

Tutorial: Calculation of a planetary gear train

このチュートリアルでは、シャフトシステムでの MESYS シャフト計算の使い方を説明します。プログラ ムを使用して、2 段のプラネタリギアステージを定義します。まず、シャフト計算のチュートリアルから始 めて、1つのシャフトに対する形状データとサポート設定の方法を確認してください。

モデルは2ステップで構築されます。最初のステップでは1つの遊星ステージのみが構築され、2つ 目のステップでは2番目の遊星ステージが追加されます。このチュートリアルは使いやすいように、シャ フト形状と歯車データはできるだけ単純になっています。

ystem Data							
				Shaft Calc	ulation		
Project name Tutorial							
Calculation description Planetary gea	r stage						
Settings Lubrication							
Consider weight				Housing material	Steel	à	•
Angle for weight	βw	-90	٥	Housing temperature	Tn	20	90
Calculate natural frequencies				Required life	н	20000	h
Consider gyroscopic effect			4	Strength calculation	Infinite life a	according DIN	743
Maximum frequency	f_{max}	1000	Hz	Shear deformations	According Hu	itchinson 🔹	
Number of frequencies	Nereq	10		Consider nonlinear	shaft model		
Consider gears as stiffness				Consider load spec	trum		
				Calculate modified	bearing life		

最初のページのシステムデータは、変更する必要はありません。



Defining Shafts

遊星歯車ステージのために、少なくとも2つのシャフトグループが必要 になります。Shafts の上で右クリックして、'Group'と'Planetary Group'を追加して下さい。

各グループのページでグループの名前を与えて、'Planetary group' にプラネットの数を3つに設定します。





'Main group' に3つのシャフトを追加します。名前は、 'Sun shaft1', 'Ring shaft' と'Carrier shaft1'で す。PlanetGroup1には、2つのシャフトを追加します。名前は 'Pin1' と 'Planet shaft1'になります。

シャフトの形状は、以下の通りとします。

Shaft	Outer diameter	Inner diameter	Length	Position
Sun shaft1	20	0	50	0
Ring shaft	100	80	15	38
Carrier shaft1	55	45	50	22.5
Pin1	10	0	20	0
Planet shaft1	23	19	10	5

位置はシャフトを見やすくするために入力されただけで、後でもう一度見直されます。

シャフトに以下の要素を追加します。

Shaft	Element	Name	Position	Parameters
Sun shaft1	Coupling	Input	5	T = 20Nm
	Cyl. Gear	Sun1	45	mn=1, α =20, b=10, z=25
	Support	SupportMotor	5	Axially and radially fixed
Ring shaft	Gear	Ring	7	mn=1, α =20, b=14, z=-74
	Support	Support	7	Everything fixed
Carrier shaft1	Rolling bearing	B1	5	Deep groove ball bearing 16011 Radially and axially supported to left
	Rolling bearing	B2	40	Deep groove ball bearing 16011 Radially and axially supported to right



MESYS AG Technoparkstrasse 1 CH-8005 Zürich info@mesys.ch T: +41 44 455 68 00

	Reaction coupling	Output	49	b=2
Pin1	Planetary support	PL1	0	Everything is fixed
	Planetary support	PL1	20	Everything is fixed
Planet	Cyl. Gear	Planet1	5	mn=1, α =20, b=10, z=25
shaft1	Rolling bearing	В3	5	Cylindrical roller (double row) NNC4800 Radially and axially fixed

すべてを固定に設定したプラネタリサポートは、キャリアに押し込まれるピンとして使用されま す。キャリア形状は、実際はより複雑な形状の物の近似にすぎません。これは、使用されるビ ーム要素モデルの制限になります。

各グループは以下の通りとなります。



Defining gear connections

次のステップとして、ギヤ間の接続を定義します。これを行うには、システムツリーで'Gear connections' を選択し、'Cylindrical gear pairs'をクリックして、右側の



