

MESYS チュートリアル: 単一円筒歯車 01

1 はじめに

1.1 使用例

このチュートリアルでは、単一の円筒歯車の形状計算を使用します。以下の点が考慮されます。

- ねじれ角と圧力角。
- 歯厚の許容値、歯先円直径の公差。
- 歯先の修正および歯先の面取り。
- 基準プロファイル
- 検査測定値からの転位の計算。

1.2 目的

チュートリアル	プロパティ
対象	はじめに
前提条件	MESYS ライセンス(試用版、商用版)。
学習目標	歯車の形状入力を理解する。 形状値の変換を適用する。 レポート内の形状データを理解する。
ファイル	MESYS-Tutorial-Cyl_gear_single_01-v2500.mSCG.

1.3 目次

1	はじめに.....	1
1.1	使用例	1
1.2	目的	1
1.3	目次	1
1.4	タスク	3
2	実践、ステップ 1.....	4
2.1	MESYS の起動と設定	4
2.2	既知のデータの入力	5
2.3	計算の実行	5
2.4	レポート出力	7
2.5	グラフィックス	9
2.6	ファイル.....	10
3	実践、ステップ 2.....	10
3.1	転位係数の上限と下限	10
3.2	転位係数の変換	12
3.3	転位係数の生成	12

4	実践、ステップ 3.....	14
4.1	歯高の設定.....	14
4.2	圧力角の調整.....	14
4.3	歯底フィレットの最大化.....	14
5	実践、ステップ 4.....	17
5.1	歯先修正の計算.....	17
5.2	歯先修整による実践.....	17
5.3	許容値による実践.....	18
5.4	基準プロファイルによる実践.....	19
6	実践、ステップ 5.....	20
6.1	ファイル.....	20
6.2	歯先面取り.....	20
6.3	歯車の品質仕様.....	20
6.4	検査測定値の計算.....	21
6.5	各入力後の即時形状計算.....	22
7	工具による歯車の定義.....	23
7.1	ファイル.....	23
7.2	ホブとしての定義.....	23
7.3	プロチュバランスホブの定義、荒加工と仕上げ加工で.....	26
7.4	ファイル.....	28
7.5	シェイパーカッターによる定義.....	29

1.4 タスク

ステップ	タスク
1	MESYS を起動し、円筒歯車のデータを入力する。 計算を実行し、グラフィックを配置し、レポートを作成し、歯車の形状データをエクスポートする。
2	歯形に対する転位の影響。 転位の変換。 転位と歯厚の生成。
3	歯たけの設定。 圧力角の調整。 歯元フィレットの最大化。
4	歯先の修正量を計算する。
5	歯先の面取りを作成します。 検査測定値を算出する。
6	基準プロファイルの入力、ホブ定義、およびシェイパーカッターの入力による歯車の形状定義。

2 実践、ステップ 1

2.1 MESYS の起動と設定

ファイル「MesysSingleCylindricalGear64.exe」をダブルクリックして MESYS を起動します。このファイルはインストールディレクトリ（通常は C:\Programs\MESYS 12-2025）にあります。これにより、単一円筒歯車の計算がスタートされます。



図 2-1 インストールディレクトリ内の対応する*.exe ファイルを使用して、歯車計算を開始します。

言語は、メニューの[拡張]>[言語]で選択します。

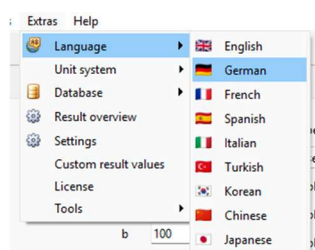


図 2-2 言語の選択。

[拡張/設定]には、直感的に理解できる、関連する事前定義の設定が含まれています。特に MESYS の使用開始当初は、エラー、警告、および情報に気付くことができるよう、[全てのメッセージを表示]を選択しておくことをお勧めします。

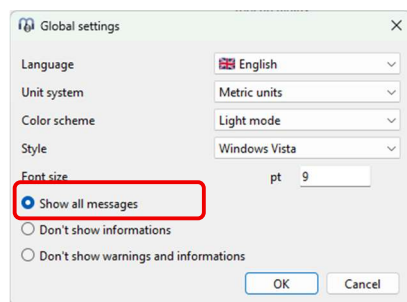


図 2-3 「拡張/設定」のデフォルト設定。

[一般]タブでは、[プロジェクト名]および[計算概要]フィールドに自由に注釈を記入できます。

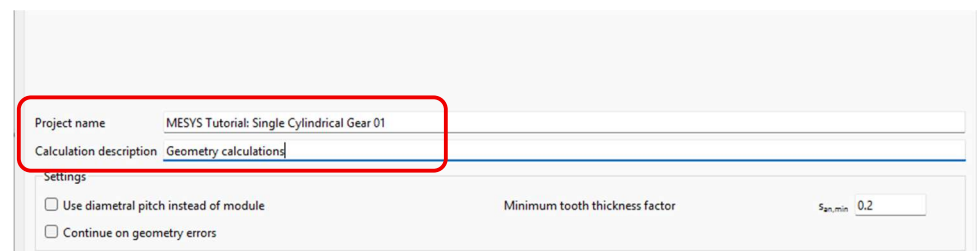


図 2-4 [一般]タブ、「プロジェクト名」および「計算概要」。

2.2 既知のデータの入力

以下のデータが既知です。

歯直角モジュール	$m_n = 10.00 \text{ mm}$
歯数	$z = 37$
歯幅	$b = 100.00 \text{ mm}$
歯直角圧力角	$\alpha = 20.00^\circ$
ねじれ角	$\beta = 15^\circ$ 、左
内径	$d_i = 140.00 \text{ mm}$

