

チュートリアル

シャフトシステム・スターター 単段遊星ギヤボックス

目次

1.序文	2
1.1 チュートリアルの目的	2
1.2 ソフトウェアのバージョン	2
1.3 注意事項	2
2.MESYS シャフトシステム	2
2.1 一般	2
2.2 説明	3
3.ソフトウェアマニュアル	3
3.1 オンラインマニュアル	3
3.2 PDF マニュアル	3
4.シャフトシステムのプロジェクト	4
4.1 チュートリアルの内容	4
4.2 初期状況	4
4.2.1 要件	4
4.2.2 コンポーネントの定義	4
4.3 イラストレーション	6
4.3.1 ファイルの作成	6
4.3.2 グループ	6
4.3.3 コンポーネント	7
4.3.4 ギヤ	9
4.3.5 サポート	11
4.3.6 荷重	14
4.3.7 潤滑剤	15
5.計算	15
5.1 設定	15
5.2 計算ステップ	16
6.結果	16
6.1 結果の概要	16
6.2 ギヤ接続の概要	16
6.2.1 ギヤ計算	16
6.2.2 ギヤ接続の結果	17
6.3 荷重スペクトル	17
6.4 結果のグラフ表示	17
6.4.1 概要	17
6.4.2 グラフィック・メニュー	18
6.4.3 エクスポート	19

1. 序文

1.1 チュートリアル の 目的

シャフト計算拡張 [MESYS Shaft Systems](#) のスターターチュートリアルは、ユーザーに機能に慣れてもらい、平行シャフトの使用に関連する側面を分析する際の計算機能について最初の印象を与えることを目的としています。制限として、製品および練習内容に精通していることを前提に、適切なトピックや設定についてのみ言及または取り扱っています。ソフトウェアを使用する際のご不明な点がございましたら、お気軽に MESYS までお問い合わせください。

1.2 ソフトウェアのバージョン

このチュートリアルは 11.02.2025 から MESYS シャフト計算バージョン 12-2024 で作成されました。

1.3 注意事項

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

図 1

2 MESYS シャフトシステム

2.1 一般

MESYS シャフトシステムの可能性をご理解いただくために、MESYS のウェブサイト ([シャフトシステム](#) 専用アドレス) をぜひご覧ください。

また、シャフトやギヤについては、図 2 に従い、[Home/Downloads](#) /Categories の該当記事もご参照ください：

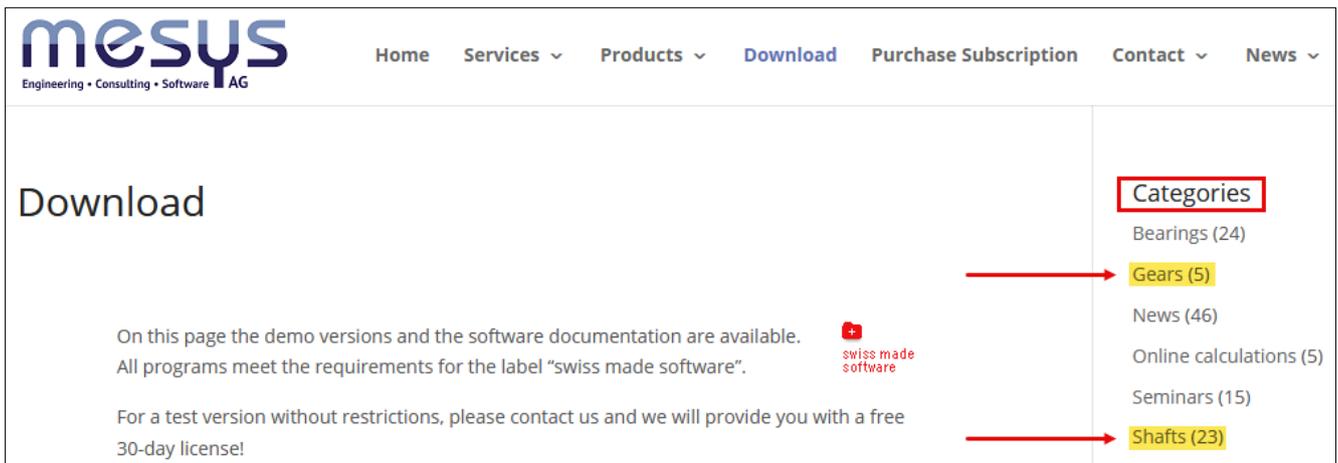
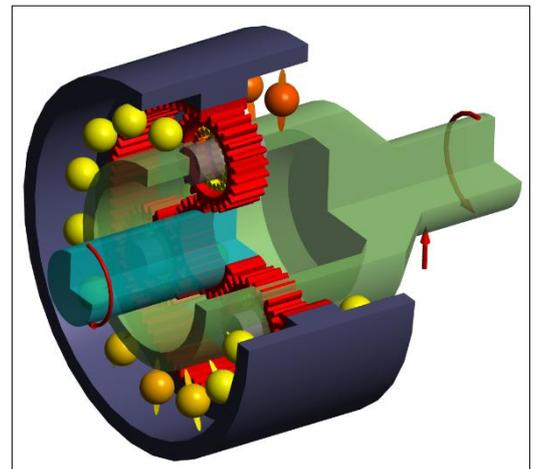
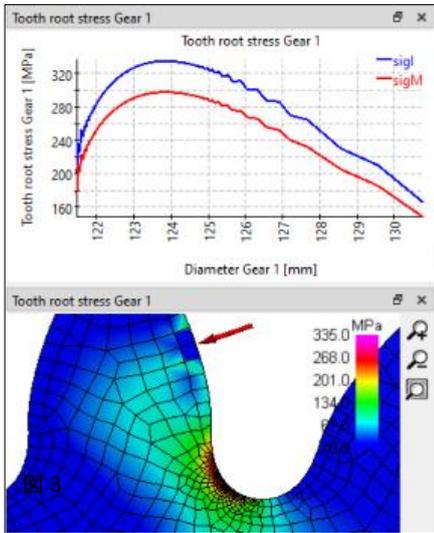


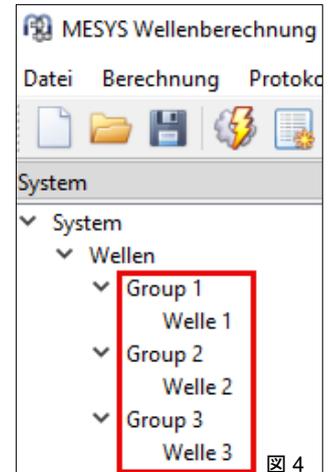
図 2

2.2 説明



MESYS Shaft Systems は、MESYS Shaft Calculation を拡張したソフトウェアです。これにより、平行および同軸シャフトをグループ化して表示し(図 4)、さらに関係、接続、条件、または荷重を割り当てることができます。これにより、ギヤシステムの一般的な動的および静的状態や、特定の軸受の状態を解析することができます。

追加ライセンスにより、対応する規格(ISO 21771-1 / ISO 6336)に基づいた歯車計算を行うことができます(円筒歯車ペア)。



3. ソフトウェアマニュアル

3.1 オンラインマニュアル

ソフトウェアのオンライン・マニュアルは、ユーザー・インターフェースから "Manual F1"(図 5)の下にある "Help" メニューを選択することでアクセスできます。

オンラインマニュアルは、F1 キーボードから直接、場所に応じた内容でいつでもローカルに開くことができます。

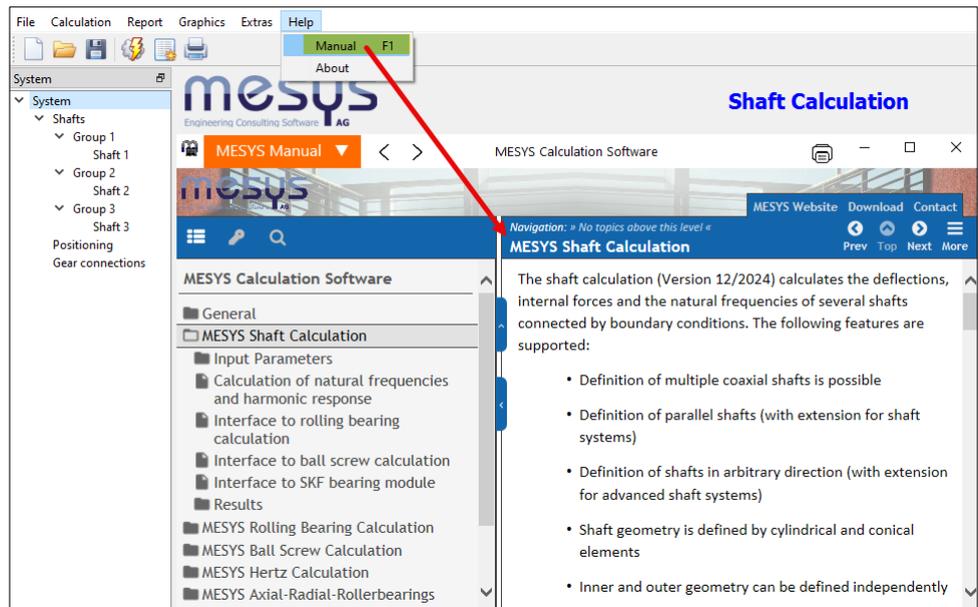


図 5

3.2 PDF マニュアル

ソフトウェアマニュアルは、MESYS のインストールディレクトリ内の主要言語で PDF ファイルとして見つけることもできます(図 6)。

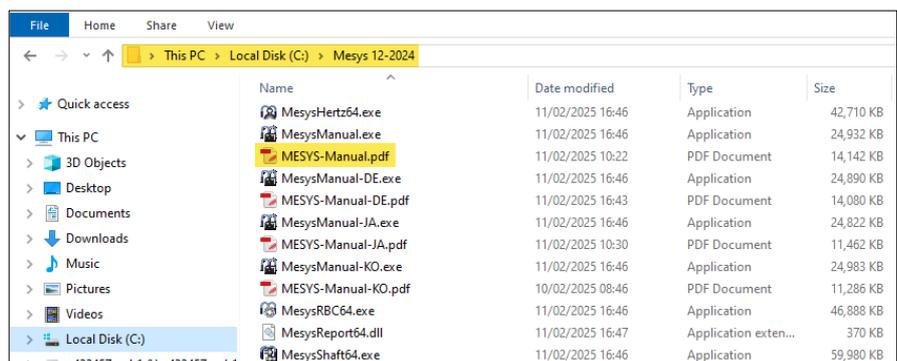


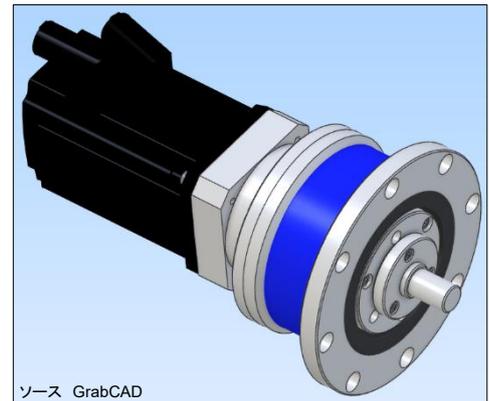
図 6

4. シャフトシステムのプロジェクト

4.1 チュートリアルの内容

統合生産システムにおけるピック&プレースの自動化のために、4kWの電気駆動装置を備えた単段遊星ギヤボックスを設計する必要があります。このタスクのために、MESYS Shaft Systems を使用して、遊星ギヤボックスの意図された構成を計算で確認する必要があります。