MESYS AG Technoparkstrasse 1 CH-8005 Zürich info@mesys.ch T: +41 44 455 68 00

ystem System System System Sun shaft1 Ring shaft1 Shaft Carrier sha PlanetGroup1 Pin1 Planet shaft1 Shaft Gaer Sun1 Planet1 P			эр								
Planet shaft1 Bearings B1 B2 Bearing Cear Position 45 Description 45 Vidth 10 Profile shift coefficient 0 Normal module mn Helix angle β 0 0	ystem 🗗 A System A Shafts A Main group Sun shaft1 Ring shaft Carrier sha PlanetGroup1 Pin1	Cylindrical gear pa Sun1-Planet1 Planet1-Ring Planetary gear sets Bevel gear pairs Worm gears	1 [Nm] 1 [Nm] 5 T1 [Nm] T1 [Nm] T1 [Nm]	T2 [Nm T2 [Nm T2 [Nm T2 [Nm	i] SF1 - - -] T3 [Nm] -] SF1 -]	SF2 SF1 SF2	SH1 SF2 SH1	SH2 SF3 SH2	SH1 SH2	SH3	
Normal module mn mm Normal pressure angle an 20 ° Helix angle β 0 °	Planet shaft1 Bearings B1 B2 Bearing Positioning Gear connections	Shaft Gear Position Number of teeth Width Profile shift coefficient	Sun shaft1 Sun1 45 25 10 0	 Pl Pl 5 2 1¹ 0 	anet shaft1 ·	mm mm			E		
cult overview	suit overview	Normal module Normal pressure angle Helix angle		mn α _n β	1 20 0	mm • •					A Q Q

接続されるべきシャフトとギアを選択してください。最初のペアに Sun1-Planet1 を接続し、次に2番目の ペアを追加して Planet1-Ring を接続します。円周方向のバックラッシュと歯車かみ合いの剛性はここで 変更できます。中心距離は後で計算されるので、入力する必要はありません。ギア強度計算用の計算 プログラムは、利用可能であれば選択することができます。

ペアの接続を定義する必要があります。さらに、単なる歯車対に対する計算の代わりに、遊星歯車セットに対する歯車計算を呼び出すために、遊星歯車セットを追加することもできます。

A Cylindr	ical gear pairs	T1 [Nm]	T2 [Nm]	SF1
Sun	1-Planet1		100 A	
Plan	net1-Ring	12	-	
A Planeta	ry gear sets	T1 [Nm]	T2 [Nm]	T3 [Nm]
Sun	1-Planet1-Planet1-Ring	-	1	-
Bevel g	ear pairs	T1 [Nm]	T2 [Nm]	SF1
Worm	gears	T1 [Nm]	T2 [Nm]	
_			-	
Gear pairs	Sun1-Planet1	Planet1-	Ring	•
Calculation	No calculation			*



Define positioning

次のステップは、遊星グループの位置を定義することです。そのためには、システムツリーで

'Positioning'を選択します。

MESYS Shaft Calculation - MESYS AG	. x
File Calculation Report Graphics Extras Help	
System Group 'PlanetGroup1' according gear pair 'Sun1-Planet1'	
System Solution Solution	
Main group	
Sun shaft1	
Ring shaft Carrier sha	
▲ PlanetGroup1	
Pin1	
Planet shaft1	
B1 Group according gear pair	
B2	Ľ_2
Bearing Group PlanetGroup1	z
Gear connections Cylindrical gear pair Sun1-Planet1	Ľ_×
Offset in x-direction dx 0 mm	₩ <mark>z</mark> x
Ande o o	I Ţx
	¥.,
	-
	*
	\mathcal{P}
	×
Result overview	8
	i

右の ポタンを使って拘束を追加します。 位置決めのいくつかのオプションが選択できます。 'Group according gear pair' 選択し、「PlanetGroup1」を「Sun1-Planet1」のペアに配置します。 角度は変えること ができます、 この例では 0°のままにします。

