシャフト温度を設定しますが、内輪温度はまだユーザーによって定義される必要があります。

3.1.1.8 揺動軸受

軸受の中には、完全には回転せず、揺動しているものもあります。この場合、有効な荷重サイクルの数は、ソフトウェアで考慮できる回転する軸受の場合よりも小さくなります。計算は、(Harris, et al., 2007)を基にして、(Harris, et al., 2009)に従って行われます。

この場合、揺動角度と揺動速度(1分間あたりの揺動数)を与える必要があります。揺動角度は、揺れの両端点を結ぶ角度として定義されるので、振幅の2倍となる。

回転数 n_i , n_e は、遠心力、潤滑膜厚の計算として使われ、揺動速度 f_{osc} は寿命の計算(h)として使われます。潤滑油係数の計算に使われる回転数に(Houpert, 1999)提案として使用します。 $n = f_{osc} \cdot \theta_{osc} / 180^\circ$ 。回転数はユーザーが入力する必要があります。

$\theta_{osc} < \theta_{crit} / 2$ の場合、フレットングコロージョンを起こすことがありますので、時々軸受を大きな角度で回転させ、潤滑油を再分配させることが必要です。この場合、警告が表示されます。

3.1.1.9 要求硬化深さの計算

硬化深さは、材料パラメータの入力値です。ソフトウェアで計算する必要がある場合、または硬化された軸受などには興味がない場合は、このフラグをセットしてください。

このフラグが設定されていない場合、硬化の深さが十分に大きいかどうかチェックされません。

3.1.1.10 硬化深さに疲労強度を使う

このフラグが設定されている場合、硬化の深さはコアの疲労強度を使用して計算されます。設定されていない場合は、降伏点を使用されます。

計算が最大荷重で行われた場合、降伏点を使用することができます。等価荷重で計算する場合は、疲労強度が推奨されます。

3.1.1.11 要求される表面下安全係数

降伏点に対する表面下応力の要求安全係数を定義することができます。要求硬化深さを計算する際に使用されます。

3.1.1.12 すきまの選択

計算としてどのすきまを考慮するかを選択することができます。はめあいやすきまについては、公差の範囲が指定されています。計算としては、すきまの最小値、考えられる最小値、中央値、考えられる最大値、最大値のいずれかを使用することができます。その他のニーズには、公差フィールドの位置を0(最小すきま)~1(最大すきま)の間でユーザー入力設定するか、運転すきまとして直接数値で指定することができます。

公差範囲の分布が正規分布として、内輪のはめあい、外輪のはめあい、軸受すきまの公差範囲が独立であると仮定して、推定値が計算されます。また、線形性を仮定していますが、公差範囲内においてはめあいやすきまに変化する場合は、この仮定は当てはまり

ません。比較のため、[統計的パラメータバリエーション](#)⁴⁰⁾を用いて推定値を計算することができます。

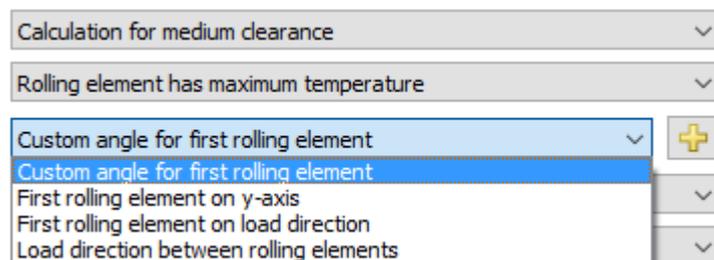
3.1.1.13 転動体の温度

デフォルトでは、運転すきまの計算のための転動体温度は、内輪と外輪の最高温度に設定されています。このデフォルト設定は、内輪または外輪の温度に変更するか、ユーザー入力を選択することができます。“荷重”ページで内輪と外輪の温度と共に表示されます。

軸受による発熱であれば、最高温度は妥当な選択です。他の熱源から熱が発生する場合は、平均温度を選択するのがよいでしょう。

3.1.1.14 最初の転動体の位置

軸受内の転動体の周方向位置が結果に影響する可能性があるため、角度によって最初の転動体位置を定義するオプションが用意されています。カスタム角度が必要な場合は、**+**ボタンを使用して入力することができます。



選択“転動体の初期位置 荷重方向”では、角度の定義にラジアル変位を使用します。純粋なモーメント荷重の場合、角度はゼロに設定されます。ほとんどの場合、この設定は最大接触応力と最低寿命につながります。

“転動体間の荷重方向”では、角度の定義にラジアル変位を使用し、ピッチ角の半分を追加します。純粋なモーメント荷重の場合、角度はゼロに設定されます。

このオプションは、弾性外輪を持つトラックローラーの計算にはまだ使用できません。

3.1.1.15 ジャイロモーメントのオプション

内輪と外輪の接触力の方向が異なる場合、ボールにかかるジャイロモーメントが荷重分布に影響を及ぼします。高速玉軸受では、外輪接触のspin速度をゼロとする“外輪コントロール”を仮定することが多いです。この場合、次のような選択肢があります。

- “ジャイロモーメントを考慮しない”：旧バージョンのソフトウェアと同じ動作です。ジャイロモーメントを考慮せず、spin数はクーロン摩擦で計算されます。
- “外輪コントロールによるジャイロモーメント”：外輪接触のspinがないと仮定し、ボール回転ベクトルを計算します。ジャイロモーメントは、外輪接触で摩擦力を発生させるだけです。
- “外輪コントロールによるジャイロモーメント、分布荷重”：外輪接触のspinがないと仮定して、ボール回転ベクトルを計算します。ジャイロモーメントは、外輪と内

輪の接触で摩擦力を発生させます。各接触部での摩擦力は、通常の荷重に比例します。

- “内輪コントロールによるジャイロモーメント”：内輪接触でスピンしていないと仮定して、ボールの回転ベクトルを計算します。ジャイロモーメントは、内溝接触で摩擦力を発生させるだけです。
- “内溝コントロールによるジャイロモーメント、分布荷重”：内輪接触のスピンがないと仮定して、ボール回転ベクトルを計算しています。ジャイロモーメントは、外輪と内輪の接触で摩擦力を発生させます。各接触部での摩擦力は、通常の荷重に比例します。
- “混合コントロールによるジャイロモーメント”：各転動体の荷重に応じ、内輪または外輪のコントロールを前提としてボールの回転ベクトルを計算します。ジャイロモーメントは、外輪と内輪の接触で摩擦力を発生させます。各接触面の摩擦力は通常の荷重に比例します。
- “摩擦によるジャイロモーメント”：ボール平衡のための各反復において、クーロン摩擦に基づく摩擦力が接触楕円で計算されます。ボールの回転ベクトルは、この計算に基づいています。その結果、ジャイロモーメントが通常の荷重に比例して両方の接点に分散されます。このオプションは計算時間が非常に長くなり、すべてのボールに荷重が効かっている場合、収束の問題につながる可能性があります。

高速回転数の玉軸受では、通常“外輪コントロール”が仮定されるため、選択肢は2つに限定されます。低回転数では、ジャイロの影響はほとんどないため、無視することができます。

3点ベアリングと4点ベアリングの場合、外輪、内輪、混合制御を基にしたオプションは、2点接触の場合のみ使用可能です。それ以上の接触点の場合、ジャイロモーメントはゼロに設定され、警告が表示されます。

3.1.1.16 転動体の寿命

軸受寿命の計算では、通常、軸受溝の疲労寿命のみが考慮されます。

転動体の寿命については、オプションで計算することができます。転動体の寿命は、(Correns, 2015)に記載されているように、(ISO/TS 16281, 2008)に類似した方法で計算されます。転動体単体の寿命と転動体セットの寿命の組み合わせについては、ワイブル指数について、(ISO/TS 16281, 2008)や(ISO/TR 1281-1, 2008)のように玉軸受では $e=10/9$ 、ころ軸受では $e=9/8$ 、または(ISO/TR 1281-2, 2008)のセクション4.2.11における信頼度係数 a_1 として $e=1.5$ の二つのオプションが検討可能です。これは、玉軸受では $e=10/3$ 、ころ軸受では $e=9/2$ という指数が、その理由を示さずに使用されている (Correns, 2015) とは異なるものです。

このオプションを有効にすると、通常の軸受寿命は変更されず、転動体セット L10r_RESet の寿命が追加で計算されるだけです。

3.1.1.17 弾性輪の膨張

デフォルトでは、転動体と溝との接触部分の弾性のみを考慮します。例えば、外輪とハウジングの間にすきまがあるアンギュラ軸受にアキシャル方向の予圧がかかっている場合、外輪はラジアル方向に膨らむことがあります。これにより、予圧が減少します。

現在のバージョンでは、軸受輪の弾性膨張を考慮するために2つのオプションが用意されています。どちらのオプションも、はめあいの計算と同様に、厚肉のリングを想定しています。

荷重分布の最小ラジアル荷重または平均ラジアル荷重のどちらかを、一定のラジアル圧力に変換し、はめあい計算と同様に考慮します。内輪/外輪とシャフト/ハウジングの両方が、はめあいの計算として考慮されます。この計算方法は、ラジアル荷重の変動が小さい場合にのみ有効です。そのため、通常はアキシャル荷重をラジアル荷重よりも大きくする必要があります。

リング径はデフォルトで $D_{pw} \pm D_w$ とされているため、ショルダーの剛性効果は考慮されていません。軸受タイプの¹⁶²後ろにある $+$ ボタンを使用すると、代わりに等価断面を使用することができます。この場合、リングの直径は、軸受の断面と等価になるように定義されます。両オプションのリング径は、グラフィックス“軌道輪のラジアル膨張”²³⁹を使ってFEAの結果と比較することができます。

内輪と外輪の剛性の追加係数は、選択ボックスの後ろにある $+$ ボタンを使って定義することができます。この係数は、転動体の力を圧力に変換する際に使用されるサーフェスに適用されます: $p = F / (fcr * A)$

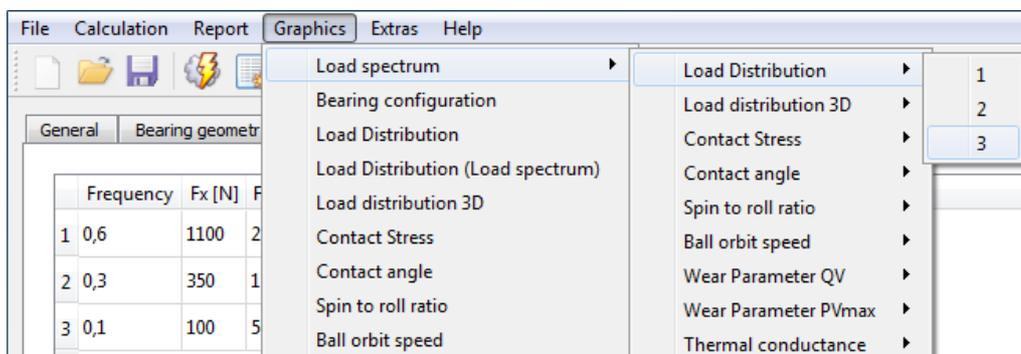
弾性輪の膨張は、シャフト計算による変形を考慮する場合、輪の膨張を2回考慮しないため、ゼロに設定されます。

3.1.1.18 荷重スペクトルを使う

単一の荷重ケースの代わりに荷重スペクトルを使うことができます。このオプションは、ここで有効にすることができます。各荷重ケースについて、すべての係数を使用した全ての計算が行われます。結果の寿命は、各要素の寿命を使用して $L_{10rh} = 1 / \sum \frac{h_i}{L_{10rh,i}}$ のように計算されます。

結果のグラフィックスは、荷重スペクトルの選択された結果の要素についてのみレポートに表示されます。しかし、荷重スペクトルの任意の要素番号(荷重ケース)に対応する結果

のグラフィックスは、この図に見られるように、メニューの'グラフィックス' → '荷重スペクトル'で表示することができます。



“グラフィックス”メニューで表示される他のすべてのグラフィックスは、選択した要素に対してのみ有効です。

さらに、'グラフィックス' → '荷重分布 (荷重スペクトル)'では、すべての荷重分布のケースを同時にチャート上に重ね合わせることができます。これはコロのグラフィックスでも可能です。

なお、1つの荷重ケースに対して計算を行った場合、レポートにはより多くの中間結果が印刷されます。

3.1.1.19 修正定格寿命の計算

このフラグが設定されている場合、修正定格寿命 L_{nmrh} が計算されます。潤滑油に関する情報がない場合、または潤滑油を計算に考慮しない場合は、このフラグをクリアにすることができます。

3.1.1.20 圧力分布の拡張機能を使用

(ISO/TS 16281, 2008)では、ころ軸受のエッジ応力を計算するために簡素化された方法が使用されており、他の文献に従った拡張方法が推奨されています。このオプションを設定すると、圧力分布は、規格の提案の中で最も新しい文献である(de Mul, et al., 1986)に従って計算されます。

この拡張方法は、サポートされているすべてのタイプのころ軸受で使用できます。

3.1.1.21 応力による静的安全係数の計算

このオプションが設定されている場合、静的安全係数 SF は最大接触応力に基づいて計算されます。玉軸受の場合 $SF = \left(\frac{p_{perm}}{p_{max}}\right)^3$ が使用され、ころ軸受では $SF = \left(\frac{p_{perm}}{p_{max}}\right)^2$ を使用し、安全係数は荷重に比例します。許容応力は、(ISO 76, 2006)に基づいています。

このオプションが設定されていない場合、静的安全係数は最大転動体荷重と Q_{max} に基づいて計算されます(ISO/TR 10657, 1991)。

玉軸受ではどちらのオプションも通常同じ結果を示しますが、ころ軸受では静的安全係数が応力に基づいている場合のみエッジ応力が考慮されます。

3.1.2 軸受形状

3.1.2.1 軸受のタイプ

本ソフトウェアでは、様々なタイプの玉軸受ところ軸受を計算することができます。単体の軸受の計算の他に、“軸受コンフィギュレーション”を使って、複数列の構成を定義することができます。

軸受タイプの後ろにある \oplus ボタンを使用すると、選択された軸受タイプのいくつかのオプションを定義することができます。

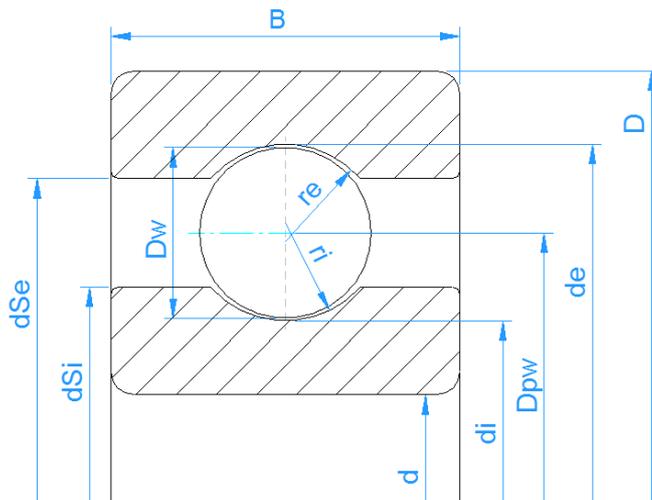
- すべての軸受について、内輪とシャフト、または外輪とハウジングが同一であることを選択することができます。これは、材料の入力と公差の入力に影響します。
- “はめあい計算の等価断面にリング径を使用する”オプションを選択すると、はめあい計算の際に内輪と外輪のリングの径を大きくすることができます。両者は、グラフィックス“軌

[道輪のラジアル膨張](#)^[239]で比較することができます。オプションの後ろにある+ボタンを使用すると、溝(レース)の直径を上書きすることができます。

- “ハイブリッドベアリングの荷重容量を自動的に計算する”オプションが有効な場合、次のオプションはハイブリッドベアリングに自動的に設定されます。(ISO 20056-2($E_r \geq 300$ GPa、 E_i 、 $E_e < 260$ GPa))
- “ハイブリッド軸受の定格荷重を計算する”オプションは、許容応力が高いため、静的荷重の増加につながる荷重容量の計算に(ISO 20056-1, 2017)と(ISO 20056-2, 2017)を使用します。転動体のヤング率は、静的許容応力が増加したため、300 GPaより大きくする必要があります。
- “フリー接触角に基づいてX/Y係数を計算する”オプションを選択した場合、公称接触角の代わりに有効フリー接触角を使用してISO 281のX/Y係数が計算されます。これは主に、すきまによってフリー接触角が増加する深溝玉軸受に影響します。
- 玉軸受の場合、“許容楕円長比”は、切り捨てに関する警告と、レポートの許容アキシャル荷重の出力に影響します。
- 玉軸受の場合、“切捨て応力下限値”は、この制限値より小さい接触応力を持つすべての接点に対して切捨てを無視します。
- 玉軸受の場合、オプション“曲率比が小さい場合はISOの曲率比を使用”は、ラジアル玉軸受の $f_i < 0.52$ と $f_e < 0.53$ の場合、定格荷重の計算に $f_i = f_e = 0.52$ を使用し、 $f_i < 0.54$ と $f_e < 0.54$ の場合は $f_i = f_e = 0.535$ を使用します。これらは、ISO 281の f_c の表中の値を使用することができる限界値です。
- 玉軸受では、荷重容量の計算で使う曲率比の限界を定義することができます。荷重容量は、与えられた制限の最大値と実際の形状入力によって計算されます。この入力には、ISO曲率比が設定されていない場合、上記のオプションでのみ使用できます。
- 深溝玉軸受の場合、曲率比の精度を設定することができます。これは、[精度レポート](#)^[225]追加出力になります。
- はめあいの摩擦係数が定義されている場合、アキシャル取り付け荷重が精度レポートに表示されます。
- 硬さによる荷重容量の減少は、ハリスまたはシェフラー社に従って計算することができます。シェフラー社によるオプションでは、硬さが非常に低い場合、より大きな荷重容量が得られます。

現在のバージョンでは、以下の軸受タイプに対応しています。

3.1.2.1.1 ラジアル深溝玉軸受



ラジアル深溝玉軸受は、安価な標準軸受です。ラジアル荷重とアキシャル荷重の両方が伝達可能です。呼び接触角は 0° で、アキシャル荷重を受けると軸受内部のラジアルすきまによって大きくなります。自由接触角 α_0 は、レポートと結果の概要に表示されています。

形状は、ボールの個数と直径、ピッチ円径、内溝と外溝の曲率比、ラジアルすきまを記述しています。軸受のボール数は、軸受の組み立てが可能なように制限されています。

曲率比とは、溝（レース）の半径を定義する入力パラメータです。 $(r_i = f_i * D_w, r_e = f_e * D_e)$

ラジアル深溝玉軸受では、通常、 $f_i = f_e = 0.52$ です。

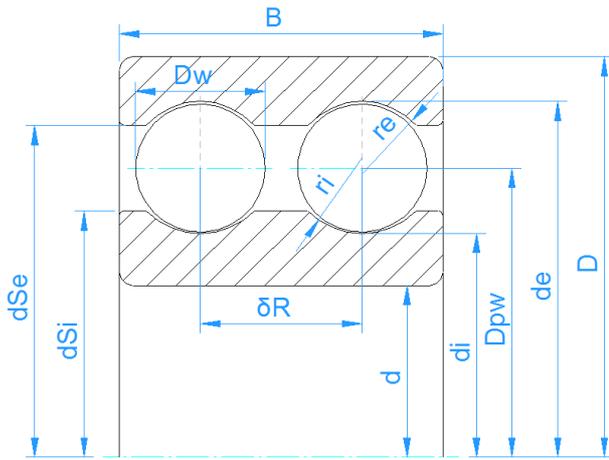
ラジアルすきまは、 $P_d = d_e - d_i - 2 * D_w$ と定義されます。

軸受タイプの選択の後ろにある \oplus ボタンで、軸受タイプに応じたその他の設定も可能です。深溝ラジアル玉軸受の場合、 b_m 係数によって負荷容量の計算に影響を与える“入れ溝付き”軸受を選択することができます(ISO 281, 2007)。

許容楕円長比率は、接触楕円の切断(カットオフ)に関する警告を制御します。100%以下の値ではある程度の切断が許容され、100%より大きい値ではさらに距離が追加されます。この許容値は、レポートで与えられる許容アキシャル荷重の計算にも使われます。

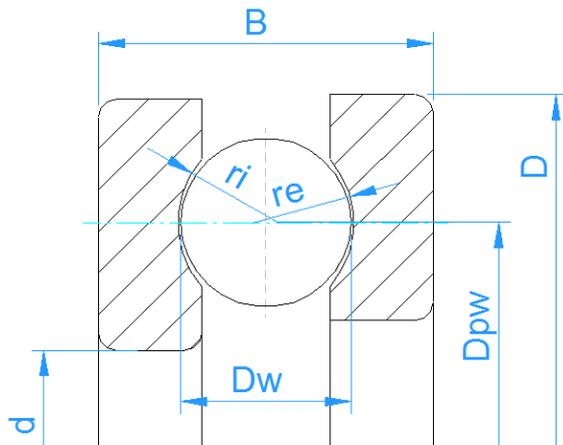
3.1.2.1.2 深溝玉軸受(2列)

深溝玉軸受(2列)では、単列深溝玉軸受のパラメータに加えて、列間の距離 a_r を定義する必要があります。

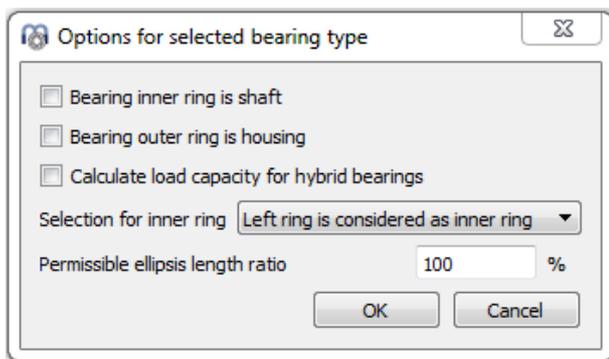


3.1.2.1.3 スラスト深溝玉軸受

スラスト深溝玉軸受の場合、公称接触角は90°です。デフォルトの曲率比は、 $f_i = f_e = 0.535$ です。



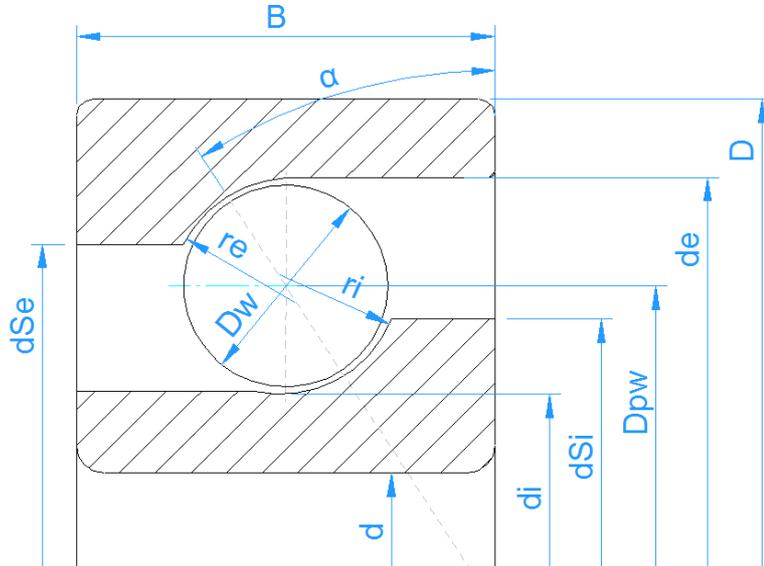
軸受タイプのオプションでは、左輪はもしくは、右輪を内輪として考慮するかを定義できます。これにより、内輪に与えられるアキシャル荷重の符号も変わります。



スラスト深溝玉軸受では、公差は考慮されません。

3.1.2.1.4 ラジアルアンギュラ軸受

アンギュラ玉軸受は、深溝玉軸受と似ていますが、接触角が大きくなっています。標準的な軸受の接触角は、 15° 、 25° 、 40° のいずれかです。



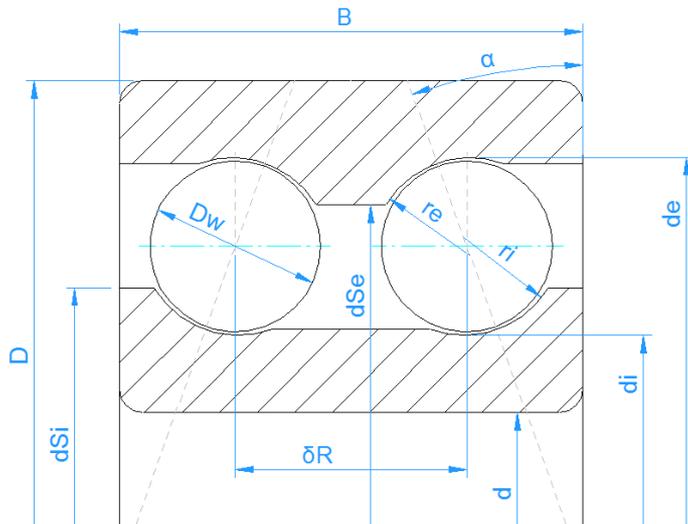
複列アンギュラ玉軸受は、単列軸受の2つの軸受のコンフィギュレーションを使用して定義するか、複列アンギュラ玉軸受を直接定義することができます。これは2列軸受けのラジアルすきまの入力を可能にします。どちらの場合も、寿命修正係数 a_{ISO} は2列の軸受について別々に計算されます。

接触角の方向は、接触角の後ろにある **+** ボタンを使って定義することができます。さらに、軸受タイプのオプションで、接触角の方向の入力が可能です。

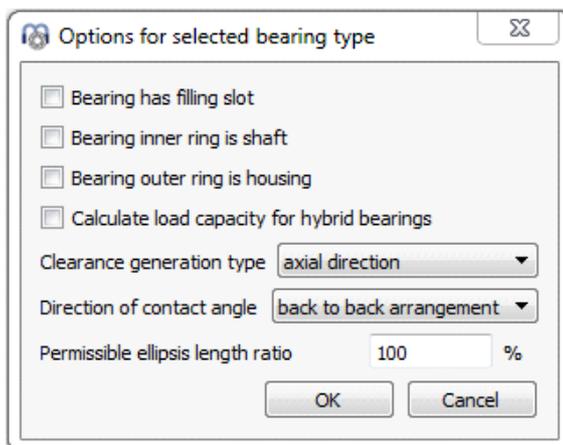
アキシャルすきまの **=** ボタンは、複列アンギュラ軸受の場合、与えられた予圧、または与えられたラジアルすきまに対してアキシャルすきまを計算することができます。

3.1.2.1.5 複列ラジアルアンギュラ軸受

複列アンギュラ玉軸受の場合、接触角の構成はオプションダイアログで定義することができます。

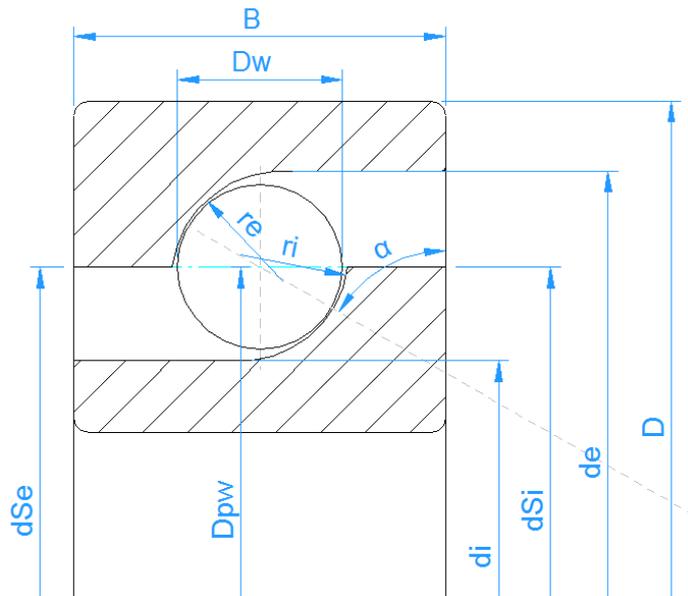


アキシャルすきま用の  ボタンは、与えられた予圧またはラジアルすきまに対して、アキシャルすきまを計算することができます。すきまの発生方法は、3種類あります。以下の4点支持を参照してください。



単列アンギュラ玉軸受の入力に加え、列間の距離も入力する必要があります。

3.1.2.1.6 スラストアンギュラ軸受

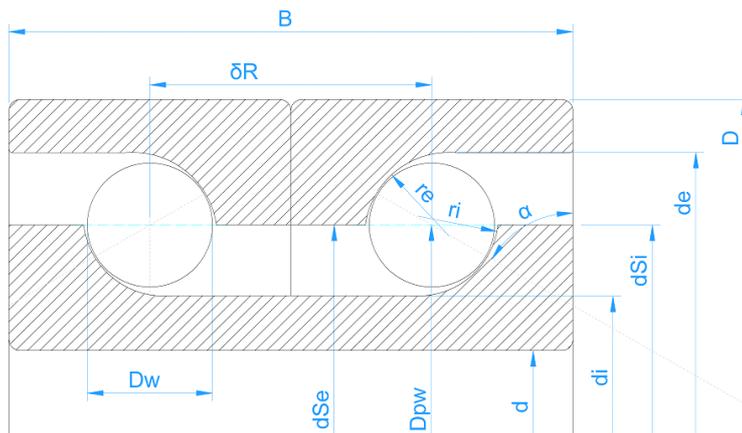


スラストアンギュラ軸受の形状の説明は、ラジアルアンギュラ軸受と同じです。軸受形状の唯一の違いは、ラジアル軸受では0.52であった曲率比が0.535になったことです。

荷重分布の結果は、アキシアルまたはラジアルアンギュラ玉軸受を選択した場合と同じですが、アキシアル軸受の場合、荷重容量の計算で追加の低減係数が考慮されます。したがって、アキシアル軸受として計算した場合、結果として得られる寿命はより小さくなります。

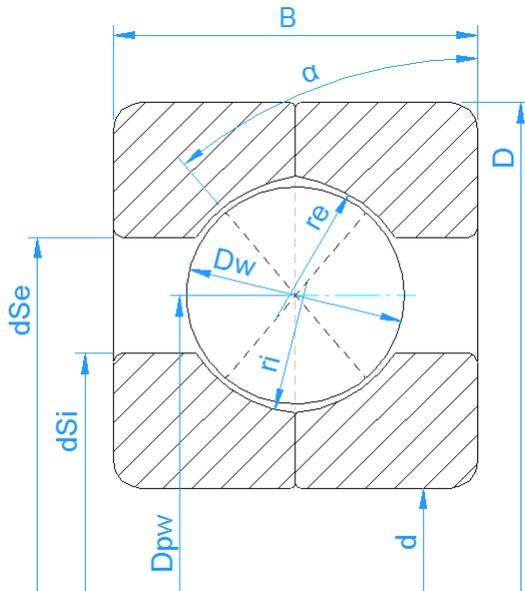
標準的なスラストアンギュラ玉軸受は、接触角が 60° です。

3.1.2.1.7 複列スラストアンギュラ軸受



複列スラストアンギュラ軸受は、ラジアル軸受と同様に、単列軸受を使って2つの軸受の組み合わせで定義するか、複列アンギュラ軸受を直接定義することも可能です。

3.1.2.1.8 ラジアル軸受として扱われる4点接触玉軸受



接触角 35° の標準的なQ軸受に使用することができます。4点軸受の荷重容量は、通常軸受のカタログで行われているように、2列の軸受として計算されます。結果は、両列の結果が報告されます。2点接触の場合、一つの列の内輪に一つの接触ともう一方の列の外輪に一つの接触があります。寿命計算では、可能な限り4つの接点が考慮されます。

軸受タイプの後ろの(+)ボタンにより、“入れ溝”の設定や軸受のすきま発生方法の設定をすることができます。ソフトウェアですきまを発生させるには、3つの方法があります。

1. 曲線中心をアキシャル方向に移動させる。これは、ラジアル荷重に対する接触角の減少につながります。これは、アンギュラ玉軸受として考慮される4点に対応します。
2. 曲線中心をラジアル方向に移動させる。アキシャル荷重に対する接触角が大きくなります。
3. 曲線中心を呼び接触角に沿って移動させる。

 Options for selected bearing type ×

Bearing has filling slot

Bearing inner ring is shaft

Bearing outer ring is housing

Calculate load capacity for hybrid bearings

Clearance generation type axial direction ▼

Permissible ellipse length ratio 100 %

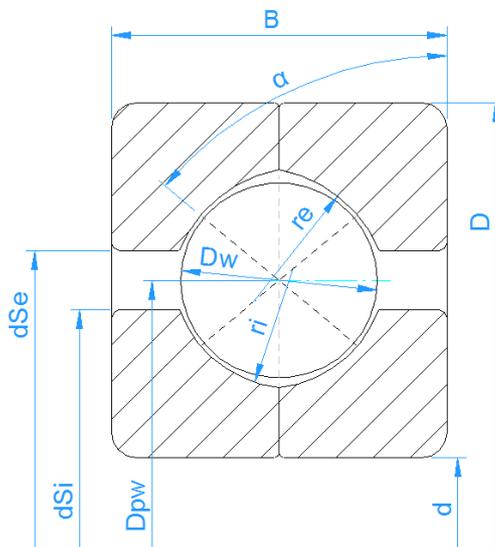
Limit for conformity for dynamic load capacity f_{limCr} 0.515

Limit for conformity for static load capacity f_{limC0r} 0.515

OK
Cancel

3.1.2.1.9 スラスト軸受として扱われる4点接触玉軸受

この選択は、(Harris, et al., 2009)で行われているように、旋回リングに使用することができます。アキシアル軸受の低減係数が追加されるため、計算寿命はラジアル軸受として考慮した場合よりも小さくなります。荷重分布は、ラジアル軸受として考慮した4点軸受と同じになります。



3.1.2.1.10 3点接触玉軸受

3点接触玉軸受には、分割内輪または分割外輪が考えられます。分割内輪は、4点ベアリングのように2つの半径を持ち、第2輪は完全な半径を持ちます。したがって、2点または3点の接触点があります。

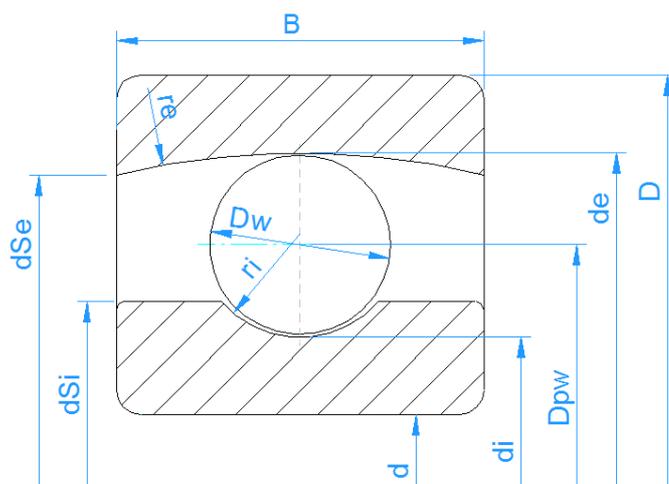
他のタイプの軸受とは異なり、接触角の入力は、ラジアル接触時の分割リングの接触角となります。そのため、入力フィールドはシム角 (shim angle) として表示されます。運転接触角は、ラジアルすきまに依存します。ラジアルすきまは、要求されたフリー接触角から計算することができます。

フリー接触角は、2点接触に基づいて計算されます。その結果、フリー接触角がシム角 (shim angle) より小さい場合、低アキシャル荷重で3点接触となります。

荷重容量は、単列ラジアルアンギュラ玉軸受をベースに、自由接触角で計算します。自由接触角を使用するため、荷重容量は呼びすきまに依存します。

3.1.2.1.11 自動調心玉軸受

自動調心玉軸受は、単列軸受と複列軸受の2種類から選ぶことができます。単列軸受は、接触角がゼロです。



3.1.2.1.12 自動調心玉軸受(複列)

複列玉軸受の場合、列間距離は接触角で決まります。列間の距離は次のようになります。

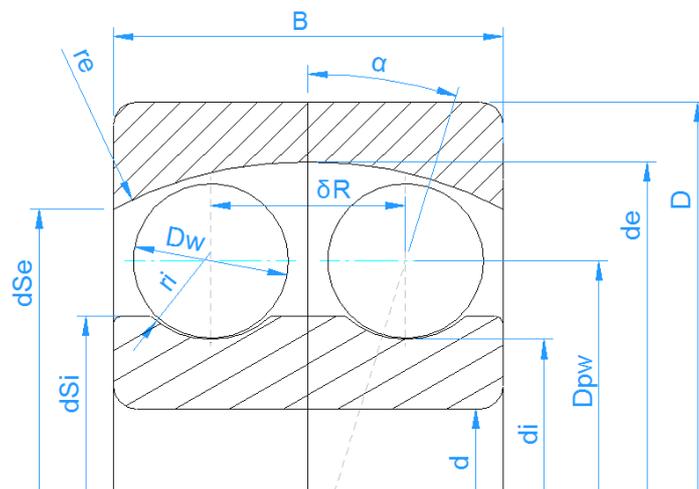
$$\delta_R = D_{pw} \cdot \tan \alpha$$

自動調心玉軸受の場合、外溝の曲率比は次のように定義されます。

$$f_e = \frac{r_e}{D_{pw} / \cos \alpha + D_w}$$

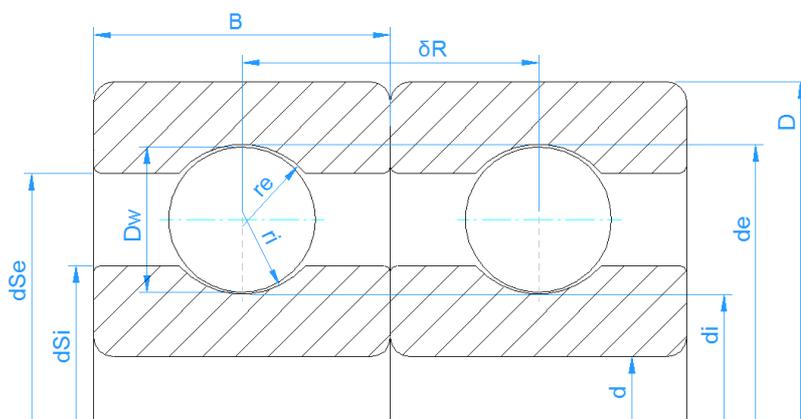
よって、半径と外輪軌道径の比は0.5が標準です。

外輪の肩の径は、外輪の幅と半径によって自動的に制限されます。さらに、ユーザーが入力することで、より大きな値を制限値として設定することができます。寿命修正係数 a_{ISO} は、両列別々に計算されます。



3.1.2.1.13 複列深溝玉軸受

“複列深溝玉軸受”を選択することで、2つの深溝玉軸受をセットで計算することができます。深溝玉軸受1個と軸受2個のコンフィレーションでも同様に計算できますが、“複列深溝玉軸受”の方がより柔軟な入力が可能です。

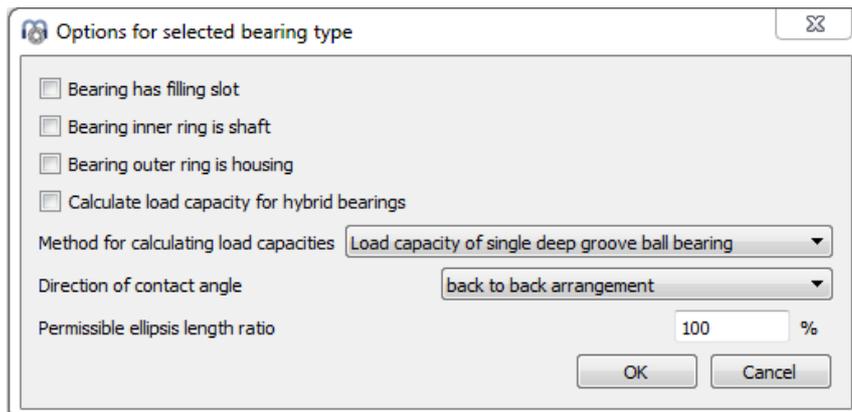


深溝玉軸受1個の形状データを設定し、さらに2列間の距離を入力値とします。ラジアルすきまの入力は、単一軸受のみです。

各軸受の内輪と外輪の間のアキシャルオフセット δ_{cc} によって、構成のすきまを変更することができます。☐ボタンを使用すると、与えられたアキシャルすきま、ラジアルすきま、または軸受構成の予圧荷重から計算することができます。

軸受の自由接触角 α_0 と α_{0eff} は、レポートと結果の概要に表示されます。

軸受のオプションとして、対面式と背面式の構成を選択することができます。これは、モーメント荷重や傾いた軸受の荷重分布に影響を与えます。

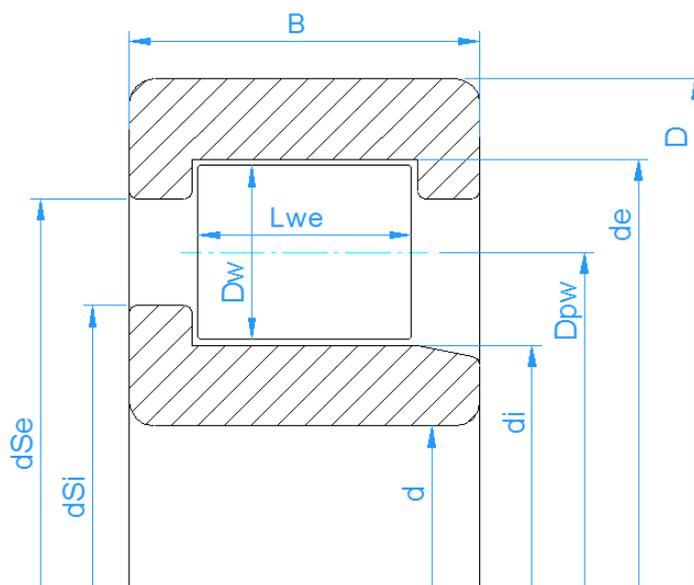


荷重容量の計算として、4つのオプションがあります。

1. **単列深溝玉軸受の荷重容量**：入力値は、単一の軸受に対するものです。これは、単一の軸受の文書に記載されている値です。この場合、レポート表示ではペアの負荷容量を C_{sys} として表示します。
2. **ペアの深溝玉軸受の荷重容量**：ここでの計算は、係数 $2^{0.7}$ を動的および2を静的な荷重容量のために使用して、ペアの深溝玉軸受のための荷重容量を使用して行われます。
3. **複列深溝玉軸受の荷重容量**：ここでは、複列軸受の係数を使って、荷重容量を計算します。動荷重容量は、2つ目のケースに比べ小さくなります。
4. **複列アンギュラ玉軸受の荷重容量**：軸受の自由接触角を用いて荷重容量を計算します。

熱の影響を考慮する場合、内輪と外輪の異なるアキシャル方向の伸びを考慮し、計算時にアキシャルオフセット δ_{cc} を修正します。この結果は、2つの軸受をコンフィギュレーションで1つのラジアル深溝玉軸受を使用する場合と同じです。

3.1.2.1.14 ラジアル円筒ころ軸受

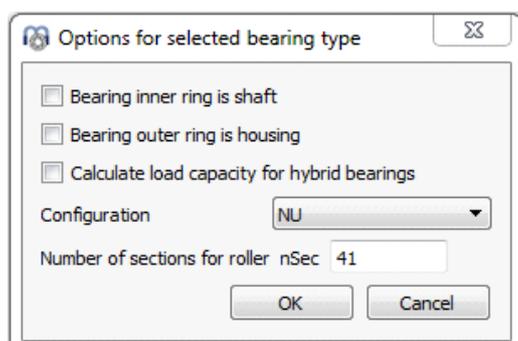


ラジアル円筒ころ軸受は、ラジアル荷重に対して高い荷重容量を持つ軸受ですが、高いアキシャル荷重や内輪と外輪のミスアライメントには対応していません。

玉軸受で使用されるパラメータに加えて、ローラーの有効長さ l_{we} が必要な入力パラメータとなります。ローラーの有効長さは、ローラーの端に半径があるため、ローラーの長さより少し小さくなります。円筒ころ軸受では、接触角は常にゼロです。

ローラーのプロファイルは、デフォルトとしてISO/TS 16281 で定義されているように考慮されます。圧力分布の拡張計算が選択されている場合、溝(レース)とローラーのプロファイルは、ローラーの有効長さの後ろにある **+** ボタンを使用して入力することができます。プロファイルをファイルから読むなど、いくつかのオプションが利用可能です。

アキシャル荷重は、(Harris, et al., 2007)に示されるように考慮されます。アキシャル荷重はローラーに傾きモーメントをもたらし、溝(レース)上の非対称な荷重分布が発生します。アキシャル荷重は肩高さの半分の高さで考慮されています。肩の高さに20%を入力すると、ころの直径の10%にアキシャル荷重が作用することとなります。



円筒ころ軸受のタイプNU、NJ、NUP...は、軸受のオプションダイアログで選択することができます。

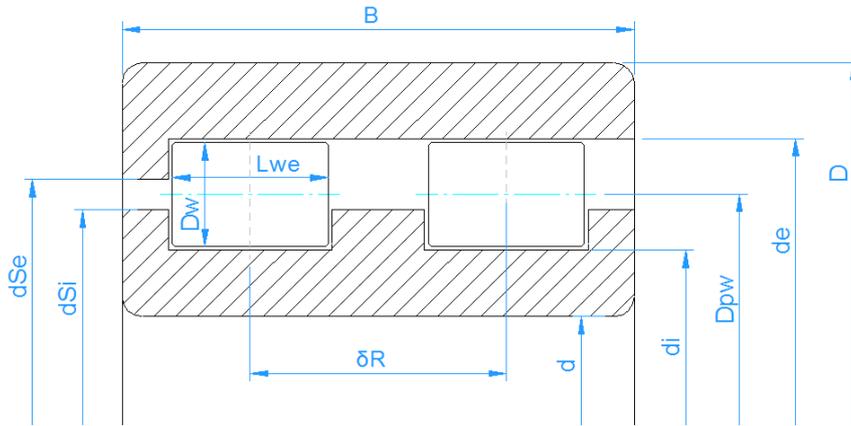
アキシャル荷重を受ける円筒ころ軸受の場合、ラジアルとアキシャルのすきまを指定することができます。傾きが発生する場合は、アキシャルすきまの値を入力することが重要です。NUPタイプの場合、アキシャルすきまは反力モーメントに影響します。ISO 281寿命計算のY係数は規格で指定されていないので、いくつかの軸受カタログのように $Y=0.6$ 、 $e=0.2$ という値が使われています。

NUPタイプの場合、アキシャルすきまは深溝玉軸受と同様にリングの左右の位置で測定します。NJのような方向性のある軸受では、アンギュラ玉軸受や円すいころ軸受のように、基準位置と片側との間のアキシャルすきまを測定します。

NUのようにアキシャル荷重をサポートしないタイプは、'Fx'の代わりにアキシャル変位 'ux' を入力のタイプとして選択する必要があります。

荷重分布の計算を行うセクションの数は、ベアリングオプションで変更することができます。最小値は31セクションです。この値を大きくすると、圧力分布の拡張法が有効でない場合、ISO/TS 16281の近似関数によってエッジ応力が減少します。

3.1.2.1.15 ラジアル円筒ころ軸受(複列)

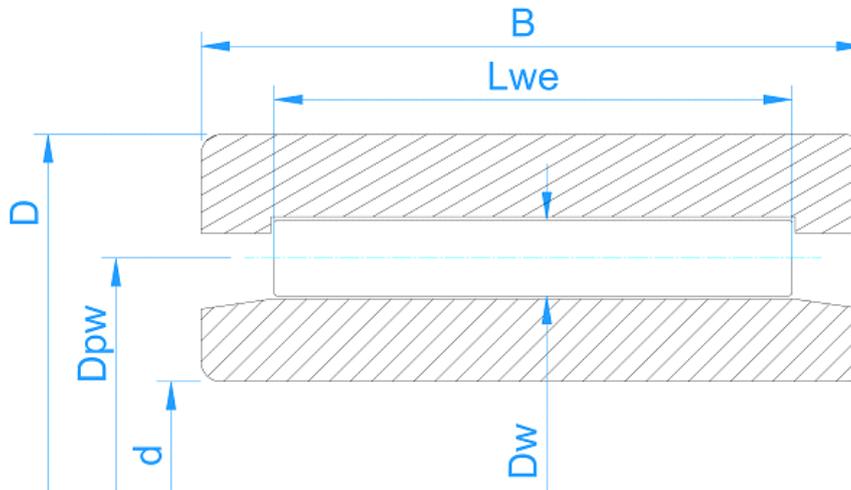


単列軸受の入力に加えて、列中心間の距離を定義する必要があります。一般に、単列軸受を使って2列の軸受コンフィギュレーションでも同じ結果が得られますが、アキシャル荷重を受ける肩高さの位置が異なる構成では、結果が異なってきます。また、追加の違いとして、複列の軸受の荷重容量を示しています。