図 7



4.2 初期状況

4.2.1 要件

システム・コンポーネントとのインターフェースにより、以下の要件を考慮しなければならない：

入力速度		2000	rpm
エンジトルク	約	30	Nm
出力速度 キャリア：		400	rpm
トルク出力：	約	150	Nm

4.2.2 コンポーネントの定義

4.2.2.1 歯の数

プラネタリーセットの歯数は以下の通りであり、120°での装着性も保証されている：

歯数	サンギヤ	20
	プラネタリ	29
	リングギヤ	-79

リングギヤ固定で、出力はプラネットキャリア経由：

$$i = 1 + \frac{Z_R}{Z_S} \qquad i = 1 + (79 / 20) = 4.95$$

i：伝達比

Z_R：リングギヤの歯数

Z_S：サンギヤの歯数

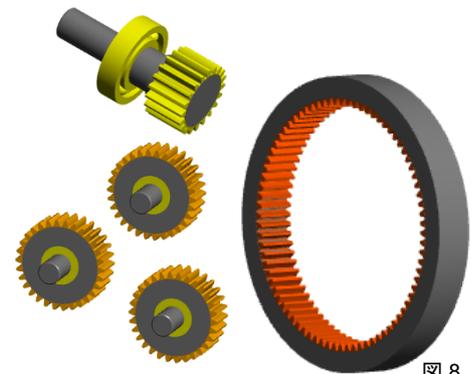


図 8

プラネットキャリアが固定され、リングギヤを介して出力される状態：

$$i = \frac{Z_R}{Z_S} \qquad i = 79 / 20 = 3.95$$

サンギヤを固定し、キャリアを介して出力した状態：

$$i = \frac{Z_R}{Z_R + Z_S} \qquad i = 79 / (79 + 20) = 0.797$$

入力回転数が 2000rpm の場合、リングギヤが所定の位置に保持された状態で、プラネットキャリアを介した出力回転数は 404.04rpm となる。これは、4.2.1 の要求を満たします。

4.2.2.2 形状と位置

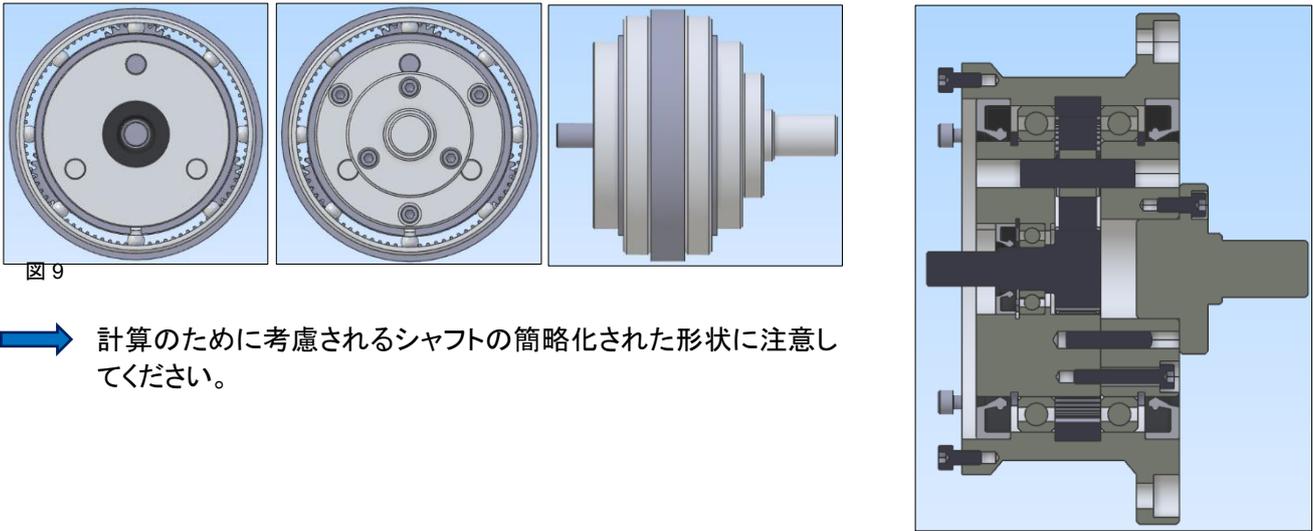
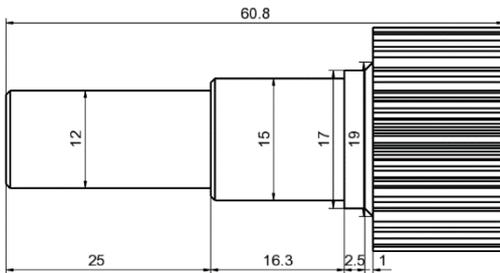


図 9


 計算のために考慮されるシャフトの簡略化された形状に注意してください。

シャフト・サンホイール



幾何学的に近似されたプラネットキャリア

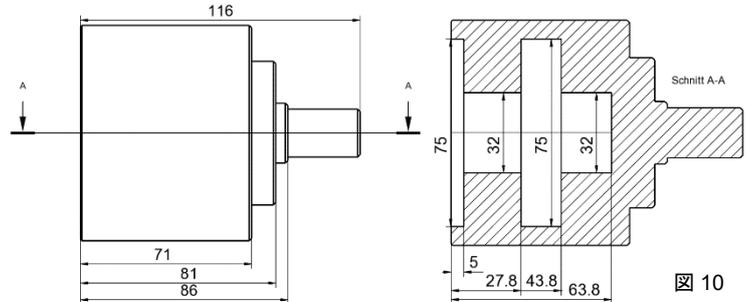


図 10

リングシャフト

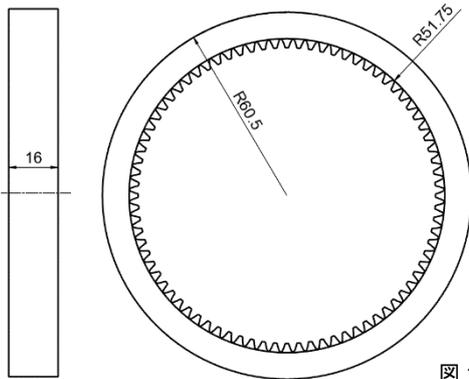


図 11

MESYS Shaft Calculation extension [FEM Integration](#) (図 12) は、プラネットキャリアに影響を与える可能性のある、より高いレベルのリアリズムを提供します。ここでは、シャフト、ハウジング、またはプラネットキャリアを STEP または Nastran メッシュとしてインポートすることが可能です。

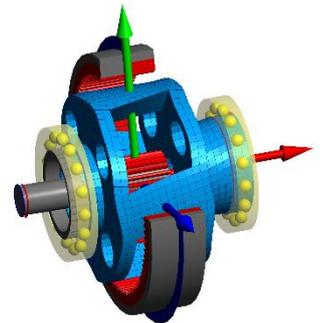


図 12

4.2.2.3 パラメーター

シャフト	要素	名称	位置 [mm]	パラメータ
Sun	アキシアルポジション	X	0	
	カップリング	Input	0.5	T = 30Nm
	転がり軸受	B1	29.5	深溝玉軸受 16002 汎用、ラジアル支持、外輪(OR)はプラネットキャリアに連結
	円筒ギヤ	GS	52.8	mn=1.25、α=20、b=16、z=20
	サポート	Support Motor	5	アキシアル方向およびラジアル方向支持
	速度			アクティブ、2000rpm
Pin	アキシアルポジション	X	0	
	サポートピン	PL1	0	プラネタリーサポートはすべて固定、キャリアに接続

	サポートピン	PL2	40	プラネタリーサポートはすべて固定、キャリアに接続
	転がり軸受	B2	20	ニードル軸受 10x17x13 mm; Z=11, Dw=3.5, Dpw=13.5, Lwe=13; ラジアルおよびアキシャルに支持; OR プラネットに連結
Carrier	アキシャルポジション	X	17	
	転がり軸受	B3	8	深溝玉軸受 61818 Generic; ラジアル方向およびアキシャル方向に左支持; ORハウジングに連結
	転がり軸受	B4	63.5	深溝玉軸受 61818 Generic; ラジアル方向とアキシャル方向に左支持; ORハウジングに連結
	反応カップリング	Output	110	幅=5
Planet	アキシャルポジション	X	13.5	
	円筒ギヤ	GP	6.5	mn=1.25, $\alpha=20$, b=13, z=29
Ring	アキシャルポジション	X	44.8	
	円筒ギヤ	GR	8	mn=1.25, $\alpha=20$, b=16, z=-79
	サポート	Support	8	すべて固定
	速度			アクティブ, 0 rpm