加えて、リングギヤはギヤ対に従って軸方向に位置決めすることができますが、前に定義した手動位置 をそのままにしておきます。

システムツリー内の 'Shafts' をクリックして、ビューの y-z-plane を選択します。





Running the calculation

計算を実行する前に、システムの速度を定義する必要があります。 'Sun1'に 2000rpm の速度を入力してください。

他のすべてのシャフトでは、速度はプログラムによって計 算されるため、速度の入力の後ろにあるフラグを設定する必 要はありません。リングの速度は、それがゼロに等しくないの なら、設定されるかもしれません。

General	Geometry	Loading	Su	pports	Sections
General					
Name g	Sun shaft1				
Material	5	Steel			•
Position			x	0	mm
Speed		n	2	000	rpm 🔽
Tempera	iture		т	20	°C

計算を実行すると、結果の概要は次のようになります。

Result overview							6
Minimal bearing reference life	minL10rh	3207.88	h	Minimal bearing modified reference life	minLnmrh	811.542	h
Minimal bearing basic life	minL 10h	3591.63	h	Minimal bearing modified life	minLnmh	1073.05	h
Maximal bearing stress	pmax	2149.69	MPa	a Minimal static safety for bearings	minSF	3.46231	
Minimal root safety for gears	minGearSF	1.856	1	Minimal flank safety for gears	minGearSH	1.101	
Maximal displacement in x	maxUx	0	mm	Maximal displacement in y	maxUy	0.0283372	mm
Maximal displacement in z	maxUz	0.0240493	mm	Maximal displacement in radial direction	maxUr	0.0312621	mm
Maximal equivalent stress	maxSigV	34.2776	MPa	3			

歯車の安全係数は、歯車計算用に選択したプログ ラム(オプション)によって異なります。ギアの計算に 対する詳細についても、入力しませんでした。最小の 軸受寿命は 3200h、静的軸受の安全性は 3.4 です。、 寿命への要望によりますが、軸受は問題ないでしょう。 最低限のギアの安全率は、歯面が 1.10、歯元の応力 が 1.8 ですので、ギアも大丈夫でしょう。

計算を実行した後、3 つすべてのプラネットも表示され ます。

これを使用して、シャフト形状を詳細にして、ギアを最 適化することができます。



Gear calculations (外部オプション)

ギアの計算では、'System'ページの'Required Life'を定義する必要があります。また、 「ギアを剛性と見なす」を設定して、ギアに応じてシャフトの直径が自動的に大きくなるよう にするか、シャフト形状におけるギアの剛性を自分で考慮する必要があります。

ギア計算は、システムツリーでギアペアを選択することで開くことができま す。ギア計算プログラムによっては、シャフト計算プログラム内または追加ウ ィンドウとして開かれます。ギアパラメータは変更することができ、ギア計算を 閉じるときに読み込まれます。ここでは、計算用に3つのエントリがありま す。2つの歯車対計算と1つの遊星歯車計算になります。

Gear connections
 Sun1-Planet1
 Planet1-Ring
 Sun1-Planet1-Pl...



'Gear connections'ページには、各ギアのトルクとその安全率が表示されます。'Cylindrical gear pairs'を選択すると、歯車ペアデータの概要が表に表示されます。

▲ Cylind	rical gear pairs	T1 [Nm] T2 [Nm]	SF1	SF2	SH1	SH2			11.1	12
Su	n1-Planet1	6.666	6.666								
Pla	anet1-Ring	-6.666	i 19.73								-
Planet	ary gear sets	T1 [Nm] T2 [Nm]	T3 [Nm]	SF1	SF2	SF3	SH1	SH2	SH3	
Su	n1-Planet1-Plar	net1-Ring 20.00		59.20	3.97	2.28	1.86	1.38	1.38	1.10	
Bevel	gear pairs	T1 (Nm	1 12 [Nm]	SFI	SF2	SHI	SH2				
	Sun1-Planet1	Planet1-Ring					*				ř.
Shaft 1	Sun shaft1	Planet shaft1									z
Shaft 2	Planet shaft1	Ring shaft									L
P [kW]	1.39618	0.517238						8			2
n1 [rpm]	2000	-740.933					E			8	P V
n2 [rpm]	-740.933	166.538							_11		2
u	1.000	2.960									2
a [mm]	25	25									Ø
mn [mm]	1	1									20
alpha [°]	20.0000	20.0000									