[形状]タブでは、上記の内容を次のように入力します。ねじれの向きを入力するには、[ねじれ角]の「+」ボタンを押します。

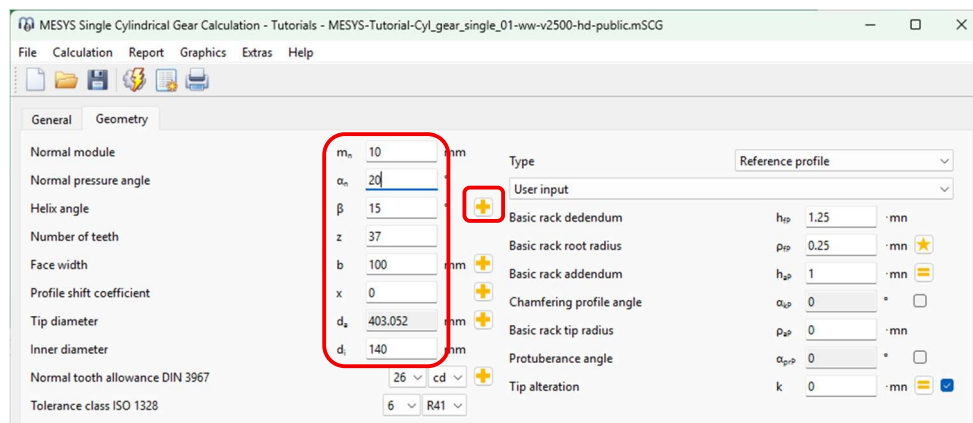


図 2-5 指定されたデータの入力。「+」ボタンをクリックして、ねじれの向きを入力します。



図 2-6 ねじれ方向の選択。

2.3 計算の実行

計算は、さまざまな方法で開始できます。

- キーボードショートカットの F5 キーを押します。
- ボタンを押します(下の図を参照)。
- メニュー[計算]/[計算]を選択します。下の 2 番目の図を参照してください。

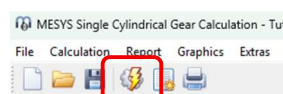


図 2-7 計算を実行するためのボタン。

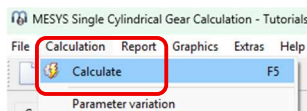


図 2-8 メニューの[計算]/[計算]を選択して、計算を実行します。

計算メッセージは[メッセージ]ウィンドウに表示されます。この計算ではメッセージは発生しなかったため、ウィンドウは空です。

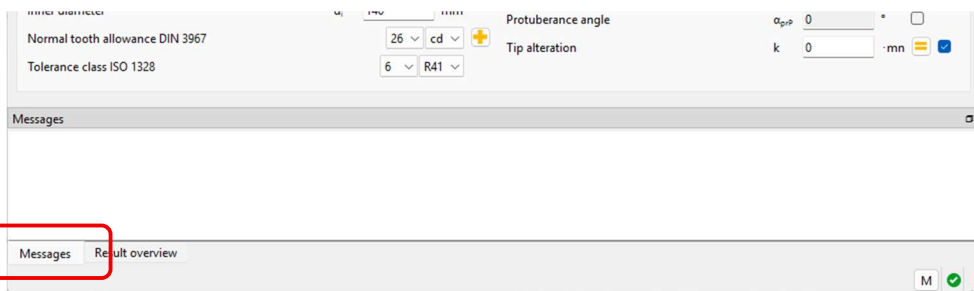


図 2-9 ウィンドウ「メッセージ」。

[結果の概要]ウィンドウには、関連する結果が出力されます。

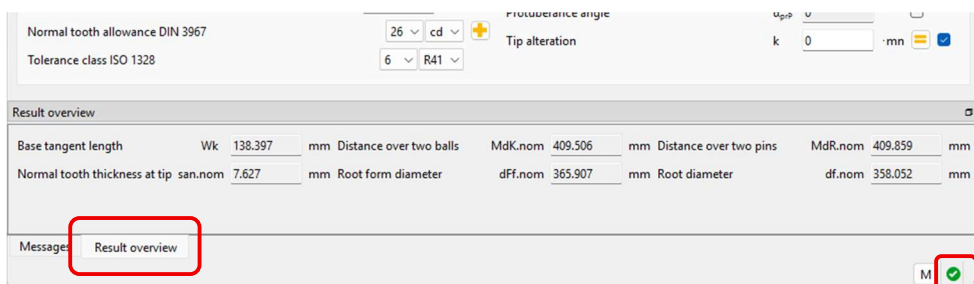


図 2-10 ウィンドウの[結果の概要]。

右下には「結果が有効です」という表示があります。これが緑色の場合、「結果の概要」に表示されている結果が入力内容と一致していることを意味します。入力に変更されると、黄色に切り替わります。これは、入力と結果が必ずしも一致しなくなったことを意味します。