表 1

4.3 イラストレーション

4.3.1 ファイルの作成

そして、理想化されたギヤボックスは、[意図された](#)構成と所望の荷重の下で検査されます。

➡ MESYS Shaft 計算を起動するか、「New」アイコンまたは「File」メニューから「New」を選択して新規ファイルを開きます(図 13)。

シャフト計算のプロジェクトは、「System」(図 14)の下で名前と説明を付けることができます。

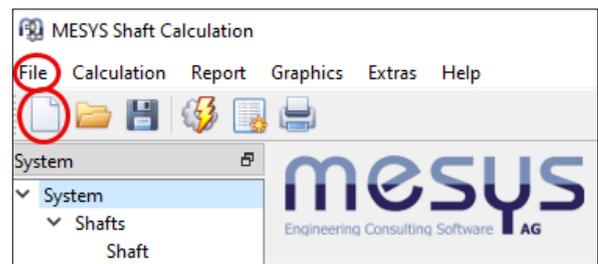


図 13

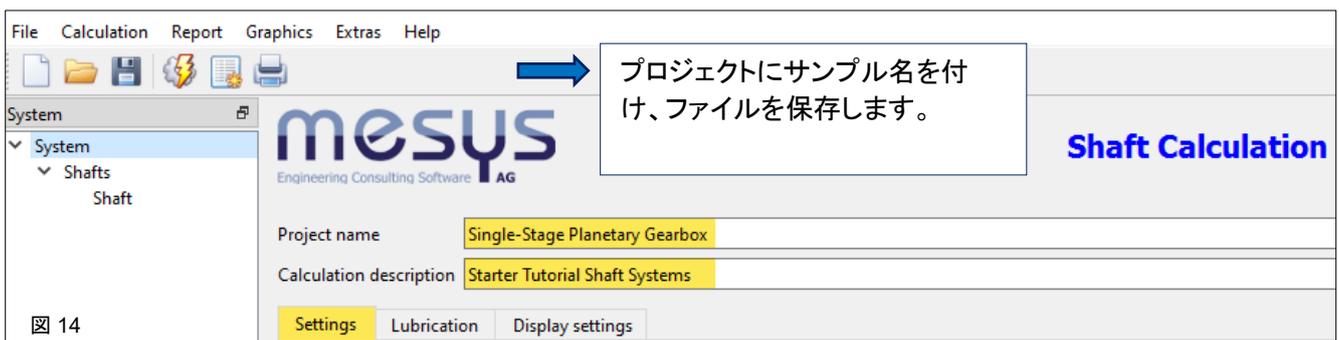


図 14

4.3.2 グループ

パラレルシャフトの計算には別のグループが必要です。

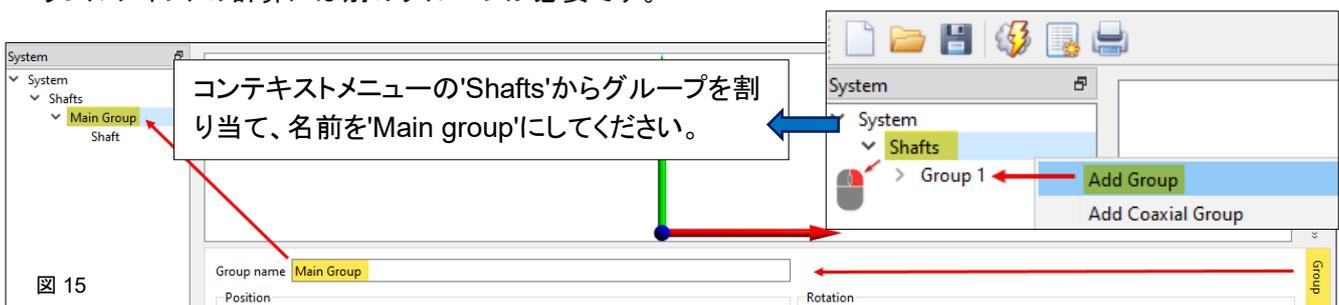
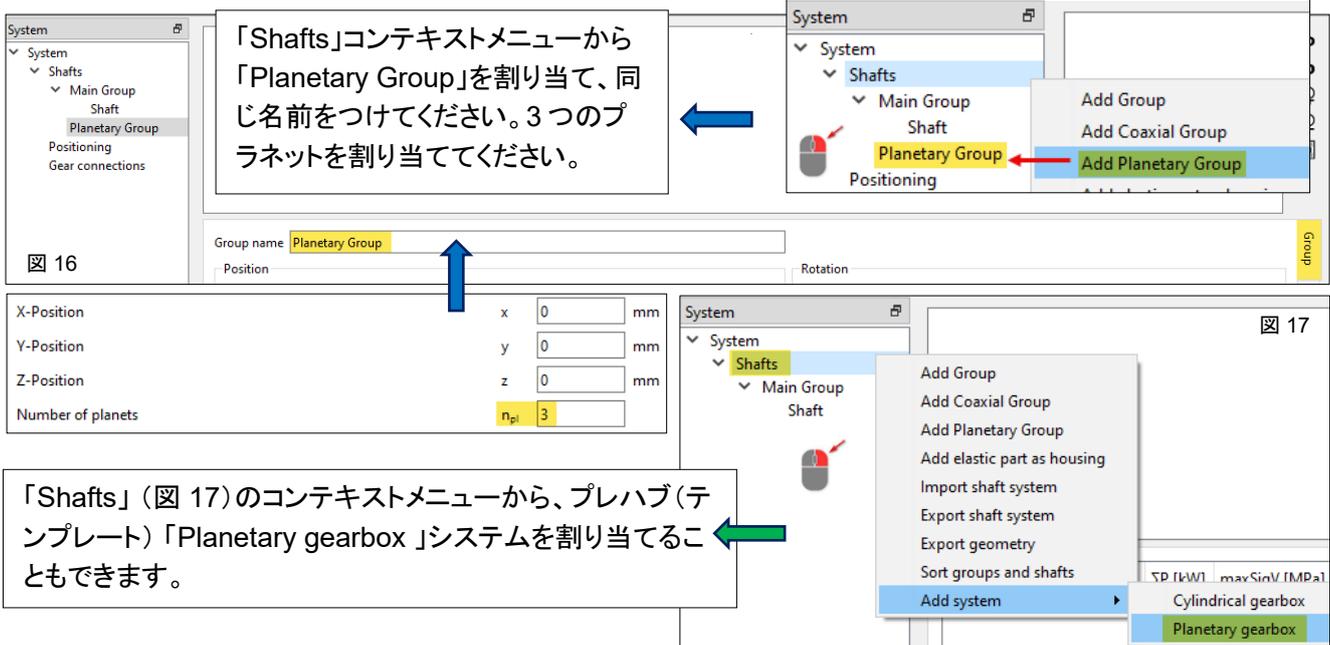
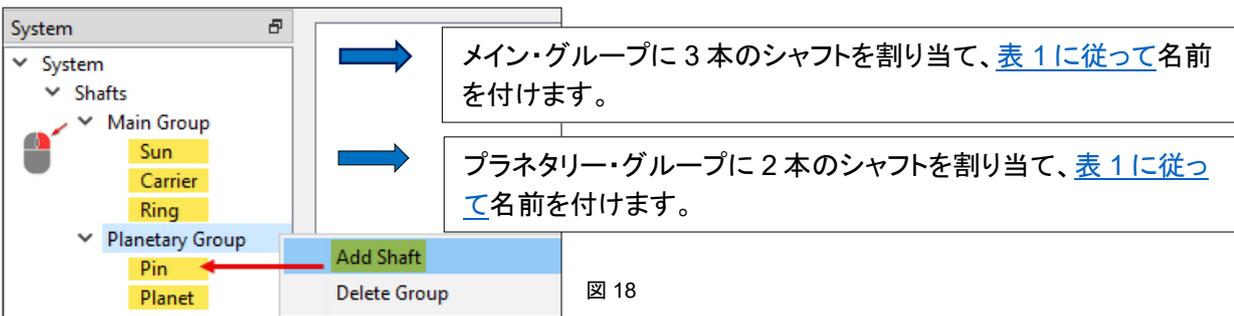


図 15



4.3.3 コンポーネント

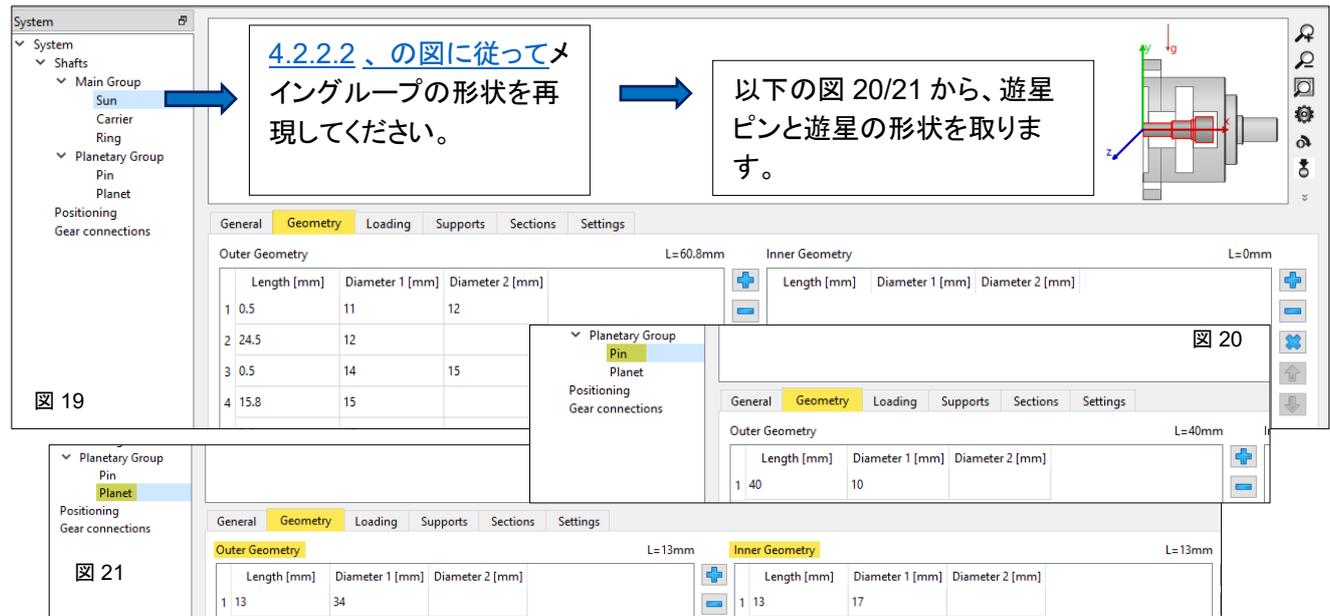
4.3.3.1 割り当て

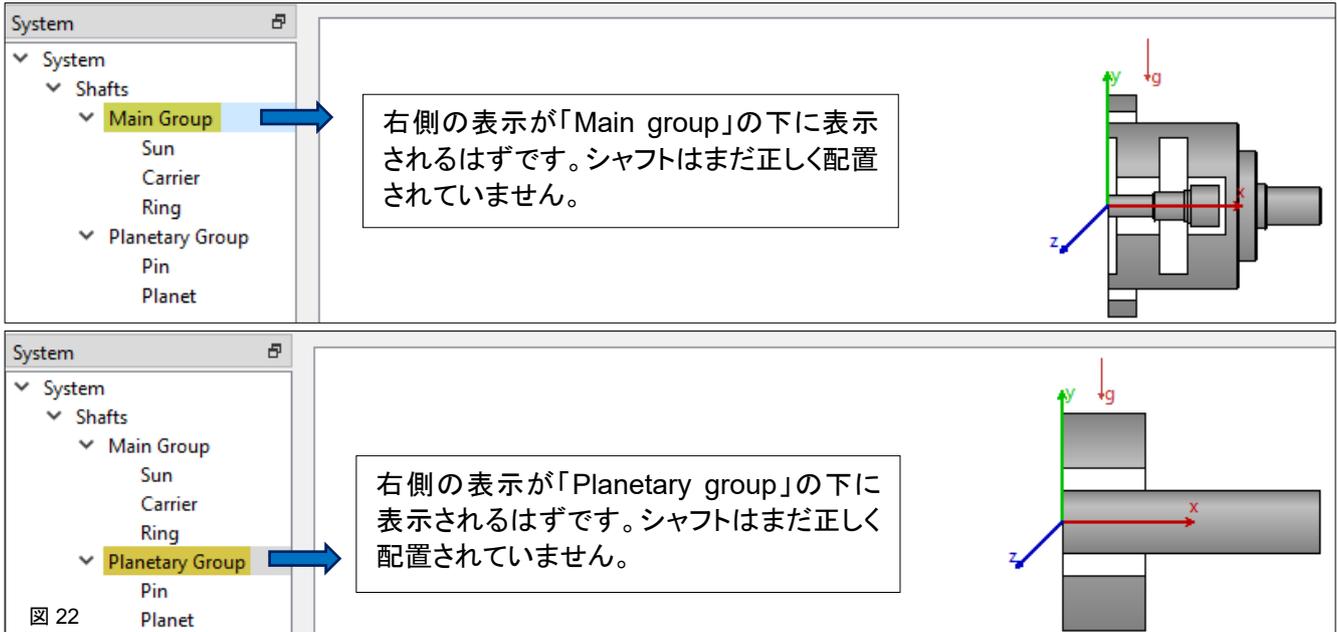


4.3.3.2 形状

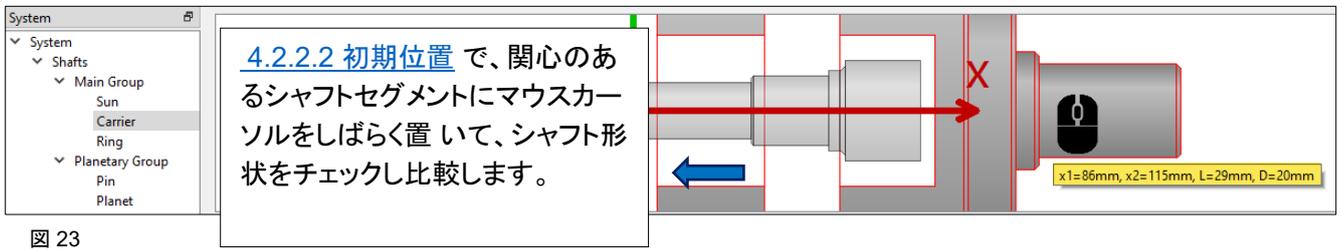
この時点ですべての形状を転送する必要があります。

図 19






 また、シャフト形状は STEP 形式でインポートして作成することもできます。[詳細については、マニュアルを参照してください。](#)