ここでは、歯車対に対して計算プログラムが選択されていないため、遊星歯車ステージにのみ安全 率が示されています。歯車対については、トルクは1つの接点について示されており、全ての接点の合 計が遊星歯車セットについて使用されることに留意ください。



Graphics for gear pairs

歯車ペアのための2つのグラフィックが利用可能です。ライン荷重とギャップ幅です。



ライン荷重は、3 つすべての接点の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。接触がちょうどー点にある場合、ギャップ幅は歯面間のギャップを示します。そのため、この場合 は 0.3 µ m の歯面補正を行うことができますが、この小さな値は無視できます。歯車かみ合い剛性、シャ フトおよびベアリングの剛性が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の剛性も 実際のギアボックスに影響を及ぼします。



Adding a second stage

第2段では、まず、サンシャフトとキャリアシャフトのコピーを作成 します。マウスの右ボタンを使用してシャフトをクリックし、 'Duplicate'を選択します。次に、シャフトの名前を'Sun shaft2'と 'Carrier shaft2'に変更し、それらを 60 と 82.5 の位置に移動しま す。

'Sun shaft2'のサポートを一般的な拘束に置き換えて、carrier1 と連結し、カップリング「Input」を除外します。

'Sun1'を'Sun2'に変更し、速度入力のフラグをクリアします。

'Carrier1'では、反作用モーメントのカップリングを除外します。

'Carrier2'では、ベアリングの名前を「B4」と「B5」に変更します。

20 の開始位置を使用してリングシャフトの形状を変更し、同じ形状で2番目のリングギアを追加します。



neral Geometr	Y Loading	Supports	Sections	Se	ttings	
ter Geometry				Inn	ner geometry	
Length	Diameter 1	. Dia	meter 📑		Length	Diameter
110	100			1	18	90
				2	14	80
			1	3	46	90
			4	4	14	80
				5	18	90

変形を避けるために、1 つのサポートではなく、リングギアに 2 つのサポートを使用します。

それから 'PlanetGroup2' という新しい遊星グループを追加します。シャフト「Pin1」と[PlanetShaft2]を複製してマウスの右ボタンをクリックして[グループに移動]を選択、コピーを新しいグループに移動します。



Name Sun2-Carrier 1			
Position	x	5	mm
Connect to shaft 'Carrie	r shaft1'		•
Translation in x-directio	n		
Туре	Fixed		•]
Offset	δ _x	0	mm
Clearance	$\Delta_{\mathbf{x}}$	0	mm
Translation in y-directio	n		
Туре	Fixed		•
Offset	δγ	0	mm
Clearance	Δ_{ν}	0	mm
Translation in z-directio	n		
Туре	Fixed		•]
Offset	δ₂	0	mm
Clearance	Δz	0	mm
Rotation around x-axis			
Туре	Fixed		•
Offset	δ _{rx}	0	rad
Clearance	Δnx	0	rad
Rotation around y-axis			
Туре	No co	nstraint	•
Rotation around z-axis			
Туре	No co	nstraint	•



それから、新しいグループの force と support 要素の名前を変更し、pin2 を 'Supports'の下の 'Carrier shaft2'に接続します。プラネットのための軸受は、外輪で「Pin 2」と接続されなければなりません。