異なる軸受タイプは、オプションダイアログでも選択することができます。

ISO 281寿命計算のY係数は規格で指定されていないため、いくつかの軸受カタログのように $Y=0.6$ 、 $e=0.2$ が使用されます。

3.1.2.1.16 ニードル軸受



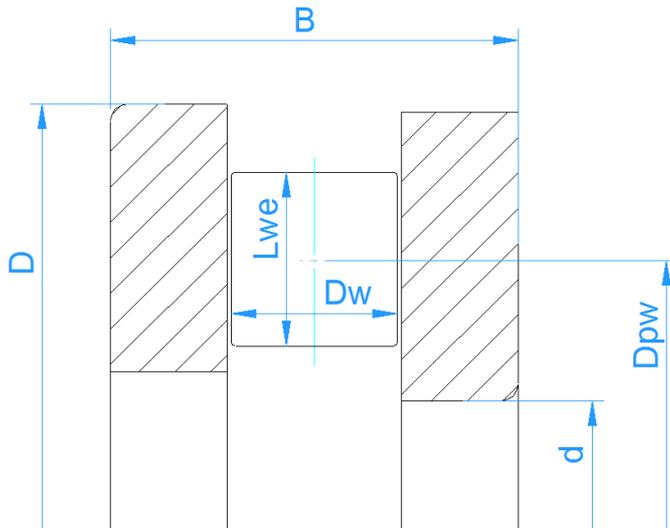
ニードル軸受は、'円筒ころ軸受'の選択でも計算できます。'ニードル軸受'というタイプは、データベースでタイプを分けられるように追加されたタイプです。

ニードル軸受は、アキシャル荷重をサポートしません。したがって、入力として'Fx'の代わりに'ux'を選択する必要があります。アキシャルすきまは、入力として使用できません。

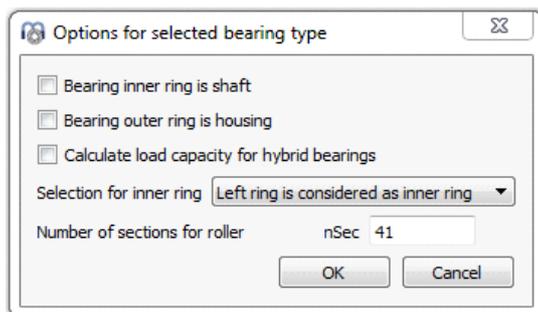
シェル形ニードル軸受の場合、基本動定格荷重の b_m 係数は1.1ではなく、1.0に設定する必要があります。機械加工された軸受輪の場合。このタイプは、軸受タイプのオプションで、軸受タイプの後ろにある \oplus ボタンを使って選択することができます。

3.1.2.1.17 スラスト円筒ころ軸受

スラスト円筒ころ軸受は、接触角が90度です。アキシャル荷重と曲げモーメントのみを許容します。ラジアル荷重は使用できません。したがって、 F_y , F_z の代わりに u_y , u_z を入力する必要があります。



オプションダイアログ(\oplus 軸受タイプの後のボタン)で、左輪と右輪のどちらを荷重がかかる“内輪”として考慮するかを指定することができます。デフォルト設定の“左輪を内輪として考慮”では、正のアキシャル荷重が入力されます。



アキシャルすきまを入力することができます。その影響は、アキシャル変位に対するオフセットのみです。

スラスト円筒ころ軸受の場合、公差は考慮されません。

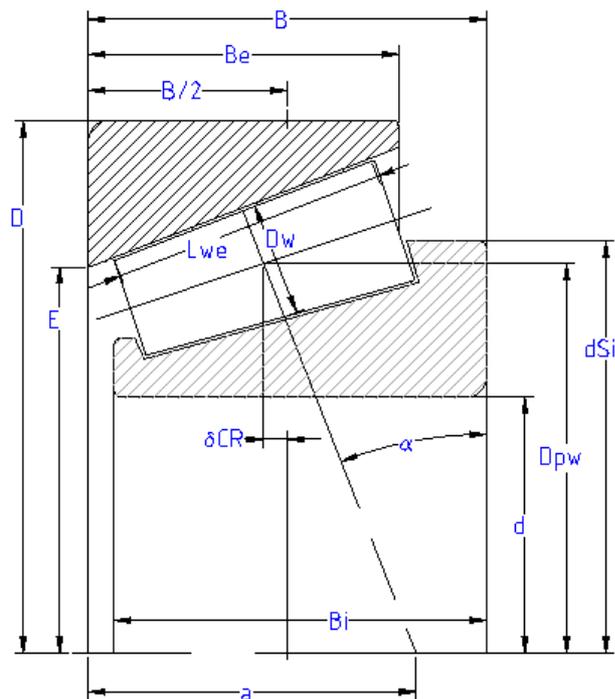
3.1.2.1.18 スラスト円筒ころ軸受(複列)

単列スラスト円筒ころ軸受と同様に、複列軸受の接触角は90°です。アキシャル荷重と曲げモーメントのみを許容します。ラジアル荷重は使用できません。したがって、 F_y , F_z の代わりに u_y , u_z を入力する必要があります。

平均直径は D_{pw} に設定する必要があります。ローカル荷重容量は、 $D_{pw} + L_w$ と $D_{pw} - L_w$ に基づいて計算されます。両列のローラーの形状は同じです。

3.1.2.1.19 ラジアル円すいころ軸受

円すいころ軸受は、円筒ころの代わりに円すいころを使用した軸受です。入力ローラー径はころの中央部に対して与えられ、またピッチ径 D_{pw} はころの中央部に対して定義されます。すきまはアキシアルすきまとして定義されます。

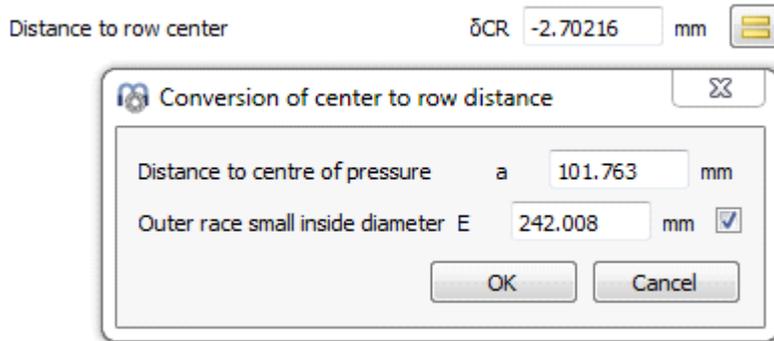


接触角は荷重の方向であるべきです。したがって、接触角は外輪であるカップの角度を規定する必要があります。そして、ローラーとコーンの角度は、無負荷状態ですべてのコーンが交差するように計算されます。

アキシアル荷重が小さすぎると、軸受がばらばらになってしまう、計算エラーになります。十分なアキシアル荷重を入力するか、アキシアル変位を指定する必要があります。

接触角の方向は、接触角または軸受タイプの後ろにある  ボタンを使用して定義することができます。

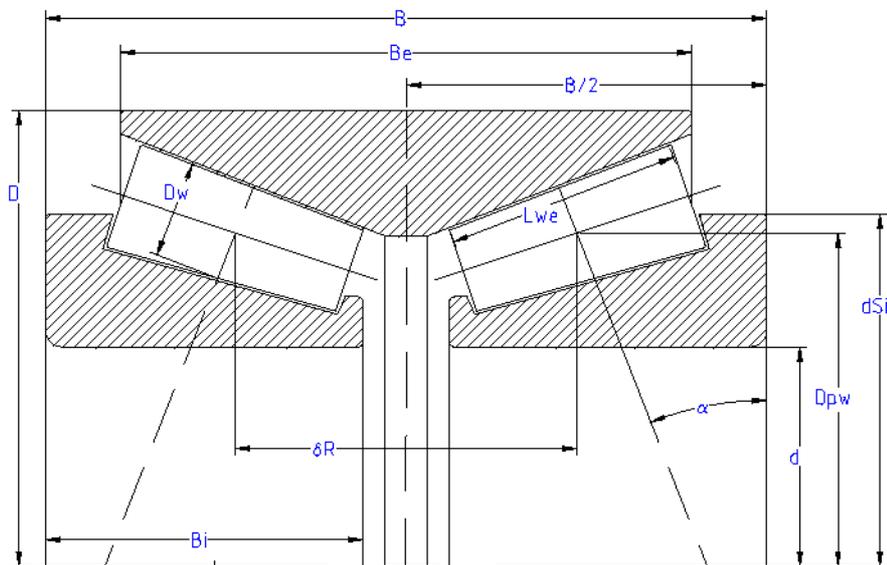
内輪の肩の径を定義することができます。力は、肩の中間の高さにあると仮定します。



軸受の中心とローラーの中心の距離 δR は、 ボタンを使って2つの異なる方法で定義することができます。圧力中心までの距離 'a'、または外輪溝小内径 'E' から、対応するフラグを設定することで変換することができます。'E' を定義すると、その幾何学的関係に従って 'Dpw' が修正されることに注意してください。

3.1.2.1.20 ラジアル円すいころ軸受(複列)

他の複列軸受のタイプと同様に、オプションダイアログで接触角の配置を定義することができます。単列ラジアル円すいころ軸受とは異なり、対応するころの中心から測定された列間の距離を入力する必要があります。2列の軸受をコンフィギュレーション機能を持つ単列軸受を使用した場合と同じ結果が計算されます。唯一の違いは、複列の軸受で表示される荷重容量です。他の軸受と同様に、すきまはラジアルすきまとして設定することができます。



3.1.2.1.21 スラスト円すいころ軸受

円すいころ軸受は、軸受の中心ところの中心の距離 ' δCR ' をユーザーが直接入力するため、スラスト円すいころ軸受を定義する入力は、ラジアル軸受の場合よりも少し簡単です。また、このすきまはアキシアルすきまとして定義されます。

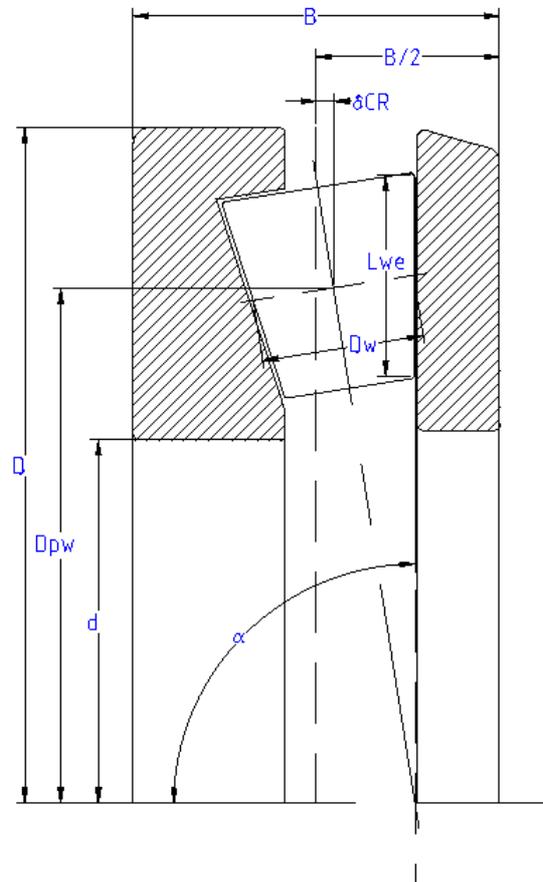
図のように、接触角は 90° から 0° まで設定できますが、アキシアル荷重を受ける設計に適するように、常に 90° から 45° の間にあることが望ましいです。

ラジアル荷重は受けられないので、荷重時のラジアル変位 ' u_y ' ' u_z ' はゼロに設定しなければなりません。

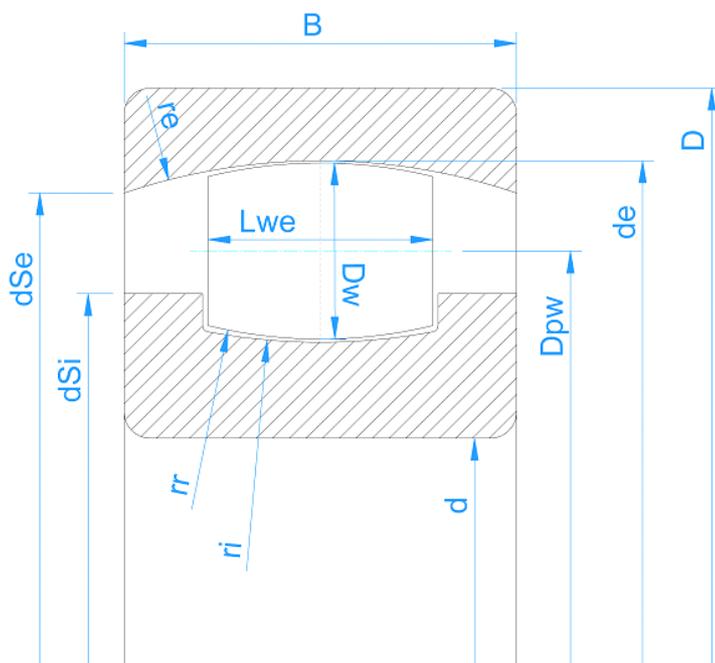
接触角の方向は、接触角または軸受タイプの後ろにある **+** ボタンを使用して定義することができます。

内径の肩の高さは、ころの直径の割合で係数 ' f_{SI} ' (%) を使用して定義することができます。力は、肩の中間の高さに位置すると仮定されます。

スラスト円すいころ軸受のための公差は考慮されません。



3.1.2.1.22 パーレルころ軸受



バーレルころ軸受は、単列自動調心ころ軸受です。複列自動調心ころ軸受は、外輪が球面であるため、モーメント荷重をサポートすることができません。したがって、モーメント荷重の代わりに傾斜角度を定義する必要があります。

内溝、外溝、ローラーの半径は、外溝（レース）の呼び径に対する比率で指定することができます。 $d_e = D_{pw} + D_w$ 。デフォルトのパラメータは、 $f_e = 0.5$; $f_i = 0.5$; $f_r = 0.485$ です。外溝の半径を変えると、ベアリングは自由に回転することができなくなります。

動定格荷重は、主要メーカーのカタログデータから $b_m = 1$ で計算されているようですので、 $b_m = 1$ として計算します。

3.1.2.1.23 トロイダルころ軸受

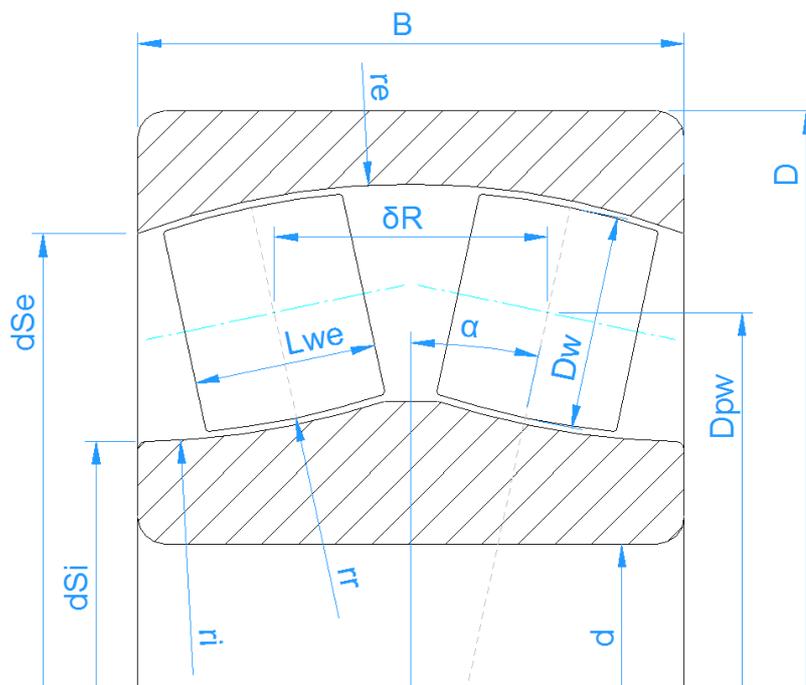
トロイダルころ軸受は、外溝の半径が球面より大きい軸受です。また、肩がないため、ローラーがアキシャル方向に浮くことがあります。

内溝、外溝、ローラーの半径は、外溝の呼び径に対する比率で指定することができます。

$$d_e = D_{pw} + D_w.$$

動定格荷重は、主要メーカーのカタログデータに記載されているように、転がり玉軸受と同様に $b_m = 1.15$ で計算されます。

3.1.2.1.24 自動調心ころ軸受



自動調心ころ軸受は、外輪が球面であるため、モーメント荷重をサポートすることができません。したがって、モーメント荷重の代わりに傾斜角度を定義する必要があります。両列間の距離は、接触角とピッチ径で決まります。他のタイプの軸受とは異なり、呼びラジアルすきまは、内輪にのみ適用されます。

内溝、外溝、ローラーの半径は、外溝の呼び直径に対する比率で指定することができます。 $d_e = D_{pw} / \cos(\alpha) + D_w$ 。デフォルトのパラメータは、 $f_e = 0.5$; $f_i = 0.5$; $f_r = 0.485$ です。外輪の半径が異なる場合、ベアリングは自由に傾くことができなくなります。

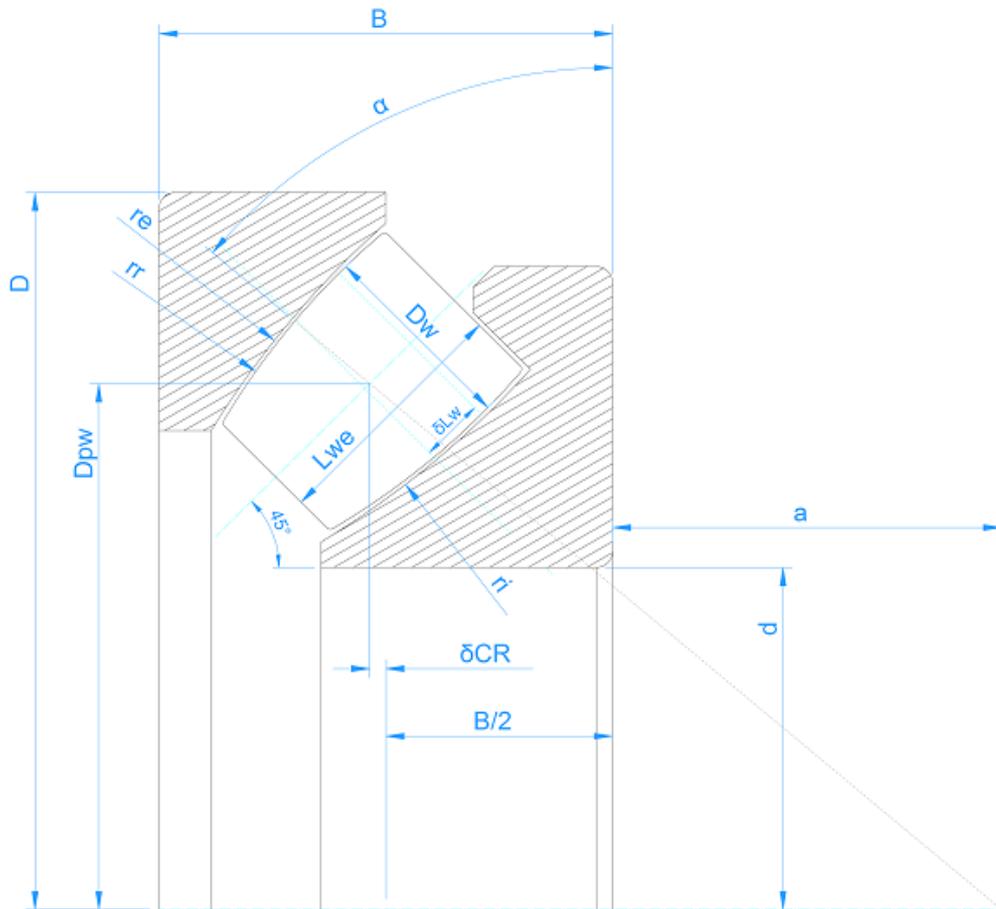
3.1.2.1.25 ハーフラジアル自動調心ころ軸受

単列のみの自動調心ころ軸受を半分にしたものです。シャフト計算により、非対称の自動調心ころ軸受の組立てに利用できます。

自動調心ころ軸受のように、内溝、外溝、ころの半径は、外溝の呼び径に対する比として指定することができます。 $d_e = D_{pw} / \cos(\alpha) + D_w$ 。デフォルトのパラメータは、 $f_e = 0.5$; $f_i = 0.5$; $f_r = 0.485$ です。外溝の半径が異なって選択された場合、ベアリングは自由に傾くことができなくなります。

列中心への距離で¹⁹⁷ローラーのアクシアル位置を定義します。曲線の中心が軸受の片側にあるように定義する必要があります。圧力中心までの距離 a は、軸受の幅と同じにします。

3.1.2.1.26 スラスト自動調心ころ軸受



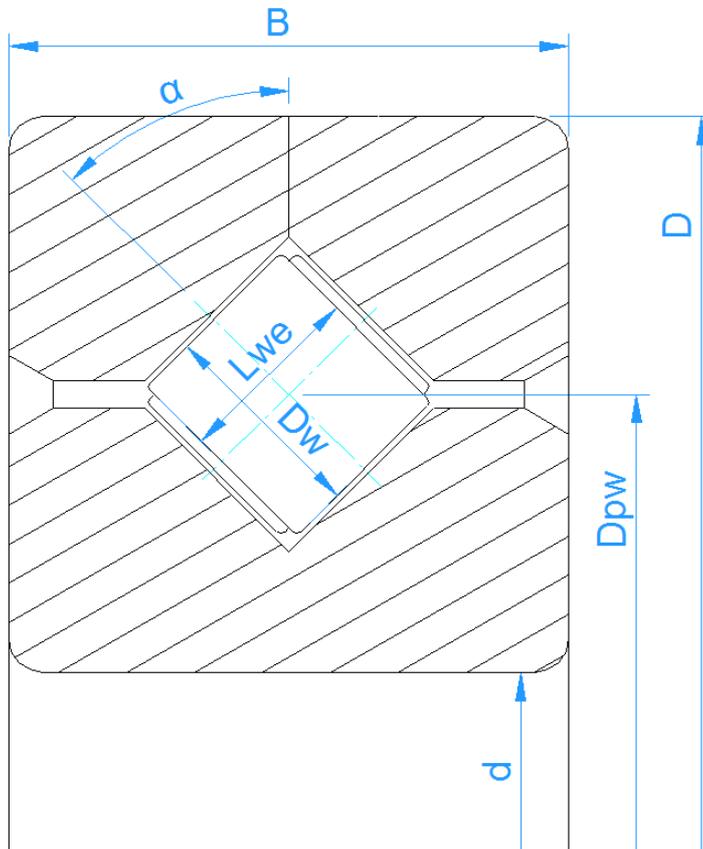
ピッチ円径 D_{pw} は、接触角 α とローラーの軸の交点として定義されます。接触角の一般的な値は、 $45^\circ \sim 50^\circ$ です。

内溝とローラーの半径は、ラジアル自動調心ころ軸受と同様に、 f_i と f_r で定義されます。これらは次の、 $r_i = f_i \cdot (2 \cdot r_e)$ 、 $r_r = f_r \cdot (2 \cdot r_e)$ のように定義されます。デフォルト値は、 $f_i = 0.5$ 、 $f_r = 0.485$ です。3つの半径 r_i 、 r_e 、 r_r を f_i 、 f_r の後の ボタンを使って入力すると、 f_i 、 f_r とピッチ円径 D_{pw} が計算されます。

ローラーの非対称性は、ローラーの中心とローラーの最大径 D_w の位置とのオフセット δL によって、定義されます。サイジングボタンで計算することが可能である。ローラーの中心に接点があるように、サイジングボタンで δL を計算することができます。

定格荷重は、接点のころの直径 D_{we} を使用して計算されます。ローラーの接触応力は、左から右ではなく、いつも内側のローラー端から外側のローラー端に示されています。

3.1.2.1.27 クロスローラ軸受



クロスローラ軸受は、接触角が 45° の軸受です。ラジアル軸受とアキシアル軸受を選択することができます。違いは、負荷容量の計算と、すきまをラジアルすきまかアキシアルすきまか入力することです。

ローラの数は、1列分入力する必要があるため、ローラの総数の半分となります。ローラの長さは、その直径よりも小さくなければなりません。

3.1.2.1.28 アンギュラころ転がり軸受

アンギュラころ軸受は、クロスローラベアリングと似ていますが、すべてのローラーが一方向に取り付けられているのが特徴です。したがって、ローラの長さの制限はなくなり、接触角が入力として利用できるようになります。

3.1.2.2 軸受形状の近似

もし内部軸受形状が判らなければ、それはソフトウェアで近似させることができます。4つの方法が可能です。

外形寸法のみを入力

この場合、軸受の外側の形状は、内径 d 、外径 D 、幅 B で定義されます。さらに、接触角とすきまを設定する必要があります。

転動体の数とサイズは、ソフトウェアによって近似されます。そして、この内部形状を使用して負荷容量を計算します。実際の軸受形状を使用していないため、正確な結果を得ることはできません。しかし、モーメント荷重やその他のパラメータの影響は見るすることができます。

外形寸法と定格荷重の入力

この場合、内部形状は前述と同様に近似されますが、負荷容量はユーザーによって提供されます。負荷容量は通常、軸受のカタログに記載されています。

内部形状を入力

これを選択すると、内部形状の全ての寸法を入力しなければなりません。負荷容量は、規格に従って計算されます。

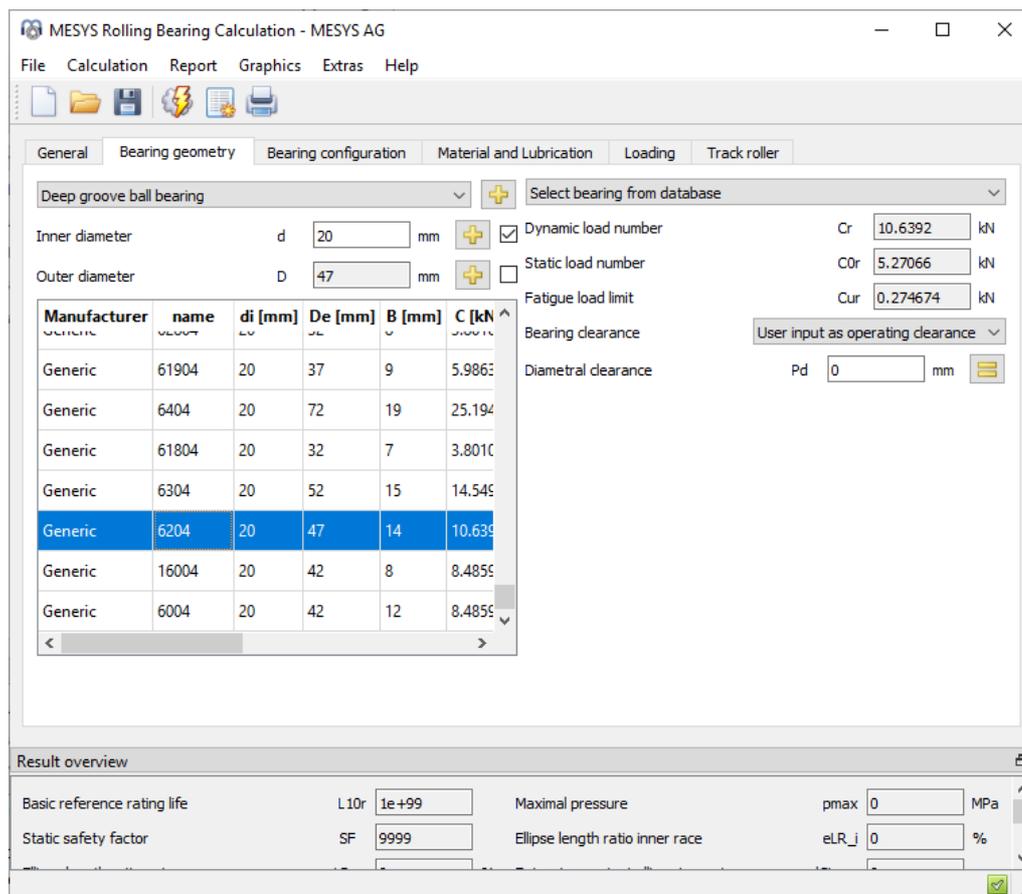
内部形状と定格荷重を入力

軸受メーカーは、規格に沿った計算よりも大きな負荷容量を使用することが多いため、内部形状と負荷容量の両方を入力することが可能です。この場合、寿命の計算にはこの負荷容量が使用されます。

データベースから軸受を選択

ユーザーが軸受形状を入力する代わりに、データベースから選択することができます。

オプションとして内径と外径を定義することができます。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。列のタイトルをクリックすると、その列に従ってデータを選択することができます。



行をダブルクリックすると、ベアリングのデータが読み込まれ、データベースから読み込まれた値が更新されます。

データベースで提供される軸受の内部形状は、外径寸法から近似されたデータです。軸受メーカーのデータベースを追加でご利用いただけます。シェフラー社、SKF社から内部形状を近似したカタログデータが提供されており、インストール時に含まれています。内部形状を含む暗号化された軸受データベースは、HQW/Barden、CSC、GMN、IBC、その他のメーカーから入手可能です。HQW/BardenとCSCのデータベースはインストールに含まれていますが、その他のデータベースについては、軸受メーカーにお問い合わせください。

軸受内部形状が近似された軸受とメーカー設定 "Generic" の軸受はデフォルトフォントで表示され、カスタム軸受と内部形状情報の付いたデータベースは太字で表示されます。

3.1.2.3 荷重容量

軸受形状近似の設定により、荷重容量が入力または出力になります。ユーザーが指定した場合は、材料の表面硬さによって変更されることはありません。表面硬さは、ソフトウェアで計算される場合のみ考慮されます。

3.1.2.3.1 基本動定格荷重

基本動定格荷重は、軸受寿命の計算として使用されます。これは、(ISO/TR 1281-1, 2008) に従った係数 f_d によって、(ISO 281, 2007) に従って計算されます。係数 b_m は、軸受タイプのオプションダイアログ(+ 軸受タイプの後ろのボタン)を使用して、入れ溝付き軸

受に影響を与えることができます。オプションダイアログでハイブリッド軸受のオプションを選択した場合、動的負荷容量は(ISO 20056-1, 2017)に従って計算され、スチール軸受と比較して b_m は大きく、 f_{cl} は小さくなりますが、荷重容量は変わりません。

基本動定格荷重は、材料特性で利用可能な修正係数によって影響を受けることができます。

3.1.2.3.2 基本静定格荷重

静定格荷重数は、(ISO 76, 2006) および(ISO/TR 10657, 1991)に基づいて計算されます。これはドキュメンテーション用で、静的安全性が応力による計算でない場合、静的安全係数の計算にのみ使用されます(設定“応力による静的安全係数を計算”を参照)。また、トラックローラーの計算の1つのケースとして使用されます。詳細はそのセクションを参照してください。

もし、軸受オプションダイアログでハイブリッド軸受のオプションを選択した場合、静的負荷容量は(ISO 20056-2, 2017)に従って計算され、ヤング率が300GPaより大きい窒化ケイ素転動体の場合、静的負荷容量が大きくなります。なお、(ISO 20056-2, 2017)では、静的安全係数の推奨値も高い値を使用しています。

静定格荷重は、材料データの入力で変更可能な許容応力に基づいています。

回転数の低い軸受では、より高い荷重が許容されることもあります。例えば、(ISO 1002, 1983)は、非回転玉軸受の静的荷重容量の5倍以上のテジアル荷重を許容しています。

3.1.2.3.3 疲労限荷重

疲労限荷重は、玉軸受については(ISO 281, 2007) B.3.2.1.2 セクション、ころ軸受についてはB.3.2.1.3 セクションに従って計算されます。ころ軸受については、圧力分布の拡張機能ではなく、ISO/TS 16281 に従った標準的な計算が使用されます。

疲労限荷重は、疲労強度 1500MPa を基にしており、修正定格寿命の計算にはこれを用います。疲労強度は、材料データの入力により変更することができます。

3.1.2.4 内径、外径、幅

内径、外径、幅は、ドキュメント用と内部形状の近似のためこのみが必要です。取り付け後の運転すきまの計算のみに使用されます。

内部形状が提供され、運転すきまの計算が要求されない場合、これらの値はゼロに設定される可能性があります。

3.1.2.5 軌道輪の変形量

外輪と内輪の変形が例えばFE解析でわかっている場合、両径入力欄の後ろにある \oplus -ボタンをクリックして、軸受寿命と接触応力への影響を評価するために、ソフトウェアにそれらを入力することができます。変形は、荷重分布の計算において、各転動体の内部軸受

すきまを変化させます。これらの変形の基準点は、ベアリングの公称内径と外径の中央にあります。

Inner diameter d 100 mm 

Outer diameter D 140 mm 

Define deformations of inner ring

Type of input: Fourier coefficients

| | u_r [mm] | ϕ_r [°] | u_x [mm] | ϕ_x [°] | |
|-------------------------------------|------------|--------------|------------|--------------|---|
| $u \cdot \cos(0 \cdot \psi + \phi)$ | 0,09 | 0 | 0,001 | 0 |  |
| $u \cdot \cos(1 \cdot \psi + \phi)$ | -0,03 | -30 | 0,0015 | -45 |  |
| $u \cdot \cos(2 \cdot \psi + \phi)$ | 0,015 | 60 | 0,009 | 270 |  |

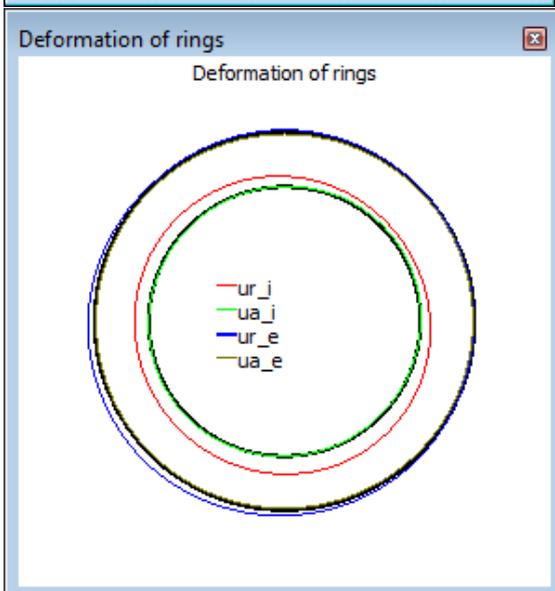
OK Cancel

Define deformations of outer ring

Type of input: Point data

| | ψ [°] | u_r [mm] | u_x |
|---|------------|------------|---------|
| 1 | 0 | 0,02 | -0,01 |
| 2 | 90 | -0,01 | -0,012 |
| 3 | 135 | 0,015 | -0,016 |
| 4 | 225 | 0,06 | -0,0115 |
| 5 | 270 | 0,045 | -0,011 |
| 6 | 315 | 0,01 | -0,014 |

OK Cancel



2つの可能性があります。一つは、'ポイントデータ' オプションを使用して、必要な数の変形ポイントをデータテーブルに追加することができます。どのポイントもその角度によって円周方向に位置決めされ、アキシャル変形とラジアル変形の両方を定義することができます。なお、定義された任意の点間の軌道輪の変形は、線形に補間されます。一方、上の図に示すように、'フーリエ係数' によって近似的な変形曲線を定義するオプションもあります。さらに、 ボタンを使ってcsvファイルからテーブル全体をインポートしたり、 ボタンを使って作成したテーブルをファイルにエクスポートしたりすることができます。

3次元弾性パーツを使用したシャフト計算の場合、シャフトの変形を軸受計算に反映させることができます。この場合、“シャフトの変形を考慮する”というチェックボックスが表示されます。このチェックボックスがクリアされると、シャフトの変形は削除され、それ以上考慮されなくなります。シャフト計算内でベアリングを使用している場合、このダイアログではベアリングリングとシャフトまたはハウジングの間のギャップ幅を指定することもできます。変形の定義は軌道輪に使用され、すきまは軌道輪とシャフト/ハウジングとの接触に使用されます。

これらの変形とシャフトの計算から転送された変形は、軸受すきまの出力や精度レポートでは考慮されません。これらは、荷重分布と寿命の計算にのみ影響します。

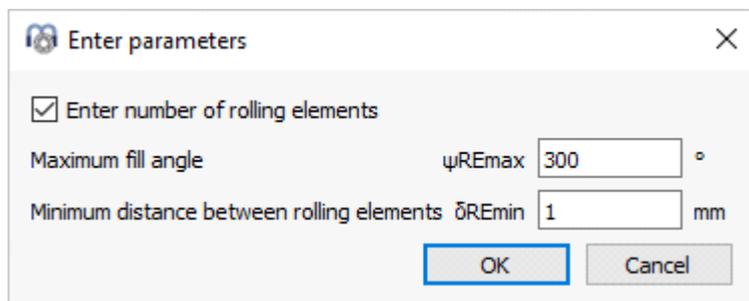
現在のバージョンでは、変形の定義は、弾性外輪を持つトラックローラーの計算と一緒に使用することはできません。

3.1.2.6 転動体の数

転動体の数は、指定されなければなりません。最小の数は3、最大数は軸受のピッチ円径によって異なります。転動体が重なっている場合は警告が表示され、転動体間の距離は結果の概要とレポートで確認することができます。

クロスロー軸受の場合、これは1列のローラーの数です。

 ボタンを使用すると、最大充填角度と転動体間の最小距離に基づいて転動体の数を自動的に計算することができます。深溝玉軸受の場合、充填角は180~200°で、最小距離は保持器の要件に基づいて設定できます。



このオプションは主に、転動体の数を自動設定した上で、転動体の径をパラメタバリエーションで変更できるようにすることを想定しています。

3.1.2.7 転動体の径

転動体の径をここで指定します。円すいころ軸受の場合、ころの中央の直径を使用します。

☒ ボタンを使用すると、転動体の数、ころの直径、接触角は、指定された特性周波数から計算することができます。これは、軸受の特性周波数が与えられていて、形状データがない場合に使用できます。

| Parameter | Value | Unit |
|--------------------------------------|----------|-------------|
| Speed of inner ring | ni | 1000 rpm |
| Speed of outer ring | ne | 0 rpm |
| Pitch diameter | Dpw | 33.5 mm |
| Damage frequency for inner race | fip | 107.388 1/s |
| Damage frequency for outer race | fep | 75.9456 1/s |
| Damage frequency for rolling element | frp | 72.2548 1/s |
| Number of rolling elements | Z | 11 |
| Roller diameter | Dw | 7.5 mm |
| Nominal contact angle | α | 39.9995 ° |

3.1.2.8 ピッチ円径

ピッチ円径は、転動体の中心が両溝(レース)に対して同じすきまを持つときの直径です。この値と転動体の径、接触角、すきまによって内外溝(レース)の径が計算されます。

通常、軸受の内径と外径の平均値をとりますが、これと異なる場合もあります。例えば、内輪のないニードル軸受では無効です。平均値は、入力のあるところにある★ボタンで選択することができます。

3.1.2.9 接触角

アンギュラ玉軸受、4点玉軸受、自動調心玉軸受、円すいころ軸受、自動調心ころ軸受では、接触角が必要です。円すいころ軸受では、力の方向がカップ角であるため、カップ角を使用します。☒ ボタンで接触角の方向を選択できます。

複列アンギュラ軸受の場合、背中合わせの配置は圧力中心間の幅が大きく、O-配置とも呼ばれ、対面配置はX-配置と同じです。

3点ベアリングの場合、この入力はスプリットリングのシム(shim)角のために使用されます。

☒ ボタンを押すと、指定したシム幅によるシム角の計算が可能です。アキシアル接触の接触角は、フリー接触角として結果に表示されます。

3.1.2.10 内輪と外輪の曲率比

曲率比は、溝（レース）の曲線半径とボールの直径の比率です。幾何学的な理由により、この値は0.5より大きくなければなりません。ISO 281 の計算の表で使用される値は、次のとおりです。ラジアル玉軸受の場合、 $f_i=f_e=0.52$ スラスト玉軸受の場合、 $f_i=f_e=0.535$ であり、(ISO/TR 1281-1, 2008) に記載されている通りです。

(ISO/TS 16281, 2008) によると、通常の場合は以下の通りです。ラジアル玉軸受では $f_i=0.52$ $f_e=0.53$ となり、スラスト玉軸受では、 $f_i=f_e=0.54$ 。また、(ISO 76, 2006) では、スラスト玉軸受に $f_i=f_e=0.54$ を使います。

自動調心やバーレル軸受では、 $f_i=f_e=0.5$ の値を使用する必要があります。ここで、外溝径は参考値として d_e の値を使用します。

(ISO 281, 2007) 及び (ISO 76, 2006) によると、曲率比が大きいと負荷容量が低下するため、 f_c を小さくする必要はあるが、曲率比が小さいと“必ずしも負荷容量を高くする必要はありません”。そこで、本ソフトウェアでは、負荷容量の計算に使用する曲率比の限界を入力することができます。玉軸受については、軸受タイプの後ろにある  ボタンを参照してください。

自動調心玉軸受の場合、 f_e のために外溝径は d_e を参考値として使用します。したがって $f_e=0.5$ をデフォルトで使用する必要があります。外溝径が $f_e=0.5$ で球形なので、 ボタンで半径を入力し、オプションでピッチ径 D_{pw} を調整します。

入力欄の後ろにある  ボタンを使用すると、指定された半径から曲率比を計算することができます。ローラーとピッチの直径が正しく入力されていることを確認してください。

3.1.2.11 ころの曲率比

自動調心やバーレルころ軸受では、ころの曲率比は通常、 $f_r=0.485$ の値です。外輪の軌道径 d_e が基準として使用されますので $r=f_r \cdot d_e$ 。

3.1.2.12 列間の距離

複列軸受の場合、列間の距離はユーザーインターフェイスに表示されます。これは、ボールの中心間のアキシャル方向の距離です。複列アンギュラ玉軸受の場合は入力ですが、その他のベアリングタイプの場合は、ピッチ円径と接触角から計算されるため、出力となります。列間の距離は

$$\delta_R = D_{pw} \cdot \tan \alpha$$

3.1.2.13 ローラーの有効長さ

ローラーの有効長さは、荷重をかけることができる長さです。ローラーの有効長さを得るには、ローラーの端の半径を差し引く必要があります。

“一般” ページで圧力分布の拡張機能を使った圧力計算が選択されている場合、**+** ボタンを使ってローラーのプロファイルを設定することができます。

3.1.2.13.1 ローラーのプロファイルの設定

内溝、外溝、ローラーのプロファイルを設定することができます。

Define roller profiles

Difference between effective and total roller length ΔL_w 2 mm

Number of roller sections used nSec 41

Roller

Type of profile Standard profile according ISO/TS 16281

Profile definition over effective roller length

Inner race

Type of profile Tangential crowning

Profile definition over total roller length

Profile pr 5 μm

Unmodified cylindrical part Lwu 80 %

Outer race

Type of profile User defined

Profile definition over total roller length

Profile pr 5 μm

OK Cancel

一般的な入力として、ローラーの有効長さ L_{we} と L_w の差を定義することができます。これはローラーの剛性を高めるため、計算に影響を与えます。

ローラー、内溝、外溝の各プロファイルに対して、異なるプロファイル定義長さ L_{wd} を選択できます。有効ローラー長さ L_{we} を使用するか、ローラー合計長さ L_w を使用するか、またはこれら2つの制限間のカスタム入力 ($L_{we} \leq L_{wd} \leq L_w$)を使用できます。たとえば、ローラーと外溝の長さを大きくし、逃げ溝のために内溝の長さを小さくする場合など、プロファイル定義に異なる長さを使用できます。

計算のセクション数は30以上、奇数である必要があります。セクションの数が増えると計算の精度と計算時間が上がります。

プロファイルの定義には、いくつかのオプションが用意されています。

1. ISO/TS 16281による標準プロファイル:
これは、ローラーの対数プロファイルと溝（レース）はプロファイルなしという、標準のデフォルトとして使用します。

2. 対数プロファイル:
逃げ量を定義し、修正されない円筒部分を定義することができます。以下の計算式が使用されます。

$$P(x) = pr \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - \left\{ \frac{2|x| - L_{wu}}{L_{we} - L_{wu}} \right\}^2} \right)$$

ローラーの場合、サイジングボタンにより、ISO/TS 16281に従ったデフォルトの逃げ量が提供されます。短い円筒ころ軸受のデフォルトの逃げ量は、3000MPaの接触応力に対応する $0.00035 \cdot D_w$ になります。

3. 修正対数プロファイル:
逃げ量は、(Fujiwara, et al., 2010)から導かれた以下の公式に従って計算されます。

$$P(x) = A \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - \left\{ 1 - e^{-\frac{pr}{A}} \right\} \left(\frac{2|x| - L_{wu}}{L_{we} - L_{wu}} \right)^2} \right)$$

$$\text{を用いて} \quad A = 2D_w \cdot \left(\frac{p \cdot (1 - \nu^2)}{E} \right)^2$$

ISO/TS 16281による対数プロファイルのようにローラー端で最大逃げが無限大ではなく、 pr の最大値までが最大逃げ量となります。 $p = 3000\text{MPa}$ と $pr = \text{Infinity}$ を使用すると、結果は上記のISO /TS 16281に従った対数プロファイルと同じになります。このプロファイルの材料データは、常に接触ローラー/内溝から取得されます。

4. 接線クラウニング:
円筒の接線方向に円弧を描き、プロファイルを生成します。逃げの量と、修正されていない円柱の長さの割合を定義することができます。
5. クラウニング:
中心がローラーの中心にアキシャルに位置する円弧を使用してプロファイルを生成します。逃げ量、未修正のシリンダー長の割合、接線半径を定義することができます。
6. 2つの接線半径:
幅 l_{wu} を持つ第1円筒パーツは、2つの接線半径によって拡張されます。第1半径の幅は、割合 l_{wr1} として定義されます。要件は、 $l_{wr1} > l_{wu}$ です。 l_{wu} は、2つの半径のみを持つためにゼロに設定することができます。

7. 指数

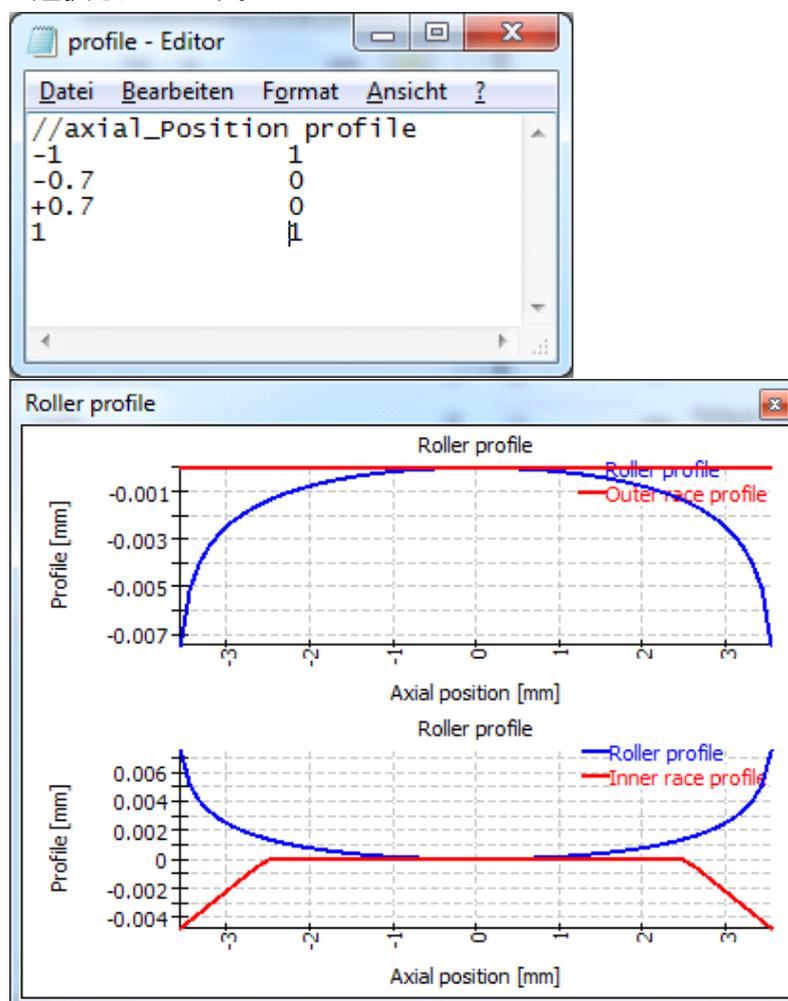
指数 "e" とプロファイルの未修正長さ "L_{wu}" を指定することができます。指数は $e \geq 2$ 。プロファイルには以下の式が使用されます。

$$P(x) = pr \cdot \left(\frac{2|x| - L_{wu}}{L_{we} - L_{wu}} \right)^e$$

8. ファイルから読む

ファイルからプロファイルを読み込むことができます。データは、各行に2つの値、アキシャル位置とプロファイル逃げ量を指定する必要があります。アキシャル位置はローラーの長さでスケールされ、逃げ量はプロファイル逃げ量の入力値でスケールされます。したがって、アキシャル位置には-1~+1、逃げ量には0~1の範囲を使用することができます。

非常にシンプルなファイルを以下に示します。これは、右に内溝のプロファイルが選択されています。



非対称プロファイルは、ほとんどのベアリングで左から右へ使用されます。円すいころ軸受とスラスト自動調心ころ軸受では、接触角の方向が左の場合、プロファイルは左から右に使用されます。接触角が右向きの場合、プロファイルは反転になります。したがって、取り付け条件はプロファイルに影響を与えません。

9. ファイルから読む(スケーリングなし):
 オプション“ファイルから読む”と同様に、データはファイルから読み込まれます。このオプションを使用すると、スケーリングは行われません。アキシャル方向の延長は $-L_{we}/2 \sim +L_{we}/2$ または $0 \sim L_{we}$ の範囲で定義する必要があります。プロフィールは“mm”単位で定義され、スケーリングは行われません。
10. ユーザー入力:
 ファイル名を定義する代わりに、プロフィールのポイントをテーブルで定義することができます。これも上記と同様に、アキシャル位置は $-1 \sim +1$ 、プロフィールの逃げは $0 \sim 1$ の値を使用します。
 右のダイアグラムの表は、上のファイルと同じデータを示しています。

| | x | Δr |
|---|------|----|
| 1 | -1 | 1 |
| 2 | -0.7 | 0 |
| 3 | 0.7 | 0 |
| 4 | 1 | 1 |

11. ユーザー設定の式:
 ECMAScript 言語でユーザー設定の式を定義することができます。変数 'x' は範囲 $-1 < x < +1$ と変数 'Dw', 'Lwe', 'Lw' が定義され、単位は'mm'です。方程式の結果は'mm'単位で考えられ、正の値であればギャップは大きくなります。
 例としては、"return 0.01*x**4;" または "return -0.00035*Dw*Math.log(1-x*x);" または以下のように

```

if(x < 0.5) {
    return 0.01*(-0.5-x);
}
if(x > 0.5) {
    return 0.01*(x-0.5);
}
return 0.