4.3.3.3 空間におけるポジション

この時点で、基本的なアキシャル方向の位置を入力し、その後のスプラインの機能によるシャフトの位置決めの基礎とします。

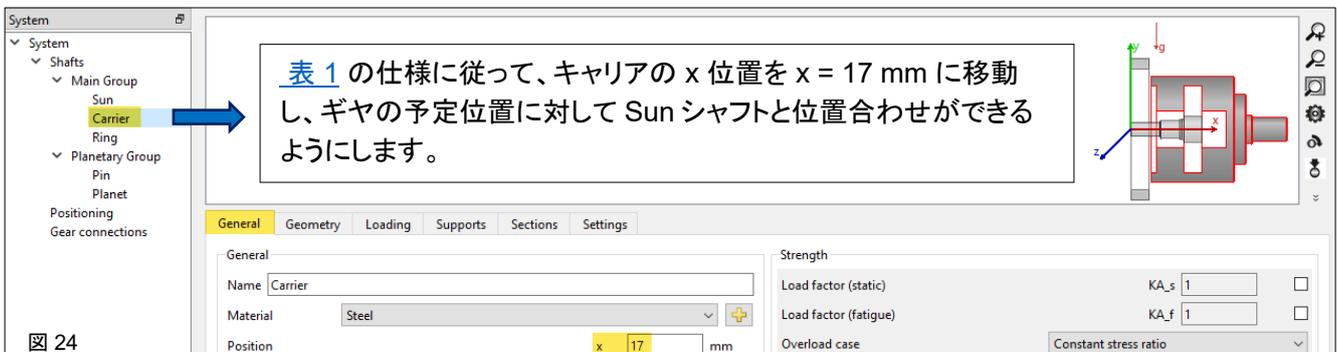




図 25

 Ring シャフトは、ギヤの位置決めの間だけ、正しい軸の位置にする必要があります。当分の間、現在の位置のままにしておいてください。

4.3.3.4 座標

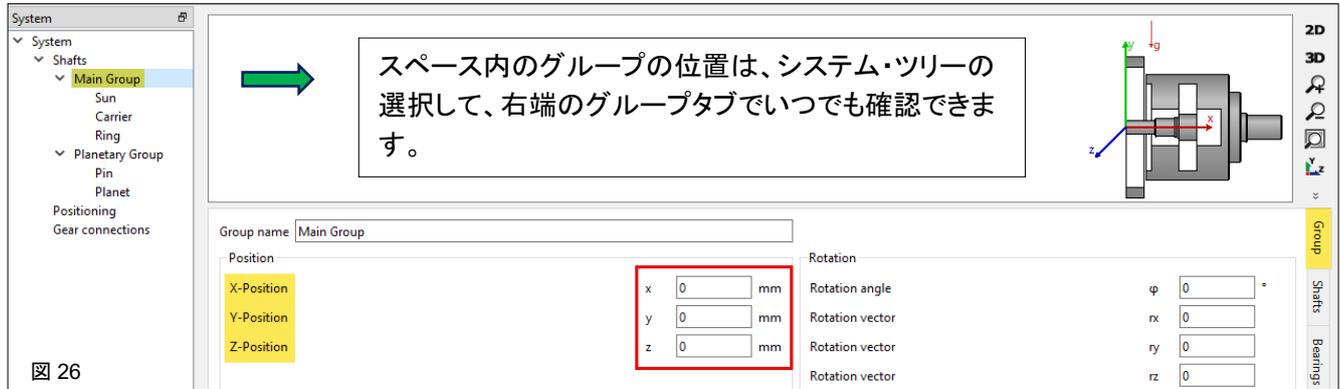


図 26

4.3.4 ギヤ

4.3.4.1 入力

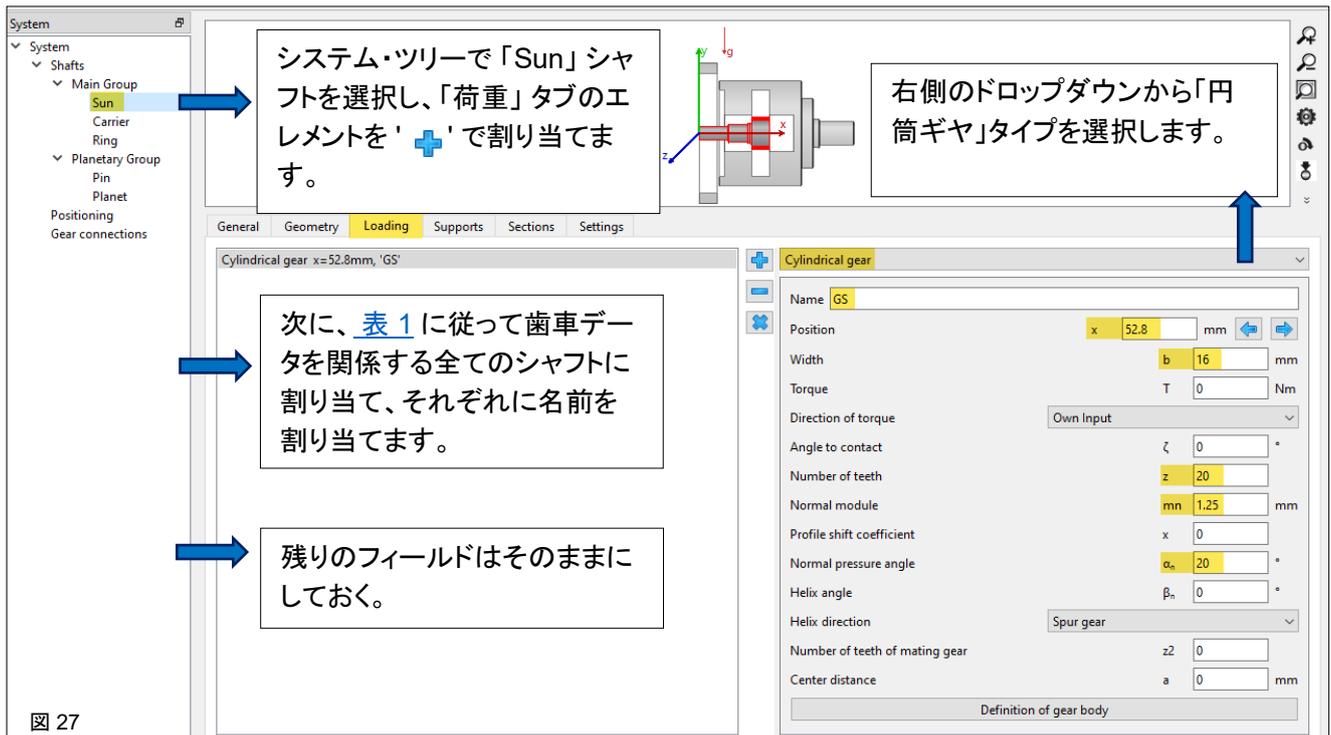


図 27

リングギヤ

Cylindrical gear	
Name	GR
Position	x 8 mm
Width	b 16 mm
Torque	T 0 Nm
Direction of torque	Own Input
Angle to contact	ζ 0 °
Number of teeth	z -79
Normal module	mn 1.25 mm
Profile shift coefficient	x 0
Normal pressure angle	α_n 20 °

プラネットギヤ

Cylindrical gear	
Name	GP
Position	x 6.5 mm
Width	b 13 mm
Torque	T 0 Nm
Direction of torque	Own Input
Angle to contact	ζ 0 °
Number of teeth	z 29
Normal module	mn 1.25 mm
Profile shift coefficient	x 0
Normal pressure angle	α_n 20 °

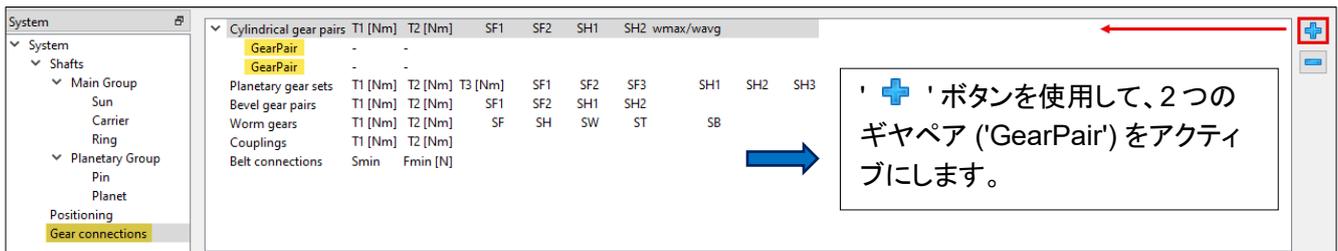
図 28

→ 内歯車には、負の歯数を入力します。

4.3.4.2 ギヤの接続

次のステップでは、歯車を互いに割り当てなければなりません。システムツリーの下にある「歯車接続」ウィンドウを見ることができます(図 29)。

図 29



'+' ボタンを使用して、2つのギヤペア ('GearPair') をアクティブにします。

ここで接触しているシャフトとギヤを定義することができます。同時にギヤペアの基本データが表示されます。個々のシャフトの入力に加え、ギヤのデータもこのウィンドウで同時に修正することができ、計算ステップの後に安全性に関して評価することができます(図 29)。

→ 図 30 に示すように 2 組の歯を接続し、適切な色を選択します。

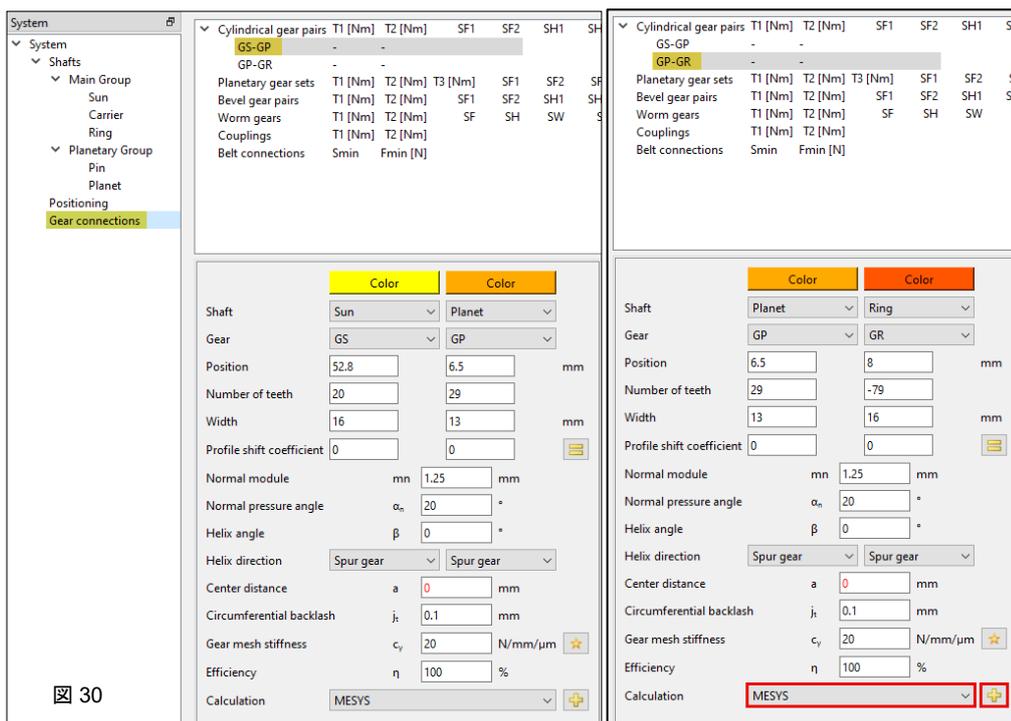


図 30

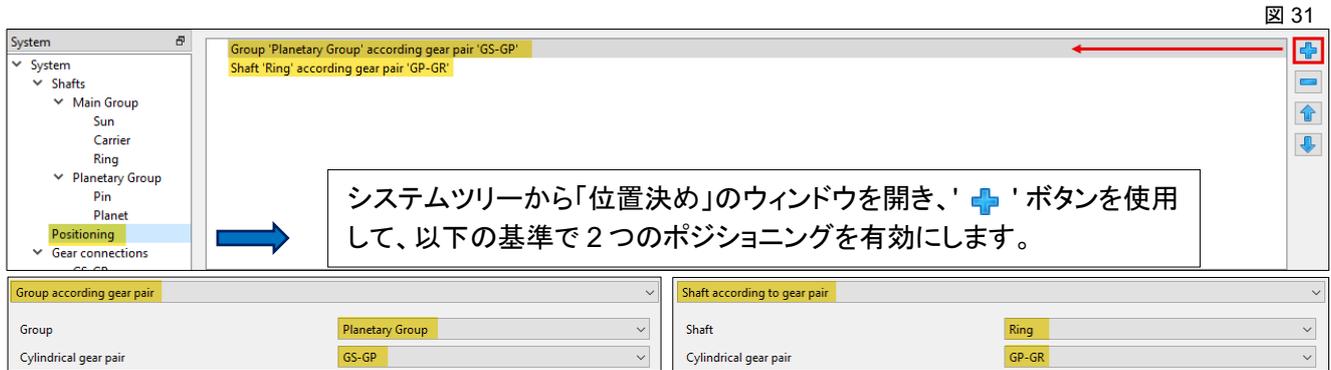
円筒ギヤペアのライセンスで作業する必要がある場合、図 30 に従ったギヤ計算を「計算」で起動し、関連する入力と出力で評価することができます。

[歯車接続に関する詳しい資料やマニュアルをご参照ください。](#)