それでは、「ギアの接続」に進み、新しいプラネットステージの接続を追加します。

4	Cylindrical gear pairs	T1 [Nm]	T2 [Nm]	
	Sun1-Planet1	6.666	6.666	
	Planet1-Ring	-6,666	19.73	
	Sun2-Planet2	2000 AND 2000	1	
	Planet2-Ring2	<u>95</u>	12	
	Planetary gear sets	T1 [Nm]	T2 [Nm]	T3 [
	Sun1-Planet1-Planet1-Ring	20.00	0	-
	Sun2-Planet2-Planet2-Ring2			
	Bevel gear pairs	T1 [Nm]	T2 [Nm]	
	Worm gears	T1 [Nm]	T2 [Nm]	

'Positioning'のページで、2つ目のプラネットグループの拘束を追加します。

Group according gear pair Group Cylindrical gear pair Offset in x-direction	PlanetGroup2 Sun2-Planet2 dx	0	• •
Group according gear pair Group Cylindrical gear pair	PlanetGroup2 Sun2-Planet2		•
Group according gear pair Group	PlanetGroup2		
Group according gear pair			ŝ
Group PlanetGroup2 acc	ording gear pair Sunz-Plane	12	
	11 10 D DI	171	

計算を実行すると、'Shafts'のページに結果の概要が見れます。



MESYS AG Technoparkstrasse 1 CH-8005 Zürich info@mesys.ch T: +41 44 455 68 00

				the second s					
Name	n [rpm]	∑T [Nm]	ΣP [kW]	minL10rh [h]	minLnmrh [h]	pmax [MPa]	minSF	maxSigV [MP	SIId
Name Sun shaft1	n [rpm] 2000.00	∑T [Nm] 20	∑P [kW] 4.18879	minL10rh [h]	minLnmrh (h) -	pmax [MPa] -	minSF	maxSigV [MP 22.07	Singles
Name Sun shaft1 Ring shaft	n [rpm] 2000.00 0.00	∑T [Nm] 20 293.626	∑P [kW] 4.18879 2.18306e-31	minL10rh [h]	minLnmrh [h] - -	pmax [MPa] - -	minSF - -	maxSigV [MP 22.07 5.22	0010
Name Sun shaft1 Ring shaft Carrier shaft1	n [rpm] 2000.00 0.00 505.05	∑T [Nm] 20 293.626 79.1981	∑P [kW] 4.18879 2.18306e-31 4.18869	minL10rh [h] - - ∞	minLnmrh [h] - - ∞	pmax [MPa] - - 328.09	minSF - - 99.00	maxSigV [MP 22.07 5.22 7.62	
Name Sun shaft1 Ring shaft Carrier shaft1 Pin1	n [rpm] 2000.00 0.00 505.05 505.05	∑T [Nm] 20 293.626 79.1981 0.0714639	∑P [kW] 4.18879 2.18306e-31 4.18869 0.00377964	minL10rh [h] - - 	minLnmrh [h] - - ∞ -	pmax [MPa] - 328.09 -	minSF - - 99.00	maxSigV [MP 22.07 5.22 7.62 34.18	
Name Sun shaft1 Ring shaft Carrier shaft1 Pin1 Planet shaft1	n [rpm] 2000.00 0.00 505.05 505.05 -989.90	∑T [Nm] 20 293.626 79.1981 0.0714639 6.6635	∑P [kW] 4.18879 2.18306e-31 4.18869 0.00377964 0.690751	minL10rh [h] - - - 2987	minLnmrh [h] - - - - 773	pmax [MPa] - 328.09 - 2160.50	minSF - - 99.00 - 3.43	maxSigV [MP 22.07 5.22 7.62 34.18 5.73	Singles Dedinings
Name Sun shaft1 Ring shaft Carrier shaft1 Pin1 Planet shaft1 Sun shaft2	n [rpm] 2000.00 0.00 505.05 505.05 -989.90 505.05	∑T [Nm] 20 293.626 79.1981 0.0714639 6.6635 79.1981	ΣP [kW] 4.18879 2.18306e-31 4.18869 0.00377964 0.690751 4.18869	minL10rh [h] - - 2987 -	minLnmrh [h] - - - - 773 -	pmax [MPa] - - 328.09 - 2160.50	minSF - - 99.00 - 3.43 -	maxSigV [MP 22.07 5.22 7.62 34.18 5.73 87.34	cinical control