```

プロフィールは、ローラープロフィールのグラフィックスで表示できます。

3.1.2.14 ローラー中心のオフセット

スラスト自動調心ころ軸受では、ころ中心のオフセットを設定することができます。δLを定義することができます。これは、ころの中心と最大径 D_w の位置との距離です。

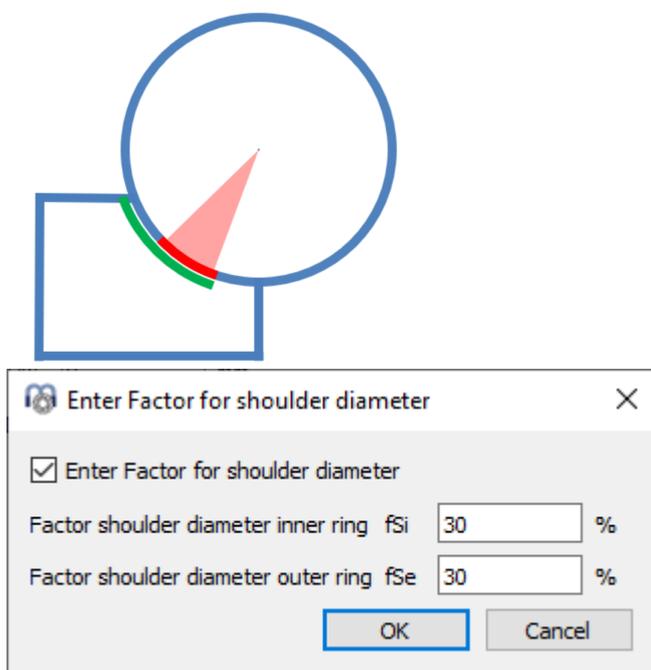
3.1.2.15 内輪と外輪の肩の径

玉軸受、ラジアル円筒ころ軸受では、内輪、外輪の肩の径を設定することができます。円すいころ軸受の場合、内輪の肩の径を定義することができます。ゼロの入力があつた場合は考慮されません。

肩の直径は、接触楕円の最大延長と比較されます。楕円が肩の径より上に伸びる場合は、警告が表示されます。この場合、ヘルツ応力は有効ではありません。

必要とされる肩の径は、肩の長さの安全性を示す長さ比 eLR_i 、 eLR_e とともにレポートに表示されます。長さ比は、接触楕円の下端から肩までの長さ(グラフィックス中の緑の線)を接触楕円の長さ $2a$ (グラフィックス中の赤い線)で割つたものと定義されます。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。

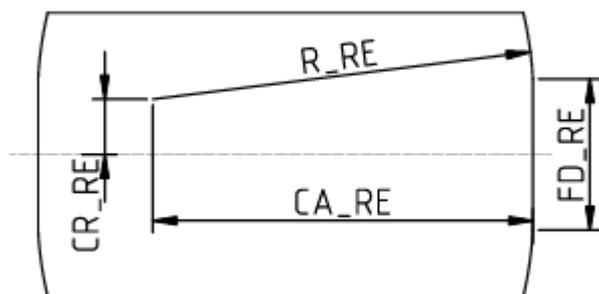
自動調心玉軸受の場合、外輪の肩径は、軸受幅を入力すると自動的に外輪の半径と軸受幅で制限されます。



絶対値を使用する代わりに、転動体径に対するパーセンテージで肩の高さを定義することができます。50%のタイプはピッチ円径までの肩の高さとなりますので、ほとんどの軸受タイプの場合、10%から40%の間で設定する必要があります。この係数を使用すると、転動体径やピッチ径を変更したときのデフォルトの形状を設定することができます。

ラジアル円筒ころ軸受と円すいころ軸受では、アキシアル荷重は肩の高さの半分で作用すると仮定します。肩の開き角度を定義することができます。0°の値は、力がローラーの軸に平行に作用していることを意味します。

ラジアル円筒ころ軸受およびテーパころ軸受の場合、オプションでころ端半径を定義できます。これを行うと、接触位置と接触応力が評価されます。接触剛性はヘルツ点接触に基づいて使用されます。



3.1.2.16 列中心への距離

この入力は、円すいころ軸受、ラジアルハーフ自動調心ころ軸受、アキシヤル自動調心ころ軸受にのみ有効です。ローラーの中心から軸受の中心までの距離です。軸受のカタログに記載されている圧力中心までの距離 a から計算することができます。

ラジアルハーフ調心ころ軸受では、通常、距離 a は軸受幅と等しく、外輪の曲率中心が軸受の片側にあるようにし、2つの複合軸受は外輪として球を有するようになります。

3.1.2.17 軸受内部すきま

深溝玉軸受、4点接触軸受、自動調心玉軸受、自動調心および円筒ころ軸受について、軸受すきまを自動設定できます (ISO 5753, 2009) (C2...C5)。

さらに、'データベースから'、'運転すきまとして個別入力'、'ユーザー入力' の設定があります。

- 'データベースから' を選択した場合、軸受内部すきまの最小値と最大値は、軸受データベースから取得されます。データベースから選択されていない場合、エラーメッセージが表示されます。データベースからすきまを選択する必要はなく、他のすきまの選択も可能です。
- '運転すきまとしてユーザー入力' を選択した場合、ソフトウェアによるすきまの修正は行われません。はめあいや温度は考慮されません。考慮したいすきまがわかっている場合は、この設定をお勧めします。
- 'ユーザー入力' を選択すると、取り付け前の軸受のすきまを入力することができます。温度やはめあいによって生じる影響も追加で考慮されます。
- '範囲としてユーザー入力' を選択すると、**+** ボタンを使用して、取り付け前の軸受内部すきまを範囲として入力することができます。温度やはめあいの影響も追加で考慮されます。荷重分布は、範囲の最小値、中間値、最大値として設定されたすきまを使用して計算されます。ダイアログの **■** ボタンを押すと、最小すきま位置が「P_{dmin}」または「P_{amin}」のサイジングに、最大すきま位置が「P_{dmax}」または「P_{amax}」のサイジングに使用されます。

ラジアルアンギュラ玉軸受の場合、データベースで予圧を定義できます。その後、追加の選択肢として、「微予圧」、「軽予圧」、「中予圧」、「重予圧」が使用可能になります。これらのエントリは、データベースで予圧が定義されている場合にのみ表示されます。

3.1.2.18 ラジアルすきま

深溝ラジアル玉軸受、自動調心玉軸受、円筒ころ軸受及び自動調心ころ軸受について、直径すきま P_d を表示します。外輪が固定された状態で、内輪が荷重を受けずにいられる上下の位置の間隔をいいます。単列軸受の場合、次のように計算できます。

$$P_d = d_e - d_i - 2 \cdot D_w$$

予圧のために、負のすきまを入力することができます。

同じ値をラジアルすきま(アキシャルすきまとは対照的)と表現することもあります。測定結果はやはり直径の差になります。

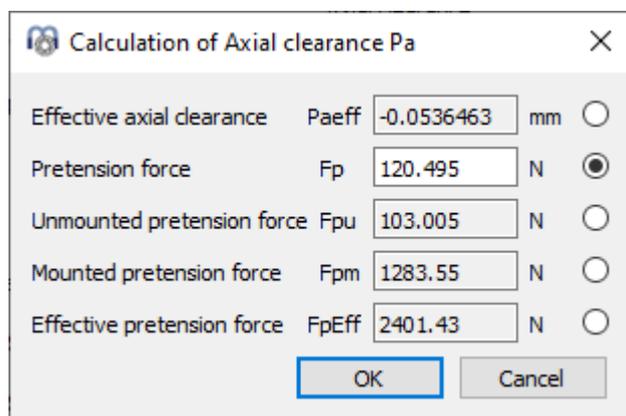
 ボタンを押すと、ラジアルすきまの代わりにアキシャルすきまを入力することができます。深溝玉軸受の場合、フリー接触角を指定してすきまを計算することも可能です。

3.1.2.19 アキシャルすきま

アキシャルすきま P_a は、アンギュラ転がり軸受、4点接触軸受、円筒ころ軸受、全てのアキシャル軸受について表示しています。アキシャルすきまは、4点接触軸受と円筒ころ軸受の場合、プラス方向とマイナス方向の可能なアキシャル変位になります。

単列アンギュラ軸受、円すいころ軸受では、ごくわずかなアキシャル荷重で軸受輪を一緒に動かしたときの内輪と外輪のアキシャル方向の距離のことです。したがって、この場合のすきまは、中心と一方向との間の距離であり、複列アンギュラ転がり軸受、4点接触玉軸受及び円筒ころ軸受では、左右の端位置の最大距離となります。

円筒ころ軸受は、通常アキシャルすきまがあるため、アキシャルすきまはゼロより大きい値を入力します。クリアランスをゼロにして計算すると、軸受の傾斜角がある場合、ローラーにアキシャル荷重がかかることとなります。これは、固定側円筒ころ軸受の場合ですが、自由側円筒ころ軸受の場合はそうではありません。そのため、どちらの場合でも正しいすきまを入力する必要があります。



| Parameter | Symbol | Value | Unit | Radio Button |
|----------------------------|-------------------|------------|------|----------------------------------|
| Effective axial clearance | $P_{a\text{eff}}$ | -0.0536463 | mm | <input type="radio"/> |
| Pretension force | F_p | 120.495 | N | <input checked="" type="radio"/> |
| Unmounted pretension force | F_{pu} | 103.005 | N | <input type="radio"/> |
| Mounted pretension force | F_{pm} | 1283.55 | N | <input type="radio"/> |
| Effective pretension force | $F_{p\text{eff}}$ | 2401.43 | N | <input type="radio"/> |

予圧は、アキシアルすきま P_a に負の値を使用することで入力できます。 ボタンを押すと、特定のタイプの軸受では、アキシアルすきまの代わりに、直径すきまを入力することができます。アングュラ転がり軸受や円すいころ軸受の場合、与えられた予圧力に対してアキシアルすきまを計算することも可能です。

ローラー軸受の場合、予圧力からのアキシアルすきまの計算は、拡張圧力計算やプロファイルの変化をまだ考慮に入れていません。

軸受のタイプによって、予圧力にはいくつかのオプションがあります。“ F_p ”での計算は、軸受の呼び寸法を使用し、“ F_{pu} ”での計算は、呼び寸法と無制限のラジアル弾性拡張を使用しています。マウントされた予圧力“ F_{pm} ”は、取り付け後の寸法で計算されますが、温度や回転数は計算されません。有効な予圧力 F_{pEff} は、取り付け後の寸法を用い、温度と回転数を考慮して計算します。

3.1.2.20 軸受精度

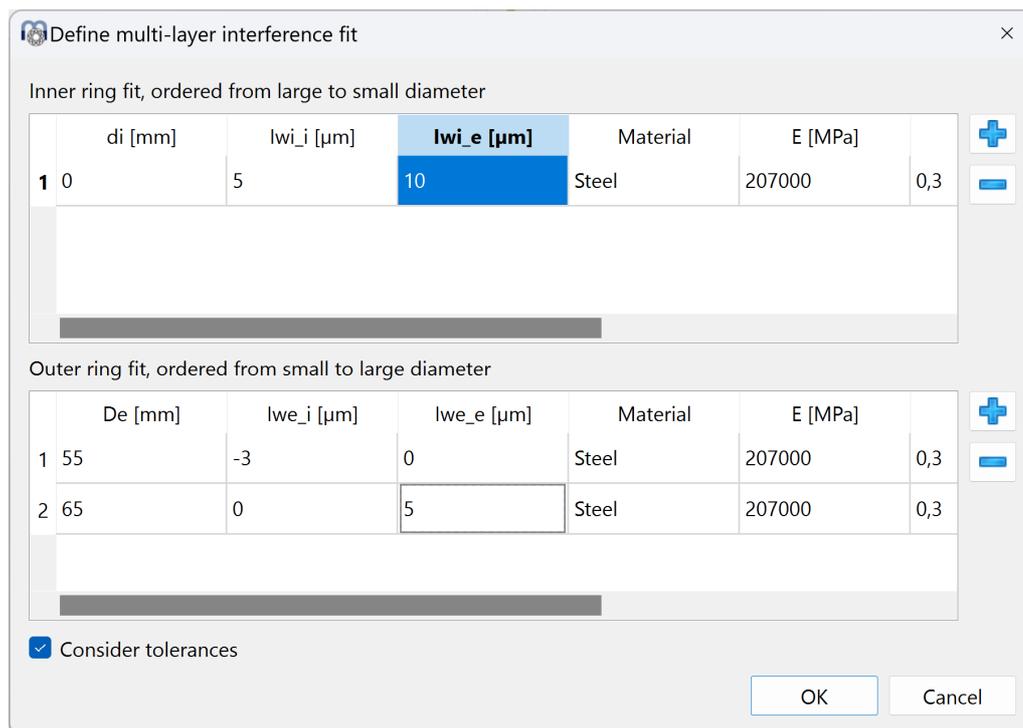
軸受の精度は、ISO 492 (P0...P2) に従って検討することができます。軸受の精度を設定した後、次の入力により、シャフトとハウジングのはめ合いを定義することができます。

精度クラスに加えて、いくつかの特別なインプットも利用可能です。

- '考慮しない': '考慮しない'を選択した場合、はめ合いは運転すきまには考慮されず、この場合、温度のみがすきまに影響し、遠心力は考慮されません。
- '呼び寸法': '呼び寸法'を選択した場合、軸受の公差はゼロとみなされます。そして、シャフトとハウジングの公差のみを入力することで、はめ合いを設定することができます。
- 'ユーザー入力': このオプションでは、 ボタンを使用して、軸受内輪および外輪のカスタム公差を設定することができます。
- 'はめあい設定': 'はめあい設定'を選択すると、公差を使用せずに直接シャフトと内輪の間、およびハウジングと外輪の間のはめ合いを設定することができます。はめ合いの入力の後ろにある ボタンを使用すると、与えられた運転はめ合いに必要なはめ合いを計算することができます。この計算では、回転数を上書きすることができます。
- '多層はめあいの設定': このオプションは、内輪、外輪の両方に対して多層はめあいの設定をすることができます。 ボタンを使って、層を定義することができます。この場合、はめあいの直径と材料は、シャフト計算とカップリングされません。

3.1.2.20.1 多層はめあい

多層はめあいの設定は、内輪、外輪の両方に対して行うことができます。内輪はめあいでは、大径から小径の順で、外輪はめあいでは、小径から大径の順で設定する必要があります。最初の層は、常に軸受輪と接触しています。オプションではめあいの公差を定義することもできます。



Define multi-layer interference fit

Inner ring fit, ordered from large to small diameter

| | di [mm] | lwi_i [μm] | lwi_e [μm] | Material | E [MPa] | |
|---|---------|------------|------------|----------|---------|-----|
| 1 | 0 | 5 | 10 | Steel | 207000 | 0,3 |

Outer ring fit, ordered from small to large diameter

| | De [mm] | lwe_i [μm] | lwe_e [μm] | Material | E [MPa] | |
|---|---------|------------|------------|----------|---------|-----|
| 1 | 55 | -3 | 0 | Steel | 207000 | 0,3 |
| 2 | 65 | 0 | 5 | Steel | 207000 | 0,3 |

Consider tolerances

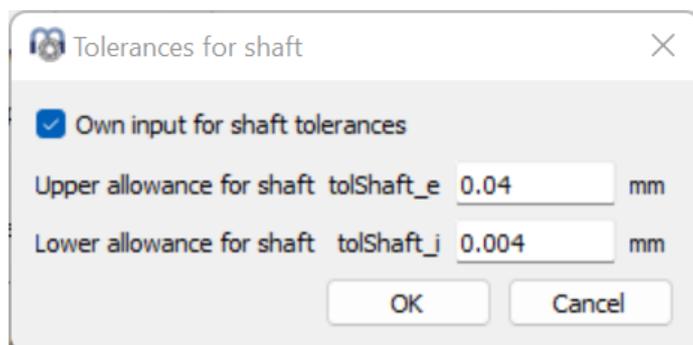
OK Cancel

ベアリングの計算がシャフトの計算から使用される場合、直径と材料は、シャフトの計算内の情報とはカップリングされないことにご注意してください。各リングの全ての層は同じ温度です。

3.1.2.21 シャフト/ハウジングのはめあい

内輪とシャフトのはめあいは、(ISO 286-1, 2010)に従って公差として定義することができます。例えば、'k6' と指定することができます。外輪とハウジングのはめあいも同様に指定できます。

数値は、入力欄の横にある \oplus ボタンを使って直接指定することができます。“個別入力”を選択すると、任意の公差を入力することができます。



Tolerances for shaft

Own input for shaft tolerances

Upper allowance for shaft tolShaft_e 0.04 mm

Lower allowance for shaft tolShaft_j 0.004 mm

OK Cancel

3.1.2.22 シャフト内径/ハウジング外径

中空シャフトの場合、シャフトの内径を指定することができます。はめあいに影響します。

ハウジングの場合は、外径を指定することができます。ゼロを入力すると、 $2 \times D$ の値で計算されます。

3.1.2.23 シャフトとハウジングの表面粗さ

シャフトとハウジングの表面粗さは、はめあいの計算にのみ使用します。パーツの有効なめあいは、(DIN 7190-1, 2017)に従って $0.4 \times R_z$ で低減されます。以前のバージョンの規格では、 $0.8 \times R_z$ の低減が使用されていました。

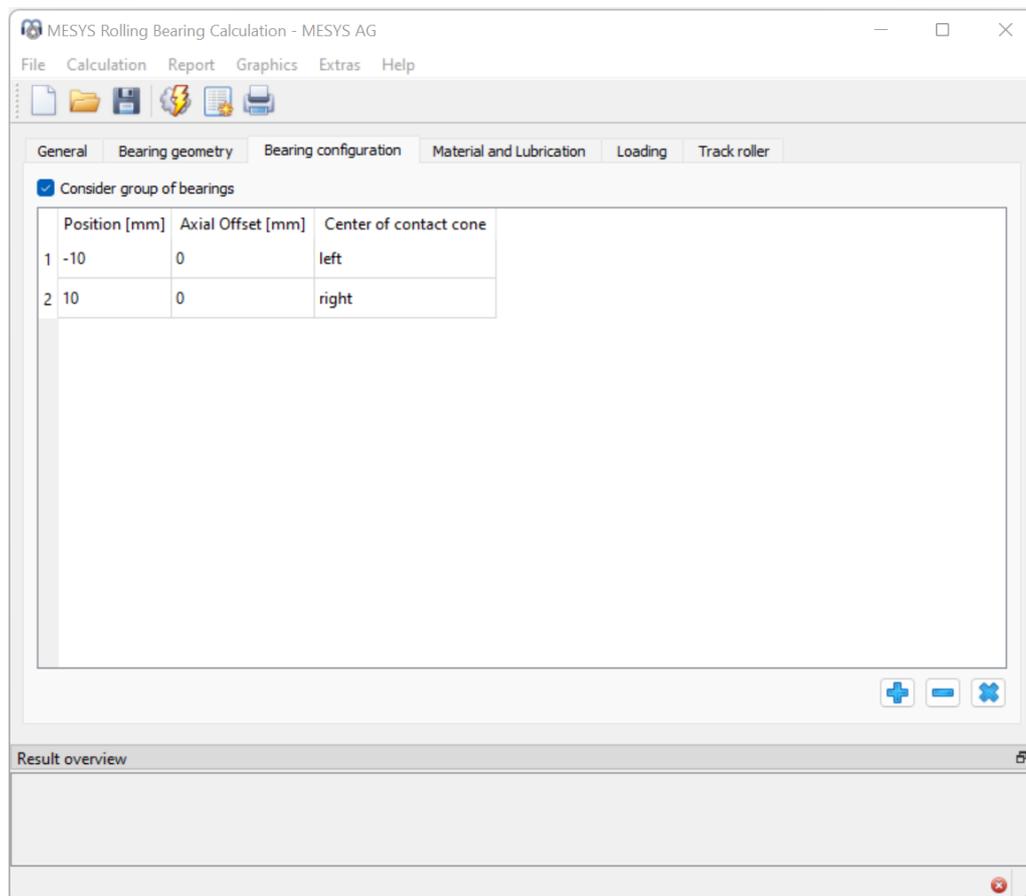
より正確にはシャフトの表面粗さについては、シャフトと内輪の粗さの合計を入力する必要があります。外輪も同様です。軸受の粗さは、シャフトやハウジングの粗さより小さいことが多いので、ほとんどの場合、無視できるかもしれない。

3.1.3 軸受コンフィギュレーション

計算として軸受のグループを考慮することができます。軸受は、剛体のシャフトとハウジングに接続されていると仮定します。荷重または変位は、各単一軸受の代わりに、軸受グループの原点に対して与えられます。

各軸受の相対位置は、入力することができます。アキシャルオフセットにより、システム内の予圧を定義することができます。オフセットは、軸受の外輪の追加の移動になります。荷重時の変位、荷重、モーメントは、基準位置0にかかりますので、ほとんどの場合、位置は0を中心に左右対称に選ぶ必要があります。

接触角のある軸受では、円すいの中心の位置を指定することができます。図では、O-コンフィギュレーション(またはバック・トゥ・バック・コンフィギュレーション)が定義されています。



+ ボタンを使って、ベアリングを追加することができます。- ボタンを使って行を削除でき、
✖ ボタンはすべての入力をクリアします。

軸受グループの可能性は、8点玉軸受を2列の4点軸受として計算することができます;これは、アンギュラ玉軸受のセット、ペアの円すいころ、円筒ころ軸受のセットを可能にし、遊星歯車で使用されます。

テーブルのコンテキストメニュー(マウスの右ボタン)を使用すると、複数の結果値をテーブル上に表示することができます。これにより、荷重や寿命が軸受列間でどのように分布しているかを素早く確認することができます。

3.1.4 潤滑油

潤滑油は修正定格寿命に影響を与えます。オイルの膜厚が大きいと転動体と溝(レース)が直接接触しないため、寿命が長くなります。

潤滑油には、リストから直接選択できるものもあります。ミネラルオイルとPAGベースの合成オイルが用意されています。その他のタイプのオイルについては、'個別入力'を選択することができます。

| Lubrication | | | | | |
|--|--------------------------------|---|-------------|-------------------------------------|--|
| ISO VG 220 mineral oil | | Oil lubrication with on-line filter ISO4406 -/17/14 | | + | |
| Viscosity at 40°C | nu40 220 | mm ² /s | Temperature | TOil 70 | °C <input checked="" type="checkbox"/> |
| Viscosity at 100°C | nu100 19 | mm ² /s | Oil density | ρ 890 | kg/m ³ |
| <input type="checkbox"/> contains effective EP additives | Pressure viscosity coefficient | | α 0.02 | 1/MPa | |

3.1.4.1 汚染係数

汚染係数 e_c は寿命修正係数 a_{ISO} の計算として使用されます。これは潤滑油の清浄度を考慮したもので、粘度比、軸受サイズ、およびISO 4406 に従った油の清浄度の選択により、ISO 281 Annex A に従って計算することが可能です。ISO 4406 に従った選定は、あるサイズの粒子がいくつ存在するかを定義します。グリース潤滑の選択では、ISO 281 Annex A を使用して汚染係数 e_c を計算します。

さらに、汚染係数の個別入力も選択でき、+ ボタンを使用して係数を入力することができます。汚染係数 e_c は0.1 から1 の範囲で、ガイド値は [ISO 281](#)^[318] に従って選択することができます。

| 汚染度 | eC | |
|---|-------------------------|----------------------------|
| | $D_{pw} < 100\text{mm}$ | $D_{pw} \geq 100\text{mm}$ |
| 極めて高い洗浄度 潤滑油の膜厚ほどの粒子径、実験室条件。 | 1 | 1 |
| 高洗浄度 極細フィルターでろ過されたオイル、寿命までグリース封入し密閉した軸受の典型的な条件。 | 0.8~0.6 | 0.9~0.8 |

| | | |
|---|---------|---------|
| 標準の清浄度 細かいフィルターでろ過されたオイル、寿命までグリース封入し、密閉された軸受の典型的な条件。 | 0.6~0.5 | 0.8~0.6 |
| 軽度の汚染 | 0.5~0.3 | 0.6~0.4 |
| 普通の汚染 シールのないベアリングの典型的な条件；コースフィルター； 周囲からの磨耗粒子 | 0.3~0.1 | 0.4~0.2 |
| 重度の汚染 汚染の激しい環境と、シーリングが不十分なベアリングの配置。 | 0.1~0 | 0.1~0 |
| 非常に深刻な汚染 | 0 | 0 |

小径ベアリングの場合、ISO 281 Annex Aに従って計算された汚染係数 e_c の値は、表の値よりはるかに低くなる可能性があることに注意してください。この場合、ユーザー入力が見ましかもしれません。

3.1.4.2 動粘度

動粘度は、 v_{40} (40°C) と v_{100} (100°C) の2つの温度で与えなければなりません。この値を用いて、指定された温度での実際の粘度が補間されます。

運転温度での動粘度を1つだけ指定した場合は、両方の入力欄に入力するだけで、その値が計算で使用されます。

粘度が高いほど潤滑油膜は大きくなりますが、大きすぎると効率が悪くなります。

3.1.4.3 EP-添加剤

潤滑油に極圧添加剤がある場合、寿命修正係数 a_{ISO} は、 $\kappa < 1$ と $e_C \geq 0.2$ と $\kappa \geq \kappa_{lim}$ の場合 $\kappa = 1$ 、を使用して計算することができます。

✚ ボタンは、オプション“EP添加剤の効率が実際のアプリケーションで証明”がチェックされている場合、 $e_C < 0.2$ の場合にも κ を増加させることができます。 κ が非常に小さい場合は、増加しません。デフォルトの上限は $\kappa_{lim} = 0.1$ に設定されていますが、経験に基づいて他の値に変更することができます。

3.1.4.4 潤滑油温度

油温度は、運転粘度などの潤滑油のプロパティを計算するためにのみ使用されます。すきまに影響を与えることはありません。油温度が入力として選択されていない場合、設定によるリングの温度から計算された転動体の温度、または“荷重”ページに記載されている温度に設定されます。

3.1.4.5 潤滑油の密度

潤滑油の密度は、動的粘度の計算に使用されます。リストから潤滑油が選択された場合、密度は油温に応じて変更されます [Niemann](#)^[321]。'個別入力'を選択した場合は、入力値を直接計算に使用します。

3.1.4.6 圧力粘度係数

圧力粘度係数 α は、潤滑油の膜厚を計算するために使用します。膜厚を計算しない場合は、0を入力してください。

[ISO/TR 1281-2](#)^[318]によると、圧力粘度係数 α は、動粘度 ν_0 (cm^2/s) によって次のように計算されます。 $\alpha = 0.1122 \cdot \left(\frac{\nu_0}{10^4}\right)^{0.163}$

基準粘度 ν_1 を計算するには、 $\alpha = 0.0077 \cdot \nu^{0.204}$ を用いて、 ν を mm^2/s 、 α を mm^2/N として計算します [Baalmann](#)^[320]。

本ソフトウェアでは、異なるオイルタイプを考慮しているため、[AGMA 925](#)^[319] に従った提案が使用されています。圧力粘度係数は、次のように計算されます。 $\alpha = k \cdot \eta_M^s$ ここで、 η_M は運転温度における動的粘度です。係数 k と s は、異なる潤滑油のタイプについて、以下の表に示すように与えられます。

| オイルタイプ | k | s |
|-----------------|----------|--------|
| 鉱物油 | 0.010471 | 0.1348 |
| PAO系合成非VI改良型オイル | 0.010326 | 0.0507 |
| PAG系合成油 | 0.0047 | 0.1572 |

この式は、リストから潤滑油が選択された場合に使用されます。'個別入力'を選択した場合、(ISO/TR 1281-2, 2008) 11.8 または (AGMA 925, 2003) に従った公式か、入力フィールドの横にある  ボタンを使用して直接入力を選択することが可能です。

3.1.5 材料

転動体、内輪、外輪、シャフト、ハウジングの材料特性を定義することができます。このデータは、荷重分布や軸受とシャフト/ハウジングのはめあいの計算に使用されます。また、硬さや表面粗さも指定することができます。

| Material | | | | | |
|------------------------------|---------|-----|-----------------------------|------------------------------|-------------|
| 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 0.4 | μm | ★ | Surface roughness outer race | Rq 0.4 μm ★ |
| Surface roughness roller | Rq 0.4 | μm | ★ | Material rolling element | Steel ▼ + |
| Material inner race | Steel ▼ | + | Material outer race | Steel ▼ | + |
| Material shaft | Steel ▼ | + | Material housing | Steel ▼ | + |

3.1.5.1 表面硬さ

表面硬さはロックウェル硬さHRCで与えられます。表面硬さが58HRCより小さい場合、[Harris](#)^[320]に従って、動と静の定格荷重の減少が考慮されます。この減少は、ソフトウエアによって荷重容量が計算される限りにおいてのみ考慮されます。基本動定格荷重の低減係数は、次のとおりです。

$$C' = C \left(\frac{HRC}{58} \right)^{3.6}$$

荷重容量の入力値が硬さの値によって変更されることはありません。材料データで動的荷重容量の修正係数や静的容量の許容応力が定義されている場合、硬度による低減は考慮されません。

静的安全係数も硬度の低下により影響を受けます。これも[Harris](#)^[320]に従って、係数 f_s を用いて行われます。

$$f_s = 1.5 \left(\frac{HV}{800} \right)^2 \text{ (ボールベアリング) } \text{ もしくは } f_s = 2 \left(\frac{HV}{800} \right)^2 \text{ (ローラーベアリング) }, \text{ with } f_s \leq 1$$

この計算式では、HVは、 $HV = (223 \cdot HRC + 14500) / (100 - HRC)$ として計算されます。[Schlecht](#)^[321]

3.1.5.2 コア強度 (内溝、外溝)

内輪と外輪のコアの極限強度と対応する硬度深さは、ケースコアのインターフェイスのチェックに使用されます。硬度深度における実際のせん断応力は、せん断降伏応力 τ_{yield} 、とせん断疲労強度 τ_a と比較され、それらは、[Harris](#)^[320]に従って、入力された極限強度から計算されます。

$$\tau_{yield} = 0.425 \cdot R_m; \tau_a = 0.6 \cdot \tau_{yield}$$

材料が硬化している場合、硬度の深さを自動的に計算するよう設定することができます。この場合、警告は発生せず、負荷の増加により大きな硬度の深さが計算されます。

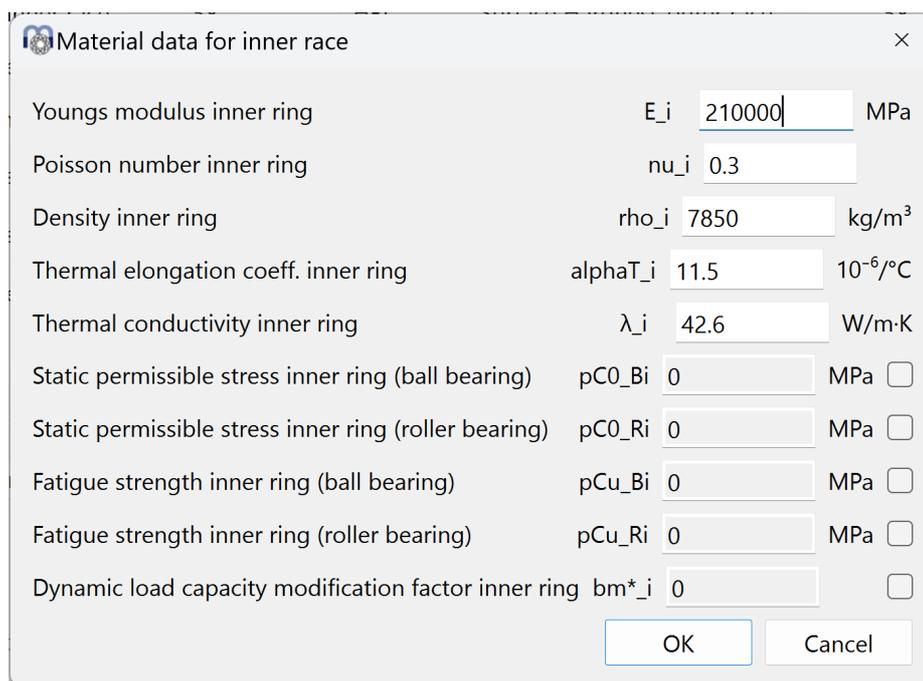
3.1.5.3 表面粗さ

表面粗さ R_q は、特定の潤滑油の膜厚 Λ の計算に用います。これは、二乗平均平方根の粗さ R_q または R_{RMS} になります。[Niemann](#)^[321]によれば、 $R_q \approx 1.25 \cdot R_a$ として近似値が与えられています。

[Baalmann^{\[320\]}](#)によれば、通常の複合粗さの推定値は、 $R_q = 1.2 \cdot 10^{-5} \cdot D_{pw}^{0.55}$ で与えられます。[Baalmann^{\[320\]}](#)によるこの式は、入力フィールドの隣にあるサイジングボタンをクリックしたときに使用されます。

3.1.5.4 軌道輪、転動体、シャフト、ハウジングの材料

軌道輪（レース）、転動体、シャフト、ハウジングの材料は、スチールまたはS3N4から選択することができます。このリストはデータベースから取得されるため、ユーザーによる拡張が可能です。また、'個別入力'も可能で、 ボタンを使って材料データを定義することができます。



Material data for inner race

| | | | |
|---|----------|--------|------------------------------|
| Youngs modulus inner ring | E_i | 210000 | MPa |
| Poisson number inner ring | nu_i | 0.3 | |
| Density inner ring | rho_i | 7850 | kg/m ³ |
| Thermal elongation coeff. inner ring | alphaT_i | 11.5 | 10 ⁻⁶ /°C |
| Thermal conductivity inner ring | λ_i | 42.6 | W/m-K |
| Static permissible stress inner ring (ball bearing) | pC0_Bi | 0 | MPa <input type="checkbox"/> |
| Static permissible stress inner ring (roller bearing) | pC0_Ri | 0 | MPa <input type="checkbox"/> |
| Fatigue strength inner ring (ball bearing) | pCu_Bi | 0 | MPa <input type="checkbox"/> |
| Fatigue strength inner ring (roller bearing) | pCu_Ri | 0 | MPa <input type="checkbox"/> |
| Dynamic load capacity modification factor inner ring | bm*_i | 0 | <input type="checkbox"/> |

OK Cancel

材料データとしては、ヤング率、ポアソン比、密度、熱膨張率、熱伝導率を定義することができます。このデータは、軸受内部の運転すきまや荷重分布の計算に使用されます。熱伝導率は、[Nakajima^{\[321\]}](#)に従って玉軸受の熱抵抗を計算するために使用されます。

オプションとして、静的許容応力を定義することができます。これは静的負荷容量と静的安全係数の計算に使用されます。デフォルト値は、ころ軸受で4000MPa、玉軸受で4200MPaです。自動調心玉軸受の場合、外輪の許容応力はソフトウェア内部で4600/4200に乘算されます。

疲労強度は、疲労限荷重 C_u の計算に使用します。デフォルト値は1500MPaですが、ユーザーにより上書きすることができます。

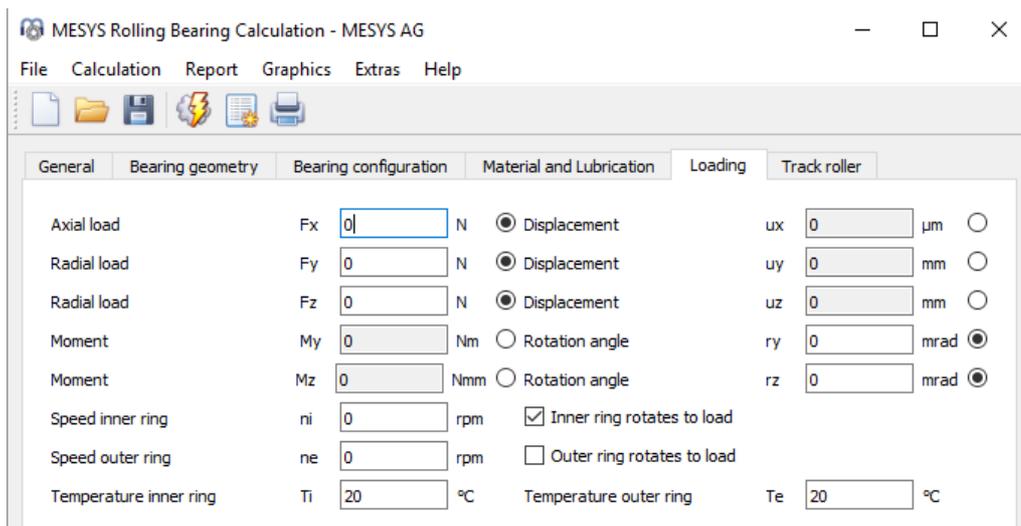
基本動定格荷重も材料選択により変更可能です。bm*-係数は、[ISO 281^{\[318\]}](#)に従って基本動定格荷重に乗じられます。これにより、動的定格荷重に対する材料の影響を考慮することができます。内輪と外輪で異なる値を使用することができます。転動体のbm*-係数の値は、転動体のセト寿命の計算としてのみ使用され、軸受の基本動定格荷重には影響を与えません。

3.1.6 荷重

各座標方向について、荷重と変位のどちらを入力するかを選択することができます。例えば、アキシアル円すいころ軸受の計算で、ラジアル荷重のみを考慮する場合は、アキシアル方向の変位を0に固定し、アキシアル方向の反力を計算することが可能です。

ベアリング軸周りの回転は拘束されないので、モーメント荷重や回転(ミスアライメント)は2方向のみ入力可能です。

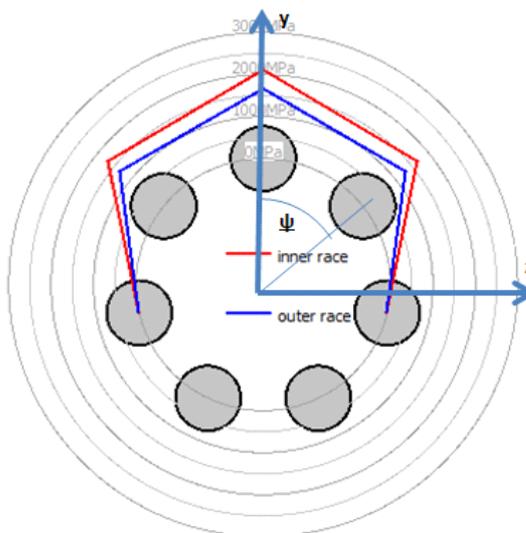
入力したい要素をラジオボタンで選択します。



3.1.6.1 座標系

x をアキシアル方向とする座標系を定義します。Y 軸は最初の転動体を指し、角度 ψ は X 軸の周り正方向で、または右のダイアグラムで時計回り(X 軸の方向を向いて)になります。角度は y 軸上の最初の転動体の位置でゼロから始まります。モーメントは、対応する軸の周りに作用する場合、正になります。

荷重は内輪に作用するため(弾性外輪を持つトラックローラーでは異なる)、Y 方向に正の荷重がかかると、右のグラフィックスに示すように、上側の転動体に荷重がかかります。



3.1.6.2 荷重に内輪が回転

溝(レース)上の荷重分布が静止している場合と回転している場合とでは、得られる寿命が少し違ってきます。多くの軸受は、内輪が荷重に対して回転し、外輪が荷重に対して

静止しています。内輪は回転するシャフトに接続し、荷重は空間に静止している場合です。

アキシャル荷重のみが発生する場合、正しい入力は何？ この場合、すべての転動体に同じ荷重がかかるのであれば、どちらの設定でも結果は同じですので、入力は問題ではありません。

3.1.6.3 内輪の温度

内輪と外輪の温度は、シャフトと内輪、またはハウジングと外輪の間のはめあいの計算にのみ使用されます。これらの温度は、運転すきまに影響します。オプションで、シャフト、ハウジングの温度も入力できます、[温度勾配を考慮](#)^[156]することができます。

転動体の温度は、デフォルトではリング温度の最大値と仮定されています。これは設定により変更可能で、転動体温度をマニュアルで入力することも可能です。

3.1.7 荷重スペクトル

タブページ'一般'で荷重スペクトルによる計算のフラグを設定すると、単一の荷重ケースではなく、荷重スペクトルによる計算が行われます。荷重や変位、回転速度、温度は各要素ごとに指定することができます。

| | Frequency | Fx [N] | Fy [N] | Fz [N] | ry [°] | rz [°] | ni [rpm] | ne [rpm] | T_i [°C] | T_e [°C] | TOil [°C] |
|---|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 1 | 0,5 | 15000 | 10000 | 0 | 0 | 0 | 1500 | 0 | 60 | 50 | 70 |
| 2 | 0,3 | 10000 | 8500 | 0 | 0,5 | 0 | 1000 | 0 | 65 | 60 | 70 |
| 3 | 0,2 | 12500 | 500 | 7000 | 0 | 0 | 350 | 0 | 60 | 50 | 70 |

enter Fx
 enter Fy
 enter Fz
 enter My
 enter Mz

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

マウスの右ボタンをクリックして開くコンテキストメニューで、入力値として使用する力またはモーメントを選択することができます。選択されていない場合は、対応する変位/回転を入力することができます。[はめ合いに温度を勾配を考慮](#)^[156]が有効な場合、シャフト、ハウジングの温度を追加で定義することができます。潤滑油温度は、アクティブな入力の場合のみ表示されます。

+ ボタンを使用して行を追加したり、**-** ボタンを使用して選択した行を削除することができます。**X** ボタンを使用すると、すべての入力クリアされます。

📁 ボタンを使うと、荷重スペクトルをファイルから読み込むことができます。現在表示されている列とその単位は、入力ファイルに使用されなければなりません。ファイルからのデータが入力に追加されるので、完全な荷重スペクトルを定義するためには、まず入力をクリアする必要があります。同様に、作成した荷重スペクトル表は、対応する📄 ボタンでエクスポートすることができます。

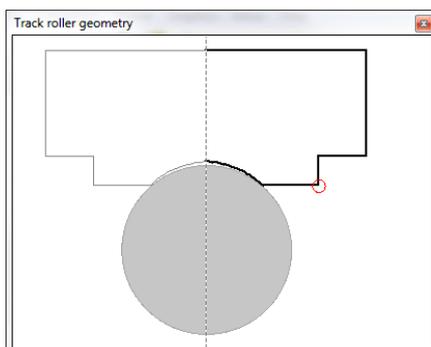
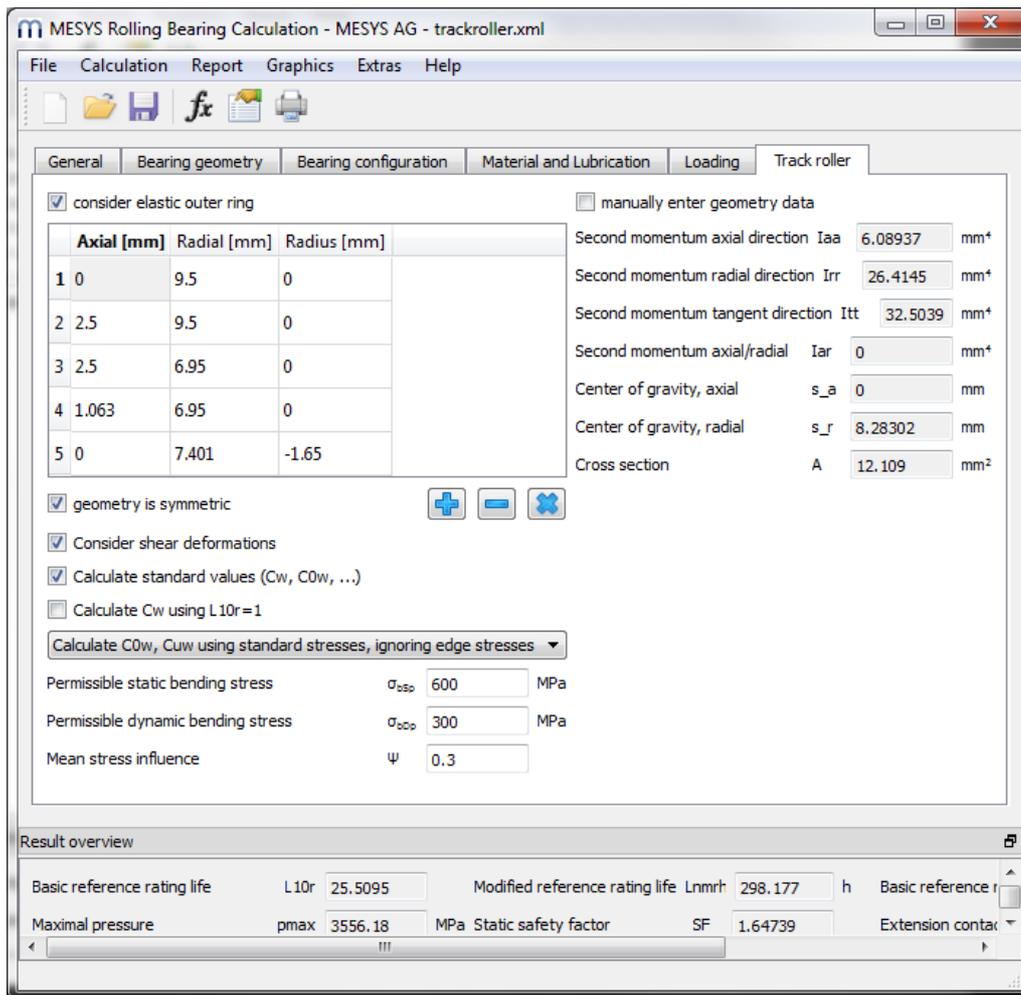
単一荷重の場合については、リングが荷重に対して回転しているかどうかを選択することが可能です。リングが荷重に対して回転していない場合は、安全側になります。