➡ このチュートリアル範囲では、ギヤ固有のパラメータと計算モードは変更しないでください。

4.3.4.3 位置決め

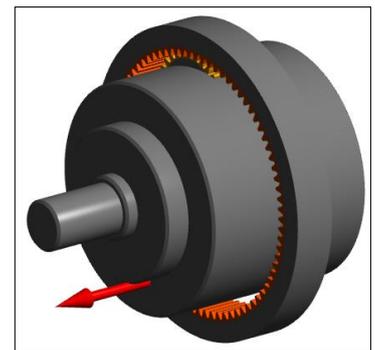
グループまたはシャフトは、ギヤ接続の機能として、互いに対して相対的に位置合わせされなければなりません。[4.3.3.3 章](#)のようなシャフトのアクシアル方向の位置決めだけでは十分ではありません。次のプロセスでは、すべてのギヤを互いに数学的な関係にします。「位置決め」ウィンドウは、システムツリーの下にあります(図 31)。位置決めは、様々な基準で行うことができます。例えば、歯車同士や歯車グループ同士の関係で行うことができます。



➡ x 方向のオフセット dx と角度 ϕ_0 のままにしておく。

➡ その結果、グループとシャフトの位置が揃い、「歯車接続」、「位置決め」ダイアログの右側のウィンドウや、システム・ツリーを介した 'Shafts' ウィンドウでも確認することができます(図 32)。

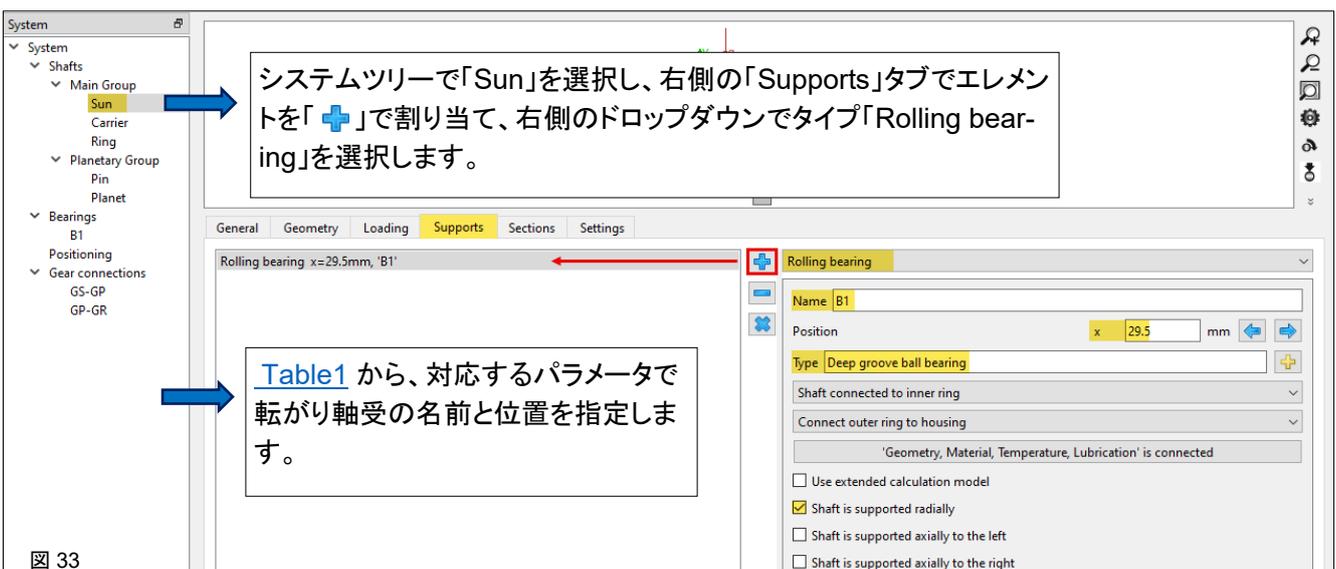
➡ すでに述べたように、[グループ](#)またはシャフトの座標は、システム・ツリーを選択し、右端の「グループ」タブを選択することによって数値で見ることができます。



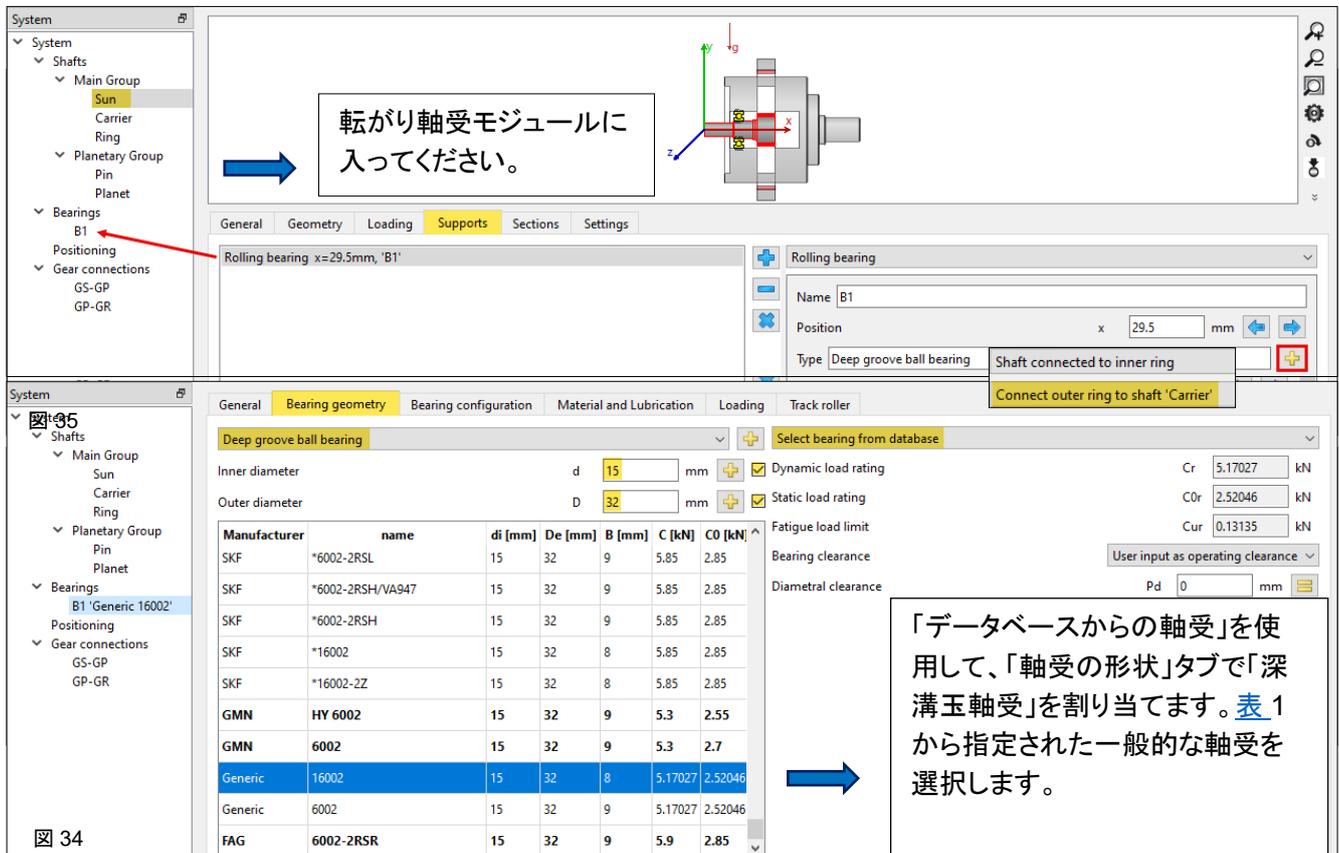
4.3.5 サポート

4.3.5.1 転がり軸受

設計の一環として、モーター軸受に加えて、追加の転がり軸受をサンギヤシャフトに配置する必要があります。



ここから、右下の「+」ボタン、ウィンドウ、またはシステムツリー内の「B1」(図 34) から、特定の軸受選択用の転がり軸受モジュールにアクセスすることができます。



転がり軸受モジュールに入ってください。

Rolling bearing x=29.5mm, 'B1'

Rolling bearing

Name B1

Position x 29.5 mm

Type Deep groove ball bearing

Shaft connected to inner ring

Connect outer ring to shaft 'Carrier'

Deep groove ball bearing

Select bearing from database

Inner diameter d 15 mm

Outer diameter D 32 mm

Manufacturer	name	di [mm]	De [mm]	B [mm]	C [kN]	CO [kN]
SKF	*6002-2RSL	15	32	9	5.85	2.85
SKF	*6002-2RSH/VA947	15	32	9	5.85	2.85
SKF	*16002	15	32	8	5.85	2.85
SKF	*16002-2Z	15	32	8	5.85	2.85
GMN	HY 6002	15	32	9	5.3	2.55
GMN	6002	15	32	9	5.3	2.7
Generic	16002	15	32	8	5.17027	2.52046
Generic	6002	15	32	9	5.17027	2.52046
FAG	6002-2RSR	15	32	9	5.9	2.85

Dynamic load rating Cr 5.17027 kN

Static load rating C0r 2.52046 kN

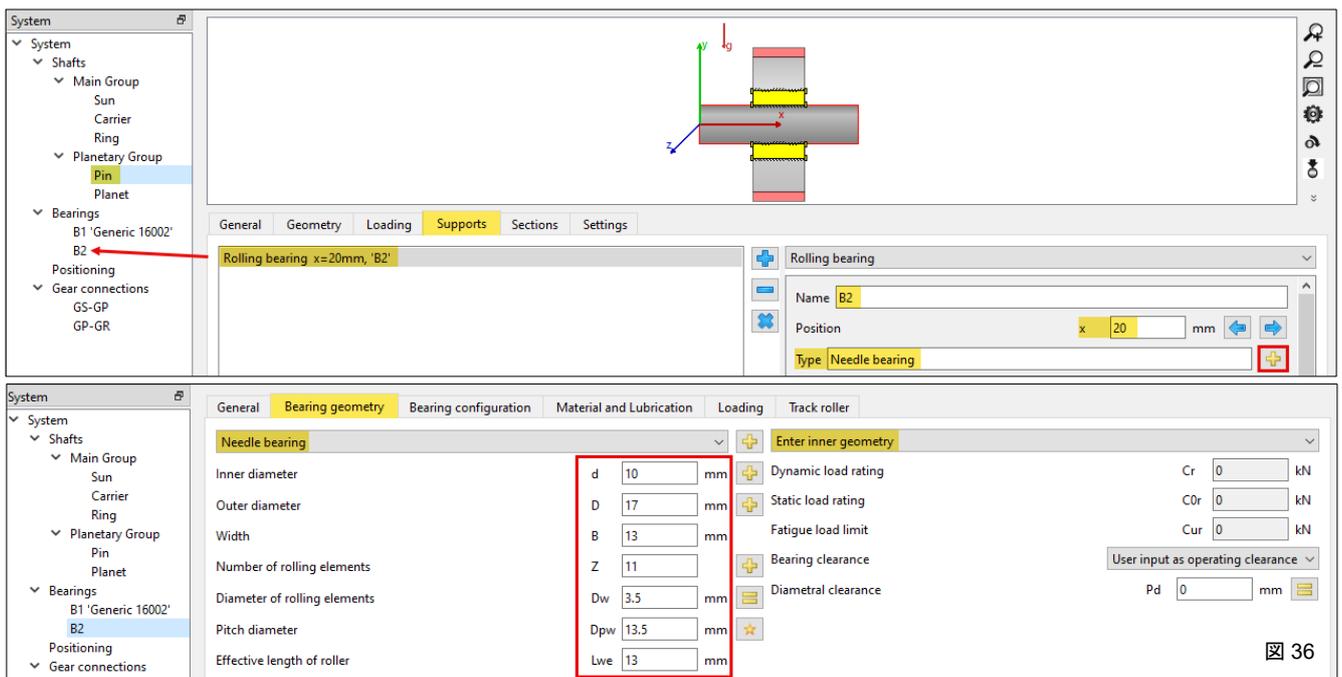
Fatigue load limit Cur 0.13135 kN

Bearing clearance User input as operating clearance

Diametral clearance Pd 0 mm

「データベースからの軸受」を使用して、「軸受の形状」タブで「深溝玉軸受」を割り当てます。表 1 から指定された一般的な軸受を選択します。

ラジアル方向の空間条件、荷重、耐用年数から、プラネタリにはカスタマイズされた B2 用シェル形針状ころを使用します。



Rolling bearing x=20mm, 'B2'