Name Sun shaft1 Ring shaft Carrier shaft1 Pin1 Planet shaft1 Sun shaft2 Carrier shaft2	n [rpm] 2000.00 0.00 505.05 505.05 -989.90 505.05 127.54	∑T [Nm] 20 293.626 79.1981 0.0714639 6.6635 79.1981 313.626	∑P [kW] 4.18879 2.18306e-31 4.18869 0.00377964 0.690751 4.18869 4.18871	minL10rh [h] - - - 2987 - ∞	minLnmrh [h] - - - - 773 - ∞	pmax [MPa] - 328.09 - 2160.50 - 130.69	minSF - 99.00 - 3.43 - 99.00	maxSigV [MP 22.07 5.22 7.62 34.18 5.73 87.34 30.13	anaria pediniya meti
Name Sun shaft1 Ring shaft Carrier shaft1 Pin1 Planet shaft1 Sun shaft2 Carrier shaft2 Pin2	n [rpm] 2000.00 0.00 505.05 505.05 -989.90 505.05 127.54 127.54	∑T [Nm] 20 293.626 79.1981 0.0714639 6.6635 79.1981 313.626 0.282965	∑P [kW] 4.18879 2.18306e-31 4.18869 0.00377964 0.690751 4.18869 4.18871 0.00377921	minL10rh [h] - ∞ - 2987 - ∞ -	minLnmrh [h] - - - 773 - - -	pmax [MPa] - 328.09 - 2160.50 - 130.69 -	minSF - 99.00 - 3.43 - 99.00	maxSigV [MP 22.07 5.22 7.62 34.18 5.73 87.34 30.13 135.48	
Name Sun shaft1 Ring shaft Carrier shaft1 Pin1 Planet shaft2 Carrier shaft2 Pin2 Planet shaft2	n [rpm] 2000.00 0.00 505.05 505.05 -989.90 505.05 127.54 127.54 127.54 -249.97	∑T [Nm] 20 293.626 79.1981 0.0714639 6.6635 79.1981 313.626 0.282965 26.399	∑P [kW] 4.18879 2.18306e-31 4.18869 0.00377964 0.690751 4.18869 4.18871 0.00377921 0.691053	minL10rh [h] - - 2987 - - - 101	minLnmrh [h] - - - 773 - - - 2. - 12.83	pmax [MPa] - 328.09 - 2160.50 - 130.69 - 4422.07	minSF - 99.00 - 3.43 - 99.00 - 0.82	maxSigV [MP 22.07 5.22 7.62 34.18 5.73 87.34 30.13 135.48 23.10	anaris bearings riequencies

Carrier2 の出力速度は 127.5 rpm、出力トルクは 314 Nm です。軸受寿命 L10rh は、planet shaft 2 で 101h に過ぎず、これを改善する必要があります。

歯車のサイズが大きくなっていないため、2段目の歯車の安全率は小いさ過ぎます。

Cylindrical gear pairs	T1 [Nm]	T2 [Nm]	SF1	SF2	SH1	SH2			
Sun1-Planet1	6.663	6.663							
Planet1-Ring1	-6.663	19.72							
Sun2-Planet2	26.40	26.40							
Planet2-Ring2	-26.40	78.14							
 Planetary gear sets 	T1 [Nm]	T2 [Nm]	T3 [Nm]	SF1	SF2	SF3	SH1	SH2	SH3
Sun1-Planet1-Planet1-Ring	19.99	0	59.17	3.96	2.28	1.85	1.38	1.38	1.10
Sun2-Planet2-Planet2-Ring2	79.20	0	234.42	0.68	0.44	0.63	0.35	0.31	0.54
Bevel gear pairs	T1 [Nm]	T2 [Nm]	SF1	SF2	SH1	SH2			
Worm gears	T1 [Nm]	T2 [Nm]							

次のステップは、第2遊星ステージのサイズ変更になります。