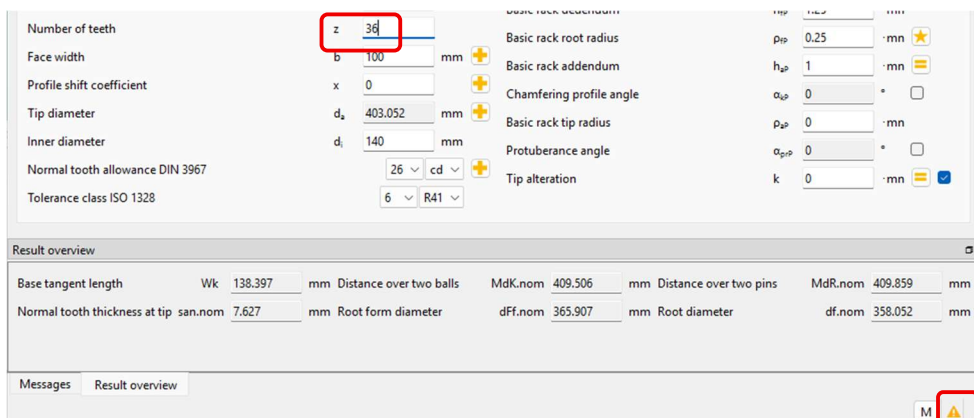


図 2-11 入力に変更され、元の結果が保持された状態で、「結果が有効です」の表示が黄色に変わります。

入力を $z=37$ に戻して計算を再実行すると、整合性が回復します。

2.4 レポート出力

計算レポートには、入力値、中間値、および結果が記録されます。これは*.pdfファイルとして生成され、その形式で表示されます。レポートには3つの方法でアクセスできます。

- キーボードショートカット F6を押します。
- ボタンを押す(下の図を参照)。
- メニューの[レポート]→[レポート表示]を選択します(下の2番目の図を参照)。

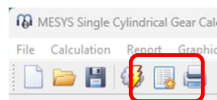


図 2-12 レポートを生成するためのボタン。

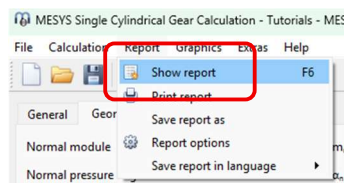


図 2-13 レポートを生成するための[レポート]メニューの[レポート表示]。

レポートは*.pdfビューアで開かれます。検索機能(Ctrl+F)を使用して、特定の結果を検索できます。

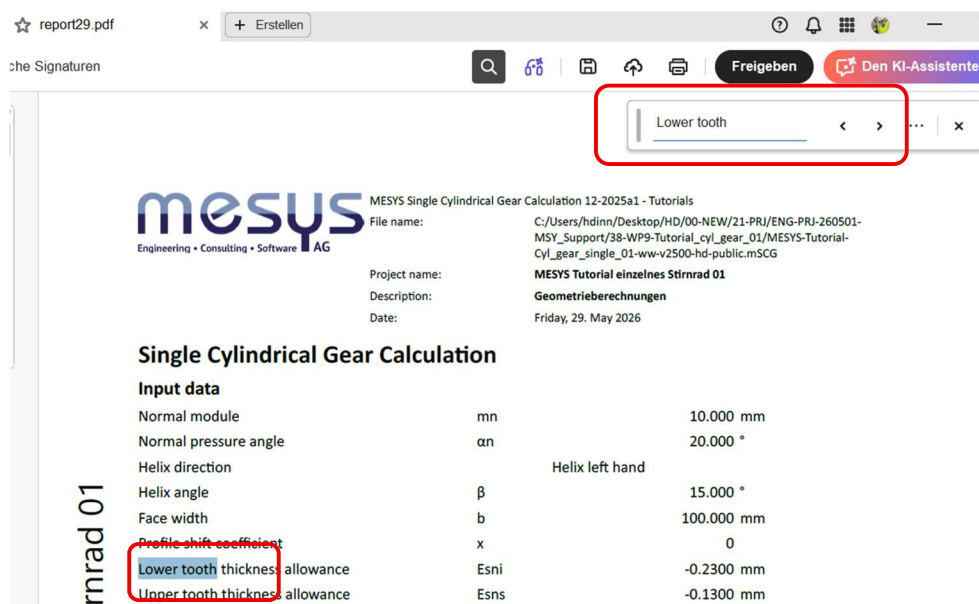


図 2-14 レポート内を検索。

レポートのプロパティは、インストールディレクトリ内の *mesys.ini* ファイルで変更できます。用紙サイズ、余白、余白テキストなどのプロパティをそこで調整できます。余白テキストのエントリを変更すると、それ以降のレポートで反映されます。

```
[report]
format=INTERNALPDF
tableformat=XLSX
topmargin=20
bottommargin=20
leftmargin=20
rightmargin=20
papersize=A4
marginbox1\active=true
marginbox1\rect=@Rect(-35 -20 30 20)
marginbox1\text=#page/#pageCount
marginbox1\angle=0
marginbox1\isHtml=false
marginbox1\drawBox=false
marginbox2\active=true
marginbox2\rect=@Rect(5 -50 200 30)
marginbox2\text="<html><center><font size=8>MESYS Tutorial: Single Cylindrical Gear</font></center></html>"
marginbox2\angle=0
marginbox2\isHtml=true
marginbox2\drawBox=false
```

図 2-15 ファイル mesys.ini でのページ番号の調整。

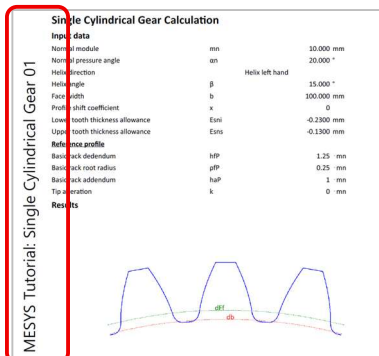


図 2-16 レポート内の余白設定の調整。

レポートは、メニューの[レポート]>[レポートを印刷]コマンドから印刷されます。[レポート]>[レポートを別名で保存]を使用すると、Microsoft Word® や Microsoft Excel® などに適したさまざまな形式で保存できます。