Rolling bearing

Name B2

Position x 20 mm

Type Needle bearing

Needle bearing

Enter inner geometry

Inner diameter d 10 mm

Outer diameter D 17 mm

Width B 13 mm

Number of rolling elements Z 11

Diameter of rolling elements Dw 3.5 mm

Pitch diameter Dpw 13.5 mm

Effective length of roller Lwe 13 mm

Dynamic load rating Cr 0 kN

Static load rating C0r 0 kN

Fatigue load limit Cur 0 kN

Bearing clearance User input as operating clearance

Diametral clearance Pd 0 mm

「内部形状を入力」(図 36)を選択し、表 1 に従って値を転送します。

定格荷重は、ISO 281 に従って最初の計算ステップで自動的に計算されます。

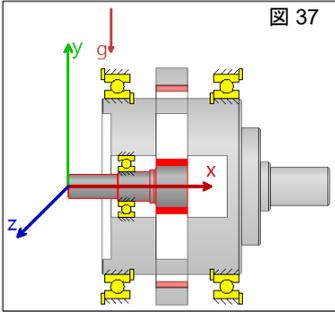


図 37

次に、表 1 (図 37) のパラメータに従って、プラネット・キャリア (B3 / B4) 用の転がり軸受を取り付けます。

このチュートリアルでは、「軸受すきま」などの軸受の設定や関連するはめ合いはそのままにしておいてください。転がり軸受の計算については、[スターチュートリアルの基本](#)を参照してください。

Bearing clearance	User input as operating clearance
Diametral clearance	Pd 0 mm

4.3.5.2 境界条件

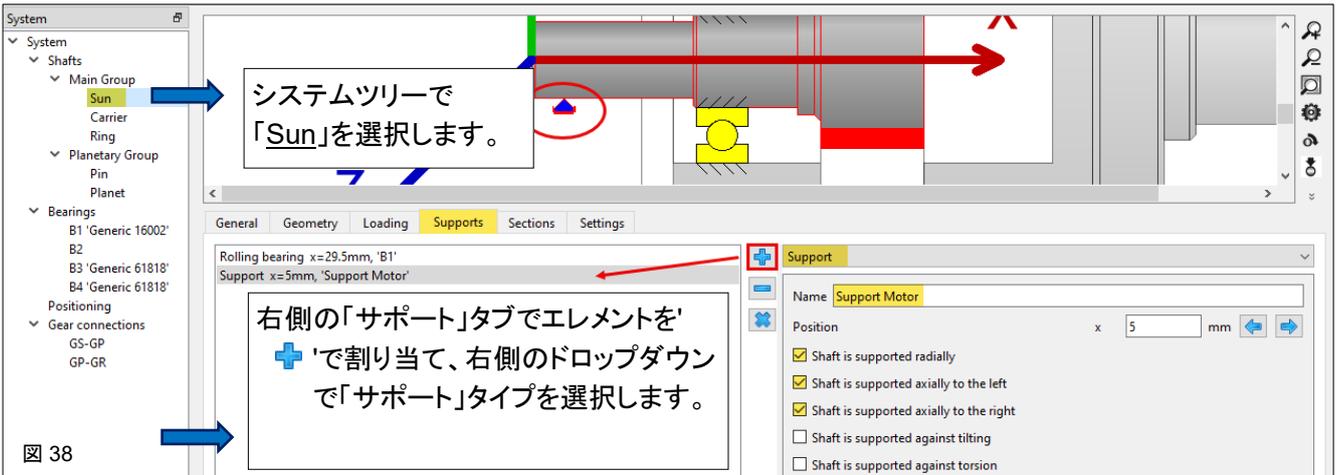


図 38

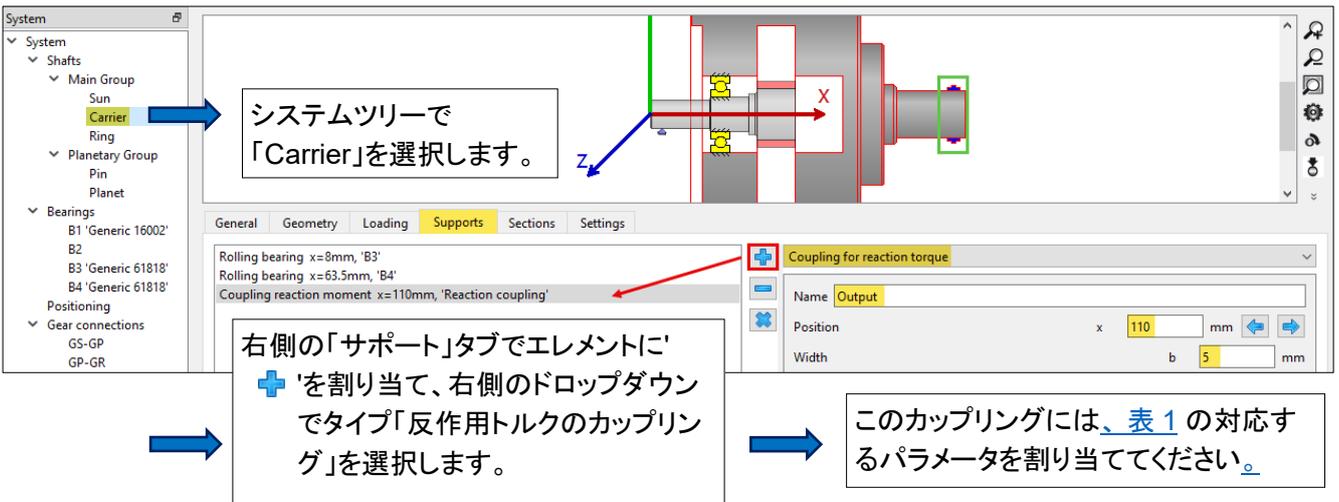
システムツリーで「Sun」を選択します。

右側の「サポート」タブでエレメントを '+' で割り当て、右側のドロップダウンで「サポート」タイプを選択します。

表 1 から、このサポートに対応するパラメータを割り当てます。

リングギヤに表 1 の対応するパラメータで「サポート」を割り当てます。

ギヤボックスは入力トルクも受けるので、すべてのトルクの合計の記録を定義する必要があります。「反カトルク用カップリング」要素は、この定義を提供します (図 39)。

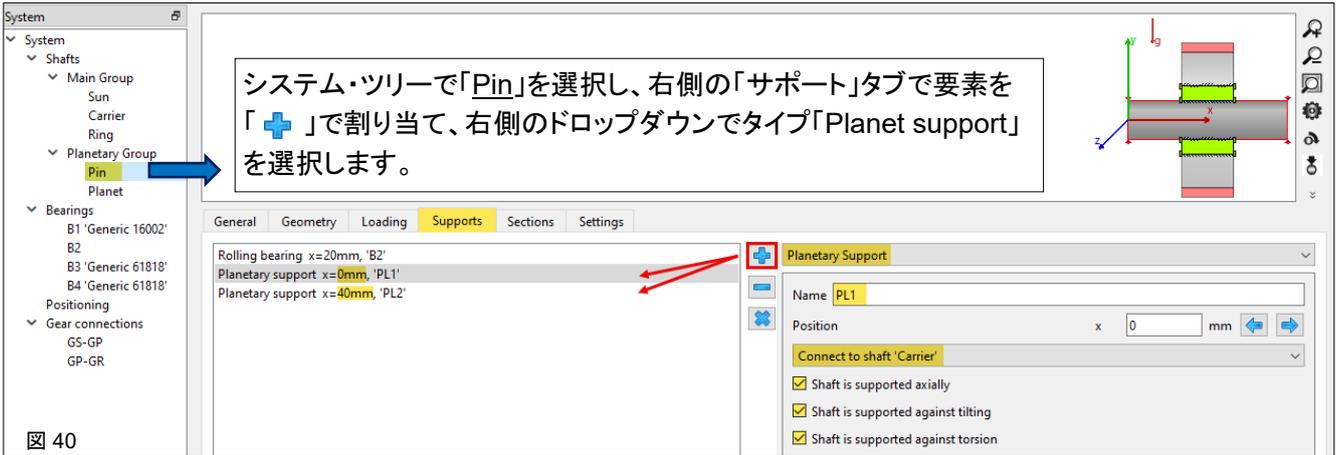


システムツリーで「Carrier」を選択します。

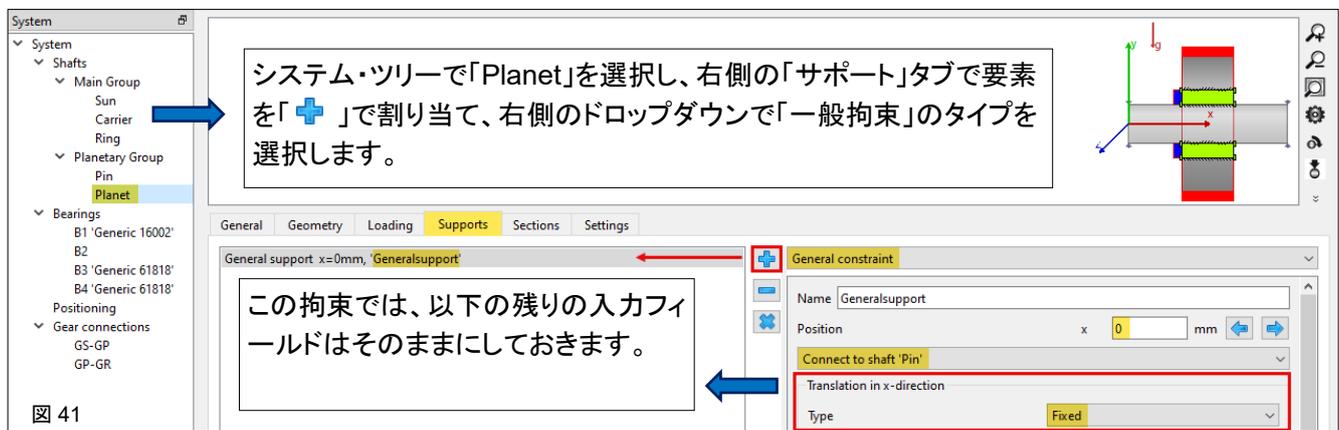
右側の「サポート」タブでエレメントに '+' を割り当て、右側のドロップダウンでタイプ「反作用トルクのカップリング」を選択します。

このカップリングには、表 1 の対応するパラメータを割り当ててください。

カップリング表示の幅とモーダル解析の起動は、この計算には関係ないことに注意してください。

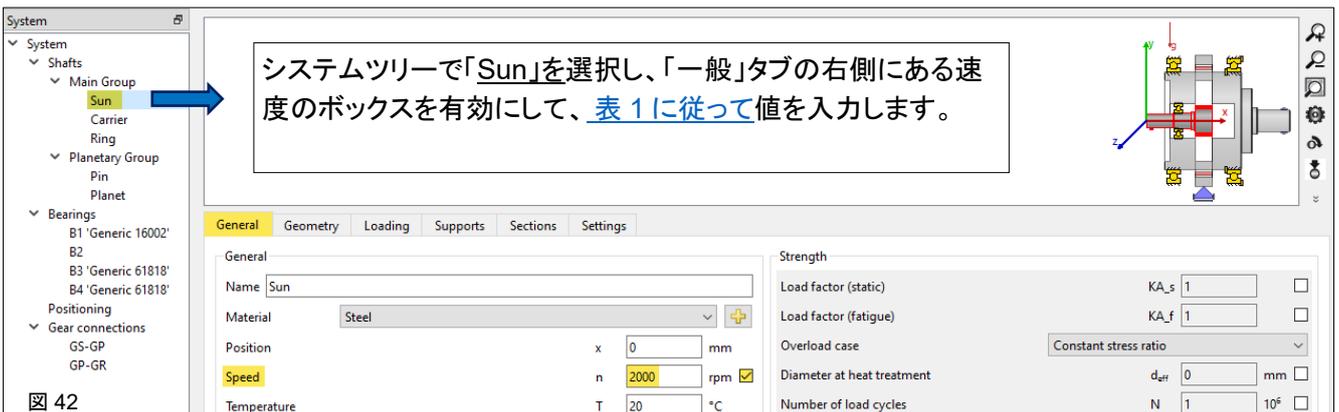


最後に、ドローカップニードルころに欠けている遊星のアキシャル方向支持も追加する必要があります。このような支持は、例えばストップカバーやカラーリングによって実現されるが、ここでは図 41 に示すように表されます。