荷重分布は、各荷重ケースについて計算されます。全荷重スペクトルに対する結果の寿命は、結果および全ての要素の最小静的安全性として表示されます。結果のグラフィックスは、このページで結果として選択された荷重スペクトルの要素に対してのみ表示されます。

3.1.8 トラックローラー

外輪の弾性変形は、オプションで有効にすることができます。これは、基本的な軸受ソフトウェアの拡張機能です。

軸受の外輪は、Timoshenkoビーム要素でモデル化されます。そのため、曲げ変形、アキシアル変形、せん断変形が考慮されます。せん断補正係数は、1に固定されています。この計算は、ビームとしての近似が適切であると思われる場合にのみ使用する必要があります。ビームは、断面内の変形、例えば多列ベアリングのアキシアル方向の変形は考慮しません。



3.1.8.1 サポートする軸受のタイプ

弾性外輪を使用した計算として、いくつかのタイプの軸受にのみ可能です。計算できるのは以下の通りです。

- 深溝玉軸受
- 複列深溝玉軸受
- ラジアルアンギュラ軸受
- 複列ラジアルアンギュラ軸受

- ラジアル4点玉軸受
- ラジアル円筒ころ軸受
- 複列円筒ころ軸受
- 複列円すいころ軸受

多列軸受は、“軸受コンフィギュレーション”を用いて検討することができます。

3.1.8.2 トラックローラーの形状

トラックローラーの形状は、いくつかのポイントを使用して設定することができます。輪郭は、軸受の外側のアキシアル位置ゼロから始まり、時計回り方向で定義されます。

半径は、3番目の列で定義することができます。最後の点から新しい点までの円弧が生成されます。凸の輪郭の場合は正の値、凹の輪郭の場合は負の値を使用します。時計回りの円弧は正の半径を持ち、反時計回りの円弧は負の半径を持ちます。

ジオメトリは、開始点まで戻って完全な形状を設定するか、対称な外輪の場合は半分だけ設定します。対称なトラックローラー形状のグラフィックスでは、ミラーパーツはグレーで表示されます。

3.1.8.3 対称型の形状

対称形状は、外径の軸方向位置ゼロから始まり、内径の軸方向位置ゼロで終わります。

非対称な形状は、その開始点で終了する必要があります。

3.1.8.4 せん断変形を考慮

デフォルトで弾性外輪のせん断変形を考慮します。他のソフトや古い文献(Paland, 1968)では、曲げによる変形のみを考慮しているため、この設定をクリアすることで、せん断変形の影響を無視することができます。外輪の変形が小さくなるため、有効な荷重容量は高くなります。

3.1.8.5 標準値の計算

トラックローラーの標準値の一部は、アキシアル位置ゼロの純粋なラジアル荷重を使って自動的に計算することができます。

トラックローラーは、外輪の弾性変形により、剛体ベアリングとは異なる荷重分布を示します。これは寿命の低下につながり、軸受カタログの有効な荷重容量を小さくすることで考慮されています。

有効な動定格荷重 Q_w は、トラックローラー用の軸受カタログに記載されています。この値を計算するためには、2つのオプションがあります。以下のオプション $L_{10r} = 1$ を使って Q_w

を計算'を参照してください。また、有効な基本静定格荷重についても、2つのオプションがあります。以下の C_{0w} と C_{uw} の計算オプションのセクションを参照してください。

荷重容量は、ゼロ角のラジアル荷重を使用して計算されているため、転動体に直接作用します。

静的および動的許容ラジアル荷重は、許容曲げ応力に達するまでの荷重です。下記参照。許容静的・動的荷重は、2つの転動体の間に作用するラジアル荷重を用いて計算されます。これがクリティカルケースです。

軸受コンフィギュレーションを使用する場合は、軸受全体の有効な荷重容量と許容ラジアル荷重を計算します。

3.1.8.6 L10r=1を使った C_w の計算

基本動定格荷重は(ISO 281, 2007)で定義されているように、 $F_r = C$ を負荷したラジアル軸受の寿命は、 $L_{10}=1$ (100万回)でなければなりません。この定義は、オプション'L10r=1'を使って C_w を計算する'が設定されている場合の有効な基本動定格荷重の定義に使用されます。ソフトウェアは $L_{10r}=1$ になるようなラジアル荷重を繰り返し計算し、これが有効な基本動定格荷重 C_w として表示されます。

転動体の数が少ない軸受では、 $F_r = C$ で負荷される剛体軸受の寿命 $L_{10r}=1$ に達しません。その理由は、(ISO 281, 2007)が 180° の負荷領域を想定しており、例えば6つの転動体しか使用していない場合はこれに達しないためです。したがって、このオプションが設定されていない場合、 C_w の異なる定義が利用可能です。この場合、 C_w はラジアル荷重に定義され、 $F_r = C$ の剛体軸受と同じ寿命になります。

このオプションは、少数の転動体またはすきまのある軸受にしか影響を与えません。このオプションが設定されていない場合、 C_w の荷重は剛体軸受の C の荷重と同じく弾性軸受の寿命は同じになります。

3.1.8.7 C_{0w} と C_{uw} の計算オプション

有効な静的荷重容量の計算として、いくつかのオプションが用意されています。

標準の応力を用いて C_{0w} 、 C_{uw} を計算

オプション'標準の応力を用いて C_{0w} 、 C_{uw} を計算'が設定されている場合、 C_{0w} 、 C_{uw} 標準応力を使用して計算'オプションが設定されている場合、有効な静的荷重容量 C_{0w} は、次のようになるラジアル荷重と定義されます。 $p_{max} = 4200$ MPa(ころ軸受の場合は4000MPa)となります。有効疲労限度も同様に定義されますが、この場合の応力は1500MPaとなります。

エッジ応力を無視して標準の応力を用いて C_{0w} 、 C_{uw} を計算

ころ軸受の場合、エッジ応力は高負荷時に発生し、通常の軸受カタログとは異なる結果になることがあります。そのため、有効な静的荷重容量 C_{0w} を計算するために、2つ目のオプションがあります。

このオプションが選択された場合、ローラー中央部の応力は、上記の許容応力と比較されます。そのため、エッジ応力は考慮されません。

玉軸受の場合、このオプションは結果に影響しませんが、ころ軸受の場合にのみ違いが生じます。

荷重を用いて C_{0w} 、 C_{uw} を計算

オプションが設定されている場合、 C_{0w} は、 $F_r = C_0$ の荷重をかけた剛体軸受と同じ最大ローラー荷重をもたらすラジアル荷重として定義されます。 C_{uw} の計算においても、応力ではなくころ荷重の比較が行われます。

このオプションを選択すると、結果の C_{0w} は、剛体軸受の C_0 と同じ意味になります。これは、静的荷重容量に個別入力を使用する場合に便利です。

3.1.8.8 許容静的曲げ応力

許容静的曲げ応力は、外輪の曲げ応力に対する許容静的ラジアル荷重と安全係数を計算するために用います。応力は、曲げ応力の最大値に外輪の引っ張りを加えたものとして計算されます。

$$\sigma_{max} = \sigma_{b,max} + F_t/A$$

マニュアルで設定しない場合は、最も高い応力になる入力形状のポイントが自動的に選択されます。形状リスト内のポイントのみが考慮され、中間値は考慮されません。これは、凸状の半径の場合に違いが生じる可能性があります。

3.1.8.9 許容動的曲げ応力

許容動的曲げ応力は、許容動的ラジアル荷重と曲げ応力振幅に対する安全係数を計算するために使用されます。応力は、最大応力が発生する箇所で考えます。

$$\sigma_{max} = \sigma_{b,max} + F_t/A$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{b,min} + F_t/A$$

$$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$$

$$\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2$$

入力値は、平均応力影響係数 ψ で低減された許容両振荷重です。安全係数は次のように計算される。

$$S_{dyn} = \frac{\sigma_{bDperm} - \Psi \cdot \sigma_m}{\sigma_a}$$

許容動的ラジアル荷重は、安全係数1が得られるように計算されます。

3.1.8.10 平均応力影響

平均応力影響とは、曲げ応力の許容振幅を計算する際に、平均応力を考慮することです。

平均応力影響係数は、次のようにDIN 743に従った定義を用いて計算することができます。 $\Psi = \sigma_{bDperm} / (2 \cdot R_m - \sigma_{bDperm})$

3.1.8.11 荷重のアキシアル位置

非対称形状を設定した場合、荷重のアキシアル位置を定義することができます。これは、 C_w 、 C_{0w} などの基準の値の計算に使用されます。

対称な形状の場合、荷重はゼロの位置にかかります。

3.1.8.12 形状データのマニュアル入力

断面図はポイントデータで入力することが必須ではありません。また、CADシステムなどで計算した断面データを直接入力することも可能です。

断面データをマニュアルで入力した場合、曲げ応力を計算するためのクリティカルポイントもマニュアルで定義する必要があります。残念ながら、この点は荷重に依存します。対称な断面にラジアル荷重がかかるだけなら問題ありませんが、そうでない場合は注意が必要です。

3.1.8.13 二次モーメント

二次モーメントは、断面の極座標で与えられます。座標系の原点ではなく、重心に対して相対的に与えられます。

アキシアル方向の二次モーメント I_{aa} とラジアル方向の二次モーメント I_{rr} は、通常利用可能です。接線方向については、ねじりモーメントを与えるべきですが、これは通常知られていないので、極座標モーメント $I_{tt} = I_{aa} + I_{rr}$ を代りとして利用します。これは円形断面の場合のみ正確ですが、ねじり荷重は外輪への主要な荷重ではないので、許容できるでしょう。

偏心モーメントは次のように定義されます。 $I_{ax} = + \iint a \cdot r \, dA$ 。文献によっては、負の符号をつけた定義も普通です。対称断面では偏心モーメントはゼロとなります。

3.1.8.14 重心位置

重心は、アキシアル方向とラジアル方向の座標で定義されます。左右対称のセクションの場合、アキシアル方向の位置はゼロとなります。

3.1.8.15 断面

外輪の断面積をここに入力します。計算は、引っ張りやせん断変形を考慮しているため、荷重分布に影響を与えます。

3.1.8.16 限界点

形状データのマニュアル入力の場合、曲げ応力計算のための限界点を入力する必要があります。曲げ応力は、この点を用いて計算されます。

必ず、与えられた荷重条件に対して正しい値を入力してください。限界点は、トラックローラーの形状のグラフィックスに赤い円で表示されます。

3.1.8.17 トラックローラー荷重

弾性外輪の場合、荷重の入力が変わります。内輪にかかる荷重の代わりに、外輪にかかる荷重を複数の点で定義することができます。変位や回転を直接定義することはできません。

角度、アキシアル位置、ラジアル位置で荷重が作用する点を定義します。荷重はアキシアル方向、ラジアル方向、接線方向に定義することができます。全体のトルクはゼロでなければならないので、接線方向荷重の入力は、複数の荷重が定義されている場合にのみ使用することができます。

座標系は標準的な円筒座標系で、 r 方向が外側を向いています。したがって、 F_r は通常、圧力として負の値で入力します。

アキシアル位置は、ラジアル荷重が中心でないと仮定した場合に使用できます。偏心荷重は、外輪のねじりを導きます。

y -軸上の最初の転動体は、角度0です。転動体の位置に荷重がかかる場合と、転動体と転動体の間に荷重がかかる場合では、結果が異なります。どちらの場合も疑って考える必要があります。

MESYS Rolling Bearing Calculation - MESYS AG

File Calculation Report Graphics Extras Help

General Bearing geometry Bearing configuration Material and Lubrication Loading Track roller

| | Angle [°] | Ax. position [mm] | Radius [mm] | Fr [N] | Ft [N] | Fa [N] |
|---|-----------|-------------------|-------------|--------|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 | 10 | -1000 | 0 | 0 |

Speed inner ring ni 0 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

Result overview

| | | | | | | |
|---------------------------------------|--------|----------|--------------------------------|---------------------------------------|-------|----------|
| Reference rating life | L10r | 7.63106 | Basic reference rating life | L10rh | 0 | h |
| Modified reference rating life | Lnmr | 0.763106 | Modified reference rating life | Lnmrh | 0 | h |
| Maximal pressure | pmax | 4380.23 | MPa | Static safety factor | SF | 0.881572 |
| Extension contact ellipsis inner ring | dCimax | 9.18592 | mm | Extension contact ellipsis outer ring | dCem | 14.15 |
| Viscosity ratio | X | 0 | | Ellipsis length ratio inner race | eLR_i | 1.26251 |
| Ellipsis length ratio outer race | eLR_e | 1.47954 | | Contamination factor | eC | 0 |
| Change of clearance | ΔPd | 0 | mm | Effective dynamic load capacity | Cw | 1939.84 |
| Effective static load capacity | C0w | 884.158 | N | Effective fatigue load limit | Cuw | 43.2 |

3.1.8.17.1 トラックローラーの荷重スペクトル

トラックローラーに荷重スペクトルを使用する場合、最初のステップとして、荷重スペクトルをアクティブにせずに荷重の位置を荷重ページで定義する必要があります。その後、荷重スペクトルをアクティブにすると、各荷重の列が入力として利用可能になります。コンテキストメニュー（マウスの右ボタン）を使用すると、角度のような追加の列を含めることができます。

| | Frequency | ni [rpm] | ne [rpm] | T_i [°C] | T_e [°C] | T_r [°C] | TOil [°C] | Fr_1 [N] | Ft_1 [N] | Fa_1 [N] |
|---|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0.6 | 0 | 500 | 20 | 20 | 20 | 70 | -1000 | 0 | 0 |
| 2 | 0.4 | 0 | 200 | 20 | 20 | 20 | 70 | -500 | 0 | 0 |

3.2 熱許容回転数

熱定格回転数 (ISO 15312, 2018) と熱許容速度 (DIN 732, 2010) は、ソフトウェアで計算されます。計算はメニュー'計算'-'>熱許容速度'の下で個別に実行することができます。

Thermal permissible speed
×

Thermal reference speed

Factor for load independent losses f0r

Factor for load dependent losses f1r

Surface for heat transfer Ar mm²

Thermal transmission coefficient kq W/m²·K

Thermal permissible speed

Method DIN 732

Factor for load independent losses f0

Factor for load dependent losses f1

Assume fixed temperature for lubricant

Temperature difference between bearing and surroundings $\Delta\theta$ °C

Temperature difference of oil flow $\Delta\theta_{Oil}$ °C

Oil volume flow V_{Oil} l/min

Thermal reference speed n_{tr} rpm

Thermal permissible speed n_t rpm

Calculate
Report
Close

ほとんどのパラメータは、ユーザーが上書きすることができます。なお、計算はあくまで規格に従ったものです。等価荷重はアキシャル荷重とラジアル荷重で計算され、モーメント荷重は考慮されません。また、すきまも考慮していません。

熱許容回転数については、DIN 732に加えて、ISO/TR 14179-2によって摩擦モーメントを導き出すことができます。ISO規格では、グリース潤滑とオイル潤滑について異なる係数を提供しています。デフォルトでは、メインウィンドウで定義された潤滑油の温度が使用されます。オプション“潤滑油の固定温度を仮定”をクリアすると、油の粘度に軸受温度が使用されます。軸受温度は、軸受周囲の温度と軸受の温度上昇分です。

軸受形状が規格で考慮されていない場合、f0r、f1r、f1の入力値をユーザーが入力し、計算を実行することができます。

軸受コンフィギュレーションの場合、f0、f1及びArの値は、単一の軸受に適用されます。オイル体積の流れは、ベアリングセットに適用されます。現在、ラジアル軸受を使用した軸受セットのみサポートされています。

熱定格回転数、熱許容回転数、摩擦モーメントの結果もメインレポートで表示しています。

3.3 グリースの寿命

グリース寿命は、与えられたダイアグラムの平均値からシェフラーによって計算したものです。軸受タイプを考慮している係数 k_f は、軸受のタイプによっては範囲があります。この値はソフトウェアで書きすることができます。係数 K_U は、追加の低減係数として使用することができます。グリース温度制限値は、グリースの種類によって異なります。それは、グリースの寿命が短くならない温度です。多くの標準的なグリースでは80°Cですが、ソフトウェアのデフォルト値は保守的に70°Cとなっています。温度係数 K_T 、荷重係数 K_P 、揺動の係数 K_R が考慮されます。

ハイブリッド軸受の場合、グリースの寿命は3.3倍になります。転動体のヤング率が270GPaより大きい場合、ハイブリッド軸受と仮定します。グリース寿命の計算には、動的等価荷重 P の代わりに動的等価基準荷重 P_{ref} を用います。これにより、予圧も考慮することができます。数年のグリース寿命は信頼度が低いので、回転速度が小さい場合は75,000hを基本グリース寿命としました。

グリース寿命の結果はあくまでも目安です。通常、グリースには回転数の制限も指定されており、それを考慮する必要がありますが、このソフトではチェックされません。

3.4 定格荷重ダイアグラム

定格荷重ダイアグラムは、メニュー'計算' → '定格荷重ダイアグラム'で設定することができます。これにより、ユーザーがあらかじめ定義した4種類の値を一定に保ちながら、XY軸の変数を互いに比較する(M_z-F_x , F_x-M_z , F_y-F_x , F_x-F_y) 4種類のラインチャートを表示できます(図参照)。このダイアグラムは、旋回リングによく使われます。

Define load rating diagram
×

Points per line

Tolerance %

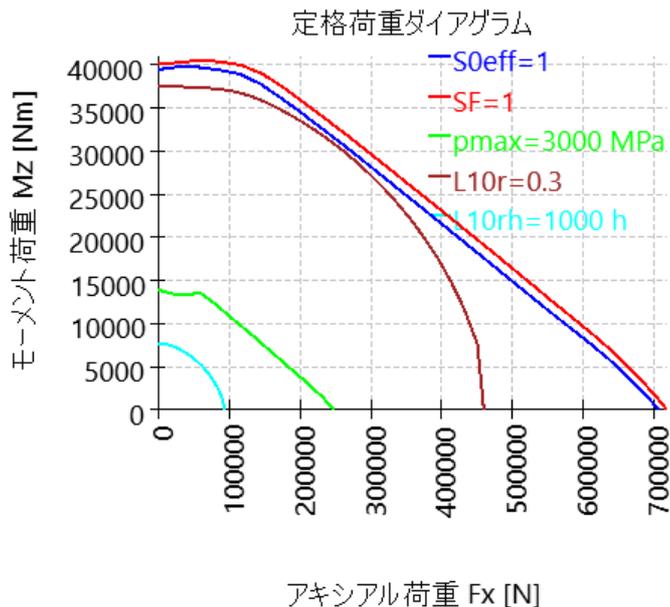
Calculate moment load M_z over axial load F_x
 Calculate axial load F_x over moment load M_z
 Calculate radial load F_y over axial load F_x
 Calculate axial load F_x over radial load F_y

| | Type | Value |
|---|--|-------|
| 1 | Static safety factor (S_{0eff}) [-] | 1 |
| 2 | Static safety factor (SF) [-] | 1 |
| 3 | Maximal pressure (p_{max}) [MPa] | 3000 |
| 4 | Basic reference rating life (L_{10r}) [-] | 0,3 |
| 5 | Basic reference rating life (L_{10rh}) [h] | 1000 |

+
—
×

Graphics
Close

次の図は、安全係数1、最大圧力3000MPa、300.000サイクル、50000時間のアキシアル荷重 (F_x) に対する傾きモーメント (M_z) の比較による荷重定格ダイアグラムの一例を示しています。



各アキシアル荷重に対して、選択された基準に達するまで傾きモーメントを増加させます。1本の線に使用する点の数と計算の公差を定義することができます。

3.5 ホイール軸受の計算

ホイール軸受計算では、荷重用の特別な入力を使用してホイール軸受の計算を行うことができます。荷重は、軸上の荷重の入力として質量「 m_a 」、ホイール半径「 r_w 」、および荷重位置からベアリング中心までのオフセット「 δ_x 」によって定義されます。

The screenshot shows a software dialog box titled "Wheel bearing calculation" with a close button (X) in the top right. It has four tabs: "General", "Default Cycle", "Results", and "Graphic". The "General" tab is selected and contains the following fields:

- Load on axis: m_a 1000 kg
- Wheel radius: r_w 300 mm
- Offset: δ_x 5 mm
- Wheel is connected to inner ring
- Temperature of shaft: T_i 20 °C
- Temperature of housing: T_e 20 °C
- Temperature Oil: T_{oil} 70 °C
- Basic reference rating life: LS_{L10rh} 36411 h
- Life factor: f_L 4.17594
- Total distance: distance 411799 km
- Maximal pressure: p_{max} 2602.23 MPa

At the bottom, there is a checkbox for "Generate full bearing report" (unchecked) and three buttons: "Calculate" (highlighted), "Report", and "Close".

デフォルトのサイクルは、ラジアル力係数「 f_r 」、アキシャル力係数「 f_a 」、回転速度「 n 」、および回転数によって定義されます。

ホイールが内輪に接続されている場合、荷重スペクトル力は次のように定義されます:

$$F_x = f_a \cdot m_a \cdot (9.81/2)$$

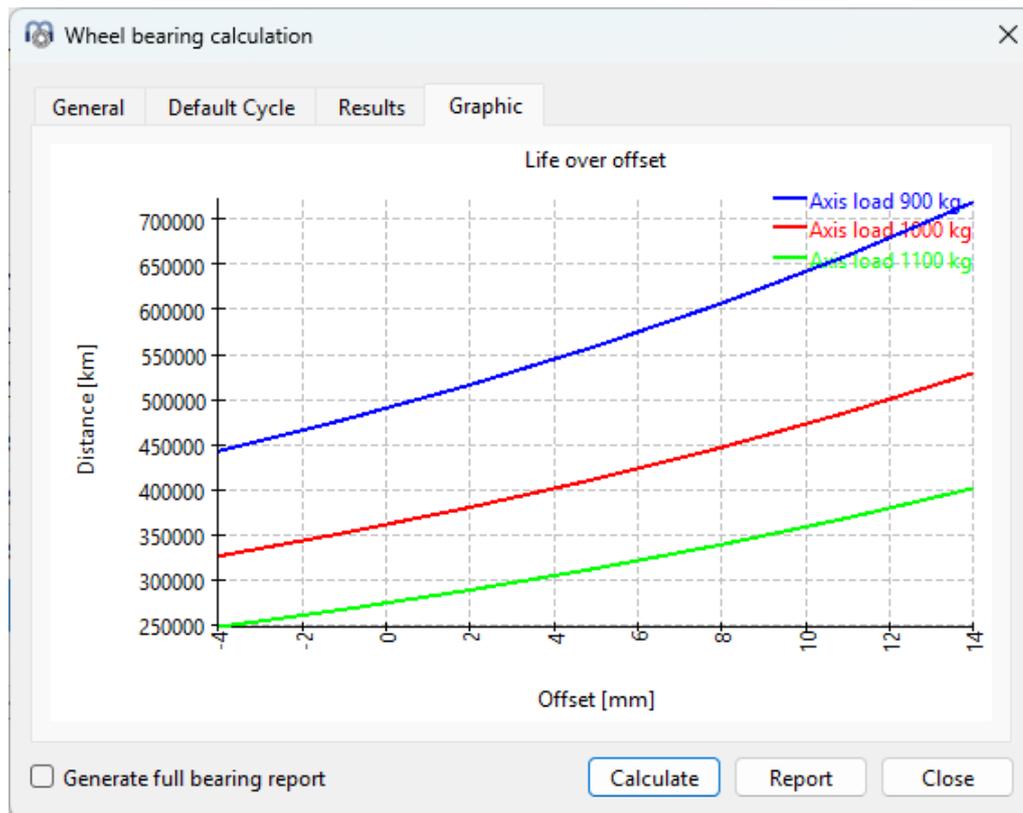
$$F_y = f_r \cdot m_a \cdot (9.81/2)$$

$$M_z = 0.001 \cdot (-F_y \cdot \delta_x + F_x \cdot r_w)$$

ホイールが外輪に接続されている場合は、反対の符号が使用されます。

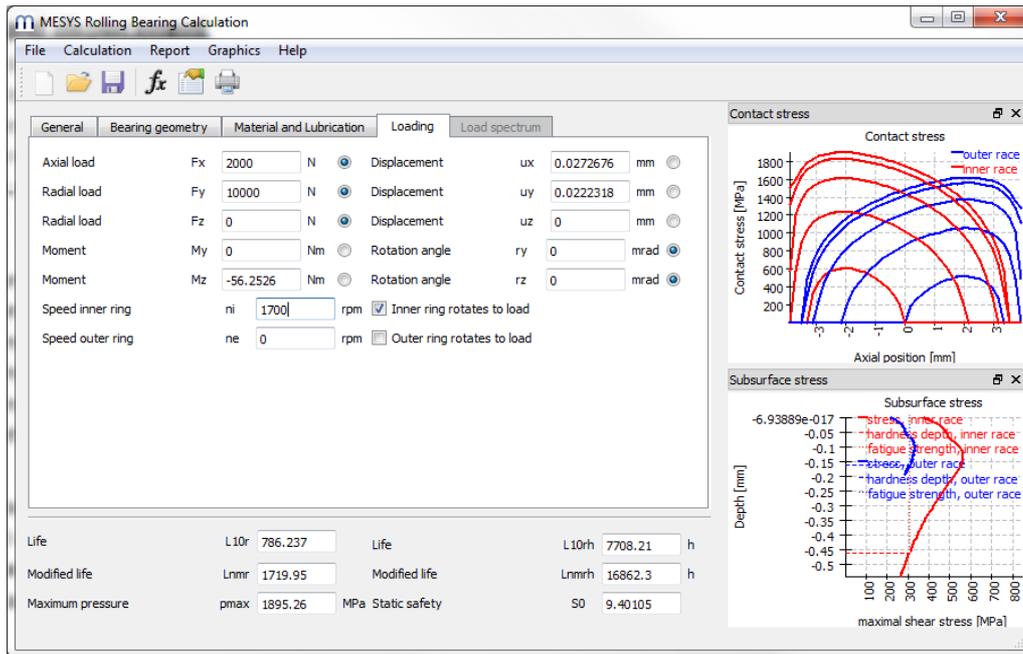
寿命係数「 f_L 」は、 $f_L = (L_{10rh}/500)^{1/p}$ として定義され、荷重に比例する安全係数として、500 時間の場合は 1.0 です。

結果の感度を確認するために、アキシャルオフセットと3軸荷重の変化を示すグラフが表示されます。:



3.6 結果

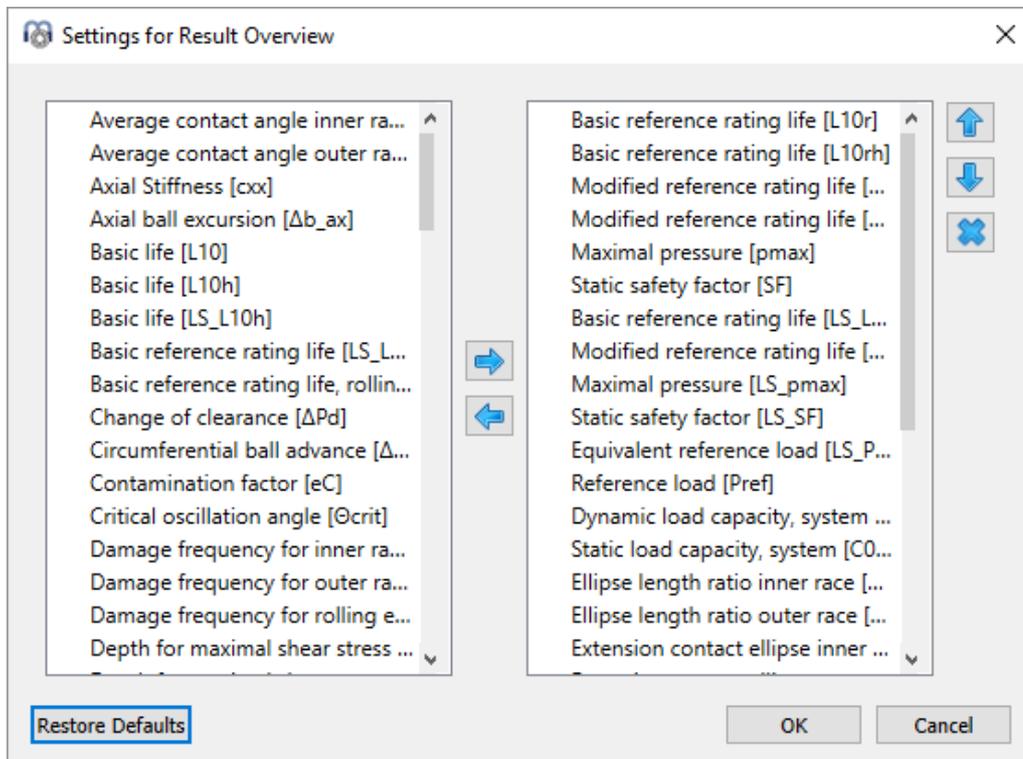
結果は、ソフトウェアに直接表示される少しの結果概要、メインのPDFテキストレポート、公差レポート、個別のグラフィックスウィンドウとして提供されます。グラフィックスウィンドウは、メインプログラムのインターフェイスにドッキングすることができ、計算ごとに自動的に更新されます。



3.6.1 結果の概要

結果の概要には、 10^6 回転による基準寿命 L_{10r} と時間単位の L_{10rh} で表示されます。また、信頼性と潤滑を考慮した修正定格寿命 L_{nmr} も 10^6 回転数および時間単位で示します。最大圧力と静的安全率は、最大荷重に関する情報を提供します。

結果の概要は、拡張→結果の概要で設定することができます。



左側のリストには、結果の概要に使用できる全ての項目が表示されます。矢印を使用して、選択した項目を右側のリストに移動し、結果の概要に使用することができます。選択した結果の順序は、右側の上下矢印で変更することができます。結果の概要には、実際に有効な結果値のみが表示されます。そのため、設定で選択した値より少ない値が表示されます。

結果の概要の設定は、計算ファイルではなく、ユーザー設定に保存されます。そのため、異なる計算でも同じ設定になります。

3.6.2 メイン結果レポート

テキストレポートはPDFフォーマットで提供されます。レポート例は、別資料として掲載しています。結果は、'軸受内部形状'、'荷重と変位'、'寿命'、'表面下応力'、'特性周波数'のセクションで提供されます。

Report options

Please select the contents for the report:

- Graphic: Load distribution
- Graphic: Contact stress
- Graphic: Spin to roll ratio
- Graphic: Wear Parameter PVmax
- Graphic: Thermal conductance
- Graphic: Rolling element load
- Graphic: Subsurface stress
- Graphic: Rotation over load
- Graphic: Load rating diagram
- Graphic: Track roller bending moment
- Graphic: Track roller forces
- Include subsurface stresses
- Include wear parameters
- Include data for inner geometry
- Include thermal permissible speed
- Include probable tolerances in tolerance table
- Include legend for tables
- Calculate stiffness matrix for load spectra
- Color in 3D view based on contact stress
- Graphic: Load distribution 2D
- Graphic: Contact angle
- Graphic: Ball advance
- Graphic: Wear Parameter QV
- Graphic: Roller profile
- Graphic: Displacement over load
- Graphic: Life over load
- Graphic: Track roller geometry
- Graphic: Track roller bending stress
- Graphic: Track roller displacement
- Include damage frequencies
- Include rolling element load tables
- Include basic life L10
- Include tolerance table
- Include load spectrum details
- Include section results in result tables

Contact stress for scaling: MPa

OK Cancel

“レポート>オプション”メニューで、レポートの内容を構成することができます。レポートに含めるグラフィックスを選択し、関心のないセクションは削除することができます。すべての表パラメータの凡例をレポートに表示することができます。

3.6.2.1 メインレポートの保存

メインレポートは、メニュー“レポート>レポートを名前を付けて保存”を使って、様々なフォーマットで保存することができます。PDF、DOC、DOCX、XLSX、ODT(Open Office)フォーマットで保存することができます。

3.6.2.2 レポートのロゴをカスタマイズ

デフォルトでは、レポートの上部にMESYSのロゴが表示されます。これは、“mesys.ini”ファイルでロゴを定義することによってカスタマイズできます。ロゴは、ヘッダーテーブルに収まるようなサイズで作成する必要があります。ロゴのDPI設定は、高解像度の画像も使用できるように考慮されています。また、サポートされているファイルフォーマット(DOC、DOCX、ODT)から独自のテンプレートを作成し、そこからレポートを生成することも可能で、ロゴをカスタマイズすることもできます。

3.6.3 公差レポート

メニュー“レポート>公差”では、公差に関する特別なレポートを作成することができます。選択された計算ケースの公差はメインレポートに含まれますが、追加レポートには最大、中間、最小のすきまの公差と圧力が表示されます。オプションで選択した場合、可能性のある最小、可能性のある最大すきまも含まれます。

3.6.4 カスタムレポートテンプレート

カスタムレポートテンプレートは、サブディレクトリ“templates/rbc”に追加することができます。“レポート>レポートテンプレート”でレポートテンプレートを選択することにより、これらのテンプレートに基づいてレポートを作成することができます。

レポートテンプレートは、DOCVARIABLEフィールドを持つワードファイルです。これらのフィールドは、レポート作成時に入力されます。

可能なフィールドは以下の通りです。

- DOCVARIABLE VAR name [unit]: 名前 'name' の変数名が印刷されます。オプションで、[mm] のように括弧で単位を指定することができます。さらに、% 6.3gや% 6.3fのようなフォーマットを追加することができます。'f'は常に固定小数点の出力を生成し、'g'は大きな数値の指数出力を生成します。
- DOCVARIABLE VARU name [unit]: 名前 'name' の変数名と単位が印刷されます。オプションで、[mm] のように括弧で単位を指定することができます。
- DOCVARIABLE TABLE tablename: 表が挿入されます。
- DOCVARIABLE GRAPHIC graphicName width=130 height=70: グラフィックスを挿入します。オプションで高さと幅をミリメートルで指定することができます。

変数名、テーブル名、グラフィックス名の詳細については、support@mesys.chに追加ドキュメントをお問い合わせください。

3.6.5 結果グラフィックス

いくつかの結果はグラフィックスとして表示することができます。すべてのグラフィックスがレポートに添付されるため、1つのドキュメントで完全なドキュメントが提供されます。

グラフィックスウィンドウのコンテキストメニュー(マウスの右ボタン)を使用すると、グラフィックスを外部出力したり、印刷したりすることができます。ダイアグラムの場合は、“ダイアグラムオプション”で単位や軸の範囲を調整することができます。

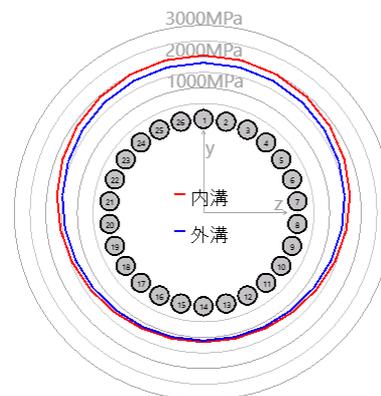
3.6.5.1 軸受コンフィギュレーション

軸受コンフィギュレーションは、軸受の列とその位置を示すものです。主に軸受コンフィギュレーションと一緒に使用されます。この画像を作成するには、軸受の内径と外径を定義する必要があります。



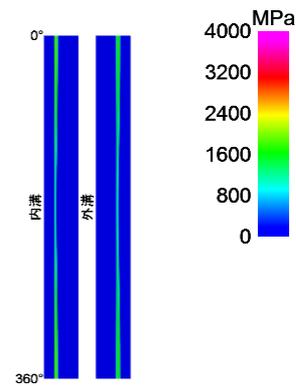
3.6.5.2 荷重分布

ラジアル荷重とアキシアル荷重を受け、比較的に高速で回転するアンギュラ玉軸受の接触応力を示しています。接触応力は、荷重域では内輪(赤色)が大きく、反対側の外輪は遠心力によりやや大きくなっています。



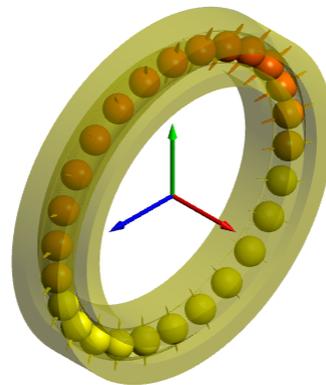
3.6.5.3 荷重分布2D

荷重分布2Dは、内輪と外輪の圧力分布をカラーstriップで表示します。レポートオプションで、スケールの最大応力を定義することができます。このグラフィックスは、単一の荷重ケースと全荷重スペクトルに対して利用可能です。このダイアグラムは、接触角の変化も表現しています。



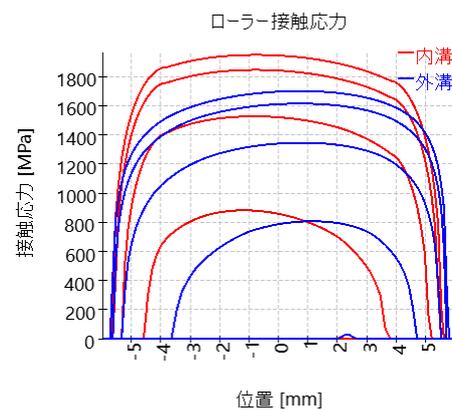
3.6.5.4 荷重分布3D

軸受の荷重分布を3次元で可視化したダイアグラムです。転動体と接触楕円の色で応力レベルが表示されます。ビジュアライゼーションは、どのような視点でも正確に描画することができます。3Dビューは、マウスの左ボタンで回転させることができます。パニングは“Shift”キーを、ズームは“Ctrl”キーを押すことで可能です。



3.6.5.5 ころ軸受の接触応力

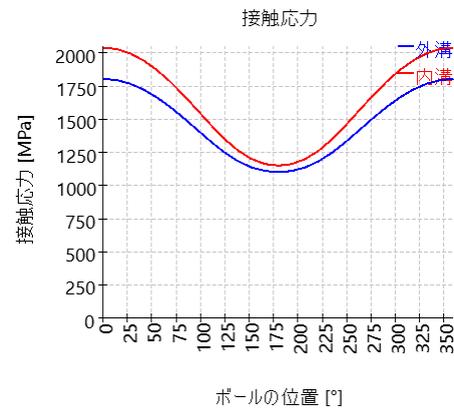
ころ軸受の接触応力は、アキシャル位置またはころの長さによって表示されます。この例は、ラジアル荷重とアキシャル荷重がかかり、内輪と外輪の間にミスアライメントがない円筒ころ軸受の場合です。アキシャル荷重を受けるとローラーが傾くため、ラジアル荷重はローラーの長さ方向に均等に分散されません。



アキシャル円筒ころ軸受とアキシャル自動調心
ころ軸受は、ころの向きは内側から外側へ、それ以外の軸受は左から右へなります。

3.6.5.6 接触応力

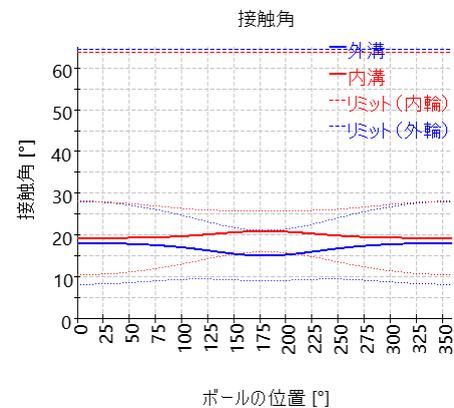
接触応力は、[荷重分布](#)^[226]の極座標プロットに加えて、図にも表示できます。ボールベアリングの切捨ての場合、切捨てされた接触の追加応力は、[FrantzとLeveille](#)^[320]に従って点線で表示されます。



3.6.5.7 接触角

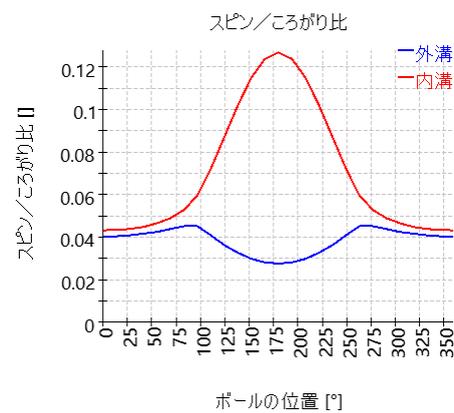
呼び接触角 20° のアンギュラコンタクトベアリングの接触角を示します。負荷領域では内輪と外輪の接触角はほぼ等しいですが、負荷領域とは反対側では遠心力により大きな差が生じています。

接触楕円の延長を点線で示すと、 0° で広い接触楕円を持ち、 180° で小さい接触楕円を持つこととなります。肩に相当する接触角は上部の破線の直線で表示されているので、この場合、肩は十分に高い位置にあることがわかります。



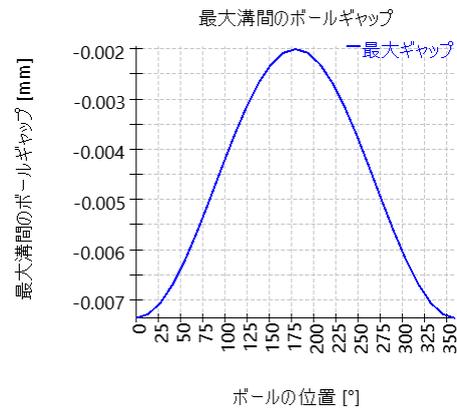
3.6.5.8 スピン／ころがり比

スピン／ころがり比を表示することもできます。計算では、設定中のジャイロモーメントの設定を考慮します。内輪、外輪の軌道制御が定義されていない場合、スピンの分布はクーロン摩擦を基にしています。



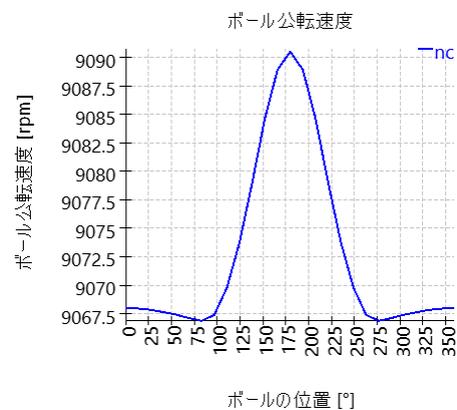
3.6.5.9 最大溝間のボールギャップ

この図は、2つの軌道輪の間にどれだけのスペースがあるかを示しています。値が負の場合、ボールは負荷がかかっており、正の場合、ボールは接触を失う可能性があります。この図は、2つの軌道輪間の幾何学的な距離のみを使用しており、遠心力のため、ボールはまだ負荷がかかっている可能性があります。



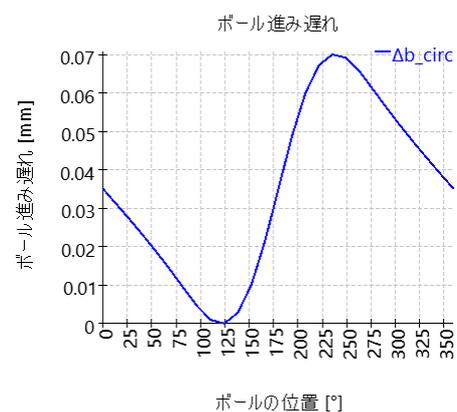
3.6.5.10 ボール公転速度

ボールの公転速度は、各ボールの接触角に基づいて計算されます。



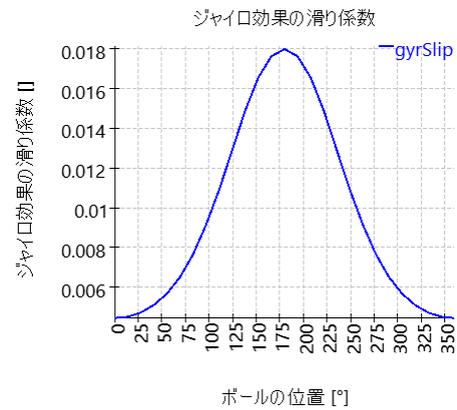
3.6.5.11 ボール進み遅れ

円周方向のボール進み遅れをグラフィックスで表現しています。1つのセクションで各ボールの公転速度が一定であると仮定して計算されています。接触角が変化するため、ボール公転速度は転動体間で変化します。このため、転動体間の距離も変化します。高速回転の場合、ボールの進み遅れは保持器ポケットのすきまより小さくする必要があります。



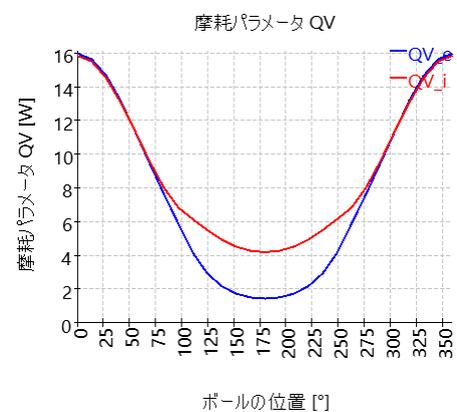
3.6.5.12 ジャイロ効果の滑り係数

ジャイロ効果の滑り係数は、ジャイロモーメントによる滑りを回避するために必要な摩擦係数です。これは、滑りが発生する可能性があるかどうかを示す指標にすぎません。



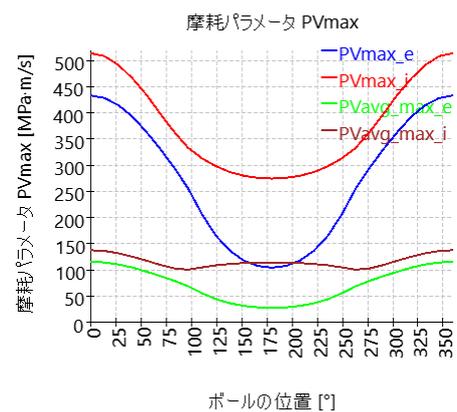
3.6.5.13 摩耗パラメータ QV

玉軸受の場合、スピンと転がり速度は接触楕円で計算されます。摩耗パラメータ QV は、各接触領域で次のように計算されます。 $QV = \int (p \cdot v) dA$



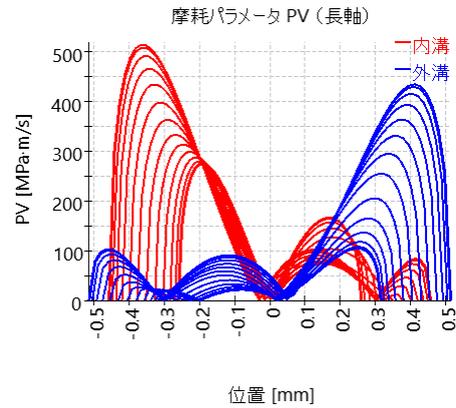
3.6.5.14 摩耗パラメータ PVmax

摩耗パラメータ PVmax は、接触楕円における生成圧力掛ける滑り速度の最大値です。



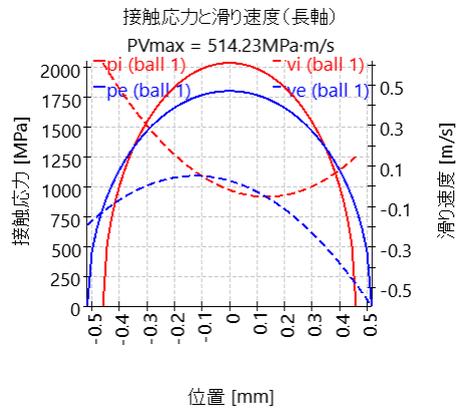
3.6.5.15 摩耗パラメータ PV (長軸)

この図は、すべての転動体の接触楕円の長軸上の摩耗パラメータPVを示しています。



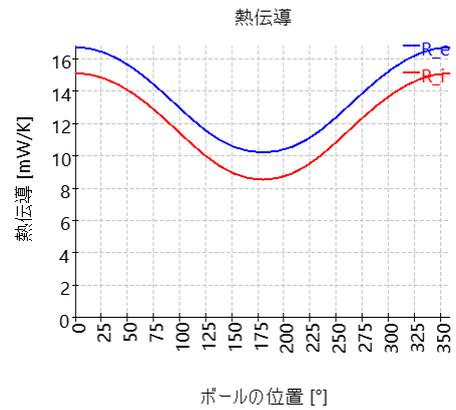
3.6.5.16 接触応力と滑り速度 (長軸)