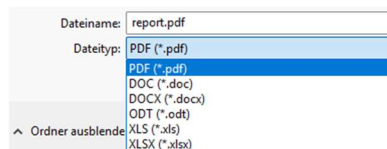


図 2-17 一般的な各種形式でのレポートの保存。

レポートはさまざまな言語で保存されます。レポートの言語は、ソフトウェアの言語設定とは独立しています。

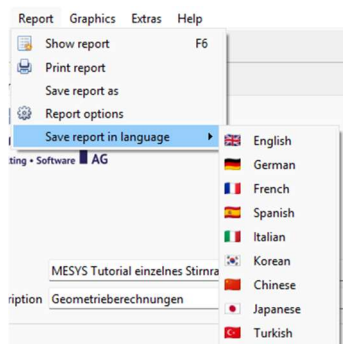


図 2-18 「レポート/レポートを別名で保存」コマンドの言語選択。

2.5 グラフィックス

グラフィックスには、[グラフィックス]メニューからアクセスします。

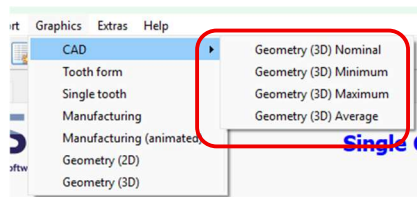


図 2-19 メニュー「グラフィックス」からグラフィックスにアクセスします。

メニュー「グラフィックス/CAD」のグラフィックスは、公称寸法（バックラッシュのない理論上の歯車）、下限許容値、上限許容値、および平均許容値の歯車形状を生成します。

グラフィックスのコンテキストメニューは、マウスの右ボタンで表示されます。歯車の形状は、「グラフィックスを外部出力...」から*.stpまたは*.stlファイルとしてエクスポートされます。

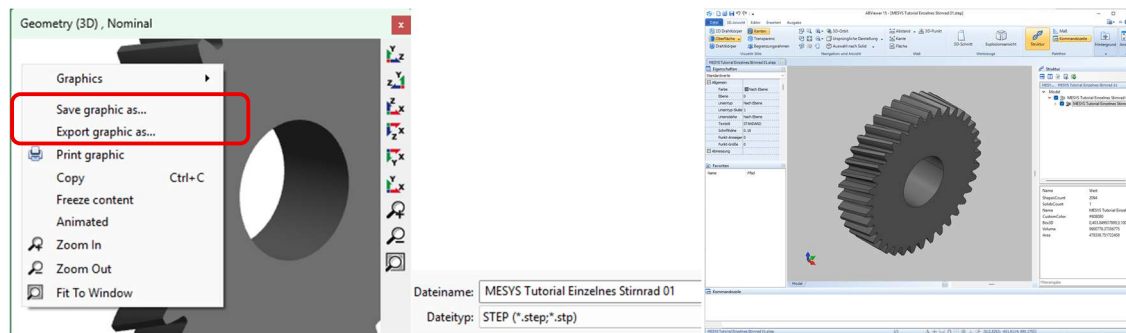


図 2-20 左: グラフィックスのコンテキストメニュー(マウスの右ボタン)。中央:「グラフィックスを外部出力...」、*.stpファイルとして出力。右: CADビューアでの歯車の形状。