4.3.6 荷重

4.3.6.1 速度



→ リングシャフトの回転数を有効にし、0 rpm と入力してください。

4.3.6.2 トルク

プラネタリーギヤボックスの入カトルクは、要件に定義されているように 30Nm です。

→ 「トルク方向」は、符号で定義するか、「シャフトが駆動される」「シャフトが駆動」を選択して定義します。

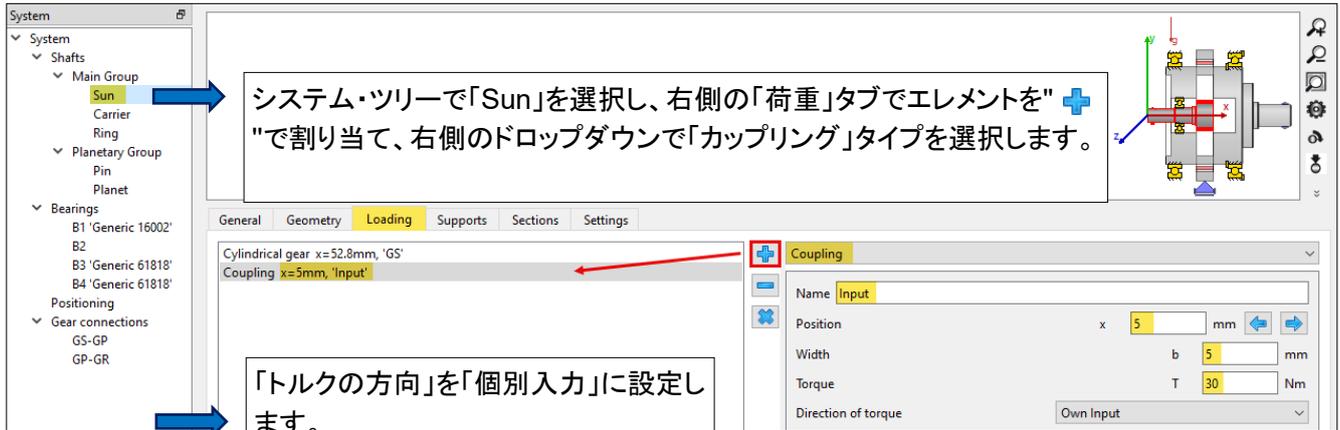


図 43

4.3.7 潤滑剤

→ 図 44 に示すように、潤滑剤を割り当ててください。

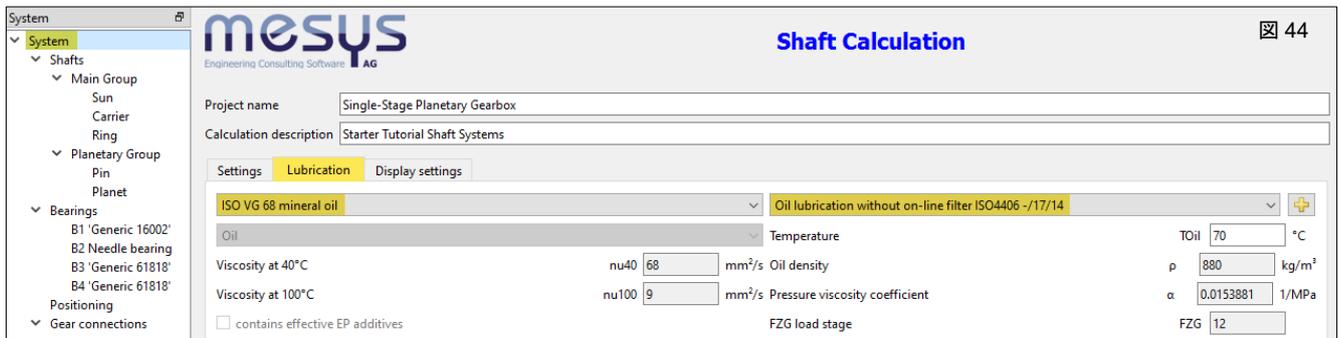


図 44

→ これで、ギヤボックスの数学的表現のためのパラメータの入力は終了です。

5. 計算

5.1 設定

歯車計算では、「要求寿命 H」をシステムツリー / システム の「設定」ウィンドウで可能であれば定義する必要があります(図 45)。歯車の評価に加え、この値は DIN743 に従ったシャフト強度の計算にも含まれます。詳細については、マニュアルの「[要求寿命](#)」または「[強度計算](#)」を参照してください。

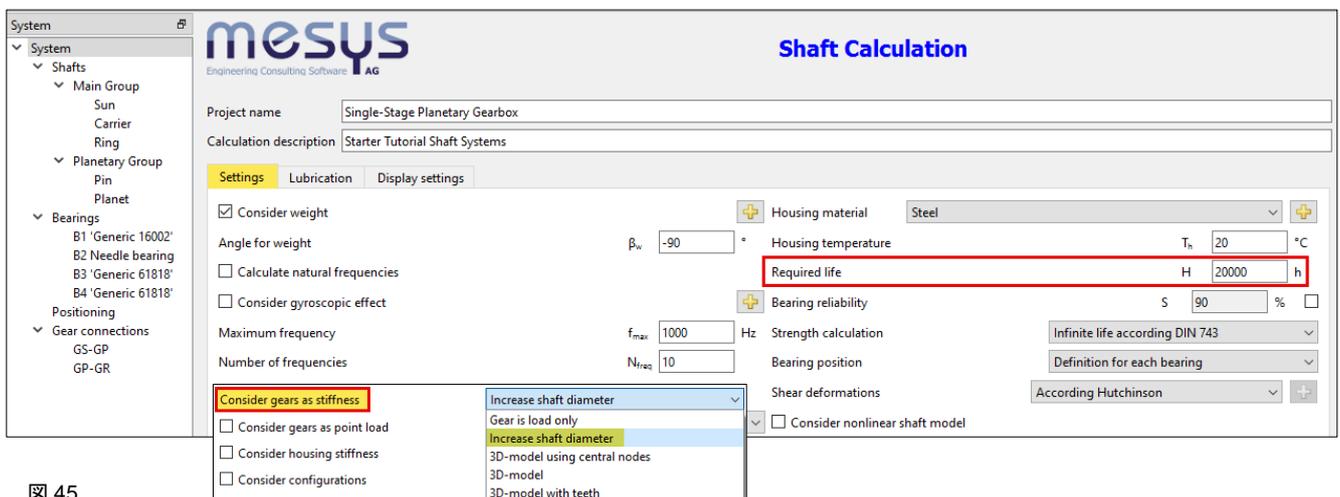


図 45

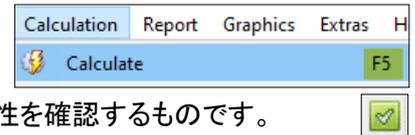
また、「歯車を剛性として考慮」(図 45)で可能な設定を選択することも有効です。例えば、「シャフト径を大きくする」を選択すると、シャフト径は自動的に歯元径に $0.4 \cdot \text{module}$ を加えたものになります。歯元径については、基準プロファイルの歯元のたけ 1.25 が仮定されます。その他の設定内容については、マニュアルの「[歯車の剛性を考慮する](#)」を参照してください。

5.2 計算ステップ

計算ステップは、メニューの「計算」/「計算」、リボン下のアイコンから直接、または単に F5 を押すことで実行できます。

➡ 計算を始めてください。

➡ 右下の緑色のチェックに注目してください。これは計算ステップの一貫性を確認するものです。



6 結果

6.1 結果の概要

図 46

Result overview											
Minimal bearing reference life	minL10rh	128220	h	Minimal bearing modified reference life	minLnmrh	17956.2	h	Minimal static safety for bearings (ISO 17956)	minS0eff	8.83033	
Maximal equivalent stress	maxSigV	163.751	MPa	Minimal root safety for gears	minGearSF	2.58534		Minimal flank safety for gears	minGearSH	0.910531	
Maximal displacement in x	maxUx	0.000207665	mm	Maximal displacement in radial direction	maxUr	0.108541	mm	Maximal bearing stress	pmax	1352.28	MPa

ウィンドウ下部の結果概要には、最も重要な結果が表示されます(図 46)。その内容は、「拡張」/「結果の概要」メニューから必要に応じて設定することができます。

➡ より高粘度の潤滑油を選択することで、修正基準寿命(図 47)を大幅に、[値 H](#) のレベルまで向上させることができます。

図 47

ISO VG 100 mineral oil						Oil lubrication without on-line filter ISO4406 -/17/14					
Minimal bearing reference life	minL10rh	128220	h	Minimal bearing modified reference life	minLnmrh	20906.2	h	Minimal static safety for bearings (ISO 17956)	minS0eff	8.83033	
Maximal equivalent stress	maxSigV	163.751	MPa	Minimal root safety for gears	minGearSF	2.58534		Minimal flank safety for gears	minGearSH	0.929774	
Maximal displacement in x	maxUx	0.000207666	mm	Maximal displacement in radial direction	maxUr	0.108541	mm	Maximal bearing stress	pmax	1352.28	MPa

6.2 ギヤ接続の概要

6.2.1 ギヤ計算

➡ ギヤリングの結果は、有効化されたライセンスの機能としての値を提供します。この計算例では、項目が編集されていなくても、ギヤ計算が有効化されています(図 30)。

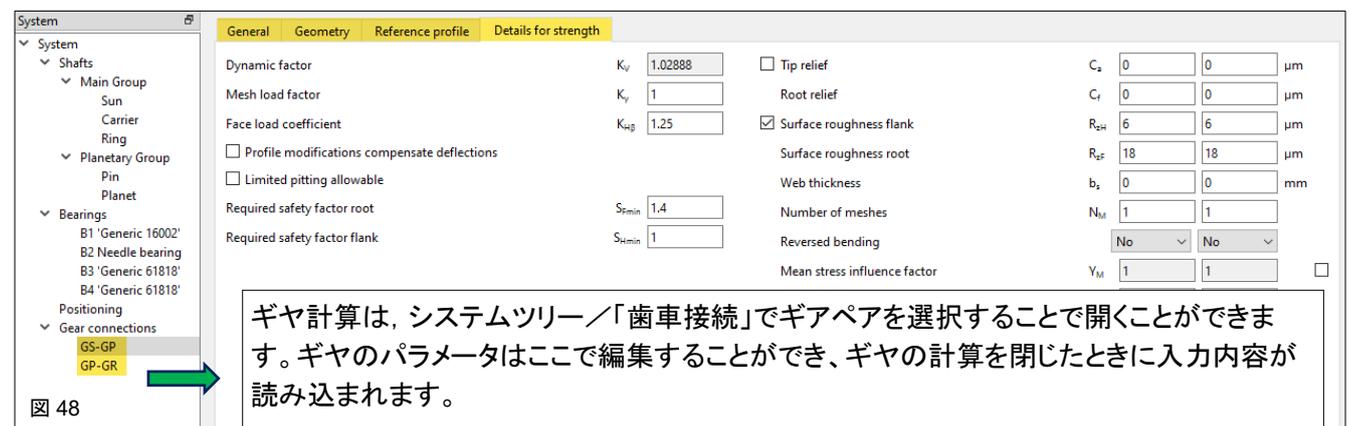


図 48

ギヤ計算は、システムツリー/「歯車接続」でギヤペアを選択することで開くことができます。ギヤのパラメータはここで編集することができ、ギヤの計算を閉じたときに入力内容が読み込まれます。