この図は、PVmax のボールの接触応力と滑り速度を示しています。コンテキストメニューのグラフィックオプションを使用すると、別のボールを選択できます。



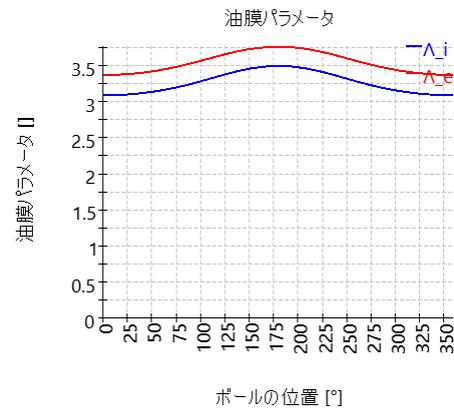
3.6.5.17 熱伝導

この図は玉軸受の各接触部の熱伝導率を示しています。



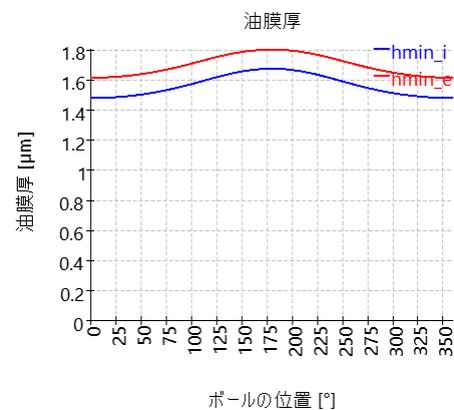
3.6.5.18 油膜パラメータ

膜厚の計算が有効になっている場合は、油膜パラメータ Λ の図が表示されます。



3.6.5.19 油膜厚

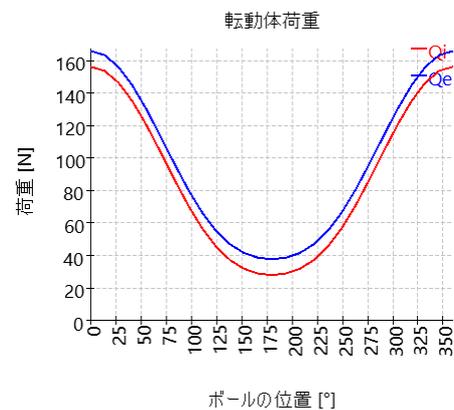
膜厚の計算を有効にすると、膜厚の図が表示されます。



3.6.5.20 転動体荷重

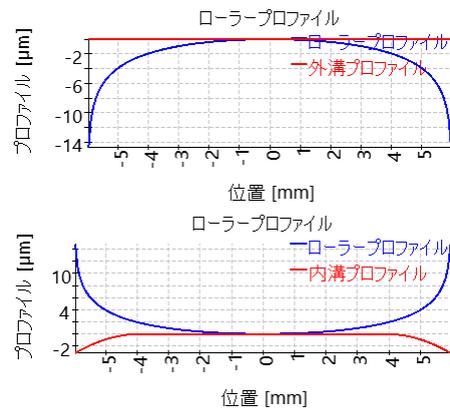
この図は、玉軸受の内輪と外輪の接触にかかる荷重を示しています。ころ軸受の場合、内輪接触のローラー荷重と肩にかかる力が表示されます。

アキシアルすきまがないか、または非常に小さいアキシアルすきまと傾斜角度を持つNUPタイプの円筒ころ軸受の場合、この図を使用して肩部の力をチェックできます。ローラーを傾けるための十分なスペースがない場合に、このような問題が発生する可能性があります。



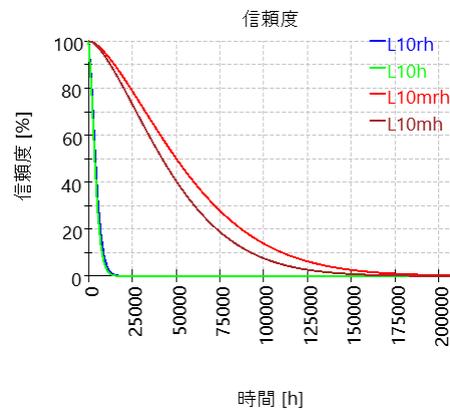
3.6.5.21 ローラープロフィール

ローラープロフィールと溝（レース）のプロファイルは、グラフィックスで表示することができます。プロフィールは、圧力分布の拡張機能が有効な場合にのみ、ユーザー設定することができます。



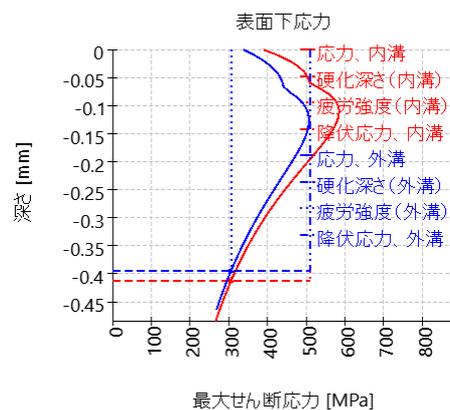
3.6.5.22 信頼度

この図は、寿命時間にかかるベアリング寿命の4つの結果に基づく信頼性を示しています。これは、特定の寿命時間における故障確率（100% - 信頼性）を評価するために使用できます。



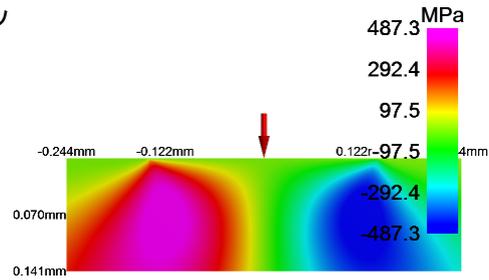
3.6.5.23 表面下応力

表面下せん断応力は、最も表面圧力の高い接触に対して示しています。内輪と外輪の疲労強度に依存する要求硬化深さをダイアグラムで示します。赤い曲線は内輪のせん断応力、青い曲線は外輪のです。



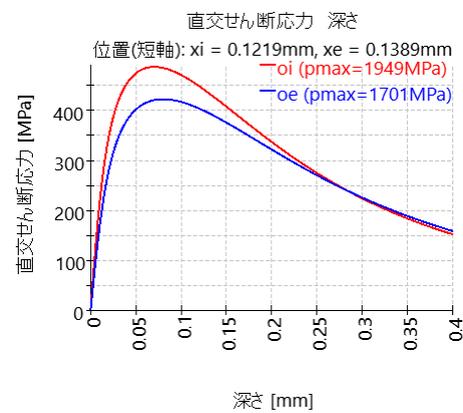
3.6.5.24 直交せん断応力

内輪と外輪の直交せん断応力は、カラープロットとして表示できます。この図は、最大接触応力との接触について示されます。



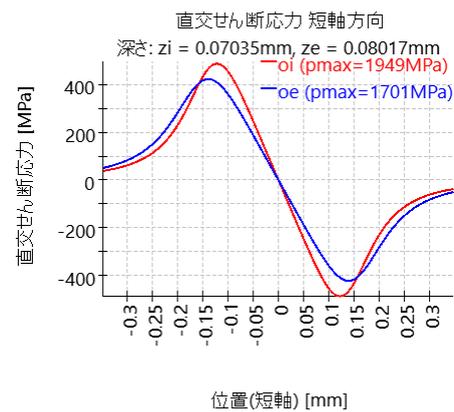
3.6.5.25 直交せん断応力 深さ

深さに対する直交せん断応力も図で表示できます。



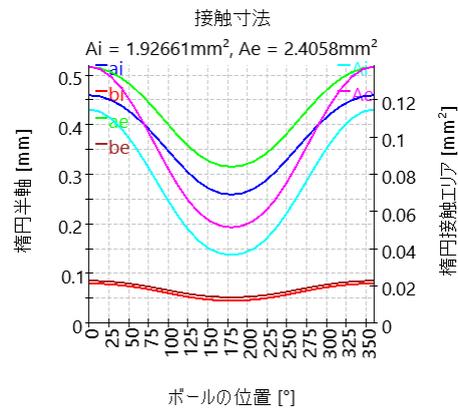
3.6.5.26 直交せん断応力 短軸

直交せん断応力は接触面の下ではゼロで、接触面の中心から一定の距離で最大になります。これは、短軸上の位置における直交せん断応力の図で確認できます。



3.6.5.27 接触寸法

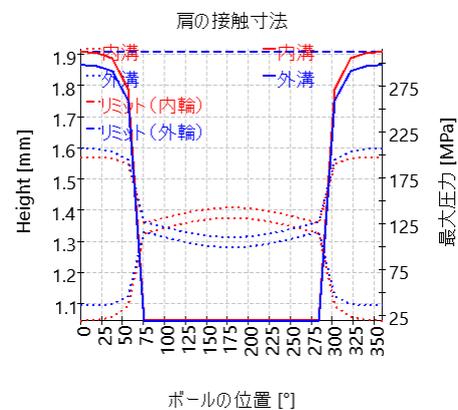
この図には接触楕円と接触面の寸法が示されています。半軸の寸法も結果表に記載されています。



3.6.5.28 肩の接触寸法

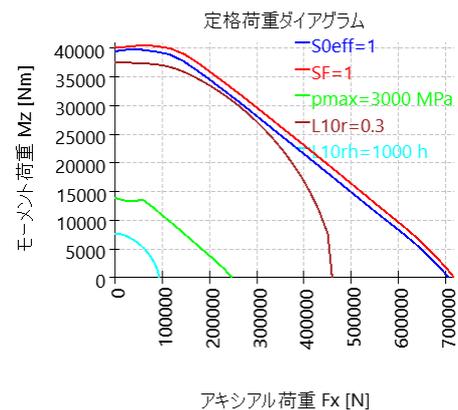
この図は、接触形状が定義されている場合のラジアル円筒ころ軸受およびテーパころ軸受の肩部上の接触楕円の位置と延長を示しています。

点線は接触楕円の限界を示し、上部の破線は肩部の高さを示しています。高さは、軌道面から始まる半径として示されます。実線は接触応力を示しています。



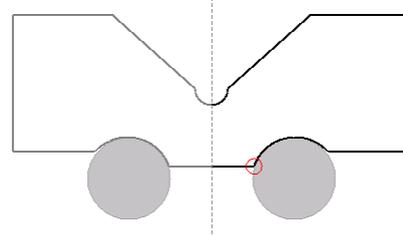
3.6.5.29 定格荷重ダイアグラム

定格荷重ダイアグラムは、'計算' → '定格荷重ダイアグラム' で設定できる基準ごとの傾きモーメントとアクシアル荷重の許容範囲を示しています。



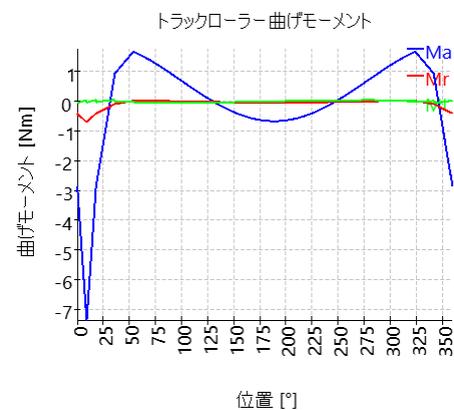
3.6.5.30 トラックローラー形状

トラックローラーの形状をポイントデータで設定した場合、その形状を表示します。左右対称のセグメントの場合、ミラーをグレーで表示し、曲げのクリティカルポイントを赤丸で表示します。



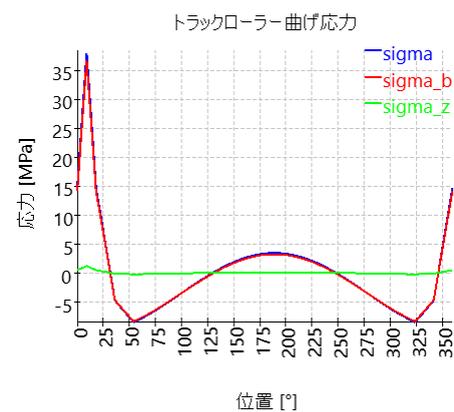
3.6.5.31 トラックローラー曲げモーメント

トラックローラー曲げモーメントは、ローカル座標系を使用して表示します。対称断面での純粋なラジアル荷重の場合、軸受軸周りのモーメント M_a のみが発生します。モーメント M_r はラジアル軸まわりの傾きモーメント、モーメント M_t は、外輪を記述する梁のねじりモーメントです。



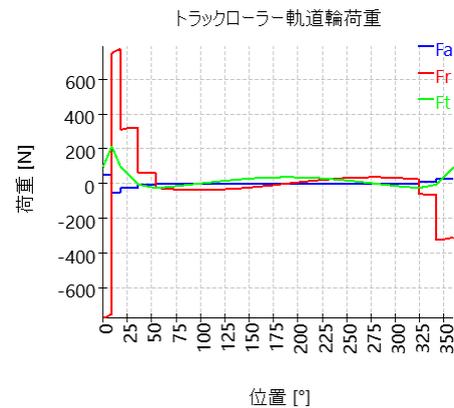
3.6.5.32 トラックローラー曲げ応力

曲げ応力と引っ張りによる応力はダイアグラムに表示されています。曲げ応力は、マニュアルまたはソフトウェアによって自動的に定義されたクリティカルポイントに対して計算されます。これらの応力は、外輪の静的および動的な安全係数を計算するために使用されます。



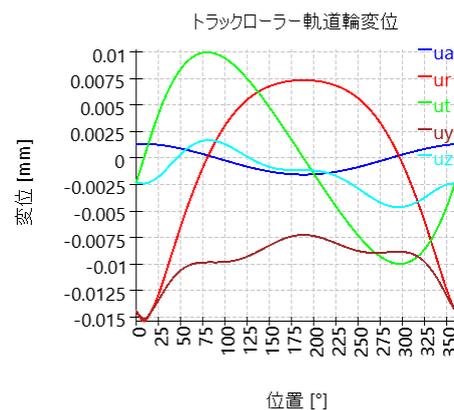
3.6.5.33 トラックローラー荷重

外輪をモデル化したビーム(梁)にかかる力を示します。力 F_a は軸受軸方向の力なので、梁にかかるせん断力です。力 F_r はラジアル方向のせん断力、 F_t は接線方向の力なので、梁の引っ張り(正)または圧力(負)です。
また、 0° 、 60° 、 300° にのみ荷重が導入されているため、3つの転動体のみに荷重がかかっていることがわかります。



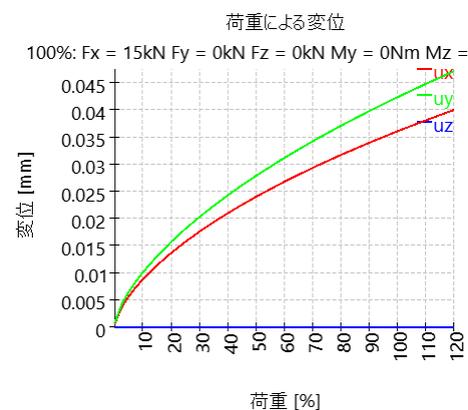
3.6.5.34 トラックローラー変位

変位は、ローカル座標とグローバル座標で表示されます。グローバル座標では、この例が主に負のY方向の外輪の剛体運動であることがすぐにわかります。他の例では、軌道輪の変形は異なるかもしれないので、ローカル座標の値がより重要になります。



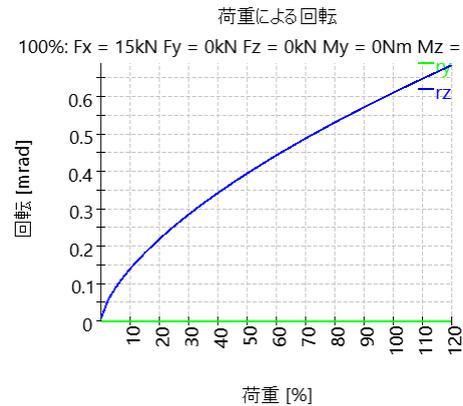
3.6.5.35 荷重に対する変位

荷重に対する変位はグラフィックスで表示することができます。全ての荷重成分に荷重の係数が掛けられ、変位が表示されます。荷重のみが荷重係数と掛け合わされ、入力された変位や回転は変更されません。
このダイアグラムは、剛性に関する情報として使用することができます。荷重のタイプ(アキシャルまたはラジアル)に応じて、異なる剛性を計算することができます。



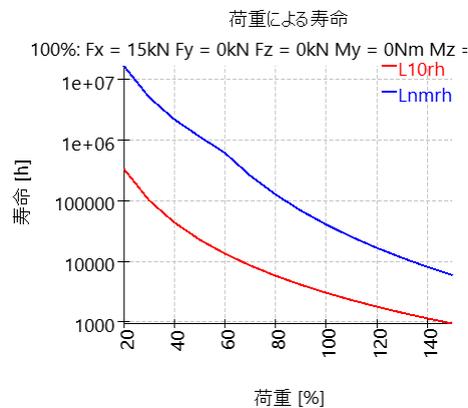
3.6.5.36 荷重に対する回転

前のグラフィックスと同様に、回転は荷重の係数に依存して表示されます。このグラフィックスは、モーメントを入力とする場合にのみ表示され、傾き角度を入力とする場合には表示されません。すべての荷重は荷重の係数が掛け合わされます。



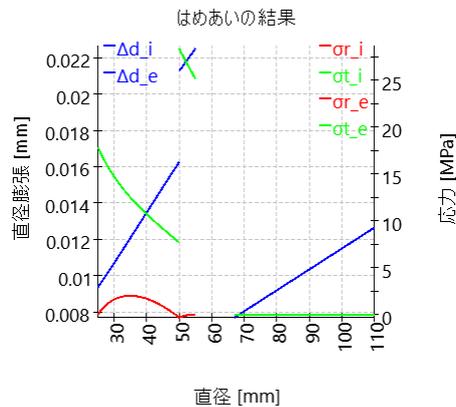
3.6.5.37 荷重に対する寿命

荷重係数に対する寿命は、ダイアグラムで表示することができます。すべての荷重とモーメントに荷重係数が掛けられ、変位/回転のためのすべての入力は一一定です。参考に荷重はダイアグラムの上部に表示されます。



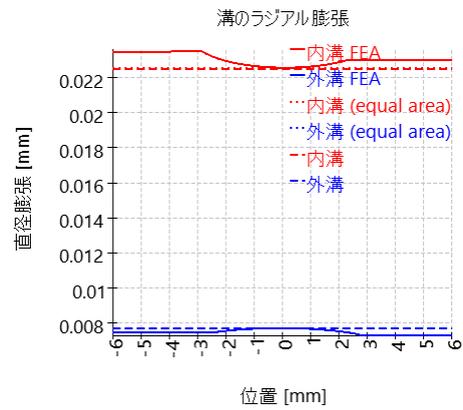
3.6.5.38 はめ合いの結果

この図は、はめ合いの計算結果を示しています。青い線は直径に対する直径の膨張を示し、赤と緑の線ははめ合い時の半径方向と接線方向の応力を示します。



3.6.5.39 軌道輪のラジアル膨張

軸対称FEAを用いて、はめあい、温度、遠心力を考慮した溝(レース)のラジアル膨張を計算します。比較として、はめ合いの計算で使った厚肉リング形状でのラジアル膨張量を示しています。破線はデフォルトのはめあい計算、点線は等価断面積を用いた計算です。このグラフィックを使って、実際の条件に対してどちらの方法が適しているかをチェックすることができます。



MESYS ボールねじ計算

4 MESYS ボールねじ計算

このボールねじ計算 (Version 12/2024) は、ISO 16281 (DIN 26281) に従って、荷重分布と基準定格寿命を計算します。

ボールねじの内部形状は、ユーザーが提供する必要があります。運転すきまを指定することができます。荷重は、5つの自由度に対して荷重とモーメント、または変位と回転をそれぞれ独立して指定することができます。複数列のコンフィギュレーションを使用することにより、軸受セットを定義することができます。

レポートには以下の結果が掲載されています。

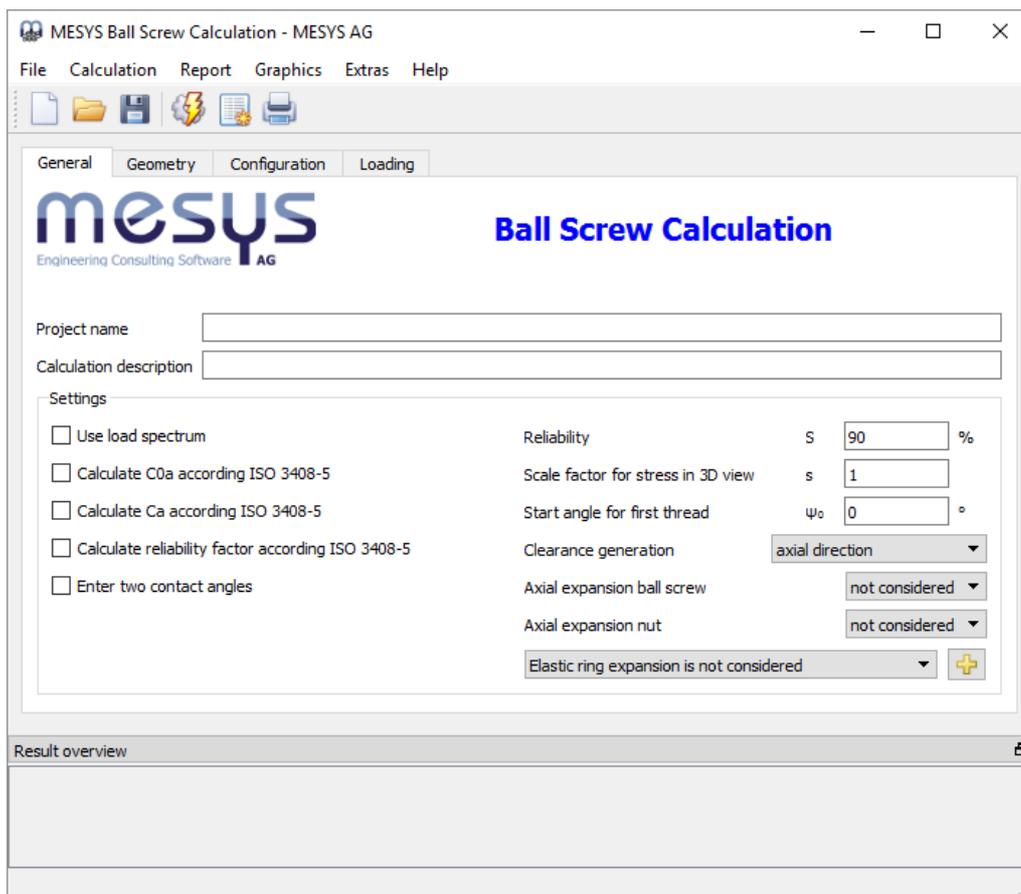
- [ISO 16281](#) ^[319]による基準定格寿命
- 転動体間の荷重分布
- 反力/モーメントと荷重と変位/回転
- 各接点における接触圧力
- 静的安全係数

レポート表示に加えて、結果はいくつかのグラフィックスで表示されます。レポートとユーザーインターフェースの両方が、メートル単位またはUSカスタム単位で利用可能です。ユーザーインターフェースとレポートでサポートされている言語は、英語、ドイツ語、フランス語、スペイン語、イタリア語、トルコ語、日本語、韓国語、中国語です。

4.1 入力パラメータ

4.1.1 一般

最初の入力画面では、プロジェクト名その他、いくつかの設定を行うことができます。



4.1.1.1 プロジェクト名と計算概要

プロジェクト名と計算概要は、レポートヘッダに表示される単なる入力項目です。これらは、文書化のために計算の目的についての情報を入力するために使用することができます。

4.1.1.2 荷重スペクトルを使う

単一の荷重ケースの代わりに荷重スペクトルを使うことができます。このオプションは、ここで有効にすることができます。各荷重ケースについて、すべての係数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(荷重ケース)の寿命を使用して計算されます。結果グラフィックスは、荷重スペクトルの選択された結果要素についてのみレポートに表示されます。ただし、荷重スペクトルの任意の要素番号(ケース番号)に対応する結果グラフィックスは、メニュー'グラフィックス' → '荷重スペクトル' で表示することが可能です。

メニュー'グラフィックス'で利用可能な他のすべてのグラフィックスは、選択された要素に対してのみ有効です。

さらに、'グラフィックス' → '荷重分布(荷重スペクトル)' では、すべての荷重分布のケースを同時にチャート上に重ね合わせることができます。これはローラーグラフィックスでも可能です。

なお、1つの荷重ケースに対して計算を行った場合、レポートにはより多くの中間結果が印刷されます。

4.1.1.3 ISO 3408-5に従ってCOaを計算

このオプションを選択した場合、静定格荷重は(ISO 3408-5, 2006)に従って計算されます。この場合、ヤング率などの材料特性は静定格荷重に影響を及ぼしません。

このオプションを選択しない場合、静定格荷重は(ISO 3408-5, 2006)に従って計算されますが、k0の代わりに(ISO/TR 10657, 1991)に従ってf0が使用されます。この場合、静定格荷重はアキシアル玉軸受の許容接触応力4200MPa(ISO 76, 2006)に基づいて計算されます。

4.1.1.4 ISO 3408-5に従ってCaを計算

このオプションを設定すると、動的定格荷重は(ISO 3408-5, 2006)の式8の指数0.86を使用して計算されます。このオプションが設定されていない場合は、(ISO 281, 2007), (ISO/TR 1281-1, 2008) または(Lundberg, et al., 1947) のように指数 0.7 が使用されます。

基本動定格荷重は、以下に従って計算されます。

$$C_a = f_c \cdot (i \cdot \cos \alpha)^{0.86} \cdot \tan \alpha \cdot z_l^{2/3} \cdot D_w^{1.8} \cdot (\cos \alpha)^{1.3}$$

指数 0.86 または指数 0.7 のいずれかによって。

4.1.1.5 ISO 3408-5 に従って信頼度を計算

このオプションが設定されている場合、信頼度の修正係数は(ISO 3408-5, 2006)に従って、2/パラメータワイブル分布として計算されます。このオプションが選択されていない場合は、(ISO 281, 2007), (ISO/TR 1281-1, 2008) に従って3/パラメータワイブル分布が使用されます。

4.1.1.6 2点の接触角の入力

1つまたは2つの接触角を定義することができます。ネジとナットで異なる接触角を使用することができます。接触角は、ボールがねじまたはナットに半径方向に接触することによって定義されます。

4.1.1.7 信頼度 S

デフォルトでは、軸受の寿命は信頼度90%で計算されます。要求される信頼度は、リミット90%、<100%で変更可能です。信頼度の寿命修正係数'fac'は、(ISO/TR 1281-2, 2008)の3/パラメータワイブル関係、または(ISO 3408-5, 2006)の2/パラメータワイブル関係のどちらかを用いて、この入力値により計算されます。

4.1.1.8 3D表示における応力の倍率 s

3D表示における4000MPaの接触応力の場合、応力分布はs*Dwにスケールされます。

4.1.1.9 最初の溝のスタート角 Ψ_0

スタート角は、最初の溝の左端の角度位置を定義します。角度0°の場合、スタート角は

Y軸上になります。角度は、最初のボールの前のギャップの真ん中の位置を定義します。

4.1.1.10 すきまの発生

呼び接触角、ボールの直径、溝（レース）の半径は、すきまゼロの場合の曲線中心の位置を定義するために使用されます。

すきまを定義するには、4つの方法があります。

1. 曲線中心をアキシアル方向に移動させます。これは、接触角がゼロより大きいゴシックプロファイルにのみ可能です。達成できる最大すきまは制限されます。
2. 曲線中心をラジアル方向に移動させます。
3. 曲線中心を接触角の方向に移動させます。接触角が0の場合は使用できません。
4. ボール径の縮小によるすきまの発生。負荷容量の計算には転動体径を小さくしたものを使用するため、負荷容量が若干減少します。

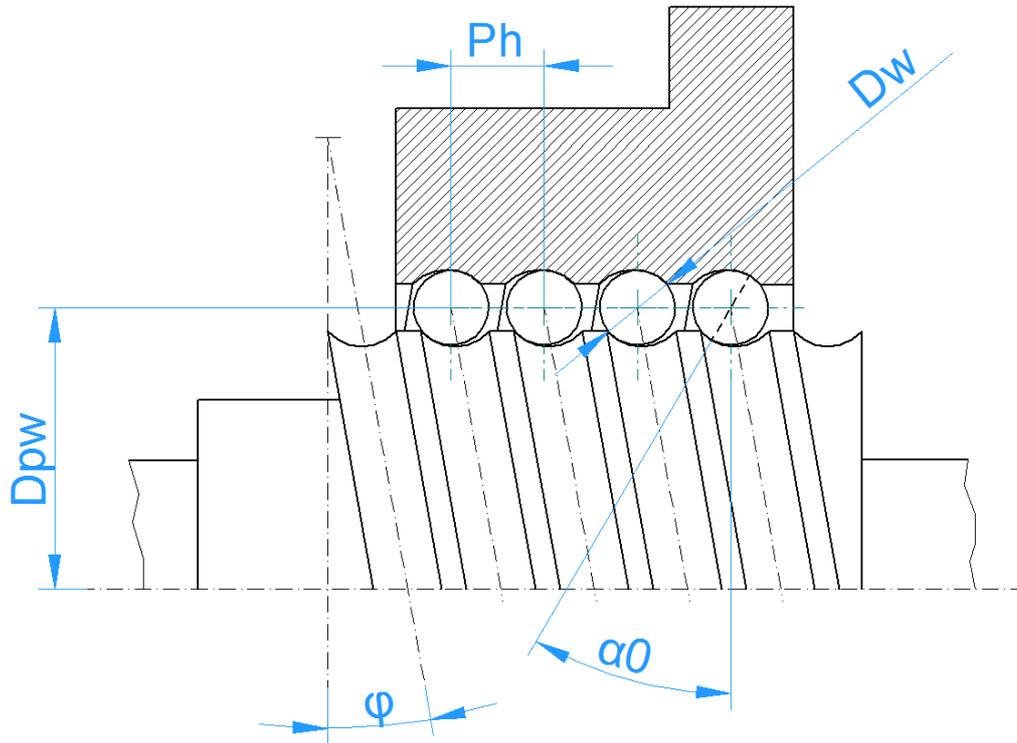
4.1.1.11 ボールねじとナットのアキシアル膨張

ボールねじとナットのアキシアル膨張については、3つの選択肢を用意しています。“考慮しない”、“左に固定”、“右に固定”の3種類です。片側に荷重をかけた場合、アキシアル応力により、ねじはアキシアル方向に伸びるか縮みます。“左に固定”は、要素の左側に荷重がかかり、軸方向の応力が右側に減少することを意味します。

4.1.1.12 弾性輪の膨張

ラジアル荷重による弾性体の膨張・圧縮を考慮することができます。計算には、外側または内側が一定の圧力である厚いリングの理論に基づいています。この弾性変形の計算には、ボールの最小または中程度の接触力が用いられます。この変形は、ナットの全長にわたって一定です。したがって、この方法は純粋なモーメント荷重には適しません。

4.1.2 ボールねじ形状



| General | Geometry | Configuration | Loading | | | | | | |
|---------------------------------|----------|---------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------|----|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Number of starts | ns | 1 | Dynamic load number | Ca | 0 | kN | <input type="checkbox"/> | | |
| Number of turns | nt | 1 | Static load number | COa | 0 | kN | <input type="checkbox"/> | | |
| Lead | Ph | 0 | mm | <input checked="" type="radio"/> | Axial clearance | Pa | 0 | mm | <input type="checkbox"/> |
| Lead angle | phi | 0 | ° | <input type="radio"/> | Tolerance class | 5 | | | |
| Direction | right | | <input type="checkbox"/> | Material ball screw | Steel | | | <input type="button" value="+"/> | |
| Number of loaded balls per turn | zl | 0 | <input type="checkbox"/> | Material ball nut | Steel | | | <input type="button" value="+"/> | |
| Ball diameter | Dw | 0 | mm | Material rolling element | Steel | | | <input type="button" value="+"/> | |
| Pitch diameter | Dpw | 0 | mm | Ball screw inner diameter | dsi | 0 | mm | | |
| Contact angle | alpha | 0 | ° | Nut outer diameter | dhe | 0 | mm | | |
| Conformity ball screw | frs | 0.52 | <input type="button" value="+"/> | Ball screw lead error | Delta_Pn | 0 | mm | | |
| Conformity ball nut | frn | 0.52 | <input type="button" value="+"/> | | | | | | |
| Shoulder diameter ball screw | dSi | 0 | mm | <input type="button" value="+"/> | | | | | |
| Shoulder diameter ball nut | dSe | 0 | mm | <input type="button" value="+"/> | | | | | |

4.1.2.1 負荷容量

負荷容量には入力と出力があります。ユーザーが指定した場合は、材料の表面硬さによって変更されることはありません。表面硬さは、ソフトウェアで計算された値の場合のみ考慮されます。

負荷容量は、呼び接触角 α ではなく、フリー接触角 α_0 を使用して計算されます。これは主に、溝（レース）でフルレジアスを使用する場合の呼び接触角がゼロの場合に違いが生じます。

4.1.2.1.1 動定格荷重

動定格荷重は、軸受寿命の計算として使用されます。これは(ISO 3408-5, 2006)に従って計算され、(ISO/TR 1281-1, 2008)に従って係数 f_c が計算されます。指数としては、(ISO 281, 2007)による0.86 または0.7 が使用されます。

動定格荷重は、材料特性で可能な修正係数によって影響を受ける可能性があります。

4.1.2.1.2 静定格荷重

静定格荷重は、(ISO 76, 2006) および(ISO/TR 10657, 1991) または(ISO 3408-5, 2006)に基づいて計算されます。

4.1.2.2 始点の数

始点の数は、リードとピッチの比率、または平行なボールラックの数を定義します。

4.1.2.3 巻数

各ボールラックには、この巻数があります。整数値である必要はありません。

4.1.2.4 リード

リードは、360°回転したときのナットのアクシアル方向の移動量です。

4.1.2.5 リード角

リードの代わりに、リード角を入力として使用することができます。リードは

$$P_h = D_{pw} \cdot \pi \tan \varphi$$

4.1.2.5.1 方向

リードは右利き、左利きのどちらかを選択できます。回転する方向は、この入力で定義されます。

4.1.2.6 1巻毎のボール荷重の数

1巻毎のボールの数は、通常(ISO 3408-5, 2006)に基づいて計算されます。スペーサーを使用する場合は、上書き可能です。

4.1.2.7 転動体径

ボールの直径を指定します。

4.1.2.8 ピッチ円径

ピッチ径は、転動体の中心が両溝(レース)に対して同量のすきまを持つときの直径です。この値と転動体の径、接触角、すきまによって内輪と外輪の径が計算されます。

4.1.2.9 接触角

1つまたは2つの接触角を定義することができます。接触角が0より大きい場合はゴシックプロファイルが使用され、接触角が0の場合はフルジェラルが使用されます。

フルジェラルを使用する場合、すきまは半径方向またはボール径の縮小によって発生させる必要があります。

4.1.2.10 ボールねじとボールナットの曲率比

曲率比は、溝(レース)の曲線半径とボールの直径の比率です。幾何学的な理由により、この値は0.5より大きくなければなりません。ISO 281の表の計算で使用される値は、以下のとおりで、ラジアル玉軸受の場合 $f_i = f_e = 0.52$ 、スラスト玉軸受の場合 $f_i = f_e = 0.535$ となり、(ISO/TR 1281-1, 2008)に記載されている値です。

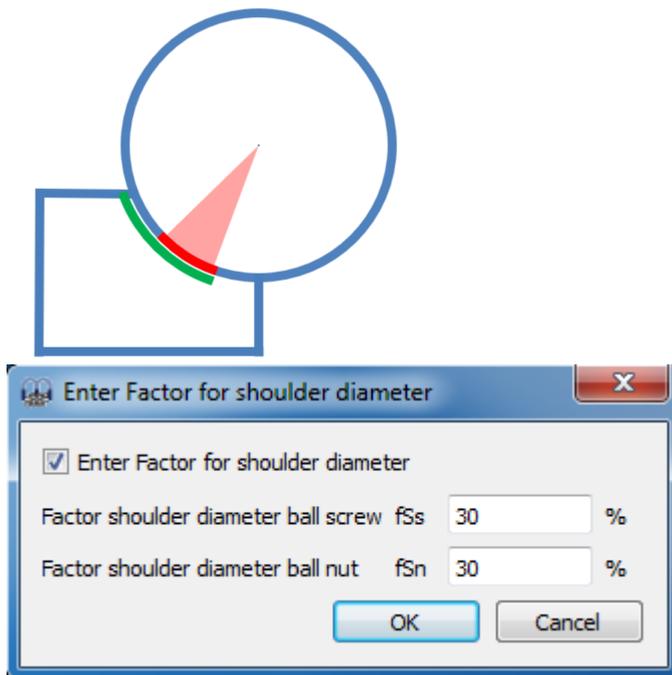
入力欄の後ろにある  ボタンを使用すると、指定された半径から曲率比を計算することができます。ローラーとピッチ径が正しいことを確認してから入力してください。

4.1.2.11 内輪と外輪の肩の径

内輪と外輪の肩の径を定義することができます。

肩の径は、接触楕円の最大延長と比較されます。楕円が肩より上に出ってしまう場合は、警告が表示されます。この場合、ヘルツ応力は有効ではありません。

要求される肩の径は、肩の長さの安全性を示す長さ比 eLR_i 、 eLR_e とともにレポートに表示されます。長さ比は、接触楕円の下端から肩までの長さ(グラフィックス中の緑の線)を接触楕円の長さ $2a$ (グラフィックス中の赤い線) で割ったものと定義されます。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。



絶対値を使用する代わりに、転動体径に対するパーセンテージで肩の高さを定義することができます。50% の場合、ピッチ円径までの肩となるため、10% ~ 40% の間で設定する必要があります。この係数を使用すると、ボール径やピッチ径を変更した際にデフォルトの形状を設定することができます。

4.1.2.12 アクシアルすきま

アクシアルすきまとは、プラス方向とマイナス方向の軸方向変位量の差のことです。ゴシックプロファイルの場合は負にすることができますが、フルジェアスプロファイルの場合は正にする必要があります。

予圧は、アクシアルすきま p_a に負の値を用いて入力することができます。☰-ボタンを押すと、アクシアルすきまの代わりにラジアルすきまを入力することができます。また、フルジェアルプロファイルの場合はフリー接触角を使用することができます。

4.1.2.13 精度クラス

静定格荷重と動定格荷重を計算する際に、精度クラスを考慮します。

4.1.2.14 材料

ボールねじの材料、ナットの材料、ボールの材料を設定することができます。⊕-ボタンを使用すると、硬度および材料処理も定義することができます。

ボールの材料は、荷重分布の計算における接触剛性のみ影響し、寿命の計算には考慮されません。

4.1.2.15 ボールねじの内径

中空ねじの場合の内径。この入力は、アキシャルまたはラジアル方向の膨張を考慮した場合のみ使用されます。

4.1.2.16 ナットの外径

ナットの外径。この入力は、アキシャルまたはラジアル方向の膨張を考慮する場合のみ使用されます。入力値が0の場合、内部的には $D_{pw} + 20 \cdot D_w$ の直径が使用されます。

4.1.2.17 ボールねじリードエラー

ボールねじのリードエラーのオプションです。荷重分布に影響を与えます。

4.1.3 軸受コンフィギュレーション

計算としては、ナット群を考えることができます。ナットは、剛体のシャフトとハウジングに接続されているものとします。荷重または変位は、各単一軸受の代わりに、軸受グループの原点に対して与えられます。

各ナットの相対位置を入力することができます。アキシャルオフセットにより、システム内の予圧を定義することができます。オフセットは、ボールナットの追加移動となります。荷重時の変位、荷重とモーメントは、基準位置0に適用されます。よって、ほとんどの場合、位置はゼロの廻りに対称となります。

| | Position [mm] | Offset [mm] |
|---|---------------|-------------|
| 1 | -30 | 0 |
| 2 | 30 | 0 |

ナットの追加には、**+** ボタンを使用します。**-** ボタンで行を削除し、**X** ボタンですべての入力をクリアすることができます。

テーブルでコンテキストメニュー(マウスの右ボタン)を使用すると、いくつかの結果値をテーブルに表示することができます。これにより、荷重や寿命がナットの間でどのように分布しているかをすばやく見ることができます。

4.1.4 荷重

各座標方向について、荷重と変位のどちらを入力するかを選択することができます。

軸周りのトルクはアキシアル荷重に接続されるため、モーメント荷重は2方向のみ入力可能です。回転角度 rx は、アキシアル変位のみに影響します。

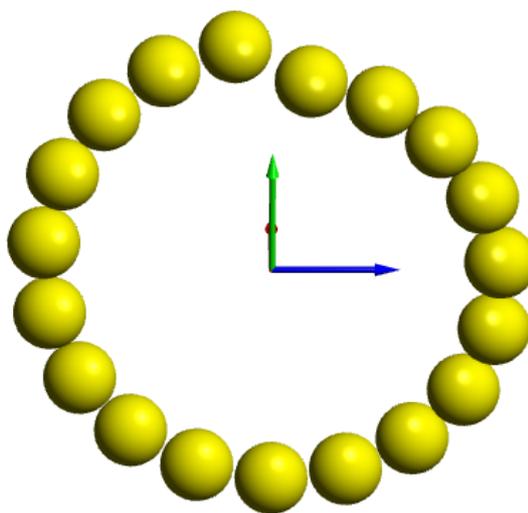
ラジオボタンで入力する要素を選択します。

| General | Geometry | Configuration | Loading |
|------------------------|----------|---------------|--|
| Axial load | Fx | 0 | N <input checked="" type="radio"/> Displacement <input type="radio"/> Force |
| Radial load | Fy | 0 | N <input checked="" type="radio"/> Displacement <input type="radio"/> Force |
| Radial load | Fz | 0 | N <input checked="" type="radio"/> Displacement <input type="radio"/> Force |
| Moment | Mx | 0 | Nm <input type="radio"/> Rotation angle <input checked="" type="radio"/> Force |
| Moment | My | 0 | Nm <input type="radio"/> Rotation angle <input checked="" type="radio"/> Force |
| Moment | Mz | 0 | Nm <input type="radio"/> Rotation angle <input checked="" type="radio"/> Force |
| Speed inner ring | ni | 0 | 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 | 20 | °C |
| Temperature of housing | Te | 20 | °C |

4.1.4.1 座標系

x をアキシアル方向とする座標系を定義します。Y軸は最初の転動体を指し、角度 ψ はX軸の周りに正、または右のダイアグラムで時計回り(X軸の方向を見て)になります。角度は、デフォルトではy軸の最初の転動体の位置でゼロから始まりますが、設定で変更することができます。モーメントは、対応する軸の周りに作用する場合、正になります。

荷重は内輪に作用するので、右のグラフィックスに示すように、Y方向に正の荷重がかかると、上部の転動体に荷重がかかることとなります。



4.1.4.2 内輪が荷重に対して回転

荷重分布が静止している場合と回転している場合では、寿命が若干異なります。多くの軸受は、荷重に対して内輪が回転します。内輪は回転するシャフトに接続し、荷重は空間的に静止している場合です。

アキシャル荷重だけが発生する場合、正しい入力は何ですか？この場合、すべてのローラーに同じ荷重がかかるのであれば、どちらの設定でも結果は同じですので、入力は関係ありません。

4.1.4.3 外輪が荷重に対して回転

外輪の場合も内輪と同じです。多くのアプリケーションでは、外輪は負荷に対して静止しています。

4.1.4.4 ねじとナットの温度

シャフトとナットの温度は、ねじとナットの軸方向の伸びを考慮し、それらはラジアル方向の熱膨張により、ラジアルすきまに影響を与えます。

4.1.5 荷重スペクトル

タブページ'一般'で荷重スペクトルによる計算のフラグを設定すると、単一の荷重ケースではなく、荷重スペクトルによる計算が行われます。荷重や変位、回転速度、温度は各要素ごとに指定することができます。

| Frequency | Fx [N] | Fy [N] | Fz [N] | rx [mrad] | ry [mrad] | rz [mrad] | ni [rpm] | ne [rpm] | Ti [°C] | Te [°C] |
|-----------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|---------|---------|
| 1 | 0.45 | 8000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1000 | 0 | 20 | 20 |
| 2 | 0.35 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 | 20 | 20 |
| 3 | 0.1 | 2000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 20 | 20 |

inner Ring rotates to load
 Outer ring rotates to load
Results for No 1 + - ✖ ↔ ↔

マウスの右ボタンをクリックして開くコンテキストメニューで、入力値として使用する力またはモーメントを選択することができます。選択されていない場合は、対応する変位/回転を入力することができます。

+ ボタンで行を追加し、- ボタンで選択した行を削除することができます。✖ ボタンは、すべての入力をクリアします。

↔ ボタンを使うと、荷重スペクトルをファイルから読み込むことができます。現在表示されている列とその単位は、入力ファイルに使用されなければならない。ファイルからのデータが入

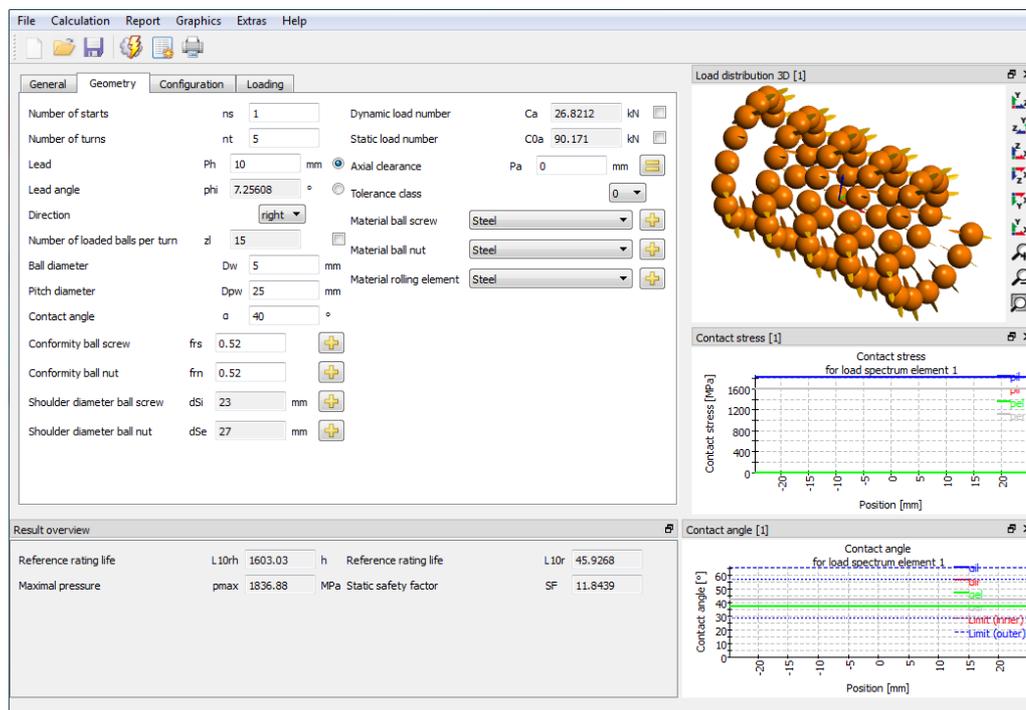
かに追加されるので、完全な荷重スペクトルを定義するためには、まず入力をクリアする必要があります。同様に、作成した荷重スペクトル表は、対応する  ボタンでエクスポートすることができます。

単一荷重の場合のように、リングが荷重に対して回転しているかどうかを選択することが可能です。リングが負荷に対して回転していない場合は、安全側になります。

荷重分布は、各荷重ケースについて計算されます。全荷重スペクトルに対する結果の寿命は、結果および全ての要素の最小静的安全性として表示されます。結果のグラフィックスは、このページで結果として選択された荷重スペクトルの要素に対してのみ表示されます。