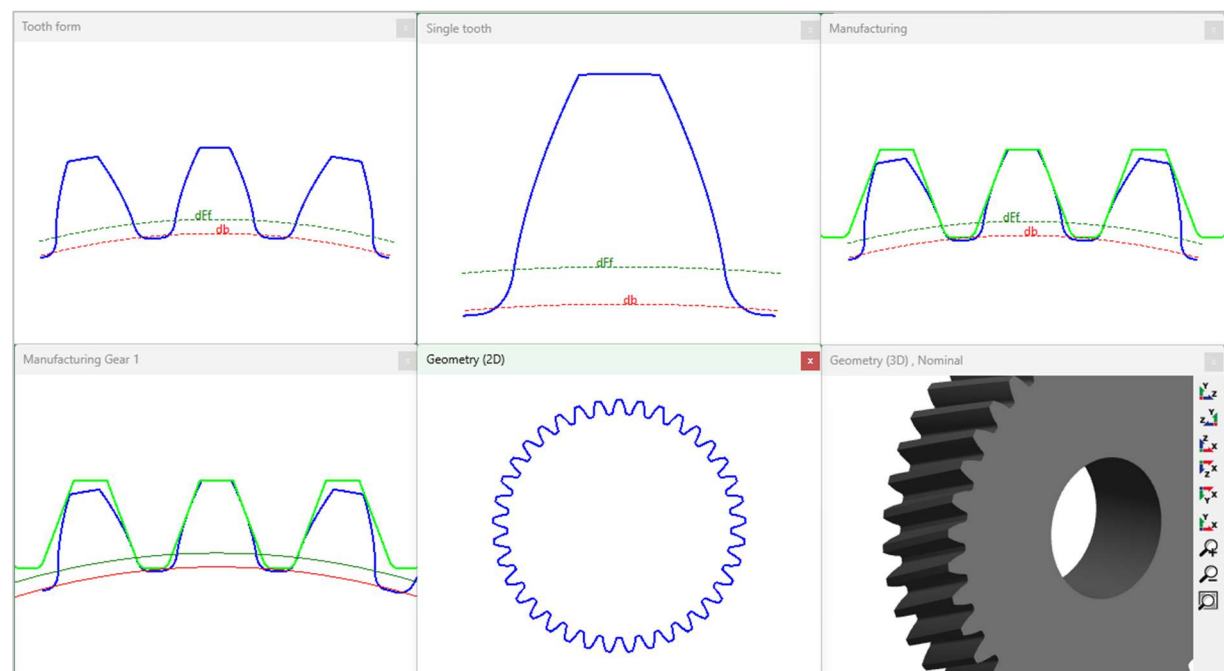


図 2-21 グラフィックス「歯形」から「形状(3D)」へ。

コンテキストメニュー(マウスの右クリック)から「画像として保存」を選択すると、グラフィックコンテンツが指定したサイズで画像ファイルとして保存されます。コンテキストメニューから「コピー」を選択すると、グラフィックのスクリーンショットが作成され、レポートなどでの再利用が可能になります。

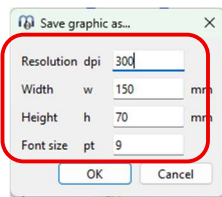


図 2-22 グラフィックファイル、サイズ、解像度の定義。

コンテキストメニューの「グラフィックをフリーズ」を使用すると、グラフィックの内容がフリーズされます。入力に変更され、計算が再実行された場合、以前のフリーズされた状態と、新たに計算された状態の両方が表示されます。グラフィックを別のウィンドウとして再度開く必要があることに注意してください。

2.6 ファイル

ファイル *MESYS-Tutorial-Cyl_gear_single_01-ww-v2500.mSCG* を参照してください。このファイルは、以降のステップで上書きされることはありません。

3 実践、ステップ 2

3.1 転位係数の上限と下限

転位は「形状」タブの入力項目「転位係数」で制御され、その形状は「グラフィック/単一歯」のグラフィックで確認できます。転位を小さくすぎるとアンダーカットが発生し、歯形が運転に適さなくなる可能性があります。

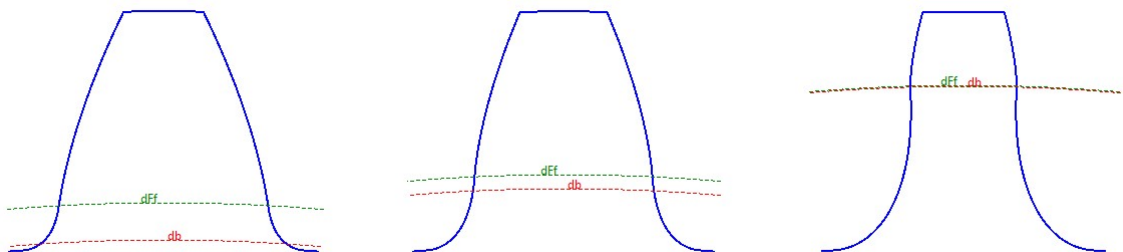


図 3-1 さまざまな転位係数における歯形。左: $x=0$ 。中央: $x=-0.5$ 。右: $x=-1.5$ 。

転位係数を大きくすると、歯底部が広くなり、歯先部が薄くなります。

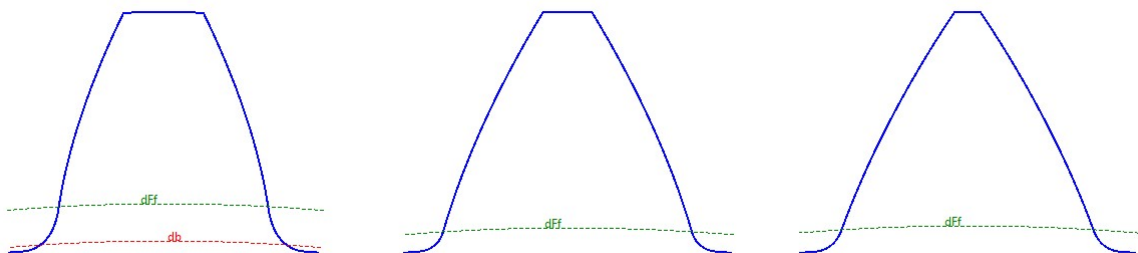


図 3-2 さまざまな転位係数に対する歯形。左: $x=0$ 。中央: $x=1.0$ 。右: $x=1.5$ 。

転位係数が大きくなりすぎて、歯先の歯厚がゼロになると、歯の高さが減少します。

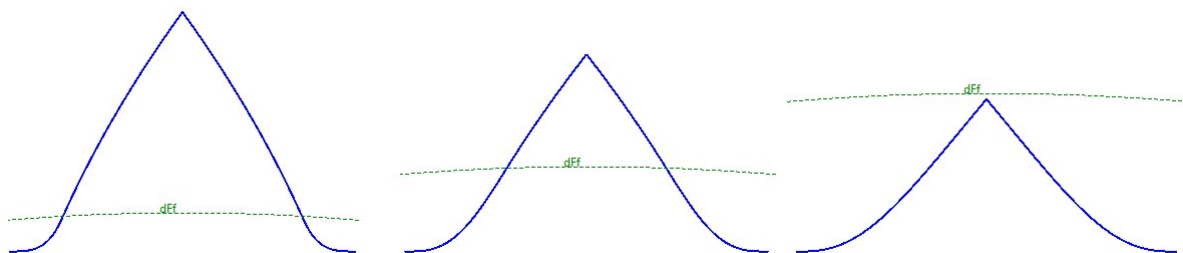


図 3-3 歯高が減少した、さまざまな転位係数に対する歯形。左: $x=2.0$ 。中央: $x=3.0$ 。右: $x=4.0$ 。

[形状]タブで、転位係数の横にある「+」ボタンをクリックし、その転位係数に対応する「アンダーカットの限界値 (x_{min})」および「最小トップランドの限界値 (x_{max})」を確認します。後者は、[一般]タブの設定、すなわち「最小歯厚係数 ($s_{an,min}$)」の入力値によって制御されます。