6.2.2 ギア接続の結果

「歯車接続」(図 49)のウィンドウには、トルク、歯元と歯面の安全係数(SF / SH), および ISO 6336 に従った歯幅荷重分布(wmax / wavg)が表示されます。

パフォーマンス・データ、形状データ、転位係数(x1 / x2)は下のウィンドウに表示されます。

我々の設計では、歯面安全度 SH が 0.93 であり、標準的な工業用ギヤの値を下回っていることは注目に値します。しかし、歯車連結のウィンドウを見ると、歯元安全度 SF と幅荷重分布 wmax/wavg は両方の歯車ペアで許容できる値を示しています。

→ 例えば、GSとGRにそれぞれ0.3の転位係数を適用すると、歯元の安全性 SF が大幅に増加し、フランクの安全性が > 1 に増加します(図 50)。

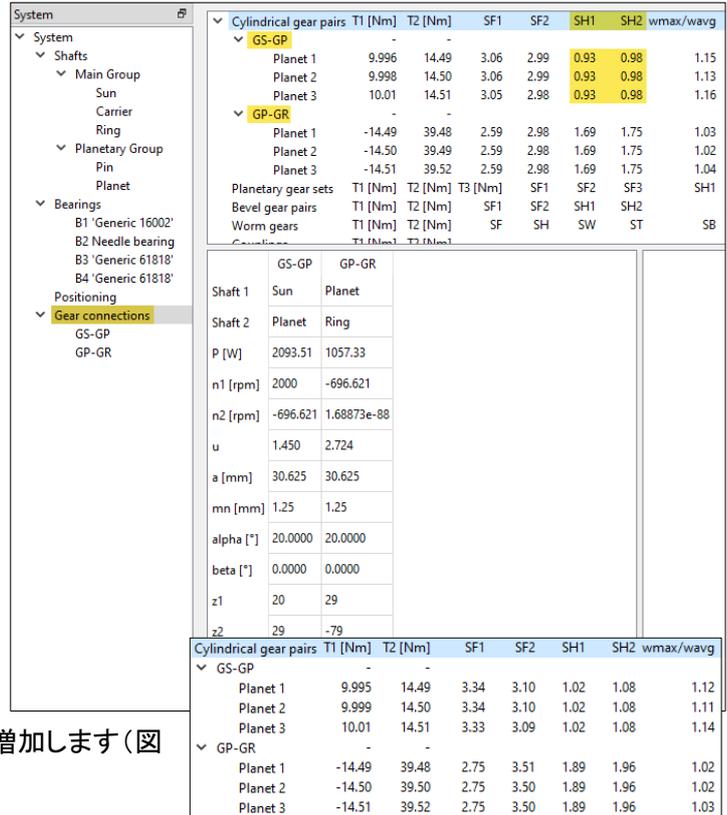
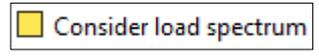


図 50

円筒歯車ペアのライセンスで作業する必要がある場合、図 30 に従って歯車計算を起動し、関連する入力と出力を使用してさらに評価することができます。公式のサービス範囲または歯車接続のマニュアルをご参照ください。

6.3 荷重スペクトル

荷重スペクトルは、システムウィンドウの「設定」タブから入力することができます。これにより、システムツリーから対応する入力ウィンドウにアクセスできます。詳しくは、シャフトスターチュートリアル、またはマニュアルの荷重スペクトルによる計算をご覧ください。



6.4 結果のグラフ表示

6.4.1 概要

グラフィックメニューには、歯車の評価に便利なグラフィックが多数用意されています。以下は、ライン荷重とギャップ幅の計算結果になります。

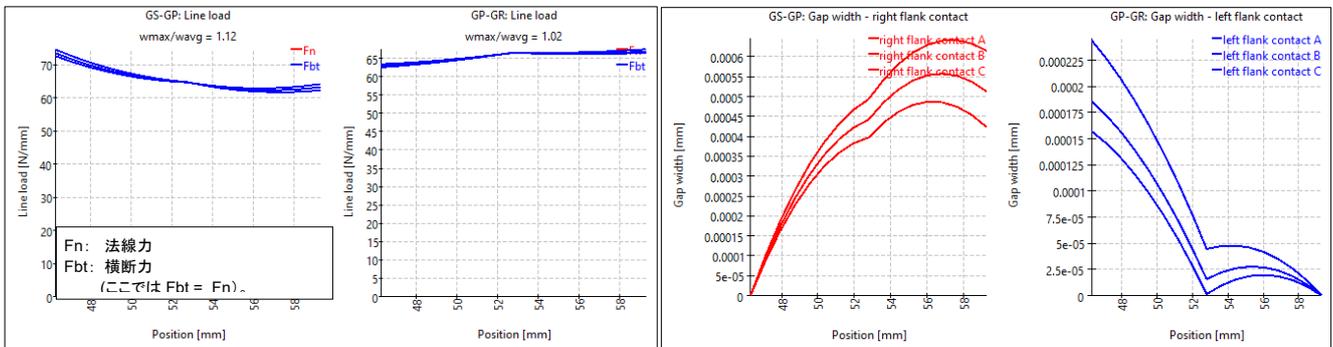
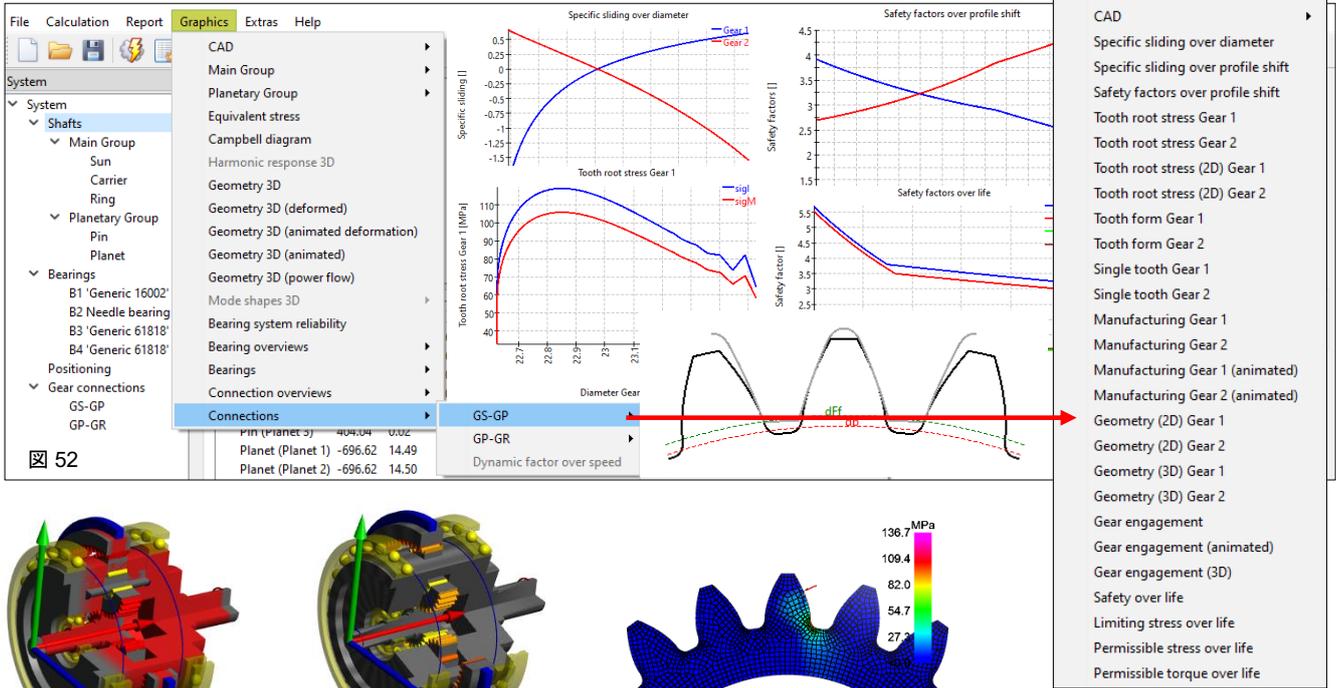
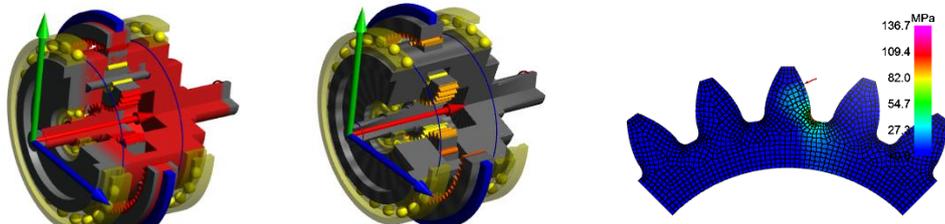


図 51

- ➡ 線荷重(図 51)は、3つの接点すべてにかかる荷重を示しています。わずかな違いはシャフトの重量によるものです。
- ➡ ギャップ幅(図 51)は、荷重移動が一点のみで行われる場合の歯面間の距離を示します。この場合、最大 0.6 μm の隙間幅に基づくフランクリン補正は、経済的に正当化できません。
- ➡ 上記の図は「[シャフト径を増加](#)」設定で作成したものです。歯面剛性、シャフト剛性、軸受剛性はこれらの図に影響を与えます。しかし、製造誤差やハウジング剛性も実際のギヤボックスに影響を与えます。

6.4.2 グラフィック・メニュー

「グラフィック」メニュー(図 52)により、グラフィカルな結果表示を数多く選択することができます。

パワーフロー アニメーション 変形の有無 歯元のテンション

グラフィックスは、現在の出力と一緒にメイン・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、各計算後に自動的に更新されます(図 53)。グラフィックを結果の概要またはメニューバーの下にドラッグします。

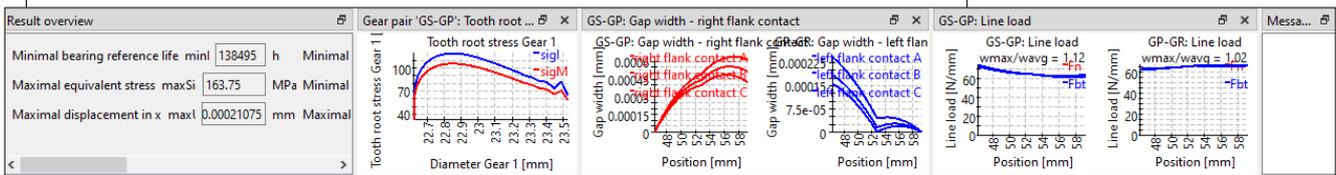


図 53

6.4.3 エクスポート

「CAD」メニュー項目を使用すると、シャフトシステムまたはコンポーネントを表示することができ、コンテキストメニューをクリックして、さらに使用するために STEP ファイルとしてエクスポートすることもできます。

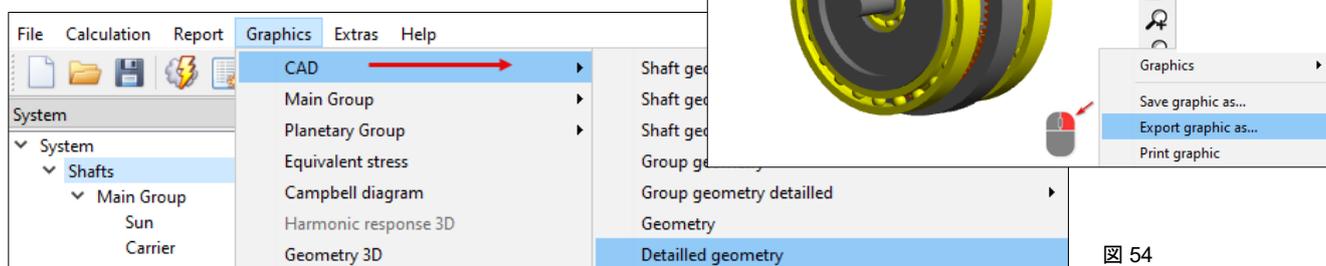


図 54

MESYS のチュートリアルが、皆様にとって有益でためになる経験となることを願っております。ご質問、ご提案、ご不明な点などございましたら、info@mesys.ch までご連絡ください。