4.2 結果

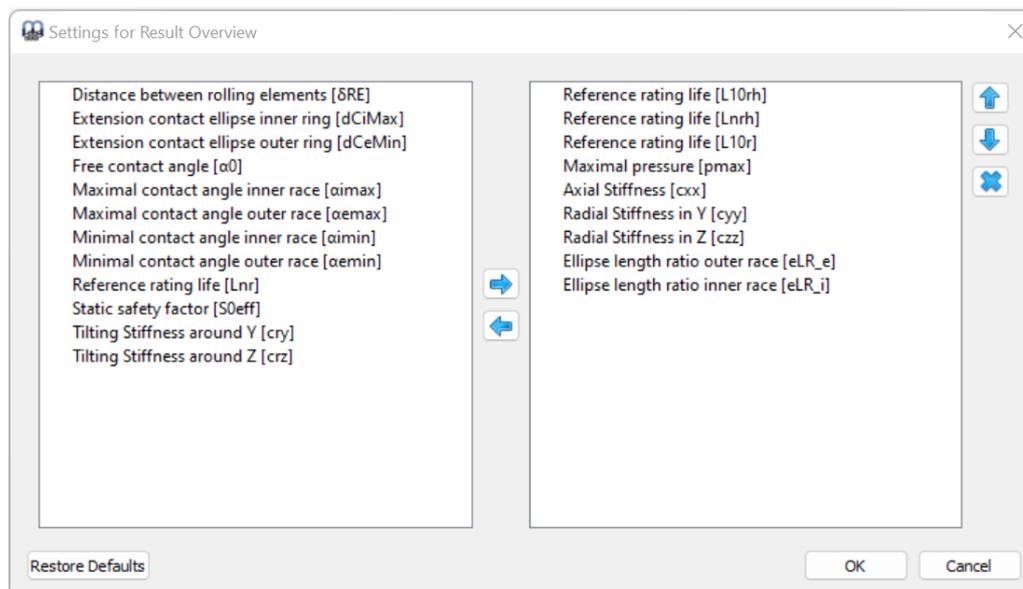
結果は、ソフトウェアに直接表示される小さな結果の概要、メインのPDFテキストレポート、および個別のグラフィックスウィンドウとして提供されます。グラフィックスウィンドウは、メインプログラムのインターフェイスにドッキングすることができ、計算ごとに自動的に更新されます。



4.2.1 結果の概要

結果の概要には、 10^6 回転による基準寿命 L_{10r} と時間による L_{10rh} 表示されます。最大圧力と静的安全性は、最大負荷に関する情報を提供します。

結果の概要は、拡張  結果の概要で構成することができます。



左側のリストには、結果の概要に使用できる全ての項目が表示されます。矢印を使用して、選択した項目を右側のリストに移動し、結果の概要に使用することができます。選択した結果の順序は、右側の上/下矢印で変更することができます。結果の概要には、実際には有効な結果値のみが表示されます。そのため、設定で選択した項目よりも少ない値が表示されます。

結果の概要の設定は、計算ファイルではなく、ユーザー設定に保存されます。そのため、他の計算でも同じ設定になります。

4.2.2 主な結果レポート

テキストレポートはPDFフォーマットで提供されます。

“レポート>オプション”メニューで、レポートの内容を構成することができます。レポートに含めるグラフィックスを選択したり、関心のないセクションを削除することも可能です。すべての表/パラメータの凡例をレポートに表示することができます。

4.2.2.1 メインレポートの保存

メインレポートは、メニュー“レポート>レポートを名前を付けて保存”を使って、様々なフォーマットで保存することができます。PDF、DOC、DOCX、ODT(Open Office)フォーマットで保存することができます。

4.2.2.2 レポートロゴのカスタマイズ

デフォルトでは、レポートの上部にMESYSのロゴが表示されます。これは、“mesys.ini”ファイルでロゴを定義することによってカスタマイズできます。ロゴは、ヘッダーテーブルに収まるようなサイズで作成する必要があります。ロゴのDPI設定は、高解像度の画像も使用できるように考慮されています。また、サポートされているファイルフォーマット(DOC、DOCX、ODT)から独自のテンプレートを作成し、そこからレポートを生成することも可能で、ロゴをカスタマイズすることもできます。

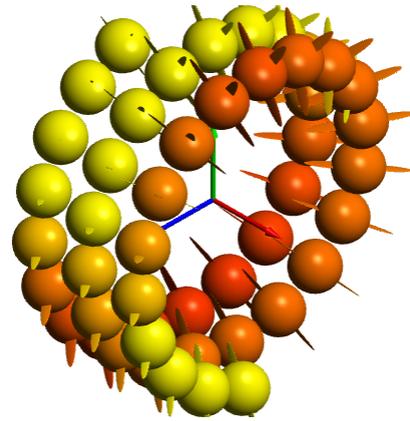
4.2.3 結果グラフィックス

いくつかの結果はグラフィックスとして表示することができます。すべてのグラフィックスがレポートに添付されるため、1つのドキュメントで完全なドキュメントが提供されます。

グラフィックスウィンドウのコンテキストメニュー(マウスの右ボタン)を使用すると、グラフィックスをファイルとして外部出力したり、印刷したりすることができます。

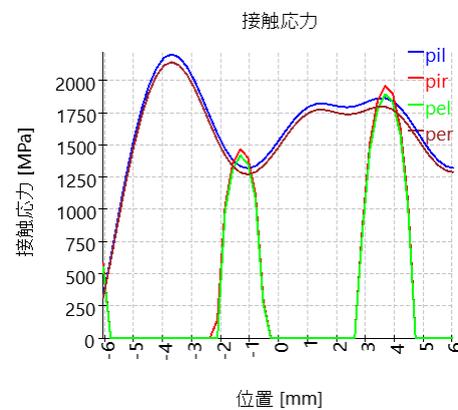
4.2.3.1 荷重分布3D

ここでは、ボールねじの接触応力を3次元で表示しています。



4.2.3.2 接触応力

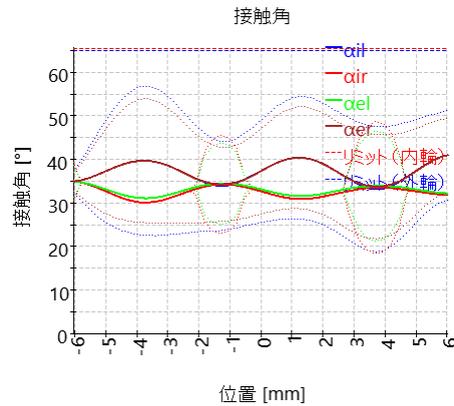
各ボールと4つの可能な接触について、接触応力を示しています。



4.2.3.3 接触角

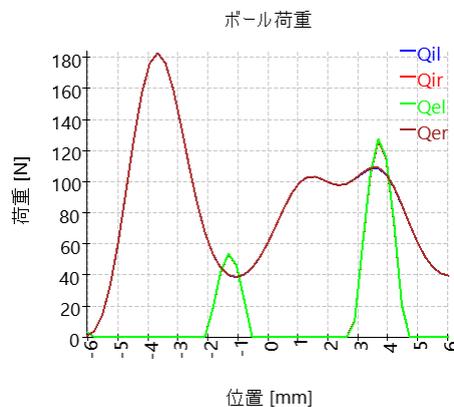
接触角は、呼び接触角 40° の場合を示しています。一般的なアキシアル荷重のボールねじでは、全ボールの荷重レベル、内輪と外輪の接触角ともにアキシアル方向に沿ってほぼ等しくなっています。

接触楕円の延長を点線で示す。肩に相当する接触角は上部の破線の直線で表示されており、この場合、肩は十分に高い位置にあることがわかります。



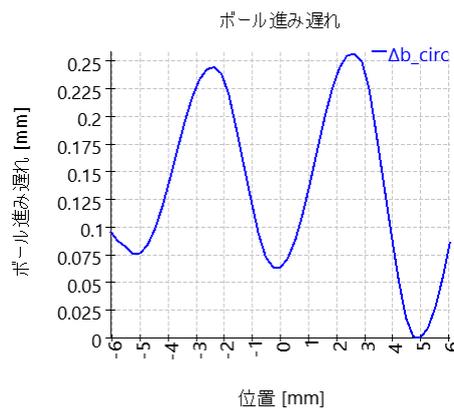
4.2.3.4 ボール荷重

この図は、最大4つの接触に対して各ボールにかかる力を示しています。



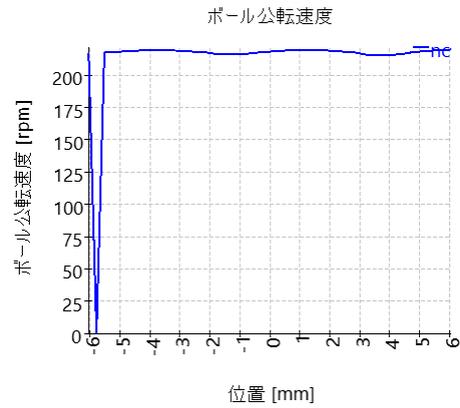
4.2.3.5 ボールの進み遅れ

円周方向のボール進み遅れをグラフィックスで表現しました。1つのセクションで各ボールの公転速度が一定であると仮定して計算されています。接触角が変化するため、ボール公転速度は転動体間で変化します。計算としては、ボールベアリングと同様で、リードは考慮しません。ボールの進みが減少すると、次のボールの速度が遅くなり、ボール間の力が発生します。ボール公転速度の計算には、ボール同士の接触は考慮されていません。



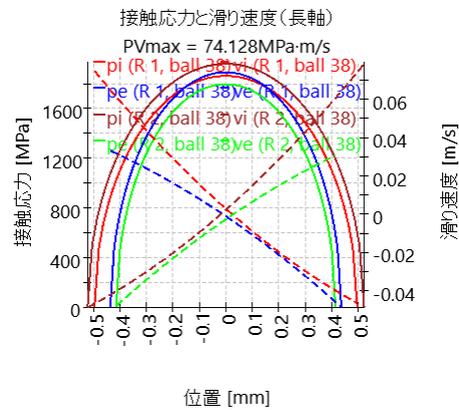
4.2.3.6 ボール公転速度

公転速度の計算ではボール間の接触は考慮されない。



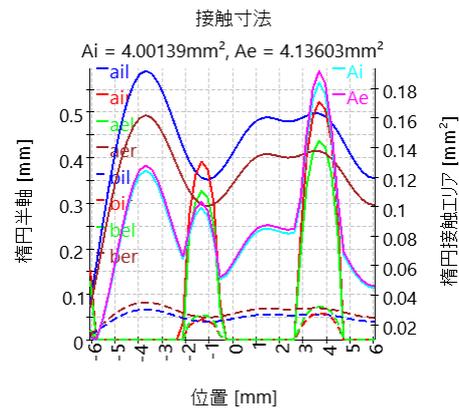
4.2.3.7 接触応力と滑り速度(長軸)

最大 PV 値を持つボールの接触楕円の長軸上に接触応力と滑り速度が表示されます。グラフィックオプションを使用して、別の接触を選択できます。



4.2.3.8 接触寸法

接触楕円の寸法はこの図に示されています。数値は結果表にも記載されています。



MESYS ヘルツ計算

5 MESYS ヘルツ計算

MESYS Hertz Calculation (Version 12/2024) は、点接触または線接触におけるヘルツ応力と表面下応力を計算します。

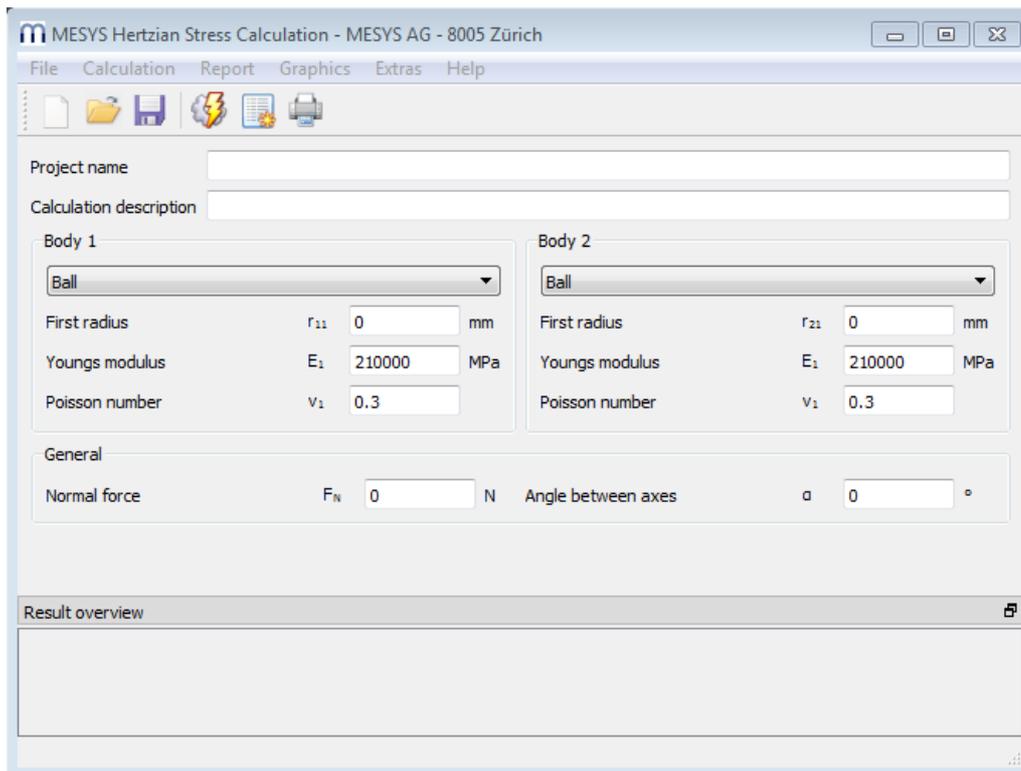
レポートでは、以下の結果を確認することができます。

- 接触楕円の長半径 a
- 接触楕円の短半径 b
- 両物体のアプローチ
- 接触剛性 R
- ヘルツ応力
- 最大せん断応力
- 最大八面体せん断応力
- 最大せん断応力の深さ
- 最大八面体せん断応力の深さ
- 等価応力(トレスカ)
- 等価応力(ミーゼス)

レポート表示に加えて、結果はいくつかのグラフィックスで表示されます。レポートとユーザーインターフェースの両方が、メートル単位またはUSカスタム単位で利用可能です。ユーザーインターフェースとレポートでサポートされている言語は、英語、ドイツ語、フランス語、スペイン語、イタリア語、トルコ語、日本語、中国語、韓国語です。

5.1 入力パラメータ

入力パラメータは全て独自のページで表示されます。

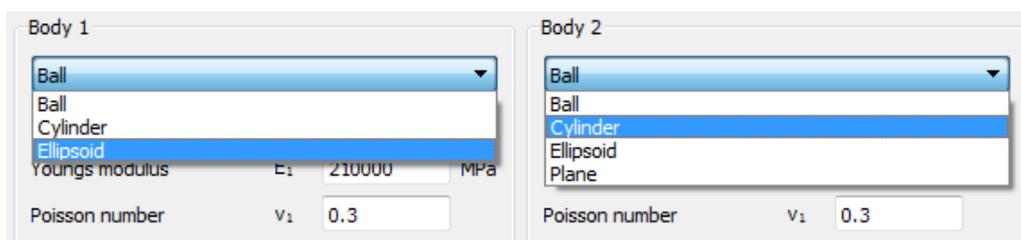


5.1.1 プロジェクト名と計算概要

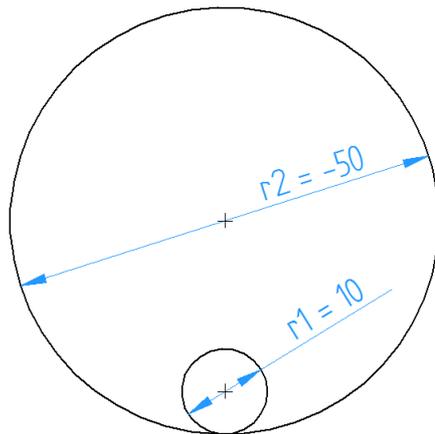
プロジェクト名と計算概要は、レポートヘッダに表示される単なる入力項目です。これらは、文書化のために計算の目的についての情報を入力するために使用することができます。

5.1.2 接触している物体

'物体1' '物体2' セクションに対応するドロップダウンリストには、ボール、円筒、楕円体、平面などのタイプの物体が用意されています。すべての組み合わせが可能ですが、明らかな理由により、平面と平面の接触は除きます。



5.1.2.1 曲率半径



| | | | |
|--------------|----------------|--------------|-----------------|
| Body 1 | | Body 2 | |
| Ball | | Cylinder | |
| First radius | r_{11} 10 mm | First radius | r_{21} -50 mm |

ボールと円柱の場合、半径は1つだけ必要です。凹面は負の値で定義しなければならないことに注意してください。

楕円体の半径を2つ指定する必要があるため、この入力を選択すると有効になります。

| | |
|---------------|---------------|
| Ellipsoid | |
| First radius | r_{21} 0 mm |
| Second radius | r_{22} 0 mm |

5.1.2.2 材料特性

接触している物体にはヤング率とポアソン比だけが必要です。両者の応力は、同じ材料であれば同じですが、異なる材料では異なる場合があります。

5.1.3 一般

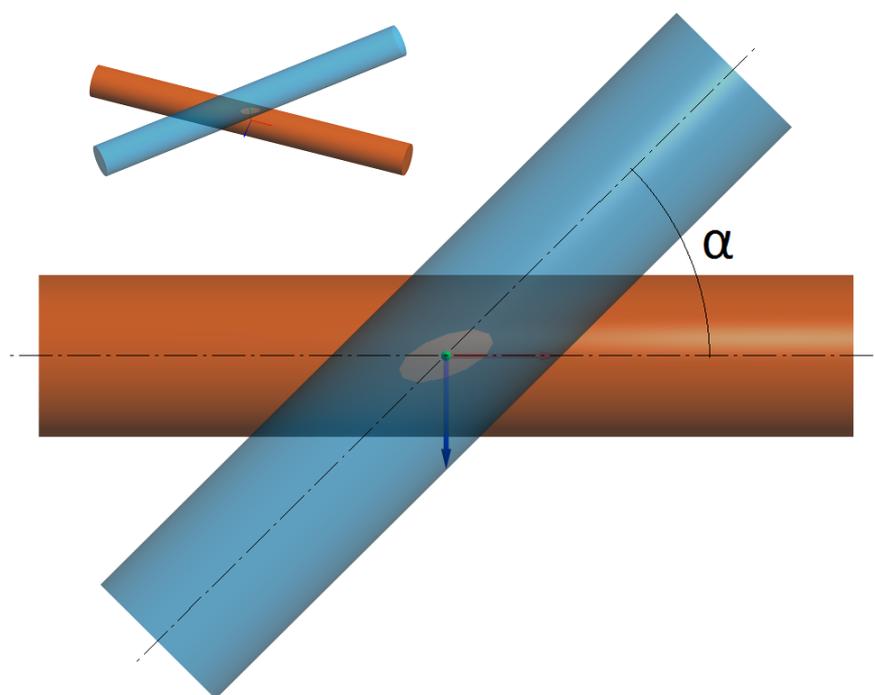
| | | | | | |
|-------------------------|-----------|--------|--------------------|----------|-----|
| General | | | | | |
| Normal force | F_N | 1000 N | Angle between axes | α | 0 ° |
| Length for line contact | L_{eff} | 0 mm | | | |

5.1.3.1 通常の荷重

ここでは、接触荷重を通常の荷重として規定しています。

5.1.3.2 軸間の角度

2つの物体に対する曲率半径は、2つの平面間の角度を指定することができます。角度は、図に示すように、半径 r_{11} と r_{21} がある平面に垂直な線の間で定義されます。

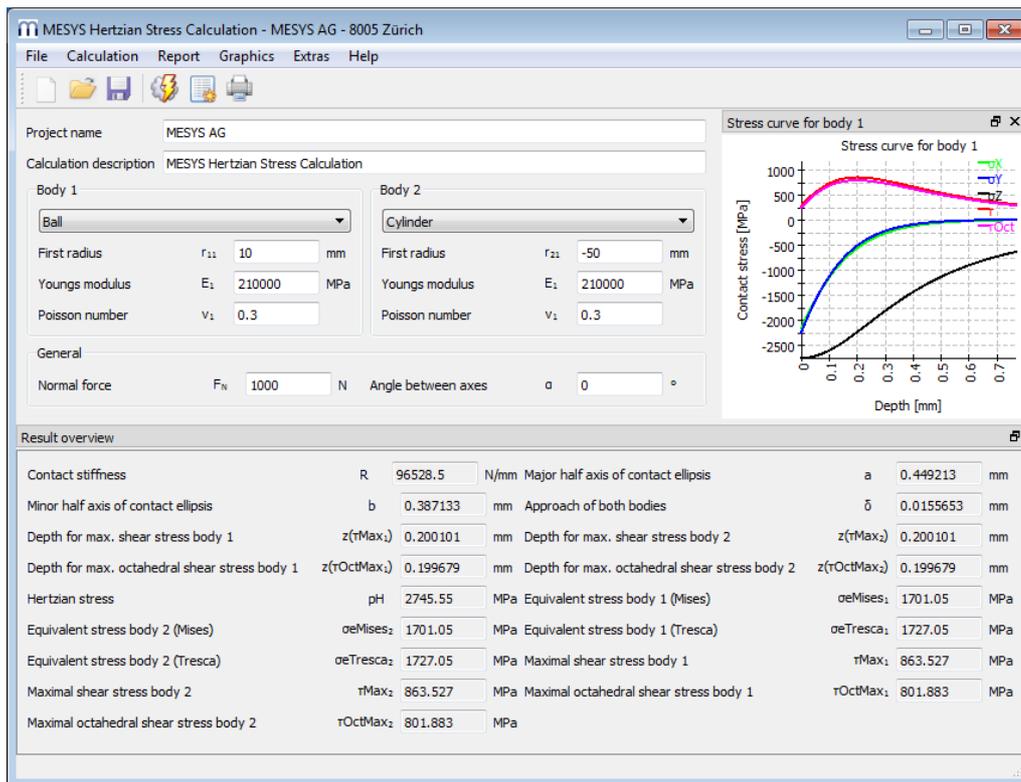


5.1.3.3 線接触の長さ

2つの円筒が接触している場合、線接触の長さを定義する必要があるため、上の図に示すように、'General' の下に対応する入力フィールドがアクティブになります。

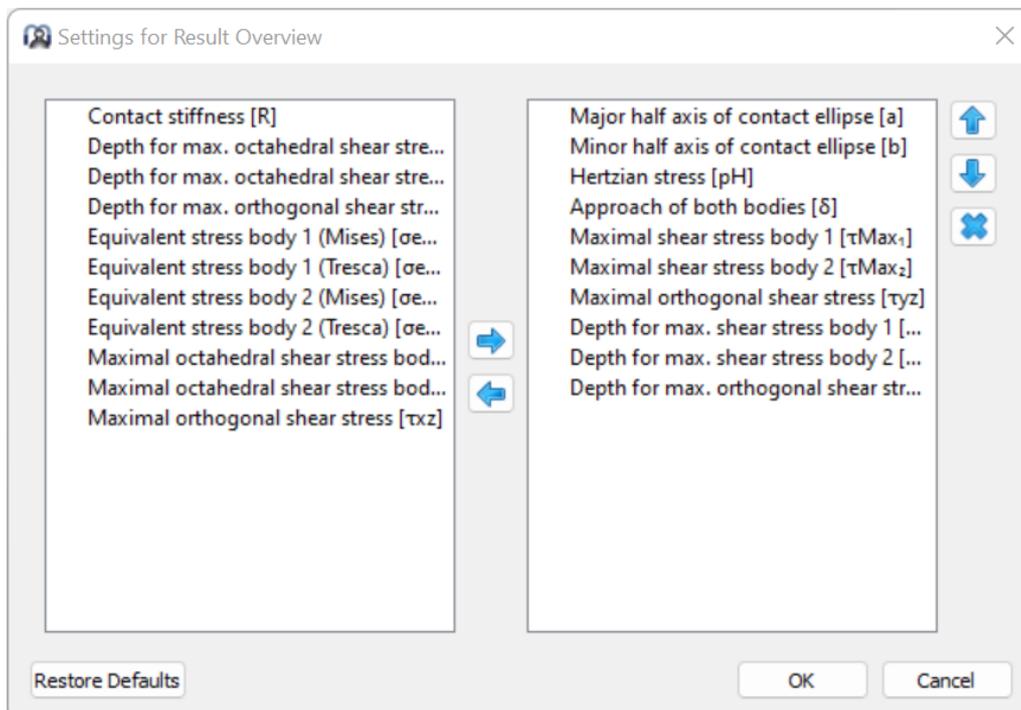
5.2 結果

結果は、ソフトウェアに直接表示される小さな結果の概要、メインのPDFテキストレポート、および個別のグラフィックスウィンドウとして提供されます。グラフィックスウィンドウは、メインプログラムのインターフェイスにドッキングすることができ、計算ごとに自動的に更新されます。



5.2.1 結果の概要

ウィンドウの下部に表示される結果の概要には、最も重要な結果が表示されます。結果の概要は、拡張 → 結果の概要 で構成することができます。



左側のリストには、結果の概要で利用可能な全ての項目が表示されます。矢印を使用して、選択した項目を右側のリストに移動し、結果の概要に使用することができます。選

択した結果の順序は、右側の上下矢印で変更することができます。結果の概要には、実際には有効な結果値のみが表示されます。そのため、設定で選択した値よりも少ない値が表示されます。

結果の概要の設定は、計算ファイルではなく、ユーザー設定に保存されます。そのため、異なる計算でも同じになります。

5.2.2 主な結果レポート

テキストレポートはPDFフォーマットで提供されます。

'レポート > オプション' メニューでレポートの内容を構成することができます。レポートに含めるグラフィックスを選択し、関心のないセクションは削除することもできます。すべての表/パラメータの凡例をレポートに表示することができます。

5.2.2.1 メインレポートの保存

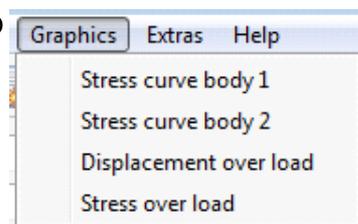
メインレポートは、メニュー"レポート > レポートを名前を付けて保存"を使って、様々なフォーマットで保存することができます。PDF、DOC、DOCX、ODT (Open Office) フォーマットで名前を付けて保存することができます。

5.2.2.2 レポートロゴのカスタマイズ

デフォルトでは、レポートの上部にMESYSのロゴが表示されます。これは、"mesys.ini" ファイルでロゴを定義することによってカスタマイズできます。ロゴは、ヘッダーテーブルに収まるようなサイズで作成する必要があります。ロゴのDPI設定は、高解像度の画像も使用できるように考慮されています。さらに、サポートされているファイルフォーマット (DOC、DOCX、ODT) から独自のテンプレートを作成し、そこからレポートを生成することも可能です。

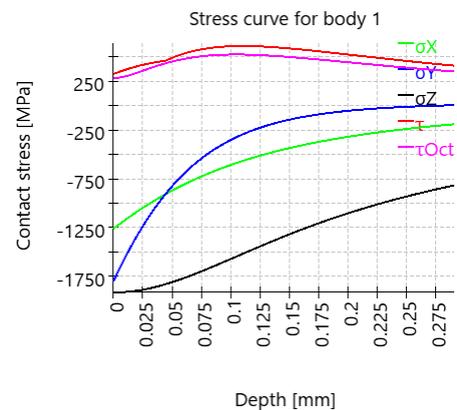
5.2.3 結果グラフィックス

利用可能なすべてのチャートは、メニュー'グラフィックス'の下にあります。現在のバージョンでは、荷重に対する変位や荷重に対する応力だけでなく、両ボディの応力曲線も解析することができます。



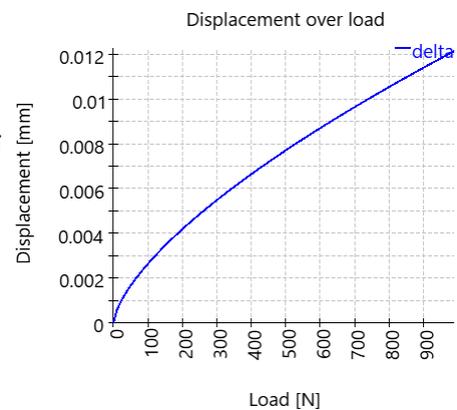
5.2.3.1 物体1、物体2の応力曲線

最大主応力 (σ_{xx} σ_{yy} σ_{zz})、最大せん断応力 (τ)、最大八面体せん断応力 (τ_{Oct}) は、表面下のライン接触で表されています。



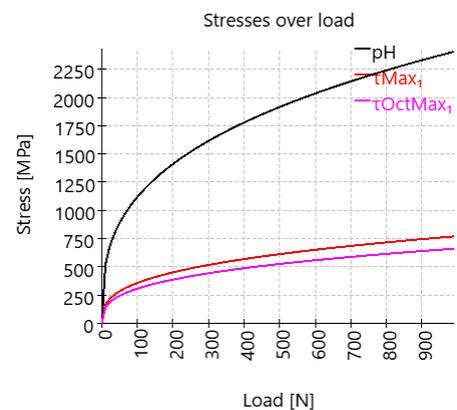
5.2.3.2 荷重に対する変位

この図は、物体(1と2)が、荷重の増加とともに δ_1 、 δ_2 だけ互いに移動する様子を表しています。したがって、delta は0付近の局所的な変形の影響を受けない点間の距離の減少量 $\delta = \delta_1 + \delta_2$ の合計です。



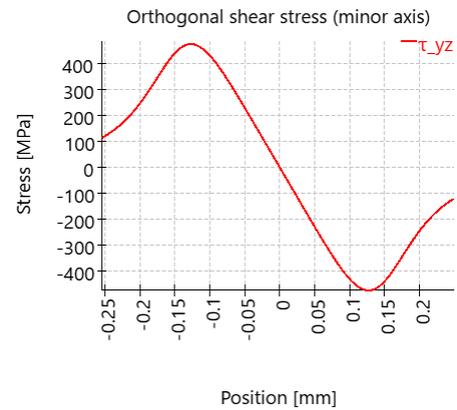
5.2.3.3 荷重に対する応力

ここでは、荷重に対するヘルツ応力、最大せん断応力、最大八面体応力を表しています。



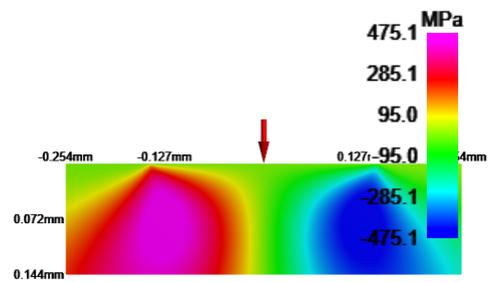
5.2.3.4 直行せん断応力

直交せん断応力は、接触楕円の短軸と長軸上の図に示されています。



5.2.3.5 直行せん断応力 2D

直交せん断応力は、接触楕円の短軸と長軸上の2Dカラープロットに表示されます。



MESYS アクシアルラジアルころ軸受計算

6 MESYS アクシアルラジアルころ軸受計算

アクシアル/ラジアルころ軸受または3列旋回輪の計算ソフトウェア (Version 12/2024) は、有限要素解析により軸受輪の変形を考慮します。軸対称な軸受輪の軸受形状は、ユーザーが断面の多角形によって設定することができます。任意の数のアクシアル円筒ころ軸受、ラジアル円筒ころ軸受、クロスロー軸受を定義することができ、ボルトのプリテンションも考慮することができます。荷重は面または一点にかけることができます。剛性の設定に、荷重の変化を考慮したシリーズの計算が可能です。

結果としては、以下のデータが複数のグラフィックスとPDFのレポートとして提供されます。

- ローラーにかかる圧力分布
- [ISO 16281](#)^[319]による各列の軸受寿命とシステムの軸受寿命
- 2点で定義された変形と剛性
- ボルトにかかる最大荷重と最小荷重

6.1 一般的な使用方法

本ソフトウェアは、コマンドラインからファイル名を指定して呼び出すことができます。パラメータ“-save”を使って結果を保存することができます。例として“MesysAxRaRBC64.exe file1.xml -save”

大規模なモデルの場合、計算時間が1時間程度かかることがあります。そのため、以下の方法をお勧めします。'入出力のみ'を選択し、対話的にモデルを構築します。モデルを名前を付けて保存し、コマンドラインを使用して計算を実行します。その後、結果をプログラムにロードすることで、結果を評価することができます。

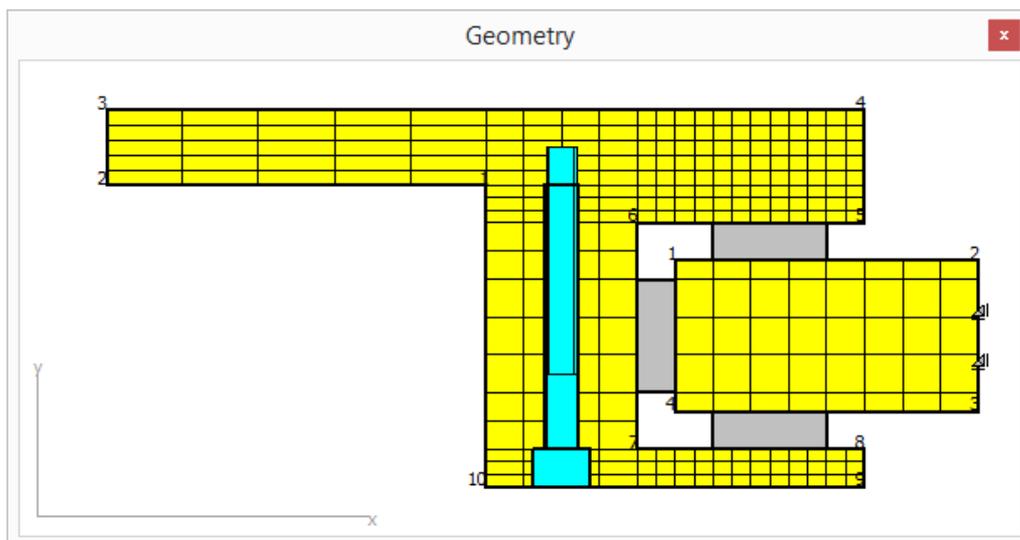
FEA で使用するプロセッサコアの数はmesys.ini の以下の項目を変更することで変更できます。

```
[axrarbc]
numberofthreads=2
```

4 スレッド以上使用した場合、わずかな改善しか見込めません。

6.2 入力

入力データは、次のページで説明するいくつかの入力ページで提供されます。入力データは、以下の形状に対応するものです。



6.2.1 一般

| General | Geometry of parts | Bolts | Bearings | Cross roller bearings | Loading | Load spectrum | Results |
|--|-------------------|-------|----------|-----------------------|---------|---------------|---------|
| General Project name <input type="text"/> Calculation description <input type="text"/> Number of parts <input type="text" value="1"/> Number of radial bearings <input type="text" value="0"/> Maximum angle for mesh Ψ_{max} <input type="text" value="0"/> ° Number of axial bearings <input type="text" value="0"/> Number of bolted joints <input type="text" value="0"/> Number of cross roller bearings <input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/> Consider load spectrum Number of surface loads <input type="text" value="0"/> <input checked="" type="checkbox"/> Preprocessing only Reliability for bearings Z <input type="text" value="90"/> % <input checked="" type="checkbox"/> Allow general geometry input | | | | | | | |
| Calculation of series <input type="checkbox"/> Activate calculation for series Number of steps <input type="text" value="3"/> Start factor <input type="text" value="0"/> End factor <input type="text" value="1"/> | | | | | | | |
| Lubrication Viscosity at 40°C nu40 <input type="text" value="220"/> mm ² /s Oil lubrication with on-line filter ISO4406 -/17/14 <input type="button" value="+"/> Viscosity at 100°C nu100 <input type="text" value="19"/> mm ² /s Temperature TOil <input type="text" value="50"/> °C <input type="checkbox"/> contains effective EP additives <input checked="" type="checkbox"/> Calculate modified life | | | | | | | |

6.2.1.1 パーツの数

軸受は、いくつかのパーツで構成することができます。通常、2つのパーツで構成されます。パーツの数に制限はありません。

6.2.1.2 ベアリングの数

ラジアル、アキシアル、クロスローラベアリングの数を指定します。通常、ラジアル軸受は1個、アキシアル軸受は2個必要です。

6.2.1.3 メッシュのための最大角度

円周方向のメッシュのための最大角度を定義することができます。0を指定した場合、ボルト数、ローラー数による結果の角度です。この角度は小さくすることはできても、大きくすることはできません。

角度を大きくすると、パーツの剛性が上がる可能性があります。角度の影響を見積もるために、比較のためのいくつかの計算を行うことができます。

6.2.1.4 ボルト締結の数

1つそれ以上のボルトの輪を検査可能です。

6.2.1.5 荷重スペクトルを考慮

荷重スペクトルを考慮することができます。シリーズの計算を有効にしている場合は、複数の回転数のみを定義することができます。シリーズの計算を行わない場合は、荷重スペクトル要素ごとに異なる荷重を定義することも可能です。

6.2.1.6 入出力のみ

このオプションを有効にすると、モデルの作成のみが行われ、計算の実行時にFEAは行われません。

6.2.1.7 一般形状入力を許可

このオプションが設定されていない場合、形状は水平線と垂直線のみで定義されます。この場合、形状の線ごとに1つの座標を入力するだけで十分で、2つ目の座標は自動的に設定されます。

このオプションを有効にすると、形状座標のすべての値を定義する必要がありますが、形状として一般的なポリゴンが許可されます。この場合、メッシュアルゴリズムが使用され、水平・垂直線のみの場合よりも少ない要素数でメッシュが作成されます。

6.2.1.8 面荷重の数

面に作用する荷重の数を入力値として定義することができます。

6.2.1.9 接触の数

'一般形状入力を許可'が有効な場合、パーツ間またはパーツと剛体環境間の接触を定義することができます。接触の数は、接触定義の数です。各定義は複数回使用することができます。

 ボタンをクリックすると、各接触定義のプロパティを定義できます。

| | Connected to Housing | Clearance [mm] | Consider tangential force | Stiffness [N/mm] |
|---|----------------------|----------------|---------------------------|------------------|
| 1 | No | 0 | Fixed on contact | 0 |

最初の列は、パーツと剛体環境（'ハウジング'）の間の接触か、2つのパーツの間の接触かを定義します。

2番目の列は、接触のすきまを定義することができます。

すべての接触は、接触した場合に通常の荷重をリードしますが、接線方向荷重については異なるオプションがあり、3列目で定義することができます。

- “接触固定”は、接触時の接線方向の動きを拘束します。
- “拘束なし”は、接線方向への拘束がありません。
- “溶接”は、常に接線方向の拘束が効きます。また、通常の荷重は両方向に作用することができます。

最後の欄の剛性は、ほとんどの場合ゼロであるべきです。0より大きい値が使われた場合、その値が法線剛性に使われます。これは、低い剛性でパーツを空間に固定するのに有効です。剛性はノードごとに使用されるため、その効果はメッシュサイズに依存します。

6.2.1.10 転がり軸受の信頼度

軸受の信頼度は、デフォルトで90%です。この入力は寿命修正係数 a_1 の計算に使用されます。

信頼度は、すべての軸受で同じ値に設定されています。

6.2.1.11 シリーズの計算

荷重に係数をかけることで、シリーズの荷重ケースを計算することができます。

最初の計算の荷重係数は'始めの係数'、最後の計算の荷重係数は'終わりの係数'を使用します。その間には、所定のステップの数が計算されます。結果については、グラフィックスで示される荷重ステップの選択が可能です。

6.2.1.12 潤滑油

修正定格寿命を計算するためには、潤滑油の定義が必要です。潤滑油の粘度は、40°Cと100°Cの基準値を用いて、潤滑油の温度に対して計算されます。

‘潤滑油を考慮する’ 選択により、修正定格寿命 L_{nmrh} と潤滑油のデータをレポートに表示するかどうか定義されます。回転速度が小さい場合、有効な潤滑油はなく、 a_{ISO} 係数は0.1 に近づきます。

潤滑油の清浄度は係数 e_c で考慮されます。潤滑油に極圧添加剤がある場合、選択することができます。回転速度が小さい場合、これは a_{ISO} 係数に影響を与えることができます。

e_c 係数は、潤滑油の清浄度によって設定されるか、またはユーザーによって入力されるかのいずれかです。推奨される e_c 係数の概要を以下の表に示します。

| 汚染度 | eC | |
|--|-------------------------|----------------------------|
| | $D_{pw} < 100\text{mm}$ | $D_{pw} \geq 100\text{mm}$ |
| 極めて高い洗浄度 潤滑油の膜厚ほどの粒子径、実験室条件。 | 1 | 1 |
| 高清浄度 極細フィルターでろ過されたオイル、寿命までグリース封入し密閉した軸受の典型的な条件。 | 0.8~0.6 | 0.9~0.8 |
| 標準の清浄度 細かいフィルターでろ過されたオイル、寿命までグリース封入し、密閉された軸受の典型的な条件。 | 0.6~0.5 | 0.8~0.6 |
| 軽度の汚染 | 0.5~0.3 | 0.6~0.4 |
| 普通の汚染 シールのないベアリングの典型的な条件；コースフィルター；周囲からの磨耗粒子 | 0.3~0.1 | 0.4~0.2 |
| 重度の汚染 汚染の激しい環境と、シーリングが不十分なベアリングの配置。 | 0.1~0 | 0.1~0 |
| 非常に深刻な汚染 | 0 | 0 |

6.2.2 パーツの形状

パーツの形状を表で設定します。点（半径とY座標）は時計回りに入力する必要がありません。

一般的な形状の入力が有効でない場合、水平および垂直の線を使用して形状を設定することができます。前のポイントと変わらない座標は、ゼロに設定することができます。そのため、入力値の数を2分の1に減らすことができます。

一般形状入力を有効にすると、任意の方向の線によって形状を設定することができます。この場合、すべての座標値を定義しなければならない。

パーツ名の後ろにある \oplus ボタンを押すと、そのパーツの材料特性を定義することができます。材料データはこのパーツのFEA計算のみに使用され、ローラーと溝(レース)の接触剛性計算には使用されません。

右下のボタンで線の追加や削除ができます。 \oplus ボタンは、選択された行をコピーするか、何も選択されていない場合は新しい行を追加します。 \ominus ボタンは選択された行を削除し、 \otimes ボタンはテーブルをすべてクリアします。

| | r-Coord. [mm] | y-Coord. [mm] | maxElement [mm] | Bearing/BC |
|----|---------------|---------------|-----------------|------------------|
| 1 | 100 | 40 | 0 | Not specified |
| 2 | 0 | 40 | 0 | Not specified |
| 3 | 0 | 60 | 0 | Not specified |
| 4 | 200 | 0 | 0 | Surface load 1 |
| 5 | 0 | 30 | 4 | Not specified |
| 6 | 140 | 0 | 5 | Axial bearing 1 |
| 7 | 0 | -30 | 0 | Radial bearing 1 |
| 8 | 200 | 0 | 5 | Axial bearing 2 |
| 9 | 0 | -40 | 4 | Not specified |
| 10 | 100 | 0 | 10 | Bolted joint 1 |
| 11 | 100 | 40 | 10 | Not specified |

6.2.2.1 要素サイズ

要素のサイズは、パーツごとの最大サイズ、または1行のテーブルの3列目で定義することができます。0を入力すると、標準的な値になります。

パーツに曲げが発生する場合は、より多くのエレメントが必要です。一定の応力状態であれば、1つの要素で正しくモデル化することができます。線形応力分布の場合は、複数の要素が必要です。

6.2.2.2 回転数

軸受寿命計算に使用する回転速度をパーツごとに定義することができます。符号を考慮するため、あるパーツは正の回転数、あるパーツは負の回転数とすることができます。

6.2.2.3 境界条件

境界条件は、1行ごとに定義することができます。以下の選択が可能です。

- ラジアル固定: この面のすべてのノードをラジアルに固定します。

- アクシアル固定: この面のすべてのノードをアクシアル方向に固定します。
- ラジアル・アクシアル固定: この面のすべてのノードをラジアル方向とアクシアル方向に固定します。
- ボルト締結: ボルトの頭部がこの面上にあります。
- ラジアル軸受: ラジアル軸受が接続されている面です。
- アクシアル軸受: アクシアル軸受が接続されている面です。この入力は、アクシアル方向の位置決めに使用されます。
- クロスローラベアリング: クロスローラベアリングが接続されている面です。
- 面荷重: この面に荷重をかけます。
- 接触: パーツや剛体環境への接触が考慮されています。

6.2.3 ボルト締結

このページでは、ボルト締結のためのデータを定義することができます。

| Parameter | Value | Unit |
|--------------------------------------|-------|------|
| Number of bolts | 36 | |
| Pitch diameter | 240 | mm |
| Nominal diameter | 8 | mm |
| Bolt length | 80 | mm |
| Bore diameter | 9 | mm |
| Depth of bore | 80 | mm |
| Diameter of counterbore | 15 | mm |
| Depth of counterbore | 10 | mm |
| Assembly preload | 20 | kN |
| Shank length | 30 | mm |
| Tightening torque | 0 | Nm |
| Amount of embedding | 8 | μm |
| Effective diameter of bolt head area | 0 | mm |
| Pitch of the thread | 1.25 | mm |
| Friction coefficient head | 0.1 | |
| Friction coefficient thread | 0.1 | |

ボルトの穴とネジは、同じパーツに入れることもできますし、接触定義の場合は、異なるパーツに入れることもできます。ボアの深さは表面から測り、パーツ内のネジは下から始まります。

カウンターボアが存在しない場合、カウンターボアの直径と深さはゼロに設定することができます。カウンターボアの径を持つ円柱は、パーツのエッジと交差しない場合があります。必要であれば、直径を小さくして計算しなければなりません。

プリテンションはボルトごとに定義されます。すべてのボルトのプリテンションは同じです。有効なプリテンションを定義するか、取り付けトルクと沈下量を定義することができます。VDI2230Iによると、表面粗さ $10 < R_z < 40$ の場合の沈下量は、頭部とネジ部では $3\mu\text{m}$ であり、各層で $2\mu\text{m}$ です。ほとんどの場合、 $f_z = 3+3+2 = 8\mu\text{m}$ となります。

ねじのピッチは、ボルトの剛性のために必要なボルトの芯径を計算するために必要です。また、マウントされたプリテンションをマウントトルクから計算する際にも必要です。

取付トルクを入力する場合は、ヘッドサポートの平均直径と、ねじとヘッドサポートの摩擦の値が必要です。

6.2.4 ベアリング

この入力ページでは、軸受の形状を設定することができます。

The screenshot shows the 'Bearings' configuration window with two sections: 'Radial bearings' and 'Axial bearings'. Each section contains input fields for various parameters and calculated values.

| Parameter | Radial bearings | Axial bearings |
|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Number of rolling elements (Z) | 70 | 70 |
| Diameter of rolling elements (Dw) | 10 mm | 10 mm |
| Pitch diameter (Dpw) | 290 mm | 350 mm |
| Effective length of roller (Lwe) | 30 mm | 30 mm |
| Radial clearance (Pd) | 0 mm | -0.01 mm |
| Axial position (pa) | 0 mm | 25 mm |
| Surface hardness (HRC) | 58 | 58 |
| Dynamic load number (Cr) | 304.491 kN | 537.953 kN |
| Static load number (C0) | 892.138 kN | 4620 kN |
| Fatigue load limit (Cu) | 79.0494 kN | 386.908 kN |
| Type of profile | Profile according ISO/TS 16281 | Profile according ISO/TS 16281 |

6.2.4.1 転動体の数

ローラーの数は、ここで定義する必要があります。

6.2.4.2 ころの直径

ローラーの直径は、ここで定義されます。

6.2.4.3 ピッチ円径

ローラーの中心を通るピッチ直径は、両方の軸受タイプで定義する必要があります。ラジアル軸受では、ピッチ円径が選択した平面と異なる場合、警告が表示されます。

6.2.4.4 ローラーの有効長さ

ローラーの有効長さLweは、負荷容量の計算の基礎となる長さです。ローラーの全長から半径を引いたものです。

6.2.4.5 ラジアル／アクシアルすきま

すきまはパーツの寸法で定義しないので、すきまの入力は1回で済み、何桁もの形状を設定する必要はありません。すきまは、ボルト締め付け前の呼びすきまです。

予圧は負のすきまとして定義されます。

6.2.4.6 アクシアル位置

ローラーの中心のアクシアル方向の位置が入力されます。アクシアル軸受の場合、アクシアル位置はパーツの選択された面の位置によって決定されます。

6.2.4.7 プロファイル

内溝、外溝、ローラーのプロファイルを設定することができます。

Define roller profiles

Difference between effective and total roller length ΔL_w 2 mm

Number of roller sections used nSec 41

Roller

Type of profile Standard profile according ISO/TS 16281

Profile definition over effective roller length

Inner race

Type of profile Tangential crowning

Profile definition over total roller length

Profile pr 5 μm

Unmodified cylindrical part Lwu 80 %

Outer race

Type of profile User defined

Profile definition over total roller length

Profile pr 5 μm

OK Cancel

一般的な入力として、ローラーの有効長さトータル長の違いを定義することができます。これはローラーの剛性を高めるため、計算に影響を与えます。

計算のセクション数は30以上、奇数である必要があります。セクションの数が多くなると計算の精度と計算時間が上がります。

プロフィールの定義には、いくつかのオプションが用意されています。

1. ISO/TS 16281による標準プロフィール:
これは、ローラーの対数プロフィールと溝（レース）上のプロフィールなしという、標準のデフォルトを使用しています。
2. 対数プロフィール:
逃げ量を定義し、修正していない円筒部分を定義することができます。以下の計算式を使用します。

$$P(x) = pr \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - \left\{ \frac{2|x| - L_{wu}}{L_{we} - L_{wu}} \right\}^2} \right)$$