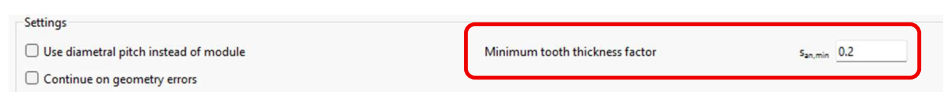


図 3-4 「一般」タブにおける最小歯厚係数 $s_{an,min}$ の指定。

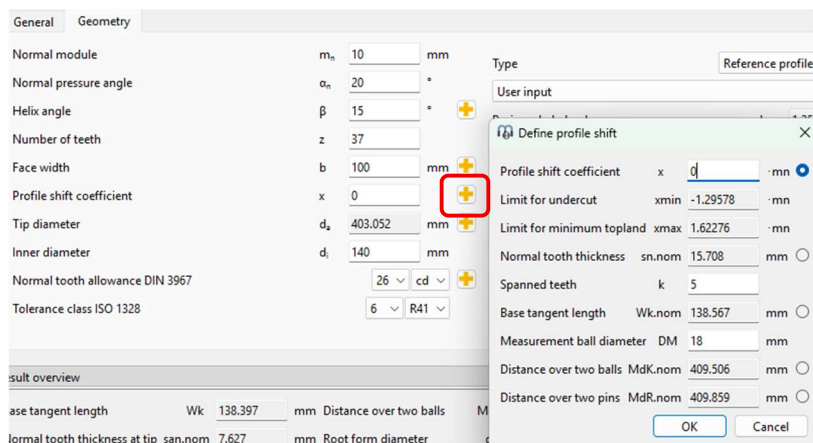


図 3-5 「形状」タブ内の「転位係数」にある「+」ボタン。「転位を設定」ウィンドウ。

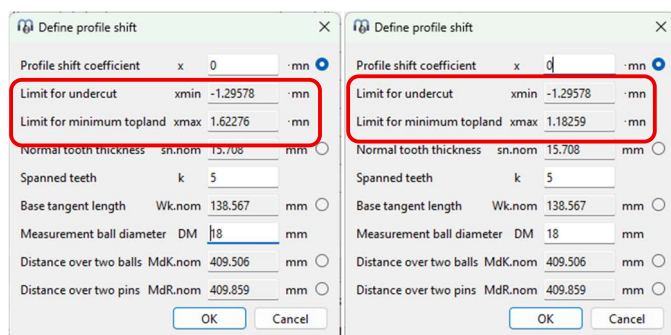


図 3-6 左: 最小歯厚係数 $s_{an,min} = 0.20$ における最小歯頂部の限界の結果。右: $s_{an,min} = 0.40$ の場合。

3.2 転位係数の変換

[形状]タブの[転位係数]にある「+」ボタンを使用して、変換を行うことができます。このチュートリアルでは、4歯にわたるまたぎ歯厚長が $Wk.nom = 110.85$ として与えられています。またぎ歯数 $k=4$ およびまたぎ歯厚長 $Wk.nom = 110.85$ を入力すると、これに基づいて転位が計算されます。データを入力し、「形状」タブの「OK」ボタンを押すと、結果が表示されます。

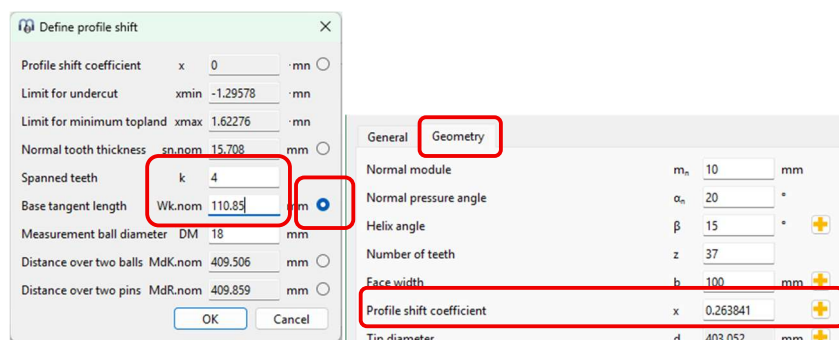


図 3-7 左: またぎ歯厚長からの選択入力転位。またぎ歯数とまたぎ歯厚長を入力。OK ボタン。右: 「形状」タブに表示される結果の転位係数。

3.3 転位係数の生成

レポートには、転位について、公称値、下限値、上限値、平均値の4つの値が記載されています。

		Nominal	Average	Minimum	Maximum
Profile shift coefficient	x	0.0000	-0.0247	-0.0316	-0.0179

図 3-8 レポート内の転位係数 x 、さまざまな値。

公称値はユーザーインターフェース上の値 ($x = 0.2638$) に対応します。最小値と最大値は、生成された転位の上限値および下限値です。これらは歯厚の許容値によって制御されます。「形状」タブで「+」ボタンを使用して、DIN 3967 に基づく歯厚許容値をゼロに設定すると、4つの値すべてが公称寸法と同じになります。