ローラーについては、サイジングボタンにより、ISO/TS 16281に従ったデフォルトの逃げ量が提供されます。短い円筒ころ軸受のデフォルトの逃げ量は、3000MPaの接触応力に対応する $0.00035 \cdot D_w$ になります。

3. 修正対数プロフィール:
逃げ量は、(Fujiwara, et al., 2010)から導かれた以下の公式に従って計算されます。

$$P(x) = A \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - \left\{ 1 - e^{-\frac{pr}{A}} \right\} \left(\frac{2|x| - L_{wu}}{L_{we} - L_{wu}} \right)^2} \right)$$

$$A = 2D_w \cdot \left(\frac{p \cdot (1 - \nu^2)}{E} \right)^2$$

を用いて

ISO/TS 16281による対数プロフィールのようにローラー端で最大逃げが無限大ではなく、prの最大値が最大となります。p = 3000MPa と pr=Infinity を使用すると、結果は上記のISO/TS 16281に従った対数プロフィールと同じになります。このプロフィールの材料データは、常に接触ローラー／内溝から取得されます。

4. 接線クラウニング:
円筒の接線方向に円弧を描き、プロフィールを生成する。逃げの量と、修正されていない円筒の長さの割合を定義することができます。
5. クラウニング:
中心がローラーの中心にアクシアルに位置する円弧を使用してプロフィールを生成します。逃げ量、未修正のシリンダー長の割合、接触半径を定義することができます。

6. 2つの接線半径:

幅 "Lwu" を持つ第1円筒パーツは、2つの接線半径によって拡張されます。第1半径の幅は、割合 "Lwr1" として定義されます。要件は、"Lwr1" > "Lwu" になります。"Lwu" は、2つの半径のみを持つためにゼロに設定することができます。

7. 指数:

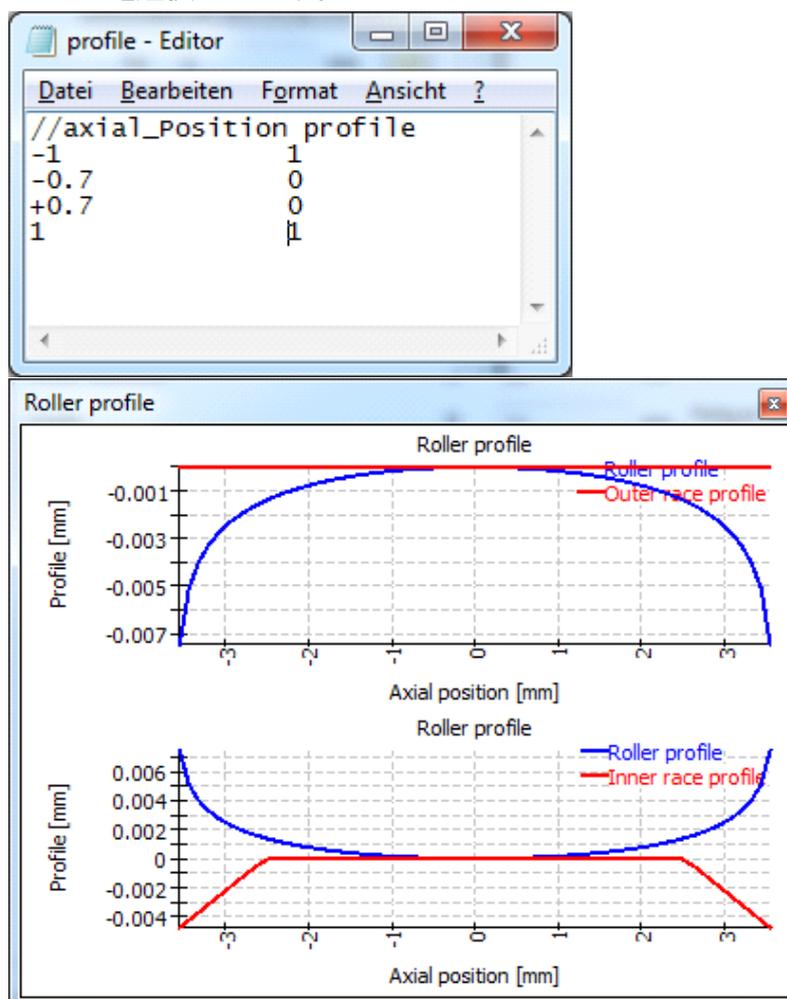
指数 "e" とプロファイルの未修正長さ "Lwu" を指定することができます。指数は $e \geq 2$ となります。プロファイルには以下の式が使用されます。

$$P(x) = pr \cdot \left(\frac{2|x| - L_{wu}}{L_{we} - L_{wu}} \right)^e$$

8. ファイルから読み込む:

ファイルからプロファイルを読み込むことができます。データは、各行に2つの値、アクシアル位置とプロファイル逃げ量を指定する必要があります。アクシアル位置はローラーの長さでスケールされ、逃げ量はプロファイル逃げ量の入力値でスケールされます。したがって、アクシアル位置には-1~+1、逃げ量には0~1の範囲を使用することができます。

非常にシンプルなファイルを以下に示します。これは、右に内輪溝(レース)プロファイルを選択しています。



非対称プロファイルは、ほとんどのベアリングで左から右へ使用されます。テーパ

ローラーベアリングとアクシアル自動調心ころ軸受では、接触角の方向が左の場合、プロファイルは左から右に使用されます。接触角が右向きの場合、プロファイルは反転となります。したがって、取り付け条件はプロファイルに影響を与えません。

9. ファイル読み込み(スケーリングなし) :
オプション“ファイル読み込み”と同様に、データはファイルから読み込まれます。このオプションを使用すると、スケーリングは行われません。アクシアル方向の延長を $-L_{we}/2 \sim +L_{we}/2$ または $0 \sim L_{we}$ の範囲で定義する必要があります。プロファイルは“mm”単位で定義され、スケーリングは行われません。
10. ユーザー入力 :
ファイル名を定義する代わりに、プロファイルのポイントをテーブルで定義することができます。これもに関して、また、上記と同様にアクシアル位置は $-1 \sim +1$ 、プロファイルの逃げ量は $0 \sim 1$ の値を使用します。
右のダイアグラムの表は、上のファイルと同じデータを示しています。

| | x | Δr |
|---|------|----|
| 1 | 1 | 1 |
| 2 | -0.7 | 0 |
| 3 | 0.7 | 0 |
| 4 | 1 | 1 |

11. ユーザー設定の式 :
ECMAScript 言語でユーザー設定の式を定義することができます。変数 'x' は範囲 $-1 < x < +1$ と変数 'Dw', 'Lwe', 'Lw' が定義され、単位は'mm'です。方程式の結果は'mm'単位で考えられ、正の値であればギャップは大きくなります。
例としては "return 0.01*x**4;" または "return -0.00035*Dw*Math.log(1-x*x);" のような条件を使って、または以下の、

```

if(x < 0.5) {
    return 0.01*(-0.5-x);
}
if(x > 0.5) {
    return 0.01*(x-0.5);
}
return 0.

```

6.2.4.8 表面硬さ

NRELガイドラインDG03に基づき、軸受の荷重容量を低下させるために表面硬さを使用します。硬度が58HRC以下の場合のみ、負荷容量が変化します。硬度は、ソフトウェアで荷重容量を計算する場合のみ考慮されます。

6.2.4.9 基本動定格荷重

基本動定格荷重は、ISO 281 に従って計算されます。その値はユーザーによって上書きすることができます。硬度は、58HRC未満の場合、以下のように考慮されます。

$$C' = C \left(\frac{HRC}{58} \right)^{3.6}$$

負荷容量がユーザーによって入力された場合、それ以上の硬度による低減は考慮されません。

6.2.4.10 基本静定格荷重

静定格荷重は、ISO 76 に従って計算されます。その値はユーザーによって上書きすることができます。負荷容量は、硬度低減のため二次の値 f_s が掛けられます。

$$f_s = 2 \left(\frac{HV}{800} \right)^2 \text{ と } f_s \leq 1$$

負荷容量がユーザーによって入力された場合、それ以上の硬度による低減は考慮されません。

6.2.4.11 疲労荷重

疲労荷重は、ISO 281 付録 B.3.2.1.3 に従って計算されます。この値はユーザーが上書きすることができます。

6.2.5 クロスローラベアリング

The screenshot shows the 'Cross roller bearings' configuration window in the MESYS software. The window has several tabs: General, Geometry of parts, Bolts, Bearings, Cross roller bearings (selected), Loading, Load spectrum, and Results. The 'Cross roller bearings' tab contains the following parameters and controls:

- Number of rolling elements:** Z, value 0, with left and right arrow buttons and '1/1'.
- Diameter of rolling elements:** Dw, value 0 mm.
- Pitch diameter:** Dpw, value 0 mm.
- Effective length of roller:** Lwe, value 0 mm.
- Radial clearance:** Pd, value 0 mm.
- Axial position:** pa, value 0 mm.
- Configuration:** Cross roller bearing (dropdown menu).
- Calculated as:** Radial bearing (dropdown menu).
- Contact angle:** α , value 0°.
- Surface hardness:** HRC, value 58.
- Dynamic load number:** Cr, value 0 kN, with a checkbox.
- Static load number:** C0r, value 0 kN, with a checkbox.
- Fatigue load limit:** Cur, value 0 kN, with a checkbox.
- Type of profile:** Profile according ISO/TS 16281 (dropdown menu).

クロスローラベアリングでは、他のタイプのベアリングと比較して、3つの追加の入力が必要です。

コンフィギュレーション

クロスローラベアリングの他に、アンギュラ転がり軸受を使用した計算も可能です。この場合、すべてのローラーが同じ方向を向いています。

ローラーの数は、各ケースでの合計数です。クロスローラベアリングの場合、偶数である必要があります。

として計算

軸受は、アクシアル軸受またはラジアル軸受として計算することができます。選択に応じて、Ca、Ca、PaまたはCr、Cr、Pdのいずれかが入力として表示されます。

接触角

接触角は 40° ～ 50° の間で選択できます。標準は 45° です。アンギュラ転がり軸受の場合、許容範囲は 20° ～ 70° です。

6.2.6 荷重

荷重には、集中荷重と面荷重があります。面荷重は、荷重の導入がスムーズであるため、推奨されます。集中荷重はパーツの内部でのみ定義できます。

The screenshot shows the 'Loading' tab in the MESYS software. It is divided into two main sections: 'Surface loads' and 'Point loads'.

Surface loads section:

- Force in x-direction: Fx = 0 kN
- Force in y-direction: Fy = -200 kN
- Force in z-direction: Fz = 0 kN
- Moment around x-axis: Mx = 0 Nm
- Moment around z-axis: Mz = 0 Nm
- There are navigation arrows and '1/1' indicating a single load case.
- Checkboxes: is varied in series, calculate stiffness

Point loads section:

| x-Pos. [mm] | y-Pos. [mm] | z-Pos. [mm] | Fx [kN] | Fy [kN] | Fz [kN] | Series |
|-------------|-------------|-------------|---------|---------|---------|--------|
| | | | | | | |

At the bottom right of the table area, there are icons for adding (+), deleting (-), and refreshing (X) the table.

“シリーズで変化”が選択されている場合、荷重はシリーズのアクティブ計算時に荷重係数としてかけられます。このオプションは、荷重スペクトルに力を加えるためにも使用されます。

“剛性を計算”オプションが有効の場合、選択された面の剛性が計算され、レポートに追加されます。中心節点が平均化によって面に接続され、この節点の剛性が計算されます。レポート内の値は、コンプライアンスマトリクスの主対角線の逆数です。

6.2.6.1 面荷重

面荷重は、3つの力成分と2つのモーメント成分の入力で定義することができます。y軸まわりのトルクは軸受にかからないため、入力できません。

各荷重について、シリーズの計算で荷重の係数を乗じるかどうかを選択することができます。選択しない場合は、すべての荷重ステップで荷重は一定と考慮されます。

6.2.6.2 集中荷重

集中荷重は、3つの成分を持つカベクトルと位置によって定義されます。位置決めは、パーツの内側でなければなりません。

点荷重については、シリーズの計算で荷重の係数を乗じるか、定数とするかを定義することもできます。

点荷重は、与えられた位置の近傍にある複数の節点を使用して導入されるため、荷重の中心は選択された位置にあります。

6.2.7 荷重スペクトル

荷重スペクトル計算が有効になっている場合、“荷重スペクトル” ページで定義することができます。フラグ“シリーズで変化”が設定されている負荷のみ表示されます。

| General | Geometry of parts | Bolts | Bearings | Cross roller bearings | Loading | Load spectrum | Results |
|-----------|-------------------|------------|-------------|-----------------------|-------------|---------------|-------------|
| Frequency | P1-n [rpm] | P2-n [rpm] | SL1-Fx [kN] | SL1-Fy [kN] | SL1-Fz [kN] | SL1-Mx [Nm] | SL1-Mz [Nm] |
| 1 | 0.5 | 20 | 0 | 0 | -200 | 0 | 0 |
| 2 | 0.5 | 30 | 0 | 100 | -300 | 0 | 0 |

6.3 結果

| General | Geometry of parts | Bolts | Bearings | Cross roller bearings | Loading | Load spectrum | Results |
|--|-------------------|-------|----------|--|---------|---------------|---------|
| Results | | | | | | | |
| Clear results | | | | | | | |
| Factor for displacements | | | | Current result | | | |
| Minimal stress for graphics σ_{min} | | | | Maximal stress for graphics σ_{max} | | | |
| Calculation of stiffness | | | | | | | |
| Radius point 1 | | r1 | 20 | Axial position point 1 | | y1 | 60 |
| Radius point 2 | | r2 | 230 | Axial position point 2 | | y2 | -20 |
| <input type="checkbox"/> generate short report | | | | | | | |

結果ページがアクティブな場合、新たな FEA 計算を行わずに結果を評価することができます。計算ボタンを押すだけで、結果を評価することができます。

6.3.1 変位のための係数

変位のための係数は、グラフィックスで使用される変形の誇張を定義します。3Dビューと2Dビューでセクションの変形に使用されます。

6.3.2 変形グラフィックス用の角度

2Dビューで変形に使用されるセクションの角度をここで選択することができます。パーツ内の応力のダイアグラムでも同じ角度が使用されます。

6.3.3 グラフィックスのための最小応力と最大応力

応力ダイアグラムの場合、カラースケールの範囲をここで設定することができます。

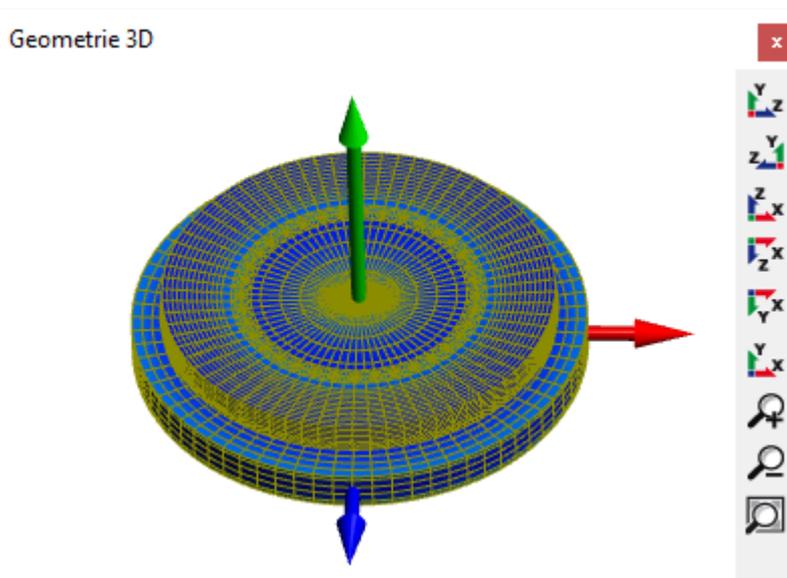
6.3.4 剛性の計算

剛性の計算と、たわみと傾斜角のダイアグラムを作成するために、2つのポイントを定義する必要があります。ソフト ウェアは、これらの点の円周上のたわみを平均化し、その結果を剛性の計算に使用します。

6.3.5 グラフィックス

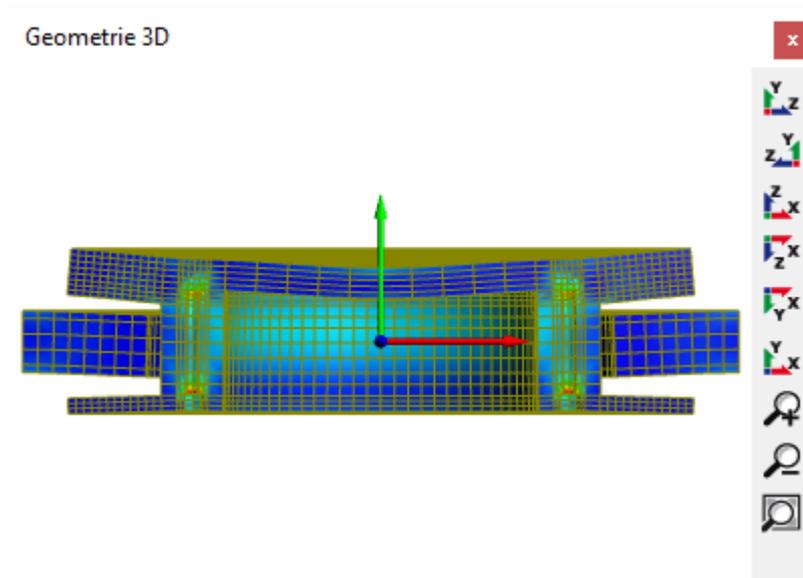
6.3.5.1 3Dビュー

3Dビューは、マウスの左ボタンで回転させることができます。また、Ctrlキーを押して操作することで、サイズを変更することができます。



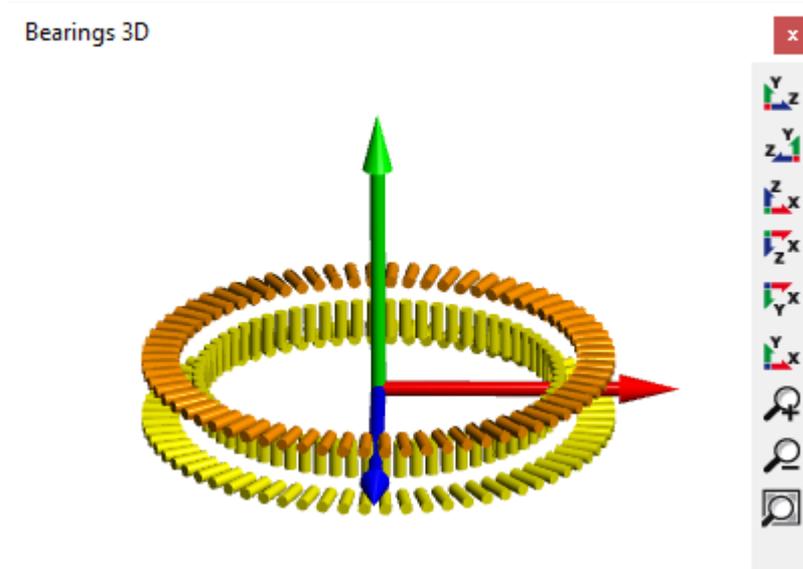
6.3.5.2 3次元形状断面図

カットビューは、結果ページで定義された角度を使用して3次元形状をカットしたものです。



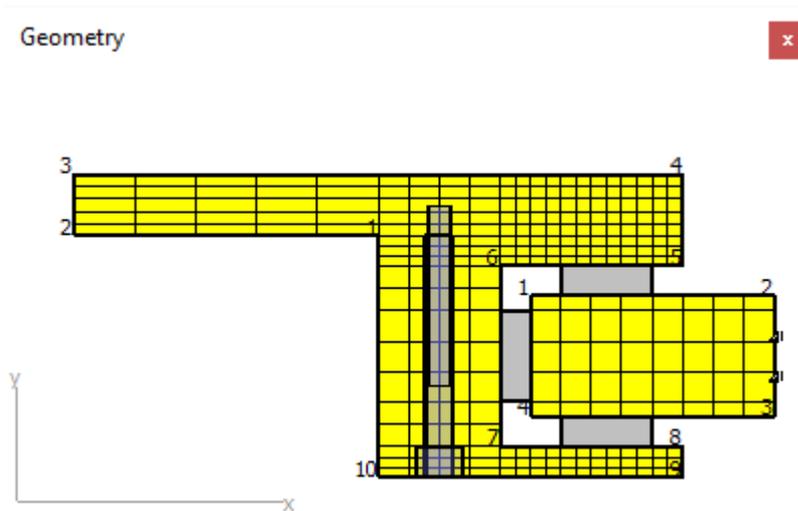
6.3.5.3 軸受 3次元

3次元軸受セットで荷重分布を表示することができます。



6.3.5.4 形状

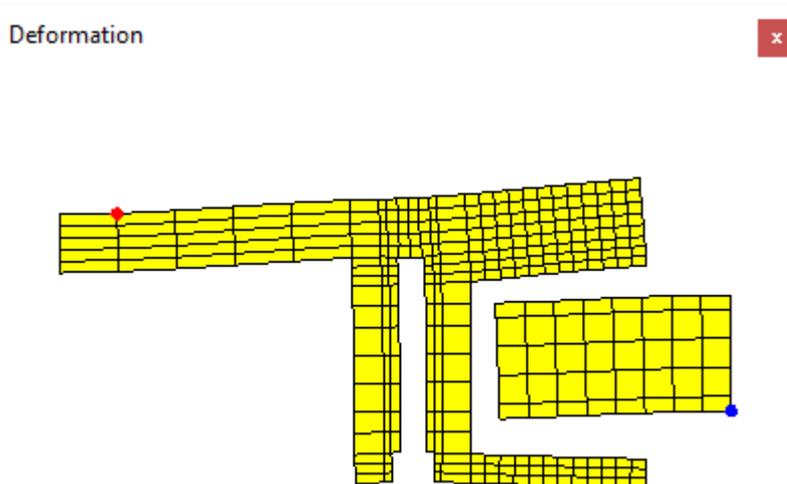
グラフィックス'形状'は、プリプロセスの後に利用できます。メッシュの確認やボルトや軸受列の位置の確認に利用できます。



6.3.5.5 変形

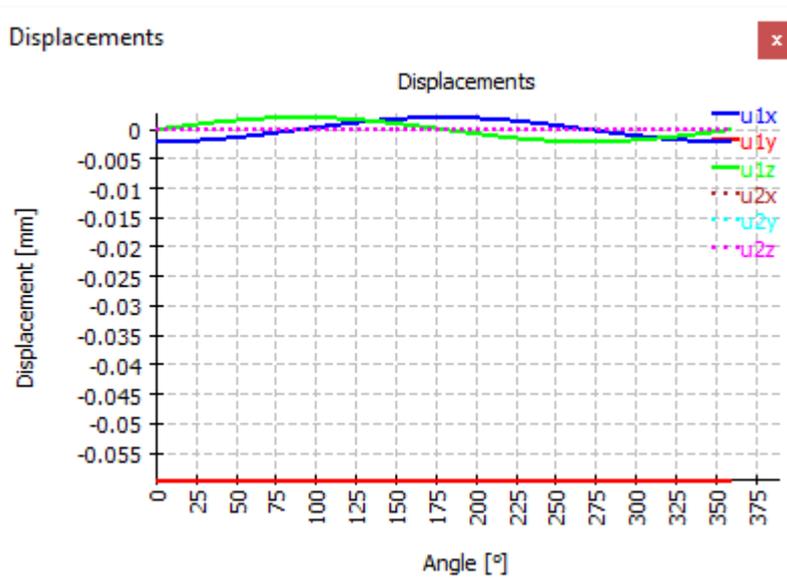
グラフィックス'変形'は、指定された角度に変形されたメッシュを表示します。変位を評価するための2つの点は色でマークされています。

最初の点は赤で、2番目の点は青で表示されます。



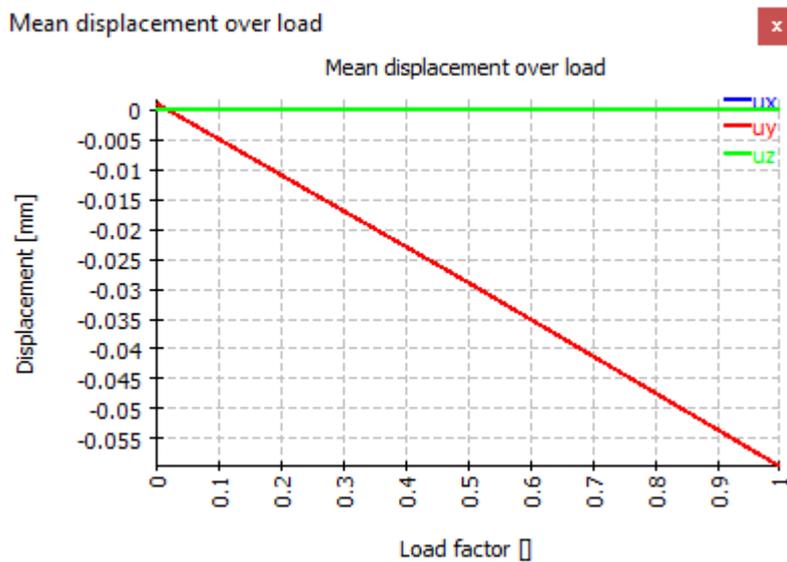
6.3.5.6 変位

選択した点の変位を円周上に表示します。



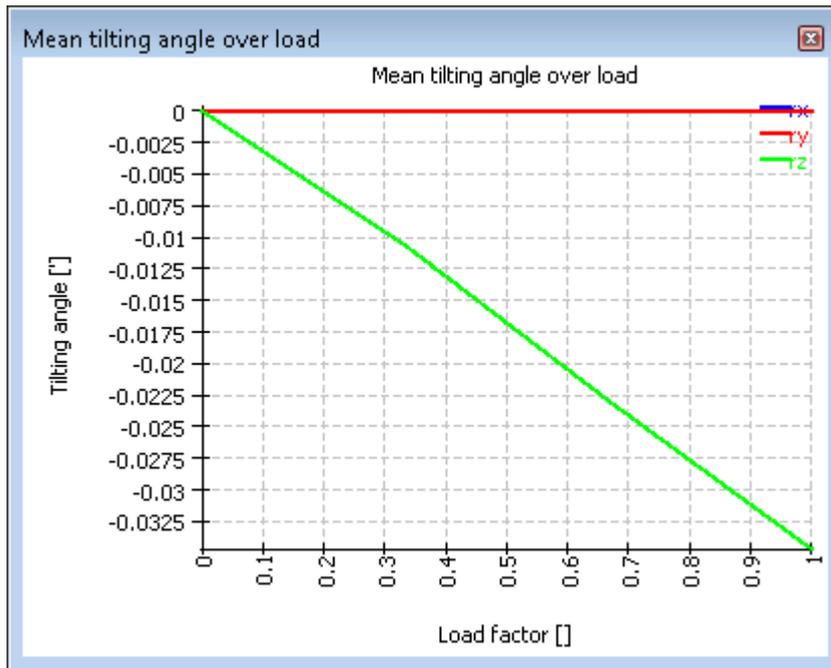
6.3.5.7 荷重係数に対する変位量

シリーズの計算の場合、荷重係数に対する平均変位を表示しています。



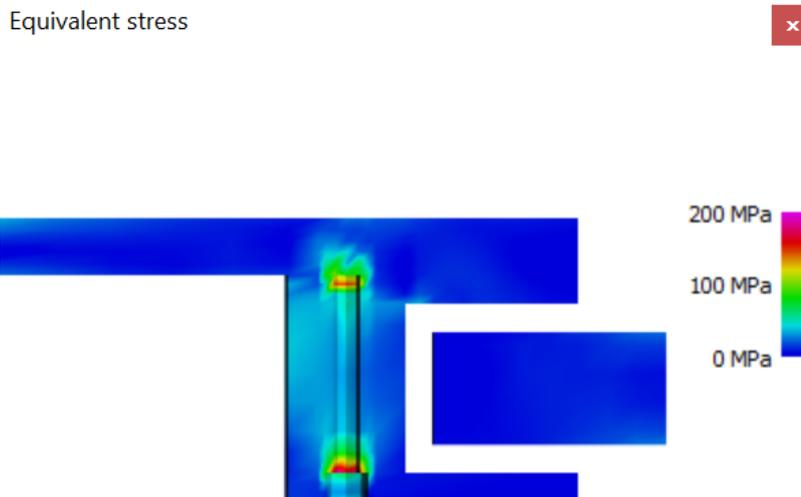
6.3.5.8 荷重係数に対する傾き角

平均変位と同様に、平均傾き角も荷重の係数に依存してダイアグラムで表示することができます。



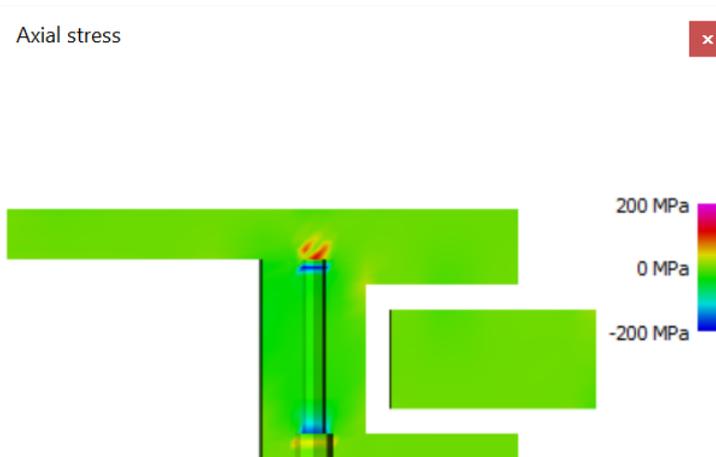
6.3.5.9 パーツの等価応力

パーツの等価応力はこのダイアグラムに表されます。



6.3.5.10 パーツのアキシャル、ラジアル、タンジエンシャル応力

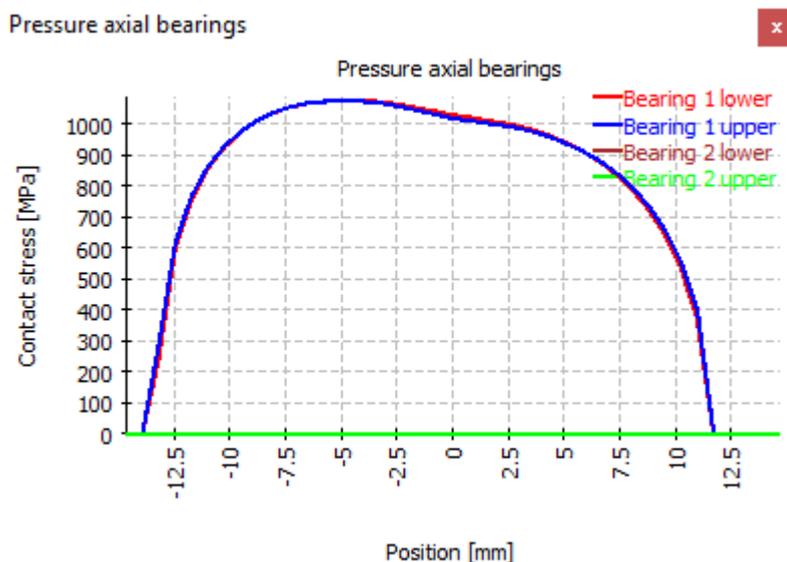
さらにダイアグラムは、パーツのアキシャル応力、ラジアル応力、タンジエンシャル応力を表示します。カラースケールの範囲は結果ページで定義することができます。



6.3.5.11 ベアリングの接触応力

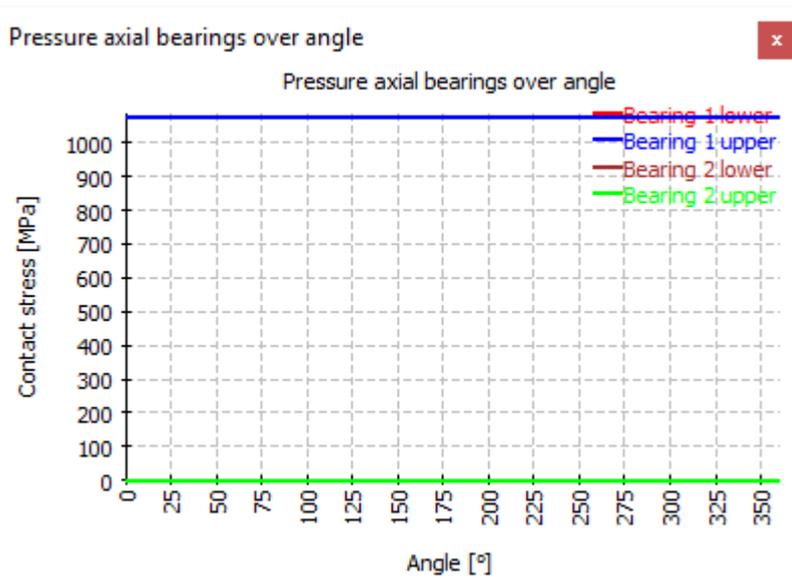
接触応力は、ローラーの長さによって表示されます。ユーザーインターフェースでは、1つのタイプの全てのベアリングに対して1つのグラフィックスが表示され、レポートでは、各ベアリングに対して1つのダイアグラムが表示されます。

ダイアグラム内の位置は、ローラーの中心を原点とするアキシアルまたはラジアル座標です。ラジアル軸受の場合、向きはY軸の向きと同じです。位置決めは、軸受の底面から上面に向かって行います。アキシアル軸受の場合、方向は半径で、位置は内側から外側になっています。



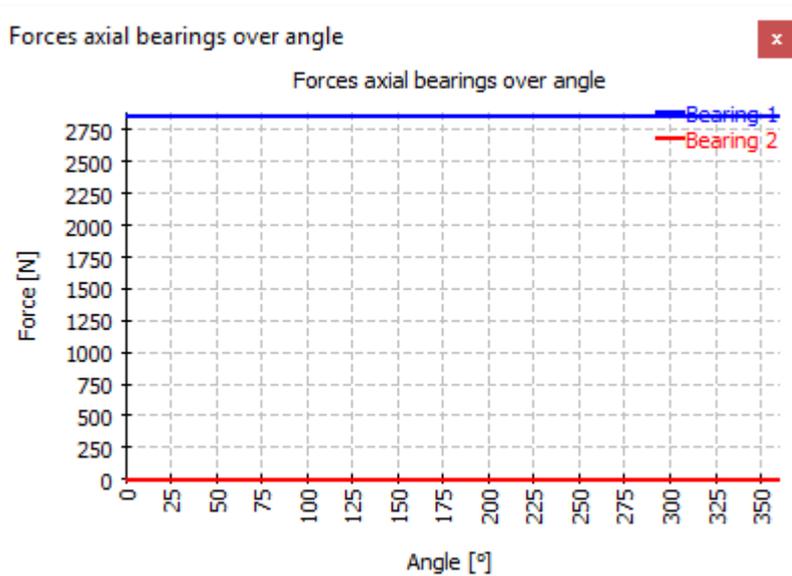
6.3.5.12 角度による接触応力

接触応力は、角度によって表示されます。ローラーごとの最大接触応力が表示されます。角度ゼロはX軸、270°はZ軸になります。



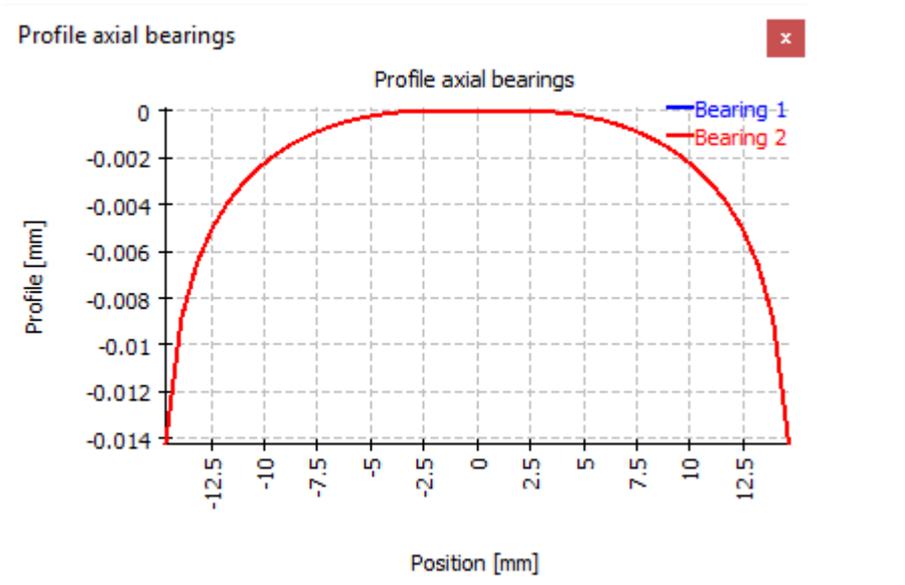
6.3.5.13 角度による荷重

角度によるローラーにかかる力の分布をダイアグラムで表示したものです。ローラーと溝(レース)間の力の合計です。



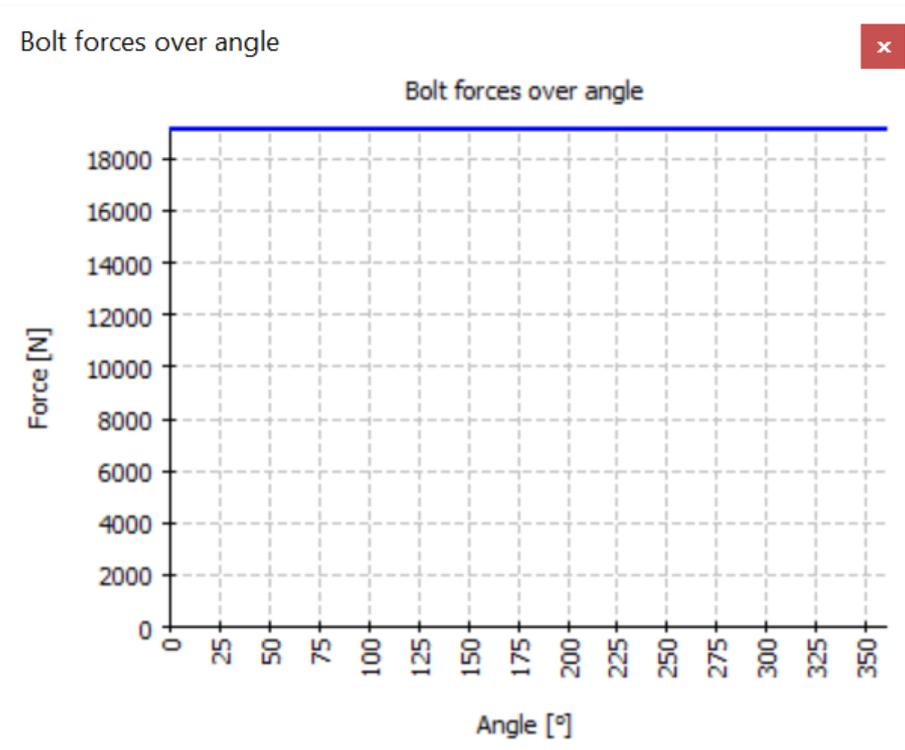
6.3.5.14 ローラープロファイル

ローラーのプロファイルは、このダイアグラムで表示されます。主に入力のチェックに使用されます。



6.3.5.15 角度によるボルト荷重

このダイアグラムは、角度によるボルトの荷重を表示したものです。



MESYS 円筒歯車ペア

7 MESYS 円筒歯車ペア

円筒歯車ペアの計算 (バージョン 12/2024) では、[ISO 21771-1](#)^[319]に従って歯車の形状が計算され、[ISO 6336](#)^[319]に従って強度が計算されます。次の機能がサポートされています。

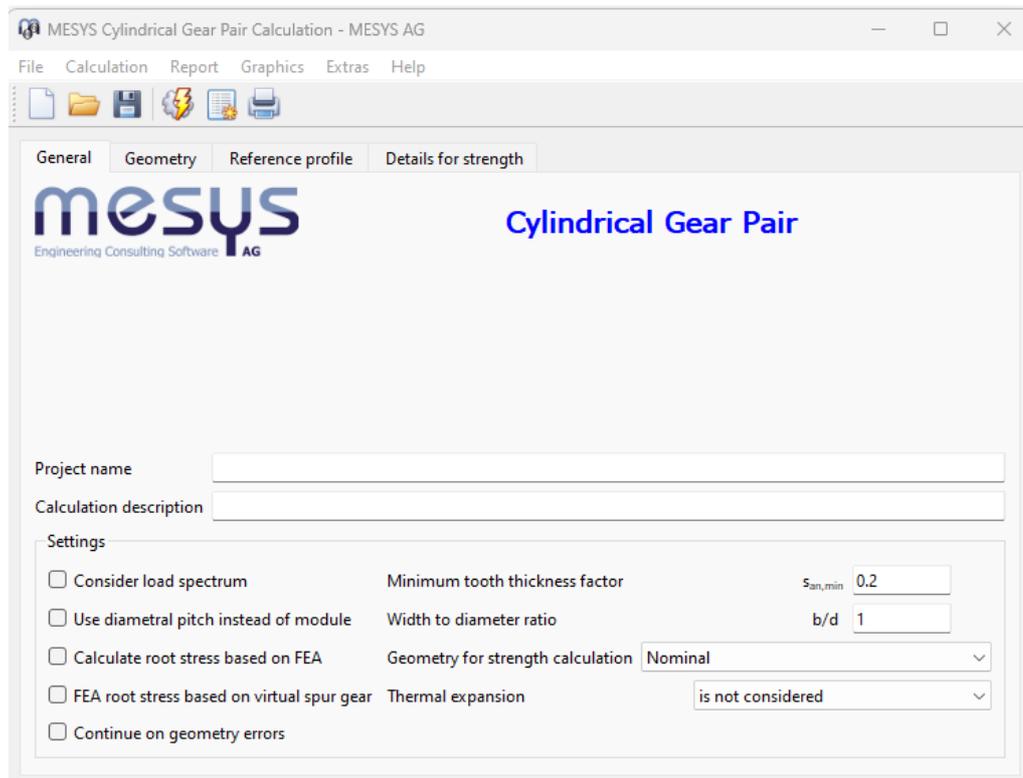
- [ISO 21771-1](#)^[319]に準拠した歯車形状の計算。内歯車の場合、すべての入力と出力の直径は、製造や文書化に使用されるため、ソフトウェア内で正の値として使用されます。内歯車の歯数のみ、マイナスに設定されます。
- [ISO 6336](#)^[319]パート 1、2、3、5、6に準拠した歯車強度計算。使用する歯厚とかみ合い率にはさまざまなオプションが用意されています。
- 荷重スペクトルのサポート。速度とトルクに加えて、かみ合い偏差、面荷重係数、または平均応力影響係数も荷重スペクトルで定義できます。
- 単一歯、フルギア、製造または噛み合いの歯形グラフィックス
- すべり率、寿命による安全性、寿命による許容トルクのグラフィックス
- 2D-FEA を使用した FEA ベースの歯形応力。はすば歯車の場合、仮想平歯車または通常のセクションのいずれかを使用できます。
- 3D-Gear ジオメトリは STEP エクスポートとして利用可能です。正面セクションは、 $10^{-4} m_n \cos(\beta)$ よりも高い精度で生成され、らせんに沿って押し出されます。らせんに沿った精度は CAD システムに依存します。現在、プロファイルやフランクの修正は含まれていません。

7.1 入力パラメータ

入力パラメータは4,5つのタブページに表示されます。

7.1.1 一般

最初の入力ページでは、プロジェクト名と説明に加えて、いくつかの設定を行うことができます。



- 荷重スペクトルを考慮した計算を行う場合は、“荷重スペクトルを考慮”を選択します。
- ダイアメラルピッチを入力する場合は、“モジュールの代わりに直径ピッチを使用”を選択します。
- FEAに基づく歯元応力の計算を有効にすることができます。ほぼ歯車の場合、通常の断面またはバーチャル平歯車に基づくことができます。
- “形状エラー時に続行”が設定されている場合、ソフトウェアは形状エラー時に停止しません。この場合、一部の結果が無効になる可能性があります。
- 最小歯厚係数は、頂部が小さい場合の警告に使用されます。
- 幅と直径の比率は、形状のサイズ設定に使用されます。
- 強度の計算では、公差フィールド内で考慮される形状に対して、いくつかのオプションが利用可能です。ISO/TR 6336-30^[319]では、係数 YS/YF に対して最小歯厚の呼び寸法を使用することが示されていますが、これはレポート内のすべての例に適合するわけではありません。公差フィールドが大きい場合は、公差フィールド内の平均位置または最小歯厚のいずれかを使用する必要があります。最小の歯厚は、曲げ強度にとって重要です。かみ合い率の場合、実際の用途に応じて、最大値または最小値のいずれかが重要となる可能性があります。
- 歯車やハウジングの熱膨張をかみ合い率に考慮することができます。

7.1.2 形状

歯車の形状はこのページで定義されます。

アクティブな入力値の選択については、右上のリストを選択できます。どの値が入力でどの値が出力であるかを定義します。最後の2つのオプションには、トルクを形状の入力として使用する強度計算も含まれています。

7.1.2.1 歯直角モジュール

歯直角モジュールは、歯のサイズを定義します。標準歯厚は、 $m_n \cdot \pi/2$ 、基準直径は $d = z m_n / \cos \beta$ です。

歯直角モジュールの代わりに、ダイヤメラルピッチを使用することもできます。これは

$$Pd = \frac{1}{m_n} \frac{25.4 \text{ mm}}{\text{in}}$$

7.1.2.2 歯直角圧力角

歯直角圧力角は、ツールによって異なります。標準角度は 20° です。

7.1.2.3 ねじれ角

ヘリカルギアの場合、歯のフランクリンは直線ではなくねじれとなります。ヘリカルギアでは、荷重はより多くの歯に分散されます。ヘリカルギアはシャフトに荷重を伝達します。

✚ ボタンを使用すると、ねじれの方向を定義できます。

7.1.2.4 中心距離

中心距離は、2つの噛み合うギアの軸間の距離です。✚ ボタンを使用すると、中心距離の公差を定義できます。

7.1.2.5 歯数

内歯車の場合、負の数の歯を定義する必要があります。最初の歯車であるピニオンの場合、より少ない数の歯車を使用する必要があります。

7.1.2.6 歯幅

両方のギアの面幅は異なる場合があります。+-ボタンを使用すると、2つのギア間の軸オフセットを定義できます。

7.1.2.7 転位係数

転位係数は、製造中のソールプロファイルの転位を定義します。転位係数が正の場合、歯の厚さが大きくなります。

+-ボタンを使用すると、測定値から転位係数を計算でき、バランスのとれた特定の滑りに基づく提案が表示されます。

| Parameter | Value | Unit |
|-------------------------------|-----------|------|
| Profile shift coefficient | 0.145222 | mn |
| Limit for undercut | 0.0376482 | mn |
| Limit for minimum top land | 0.923883 | mn |
| For balanced specific sliding | 0.410786 | mn |
| Spanned teeth | 13 | |
| Base tangent length | 308.093 | mm |
| Measurement ball diameter | 13 | mm |
| Distance over two balls | 872.691 | mm |
| Distance over two pins | 872.791 | mm |

7.1.2.8 歯先直径

歯先円直径は情報としてのみ表示されます。+-ボタンを使用すると、歯先円直径の許容値を定義できます。

7.1.2.9 内径

内径はギア本体の穴を定義します。

7.1.2.10 歯直角歯厚許容値 DIN 3967

歯厚の許容差は、DIN 3967に従って許容差クラスを選択するか、+-ボタンを使用してカスタムユーザー入力を使用して定義できます。

21 から 30 までの数字は許容差フィールドの幅を定義し、文字は DIN 3967 に従って許容差フィールドの位置を定義します。文字「h」は上限許容差をゼロにし、したがってバックラッシュが最小限になります。