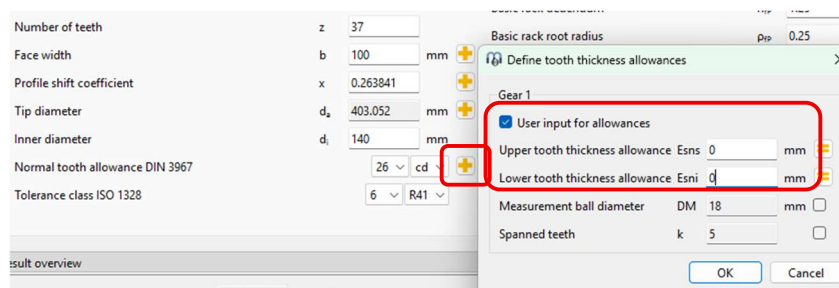


図 3-9 歯厚許容値をゼロに設定、[形状]タブ、DIN 3967 に基づく歯厚許容の「+」ボタン。

		Nominal	Average	Minimum	Maximum
Profile shift coefficient	x	0.2638	0.2638	0.2638	0.2638

図 3-10 レポート内の転位係数 x 、すべての値が等しい。

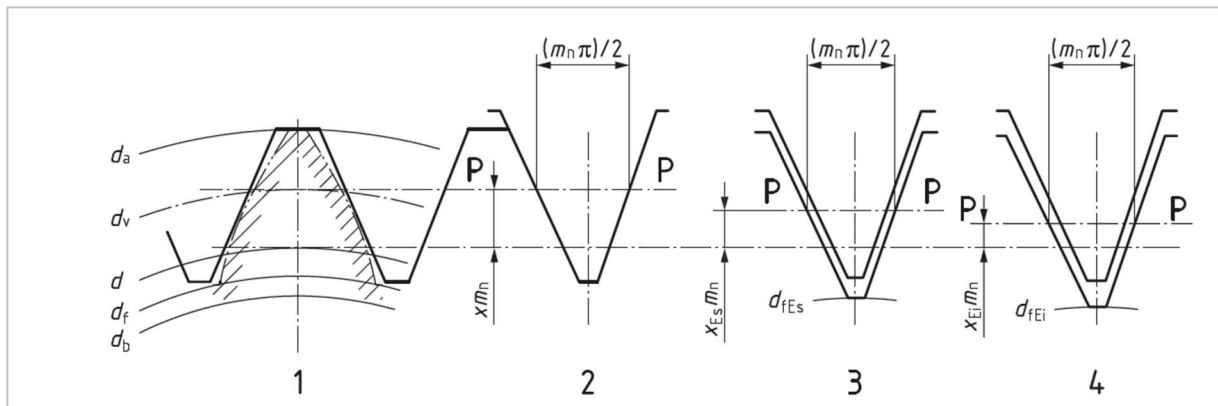


図 3-11 転位の生成の概念、ISO 21771-1:2024、図 55 による。

1: 歯車の基準プロファイル(実線、歯方向上向き)。

2: 工具の基準プロファイル(実線、歯先が下向き)。歯元基準プロファイル工具 > 歯末基準プロファイルワークピース。公称寸法としての正の転位係数 x 、転位 $x \cdot m_n$ 。理論上の歯厚(バックラッシュのない歯厚)が生成されます。

3: 転位係数 x が x_{Es} に減少。正の転位は小さくなり、工具はワークピースのより深い位置へ移動する。歯厚の上限許容値が生成されます。

4: 転位係数 x をさらに x_{Ei} まで減少。正の転位はさらに小さくなり、工具はワークピースのより深い位置へ移動します。歯厚の下限許容値が生成されます。

DIN 3967、cd 26 に基づく元の歯厚許容値について、歯厚の理論値(バックラッシュなし)および生成値は、以下のレポートに記載されています：

		Nominal	Average	Minimum	Maximum
Profile shift coefficient	x	0.2638	0.2391	0.2322	0.2460
Tip diameter	d_a	408.3290	408.2805	408.2320	408.3290 mm
Root diameter	d_f	363.3290	362.8345	362.6971	362.9718 mm
Root form diameter	d_{ff}	369.2037	368.8702	368.7784	368.9623 mm
1/2					
		Nominal	Average	Minimum	Maximum
Normal tooth thickness	s_n	17.6286	17.4486	17.3986	17.4986 mm

図 3-12 理論値および生成される転位係数、理論値および生成される標準歯厚。

4 実践、ステップ 3

4.1 歯高の設定

「形状」タブで、歯高が増加しました。これは、かみ合わせ時の正面接触率 ε_α を高めることを目的としています。歯元は歯末より 0.20 大きく保つ必要があります。すなわち、 $h_{fp} - h_{dp} = 0.20 \cdot m_n$ 。

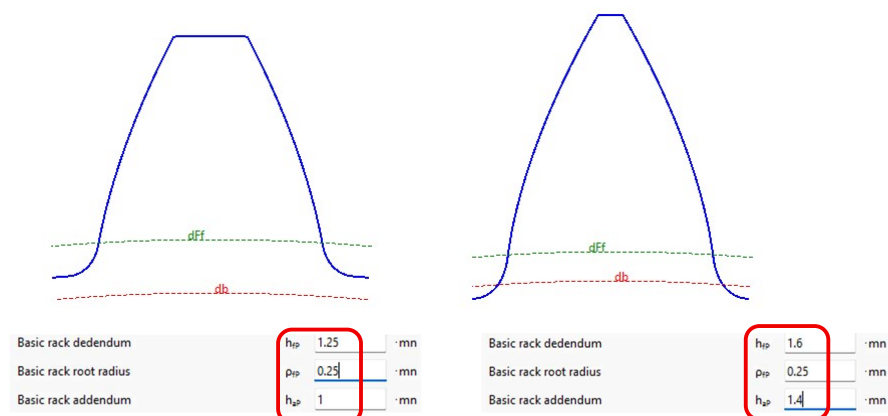


図 4-1 左: 元の歯形 ($h_p = h_{fp} + h_{dp} = 2.25 \cdot m_n$)。右: 歯高を増加させたもの ($h_p = h_{fp} + h_{dp} = 3.00 \cdot m_n$)。図は実寸ではありません。