✦ ボタンを使用してカスタム許容差値を定義でき、測定ボールの直径またはスパンする歯の数を定義できます。

7.1.2.11 公差クラス ISO 1328

公差クラスは、許容されるピッチ誤差またはフランクライン偏差を定義します。

7.1.2.12 要求寿命

要求寿命は強度計算における荷重サイクル数に使用されます。

7.1.2.13 応用係数

応用係数はギアの負荷に掛けられ、負荷の不確実性を考慮するために使用できます。

7.1.2.14 トルクと回転数

選択した基準ギアに対してトルクと回転数が定義されます。

7.1.2.15 材料特性

ギアの材料特性は強度計算に使用されます。

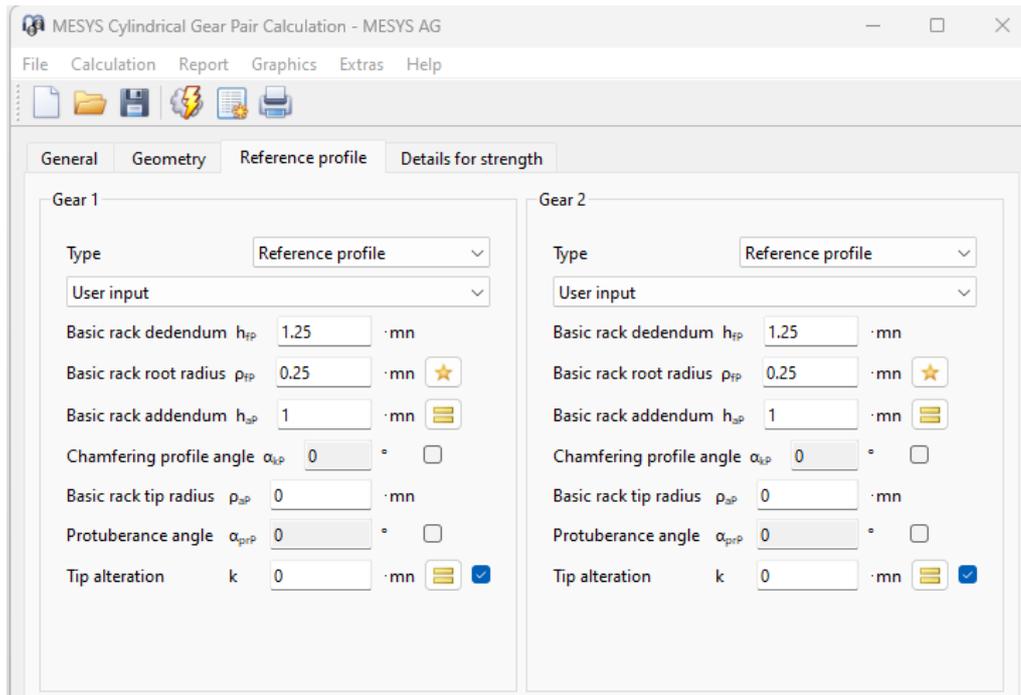
熱膨張を考慮する場合、ギアとハウジングの材料はすきまの熱変化を計算するためにも使用されます。

7.1.2.16 潤滑材

潤滑剤は、データベースからの選択、またはユーザーによる粘度の入力によって定義できます。

7.1.3 基準プロファイル

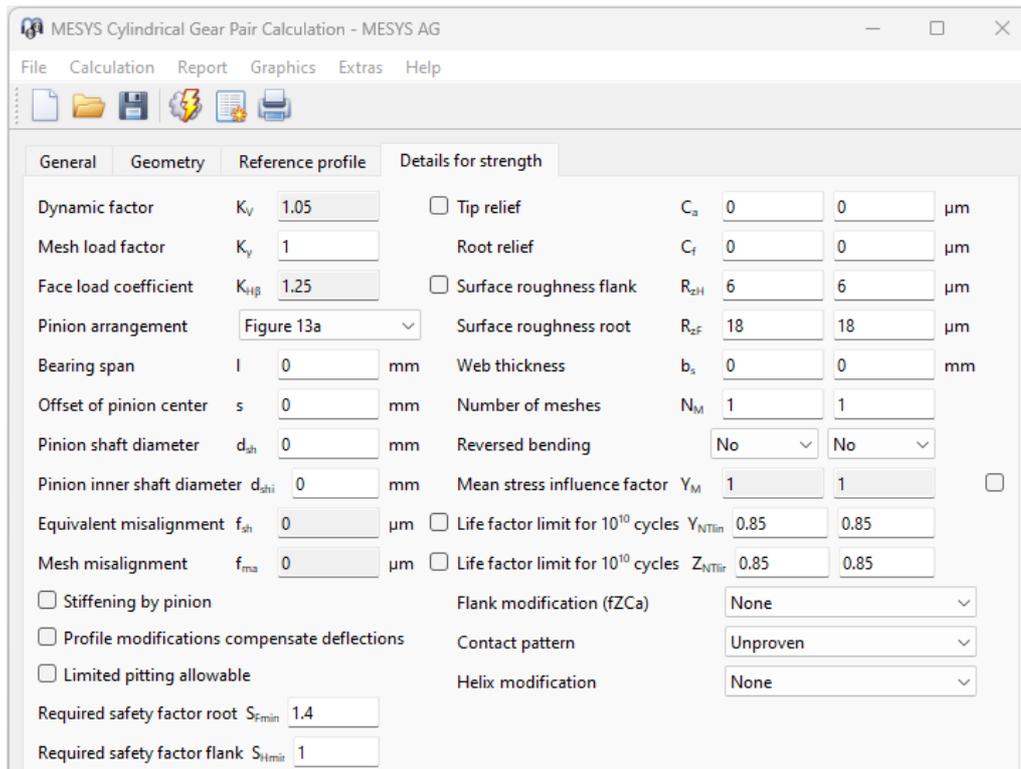
歯車の基準プロファイルは、3つのオプションによって定義することができます。基準プロファイル、ホブ、シェーノカットのいずれかを使用します。ホブは内歯車には対応していません。



ホブまたはシェーパーカッターを選択した場合、トッピング工具でない場合は、工具 h_{fp0} の歯元と基準プロファイル h_{sp} の歯先の両方を定義できます。工具の歯元は基本ラックの歯先よりも大きくする必要があります。そうしないと、工具が先端の直径をカットしてしまいます。そうでない場合は警告が表示されますが、先端の直径は基本ラックの歯先によって計算されます。この場合はトッピングツールを選択してください。

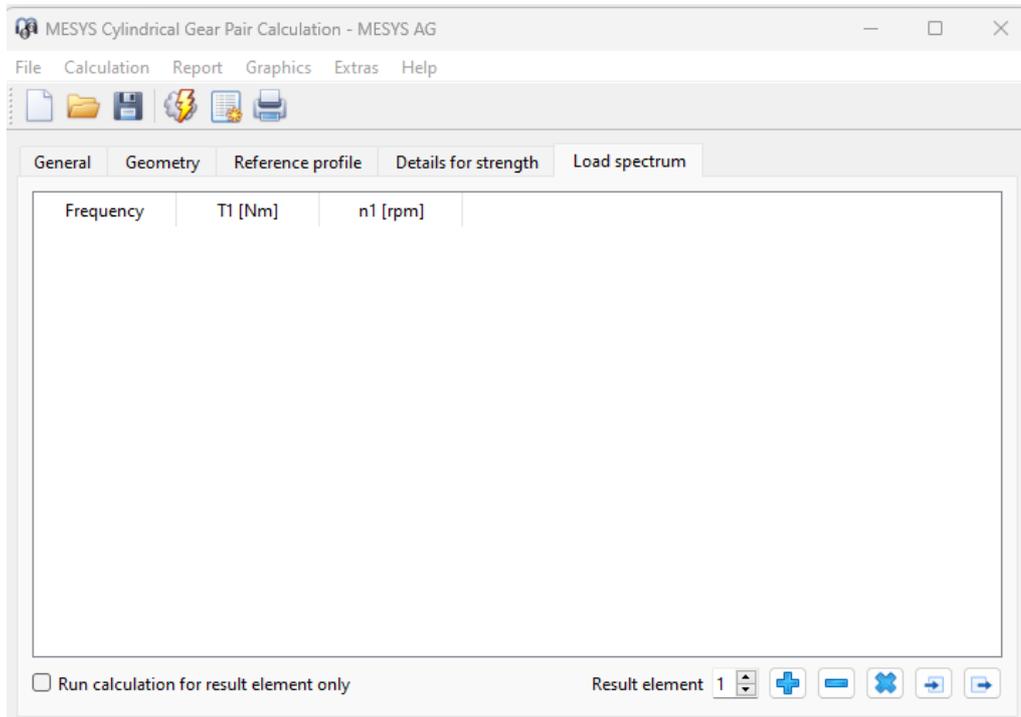
7.1.4 強度の詳細

ISO 6336 に準拠した強度計算の詳細は、このページで定義できます。



7.1.5 荷重スペクトル

一般ページで有効にすると、荷重スペクトルの入力ページが追加されます。



最初の列'Frequency'は、すべての荷重スペクトル要素について合計が(またはそれ以下)になる必要があります。追加の列は、マウスの右ボタンでコンテキストメニューを使用して追加することができます。

✚ボタンで行を追加したり、✖ボタンで選択した行を削除したりできます。✖ボタンはすべての入力をクリアします。

📄ボタンを使用すると、荷重スペクトルがファイルから読み込まれます。現在表示されている列とその単位を入力ファイルに使用しなければなりません。ファイルからのデータが入力に追加されるので、完全な荷重スペクトルを定義するには、まず入力をクリアする必要があります。同様に、作成した荷重スペクトル表は、対応する📄ボタンを使ってエクスポートすることができます。

7.1.5.1 単一の荷重スペクトル要素のみの計算

ユーザーが結果の要素のみ計算実行'というフラグを設定すれば、1つの要素(荷重ケース)に対してのみ計算を実行することができます。目的の荷重ケースを選択するには、✚ボタンの隣にある小さなボックスの矢印を使うか、要素番号を直接入力します。グラフィックは選択された要素に対してのみ表示されます。

これにより、荷重スペクトル計算を、独立して計算される荷重ケースの入力インターフェースとして使用することができます。

7.2 結果

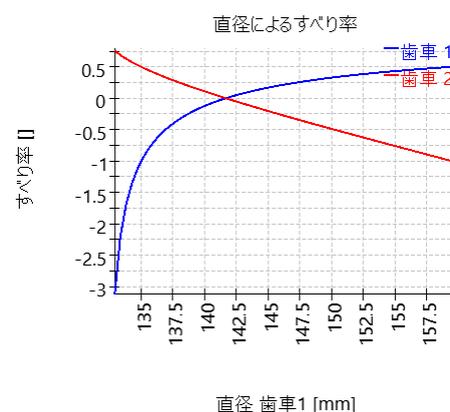
結果は、ソフトウェアに直接表示される小さな結果概要、メインのPDFテキスト・レポート、および個別のグラフィック・ウィンドウとして提供されます。グラフィック・ウィンドウはメイン・プログラムのインターフェイスにドッキングでき、計算ごとに自動的に更新されます。

7.2.1 結果グラフィックス

ここにテキストを入力してください。

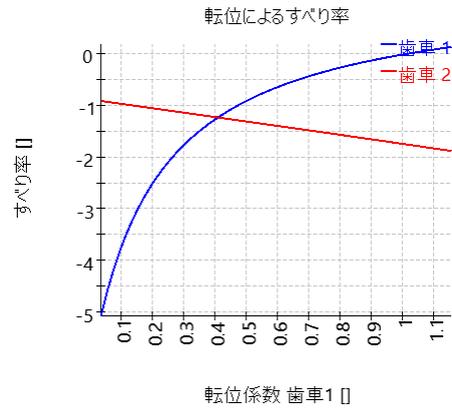
7.2.1.1 直径によるすべり率

定義された形状の直径に対して、特定のすべり率が表示されます。通常、特定のすべり率は-3より大きいことが推奨されます。



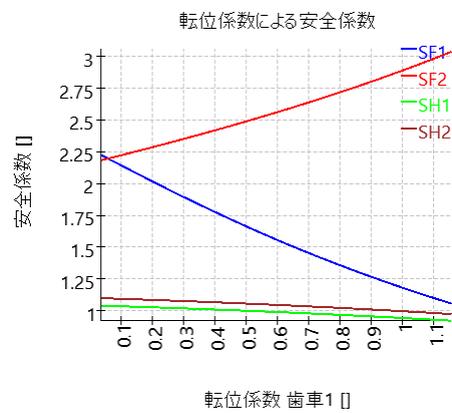
7.2.1.2 転位によるすべり率

特定のすべり率は、中心距離が一定の場合のギア1の転位に対して示されます。通常、特定のすべり率は-3より大きいことが推奨されます。



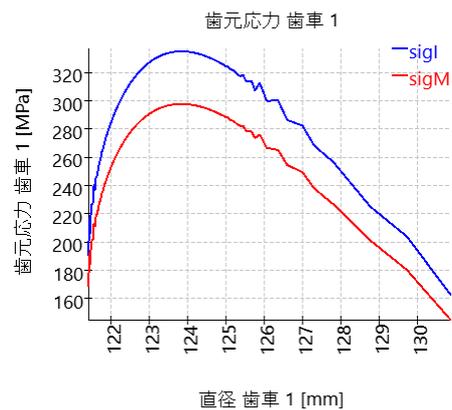
7.2.1.3 転位による安全率

安全係数は、中心距離が一定の場合のギア1の転位係数に対して表示されます。最適な転位係数を見つけるために使用できます。



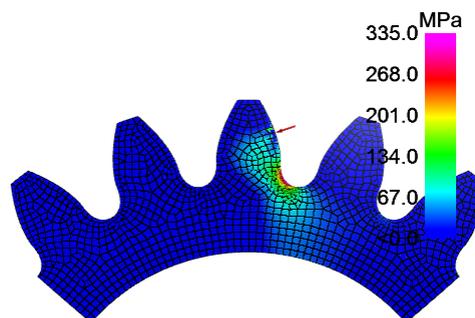
7.2.1.4 歯元応力

この図では、2D FEAに基づき歯元応力が直径にわたって示されています。



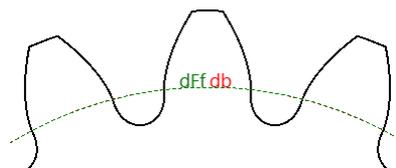
7.2.1.5 歯元応力 (2D)

2D FEAに基づく歯元応力はカラープロットで表示されます。



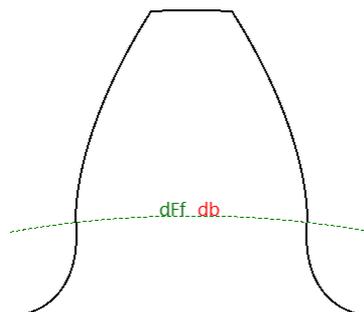
7.2.1.6 歯形

両方のギアの歯形のグラフィックを表示できます。このグラフィックでは、歯の形状を確認するために3つの歯のみが表示されています。



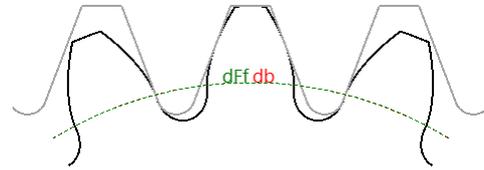
7.2.1.7 単一歯

各ギアごとに1つの歯を表示できます。



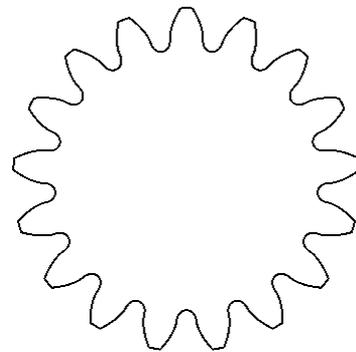
7.2.1.8 加工

各ギアはツールと一緒に表示できます。このグラフィックはアニメーションとしても利用できます。



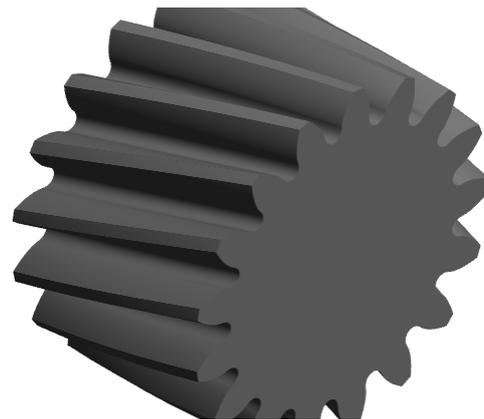
7.2.1.9 形状 (2D)

このグラフィックでは、完全なギアが2Dとして表示されます。



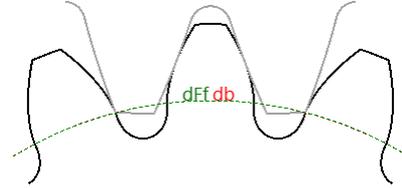
7.2.1.10 形状 (3D)

ギアの形状を3Dビューとして表示できます。



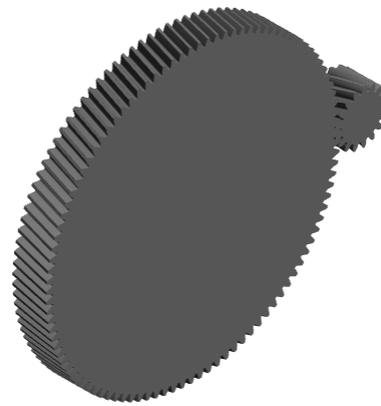
7.2.1.11 歯車かみ合い

ギアの接触を確認するために、ギアペアのかみ合いがこのグラフィックに表示されます。アニメーションとしても利用できます。



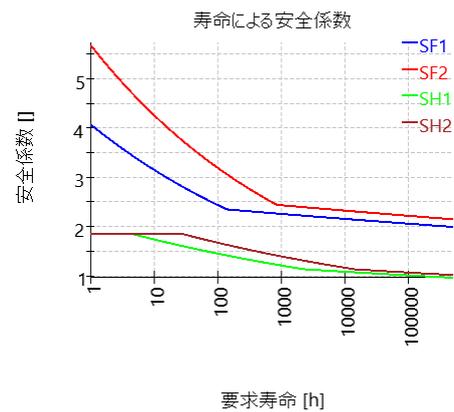
7.2.1.12 歯車かみ合い (3D)

ギアのかみ合いは3Dビューでも表示できます。



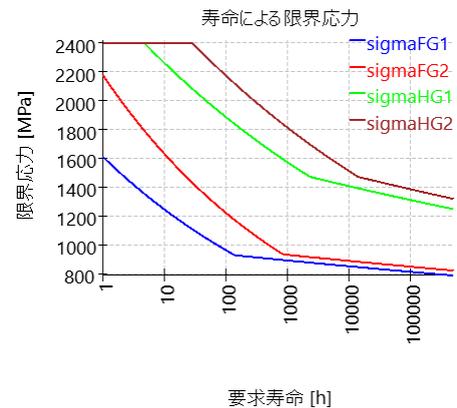
7.2.1.13 寿命による安全係数

この図では、寿命に対する安全係数が示されています。



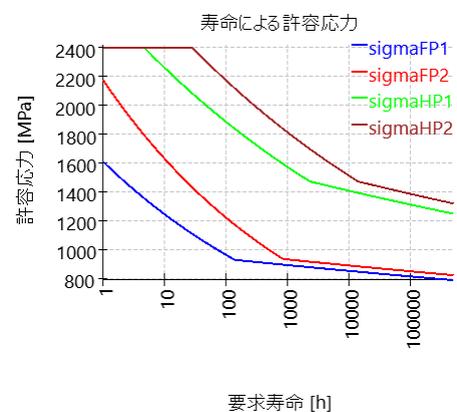
7.2.1.14 寿命による限界応力

この図は、寿命に対する応力リミットを示しています。



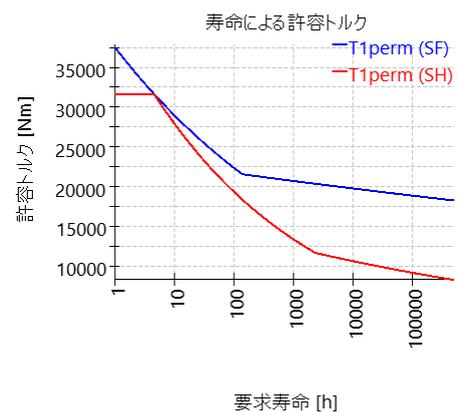
7.2.1.15 寿命による許容応力

この図は、寿命に対する許容される応力を示しています。



7.2.1.16 寿命による許容トルク

寿命に対する許容トルクはこの図に示されています。



7.2.2 CAD エクスポート

メニューの「グラフィックス」→「CAD」でいくつかのグラフィックスを選択できます。正面断面の歯形は、 $10^{-4} m_n \cdot \cos(\beta)$ よりも精度の高いベジェ曲線を使用してエクスポートされます。この正面断面をらせんに沿って押し出し、ほぼ歯車を形成します。押し出しの精度はCADシステムに依存します。

現時点では、プロファイルの修正とフランクリンの修正は考慮されていません。

MESYS 単一円筒歯車

8 MESYS 単一円筒歯車

単一円筒歯車計算 (バージョン 12/2024) [ISO 21771-1](#)^[319]に従って歯車形状を計算します。次の機能がサポートされています:

- [ISO 21771-1](#)^[319]に従って歯車形状を計算します。内歯車の場合、すべての入力直径と出力直径は、製造ドキュメント化に使用されるため、ソフトウェアでは正の値として使用されます。内歯車の歯数のみが負の値に設定されます。
- 単一歯、フルギア、または製造の歯形グラフィックス
- 3D 歯車形状はSTEP エクスポートとして使用できます。正面断面は $10^{-4}m_n \cos(\beta)$ よりも高い精度で生成され、らせんに沿って押し出されます。らせんに沿った精度は CAD システムによって異なります。現在、プロファイルまたは歯面の変更は含まれていません。

8.1 入力パラメータ

ここにテキストを入力してください。

8.1.1 一般

最初の入力ページでは、プロジェクト名と説明に加えて、いくつかの設定を行うことができます。

- ダイアメトラルピッチを入力する場合は、「モジュールの代わりにダイアメトラルピッチを使用」を選択します。
- 「形状エラーを続行」が設定されている場合、ソフトウェアは形状エラーで停止しません。この場合、一部の結果が無効になる可能性があります。
- 最小歯厚係数は頂部が小さい場合の警告に使用されます。

8.1.2 形状

ギアの形状はこのページで定義されます。

8.2 結果

ここにテキストを入力してください。

MESYS 歯車位置決め計算

9 MESYS 歯車位置決め計算

MESYS Gear Positions (Version 12/2024) は、歯車の設計データおよび歯車間の幾何学的拘束に関連した特定の基準を満たす必要があるシステムにおける歯車の位置決めを計算します。

レポートでは次のような結果を得ることができます：

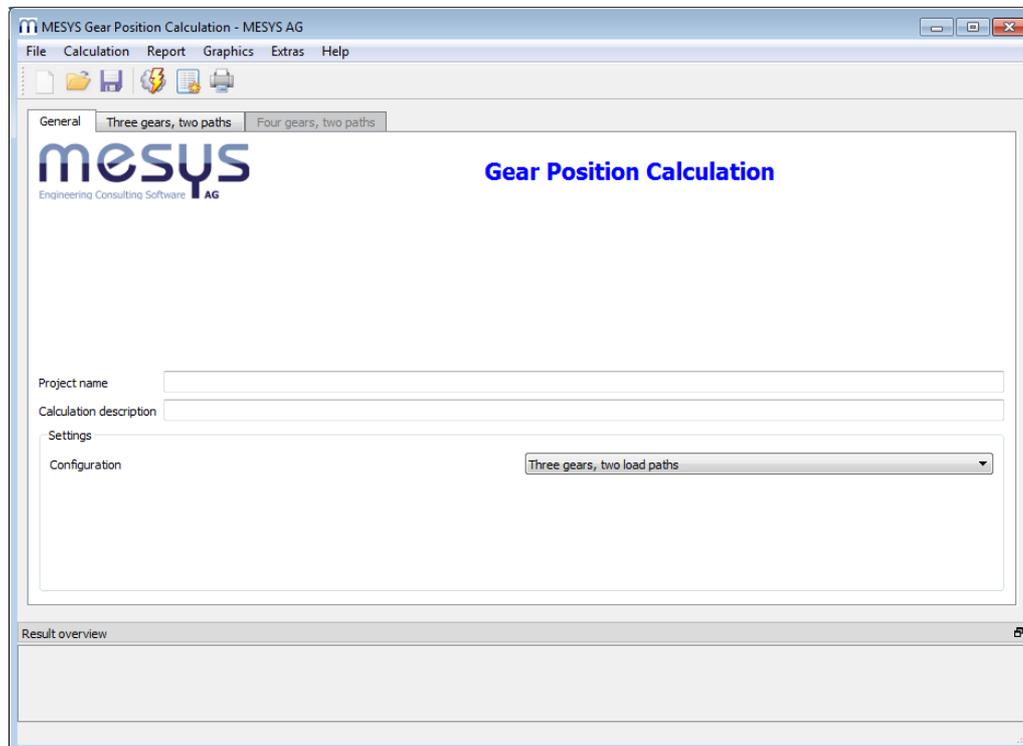
- システムの全歯車の中心座標
- 実現可能な歯車配置のグラフィックス表示

レポートに加えて、結果はいくつかのグラフィックスで表示されます。レポートとユーザーインターフェイスは、どちらもメートル単位またはUSカスタム単位で利用可能です。ユーザーインターフェイスとレポートでサポートされている言語は、英語、ドイツ語、フランス語、スペイン語、イタリア語、中国語、日本語、韓国語です。

9.1 入力パラメータ

入力パラメータは全て3つの違ったタブページで表示されます。

9.1.1 一般



プロジェクト名と計算概要

プロジェクト名と計算概要は、レポートヘッダに表示される単なる入力項目です。これらは、文書化のために計算の目的についての情報を入力するために使用されます。

設定

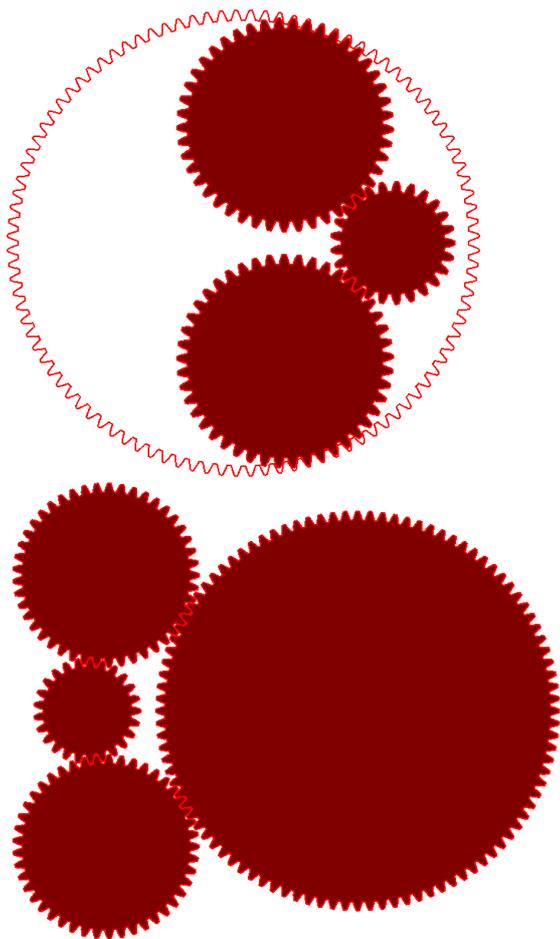
2つの構成が用意されています:

- 3つの歯車、2つの荷重パス
- 4つの歯車、2つの荷重パス

9.1.2 3つの歯車、2つのパス

| x1 [mm] | y1 [mm] | x2 [mm] | y2 [mm] |
|---------|---------|---------|---------|
| | | | |

このモジュールは、3つの歯車で構成される動力伝達のための2つの異なるパスを持つ、対称的なシステムの構成を可能にします。



9.1.2.1 システムデータ

このセクションでは、ギアシステム全体の一般的なデータや設定を定義することができます。

- 歯直角モジュール
- 歯直角圧力角
- ねじれ角
- 基準ラックの歯末 : h_{ap} は、標準基準ラックの歯末を定義する係数で、 $addendum = h_{ap} * m_n$ 。この値は通常1に等しく、従って $addendum = m_n$
- 要求すきま: 要求すきまは、連結されていない歯車の歯先同士がぶつからないように、許容できる最小の距離を設定した制限事項です。

9.1.2.2 歯車

3つの歯車それぞれについて、歯数およびプロファイルシフトを設計パラメータとして指定することができます。歯数に正の値を指定すると、デフォルトで外歯車とみなされ、内歯車のモデル化には負の値が使用されます。組立の都合上、3段目の歯車のみ負の値を指定することができます。

9.1.3 4つの歯車、2つのパス

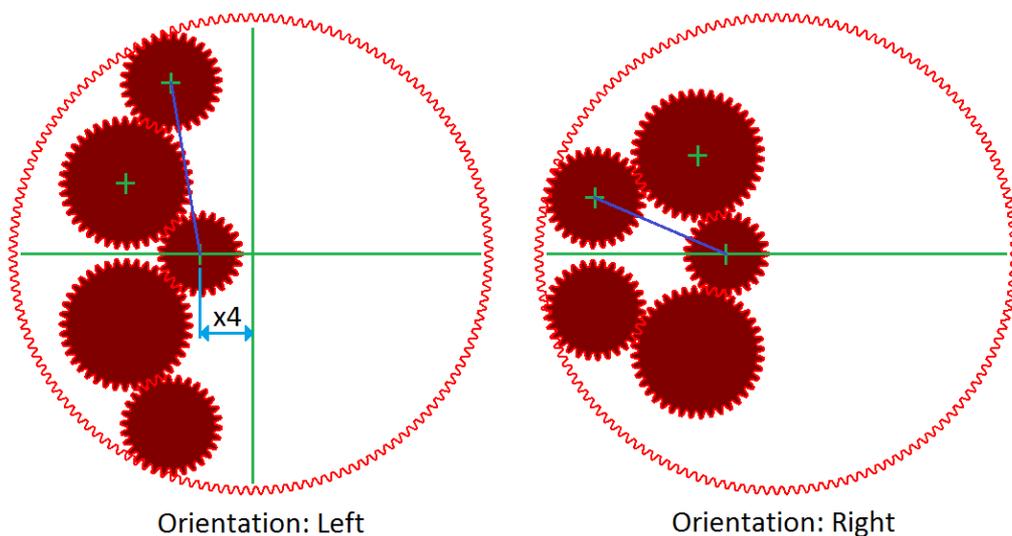
このプログラムの2番目のモジュールは、それぞれ4つの歯車で構成された動力を伝達するための2つの異なるパスを持つ対称的なシステムの構成を可能にします。

9.1.3.1 システムデータ

このセクションでは、ギアシステム全体に共通する一般的なデータや設定値を定義します。

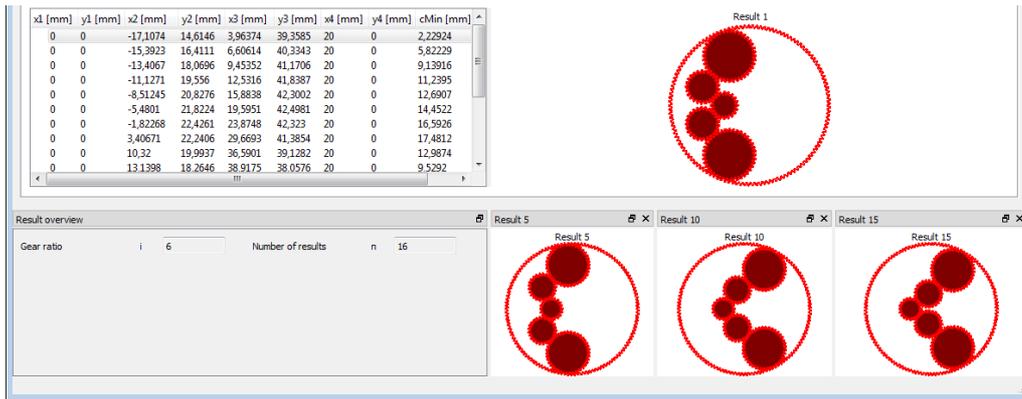
- 歯直角モジュール

- 歯直角圧力角
- ねじれ角
- 基準ラックの歯末: h_{ap} は、標準基準ラックの歯末を定義する係数で、 $addendum = h_{ap} * m_n$ と定義されます。この値は通常1に等しく、従って $addendum = m_n$
- 要求すきま: 要求すきまとは、連結されていない歯車の歯先同士がぶつからないように、許容できる最小の距離を設定した制限です。
- 距離歯車1から歯車4: この距離は、歯車1と歯車4の歯車中心間の距離として定義されます。正の値では、歯車1の中心に対して、歯車4の中心が右方向に引きずられることとなります。
- 向き: 向きは右' または左' を選択することができ、以下のように、第2歯車が第1歯車と第3歯車の間の中心線の左側または右側に位置を維持するように制限されるような構成に可能な結果を制限します。



9.2 結果

結果は、ソフトウェアに直接表示される小さな結果の概要、メインのPDFテキストレポート、および個別のグラフィックスウィンドウとして提供されます。グラフィックスウィンドウは、メインプログラムのインターフェイスにドッキングすることができ、計算ごとに自動的に更新されます。



参考文献

10 参考文献

- DIN 732. 2010.** *Wälzlager - Thermisch zulässige Betriebsdrehzahl - Berechnung und Beiwerte.* s.l. : DIN, 2010.
- DIN 743-1. Dezember 2012.** *Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen - Grundlagen.* s.l. : DIN, Dezember 2012.
- DIN 743-2. Dezember 2012.** *Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen - Formzahlen und Kerbwirkungszahlen.* s.l. : DIN, Dezember 2012.
- DIN 743-3. Juli 2024.** *Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen - Werkstoffe-Festigkeitswerte.* s.l. : DIN, Juli 2024.
- DIN 743-4. Dezember 2012.** *Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen - Schädigungsäquivalente Spannungsamplitude.* s.l. : DIN, Dezember 2012.
- DIN 3967. 1978.** *Getriebe-Paßsystem; Flankenspiel, Zahndickenabmaße, Zahndickentoleranzen, Grundlagen.* DIN, August 1978.
- DIN 3975-1. 2017.** *Begriffe und Bestimmungsgrößen für Zylinder-Schneckengetriebe mit sich rechtwinklig kreuzenden Achsen - Teil 1: Schnecke und Schneckenrad.* DIN, September 2017.
- DIN 7190-1. 2017.** *Pressverbände - Teil 1: Berechnungsgrundlagen und Gestaltungsregeln für zylindrische Pressverbände.* 2017.
- ISO 76. 2006.** *Rolling bearings - Static load ratings.* s.l. : ISO, 2006.
- ISO 281. 2007.** *Rolling bearings - Dynamic load ratings and rating life.* 2007.
- ISO 286-1. 2010.** *ISO code system for tolerances of linear sizes - Basis of tolerances, deviations and fits.* 2010.
- ISO 1002. 1983.** *Rolling Bearings - Airframe bearings - Characteristics, boundary dimensions, tolerances, static load ratings.* 1983.
- ISO/TR 1281-1. 2021.** *Rolling bearings - Explanatory notes on ISO 281 - Part 1: Basic dynamic load rating and basic rating life.* s.l. : ISO, 2021.
- ISO/TR 1281-2. 2008.** *Rolling bearings - Explanatory notes on ISO 281 - Part 2: Modified rating life calculation, based on a systems approach to fatigue stresses.* s.l. : ISO, 2008.
- ISO 3408-5. 2006.** *Static and dynamic axial load ratings and operational life.* s.l. : ISO, 2006.
- ISO 5753. 2009.** *Rolling bearings - Internal clearance - Part 1: Radial internal clearance for radial bearings.* 2009.

ISO 6336-1. November 2019. *Calculation of load capacity of spur and helical gears — Part 1: Basic principles, introduction and general influence factors.* 2019.

ISO 6336-2. November 2019. *Calculation of load capacity of spur and helical gears — Part 2: Calculation of surface durability (pitting).* 2019.

ISO 6336-3. November 2019. *Calculation of load capacity of spur and helical gears — Part 3: Calculation of tooth bending strength.* 2019.

ISO 6336-5. August 2016. *Calculation of load capacity of spur and helical gears — Part 5: Strength and quality of materials.* 2016.

ISO 6336-6. November 2019. *Calculation of load capacity of spur and helical gears — Part 6: Calculation of service life under variable load.* 2019.

ISO/TR 6336-30. December 2022. *Calculation of load capacity of spur and helical gears — Part 30: Calculation examples for the application of ISO 6336 parts 1,2,3,5.* 2022.

ISO 7902-1. June 2020. *Hydrodynamic plain journal bearings under steady-state conditions - Calculation procedure - Third edition.* s.l. : ISO, June 2020.

ISO 7902-2. June 2020. *Hydrodynamic plain journal bearings under steady-state conditions - Functions used in the calculation procedure - Second edition.* s.l. : ISO, June 2020.

ISO 7902-3. June 2020. *Hydrodynamic plain journal bearings under steady-state conditions - Permissible operational parameters - Second edition.* s.l. : ISO, June 2020.

ISO/TR 10657. 2021. *Explanatory notes on ISO 76.* s.l. : ISO, 2021.

ISO 15312. 2003. *Rolling bearings - Thermal speed rating - Calculation and coefficients.* 2003.

ISO 16281. 2025. *Rolling Bearings - Methods for calculating the modified reference rating life for universally loaded rolling bearings.* s.l. : ISO, 2025.

ISO 17956. 2025. *Rolling Bearings - Method for calculating the effective static safety factor for universally loaded rolling bearings.* s.l. : ISO, 2025.

ISO 20056-1. 2017. *Rolling bearings - Load ratings for hybrid bearings with rolling elements made of ceramic - Part 1: Dynamic load ratings.* 2016.

ISO 20056-2. 2017. *Rolling bearings - Load ratings for hybrid bearings with rolling elements made of ceramic - Part 2: Static load ratings.* 2017.

ISO 21771-1. 2024 *Cylindrical involute gears and gear pairs - Part 1: Concepts and Geometry.* s.l. : ISO, October 2024.

AGMA 925. 2003. *Effect of Lubrication on Gear Surface Distress.* 2003.

- Baalmann, K. 1994.** Gleichung für die Sollviskosität nach DIN ISO 281. *Tribologie und Schmierungstechnik*. 1994.
- Baly, Hatem. 2005.** *Reibung fettgeschmierter Wälzlager*. Hannover : Universität Hannover, 2005.
- Barnsby, Roger. 2003.** *Life ratings for modern rolling bearings*. NewYork : ASME International, 2003.
- Boresi, Arthur P. and Schmidt, Richard J. 2005.** *Advanced Mechanics of materials*. s.l. : John Wiley&Sons, 2005.
- Correns, Martin. 2015.** Berechnung der Ermüdungslebensdauer von Wälzkörpern. *11. VDI Fachtagung Gleit- und Wälzlagerungen*. 2015.
- de Mul, J. M., Kalker, J. J. and Fredrikson, B. 1986.** The Contact Between Arbitrary Curved Bodies of Finite Dimensions. *Journal of Tribology*. 1986, Vol. 108.
- Fujiwara, Hiroki and Yamauchi, Kazuto. 2010.** Tolerance Design of Logarithmic Roller Profiles in Cylindrical Roller Bearings. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*. 4, 2010, Vol. 4.
- Frantz, P. P. and Leveille. 2001.** An Approach to Predicting the Treshold of Damage to an Anular Contact Bearing During Truncation. *Aerospace Report No. TR-2001(8565)-4* March, 2001
- Gohar, Ramsey. 2001.** *Elastohydrodynamics*. London : Imperial College Press, 2001.
- Harnoy, Avraham. 2003.** *Bearing Design in Machinery*. New York, Basel : Marcel Dekker, 2003.
- Harris, T., Rumbarger, J. H. and Butterfield, C. P. 2009.** *Wind Turbine Design Guideline DG03: Yaw and Pitch Rolling Bearing Life*. Golden, Colorado : National Renewable Energy Laboratory, 2009.
- Harris, Tedric A. and Kotzalas, Michael N. 2007.** *Rolling Bearing Analysis: Advanced Concepts of Bearing Technology*. s.l. : CRC Press, 2007.
- Harris, Tedric A. and Kotzalas, Michael N. 2007.** *Rolling Bearing Analysis: Essential Concepts of Bearing Technology*. CRC Press : s.n., 2007.
- Heemskerck, R. 1980.** EHD lubrication in rolling bearings, review of theory and influence on fatigue life. *TRIBOLOGIA E LUBRICATIONE*. 1980.
- Houpert, L. 1999.** Bearing Life Calculation in Oscillatory Applications. *Tribology Transactions*. 1999, Bd. 42.
- Koch, Asmus. 1996.** *Steigerung der Höchstdrehzahl von Schrägkugellagern bei Ölminimalmengenschmierung*. Aachen : Shaker Verlag, 1996.

Nakajima, Katsuhiko. 1995. Thermal Contact Resistance Between Balls and Rings of a Bearing Under Axial, Radial, and Combined Loads. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*. 9, 1995, Bd. 1.

Niemann, G. und Winter, H. 2003. *Maschinenelemente Band 2: Getriebe allgemein, Zahnradgetriebe - Grundlagen, Stirnradgetriebe*. Heidelberg : Springer, 2003.

— . **2004.** *Maschinenelemente Band 3: Schraubrad-, Kegelrad-, Schnecken-, Ketten-, Riemen-, Reibradgetriebe, Kupplungen, Bremsen, Freiläufe*. Heidelberg : Springer, 2004.

Niemann, G., Winter, H. und Höhn, B.-R. 2005. *Maschinenelemente Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen*. Heidelberg : Springer, 2005.

Paland, E.-G. 1968. Die Lastverteilung in einem auf der Ebene abgestützten Zylinderrollenlager. *Maschinenbautechnik (Schmierungstechnik)*. 17, 1968, Bd. 8.

Schlecht, Berthold. 2007. *Maschinenelemente 1*. München : Pearson Studium, 2007.

— . **2010.** *Maschinenelemente 2*. München : Pearson Studium, 2010.

Teutsch, Roman and Sauer, Bernd. 2004. An Alternative Slicing Technique to Consider Pressure Concentrations in Non-Hertzian Line Contacts. *Journal of Tribology*. 2004, Vol. 126.

Cowper., G. R. June 1966. The Shear Coefficient in Timoshenko's Beam Theory. *Journal of Applied Mechanics – Transactions of the ASME*. June 1966.

Hutchinson, J. R. January 2001. Shear Coefficients for Timoshenko Beam Theory. *Journal of Applied Mechanics – Transactions of the ASME*. January 2001.

- 2 -

2Dグラフィックス 26

- 3 -

3Dグラフィックス 27
 3次元弾性パーツ 115
 3次元弾性パーツ(シャフト) 117
 3次元弾性プラネットキャリア 119
 3点接触玉軸受 172

- A -

aISO 155

- C -

CAD形状をインポート 122
 COMインタフェース 51

- D -

DIN 743 70, 77, 99

- E -

EP-添加剤 203

- I -

INI-ファイル 18
 ISO 20056 162
 ISO 281 186
 ISO 286 200
 ISO 3408-5 244
 ISO 492 199
 ISO 5753 197
 ISO 76 187

- O -

Orbit speed 229

- R -

Reliability 233

REXS-インポート 74
 REXS-エクスポート 74

- Z -

アキシャルすきま 198, 249
 アキシャルラジアルころ軸受計算 270
 アキシャル剛性 96
 アンギュラころ軸受 184
 アンバランス 85
 インストール 18
 ウォーム 83
 ウォームギア 84
 エキサイト 110
 エンドレリーフ 109
 カスタムレポートテンプレート 50
 カップリング 81
 キャンベルダイアグラム 67
 グラフィックスを外部出力する。 24
 グリース寿命 219
 クロスロー軸受 184
 コマンドラインパラメーター 28
 コンテンツのフリーズ 24
 コンフィギュレーション 18, 72, 112
 サポート 88
 シム角 190
 ジャイロモーメント 158
 ジャイロモーメントのオプション 158
 ジャイロ効果 67
 シャフト/ハウジングのはめあい 200
 シャフトサポート 87
 シャフトのコピー 102
 シャフトのソート 74
 シャフトを追加 74
 シャフトを分割 102
 シャフト荷重 80
 シャフト強度計算 77
 シャフト形状をインポート 103
 シャフト計算 64
 すきまの選択 157
 すきまの目安 157
 スラストアンギュラ軸受 169
 スラスト円すいころ軸受 180
 スラスト円筒ころ軸受 177
 スラスト円筒ころ軸受(複列) 177
 スラスト自動調心ころ軸受 183
 スラスト軸受として扱われる4点接触玉軸受 171
 スラスト深溝玉軸受 166
 せん断変形 70, 101
 せん断変形を考慮 211
 ダイアグラムオプション 24

- データベース 29
- データベーステーブル 32
- ドキュメンテーションポイント 99
- トラックローラー 209
- トラックローラーの形状 211
- トroidalローラーベアリング 181
- ニードル軸受 176
- ハーフラジアル自動調心ころ軸受 182
- バーレルころ軸受 180
- ハウジングとしての3次元弾性パーツ 121
- ハウジング剛性マトリックス 72, 113
- はめあい計算 60
- パラメータバリエーション 33
- ビデオエクスポート 27
- プーリ 86
- ベアリングタイプ別オプション 162
- ベアリングのタイプ 162
- ベアリングのはめあい 199
- ベベルギア 83
- ヘルツ計算 260
- ボールねじ 94
- ボールねじ形状 246
- ボールねじ計算 242
- ラジアルアンギュラ軸受 167
- ラジアルすきま 198
- ラジアル円すいころ軸受 178
- ラジアル円すいころ軸受(複列) 179
- ラジアル円筒ころ軸受 174
- ラジアル円筒ころ軸受(複列) 176
- ラジアル円筒すべり軸受 93
- ラジアル軸受として扱われる4点接触玉軸受 170
- ラジアル深溝玉軸受 163
- ローラープロファイル 192
- 圧力粘度係数 204
- 一般サポート 89
- 一般的な使用方法 24
- 円筒サポート 96
- 円筒歯車 82
- 遠心力 156
- 汚染係数 202
- 加速度 66
- 荷重 81, 84
- 荷重スペクトル 111, 208, 252, 284
- 荷重スペクトルを考慮 71
- 拡張計算モデル 92
- 基礎励振 98
- 基本静定格荷重 187
- 基本動定格荷重 186
- 許容静的曲げ応力 213
- 許容動的曲げ応力 213
- 曲率比 191
- 形状 78
- 結果テーブル 51
- 結果の概要 48
- 減衰マトリックス 95
- 固有振動数 67, 127
- 固有振動数を計算 67
- 公差 157, 199, 200
- 更新情報 24
- 硬化深さ 157
- 剛性マトリックス 94
- 最初の転動体の位置 158
- 材料 204
- 歯車位置決め計算 310
- 歯面の修正 107
- 歯面ラインクラウニング 107
- 歯面ライン傾斜の修正 108
- 自動調心ころ軸受 182
- 自動調心玉軸受 172
- 自動調心玉軸受(複列) 172
- 軸受の信頼度 70, 155
- 軸受精度 199
- 軸受励振 98
- 質量 85
- 主なレポート 49
- 周波数応答 127
- 修正定格寿命の計算 161
- 重量 66
- 潤滑油 73, 202
- 潤滑油の厚み 156
- 潤滑油温度 73, 204
- 信頼度 155, 244
- 深溝玉軸受(2列) 165
- 推定値 157
- 接触角 190, 248
- 接触剛性 98
- 多層はめあい 199
- 対数プロファイル 192
- 単位システム 24
- 弾性輪の膨張 160
- 定格荷重ダイアグラム 219
- 転がり軸受 90
- 転がり軸受計算 152
- 転動体の温度 158
- 転動体の寿命 159
- 転動体の初期の位置決め 70
- 統計的パラメータバリエーション 40
- 動画としてのエクスポート 24
- 動作環境 24
- 動的荷重 86
- 動粘度 203
- 熱許容回転数 217
- 背景図面 79
- 反作用トルクのカップリング 94

| | |
|---------------|--------|
| 疲労限荷重 | 187 |
| 非線形シャフトモデルを考慮 | 71 |
| 非線形軸受剛性を考慮 | 100 |
| 不均衡 | 69, 85 |
| 複列スラストアンギュラ軸受 | 169 |
| 複列ラジアルアンギュラ軸受 | 167 |
| 複列深溝玉軸受 | 173 |
| 偏心力 | 84 |
| 遊星サポート | 96 |
| 揺動軸受 | 157 |
| 溶接ポイント | 95 |
| 要素毎に温度を考慮 | 100 |