4.2 圧力角の調整

歯をさらに細長く高くするため、圧力角を $\alpha_n = 17.5^\circ$ に減少させます。これにより、歯先が尖ることなく(歯先部の厚さはゼロにならないまま)、歯高をさらに増加させることができます。

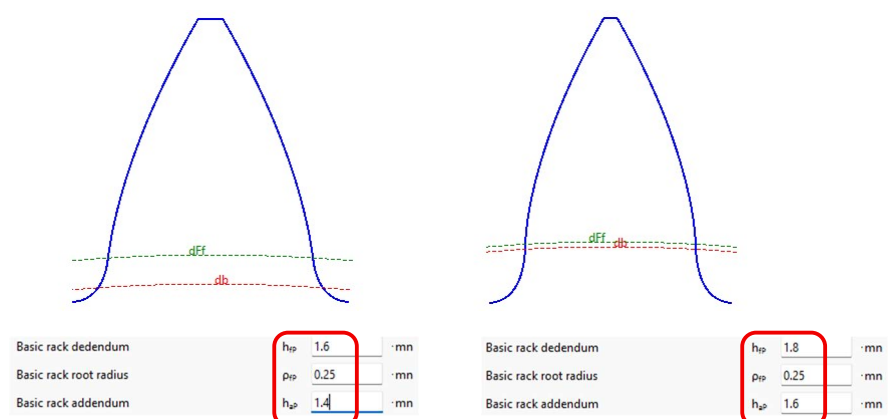


図 4-2 左: 歯高を増加させた場合、 $h_p = h_{fp} + h_{dp} = 3.00 \cdot m_n$ 。右: 通常の圧力角を縮小し、歯高をさらに増加させた場合、 $h_p = h_{fp} + h_{dp} = 3.4 \cdot m_n$ 。図は実寸大ではありません。

4.3 歯底フィレットの最大化

「形状」タブで、元の歯高を再度設定します。計算を実行し、[グラフィックス/加工] グラフィックを表示します。コンテキストメニュー(グラフィック上でマウスを右クリック)から、両方のグラフィックに対して[コンテンツをフリーズ]を選択します。

General		Geometry	
Normal module	m_n 10 mm	Type	Reference profile
Normal pressure angle	α_n 17.5 °	User input	
Helix angle	β 15 °	Basic rack dedendum	h_{fp} 1.25 ·mn
Number of teeth	z 37	Basic rack root radius	ρ_{fp} 0.25 ·mn
Face width	b 100 mm	Basic rack addendum	h_{dp} 1 ·mn
Profile shift coefficient	x 0.263841	Chamfering profile angle	α_{cp} 0 °
Tip diameter	d_s 420.329 mm	Basic rack tip radius	ρ_{dp} 0 ·mn
Inner diameter	d_i 140 mm	Protuberance angle	α_{pp} 0 °
Normal tooth allowance DIN 3967	26 cd	Tip alteration	k 0 ·mn
Tolerance class ISO 1328	6 R41		

図 4-3 歯高を元の値にリセット。

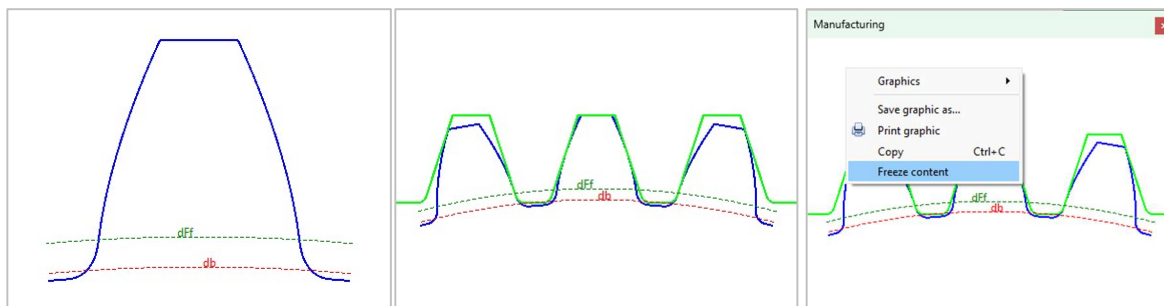


図 4-4 左: グラフィックス/ 単一歯。中央: グラフィックス/ 加工。緑: 工具の基準プロファイル。青: 歯形、正面断面。右: コンテンツのフリーズ(右クリックでコンテキストメニューが表示されます)。

今、基準プロファイルの歯元半径は $\rho_p = 0.25$ です、さらに $\rho_p = 0.10$ に縮小します。計算を再度実行し、「グラフィックス/ 単一歯」と「グラフィックス/ 加工」の 2 つのグラフィックを再度開きます。以前にフリーズしたグラフィックは変更されていないため、新しいグラフィックと比較することができます。

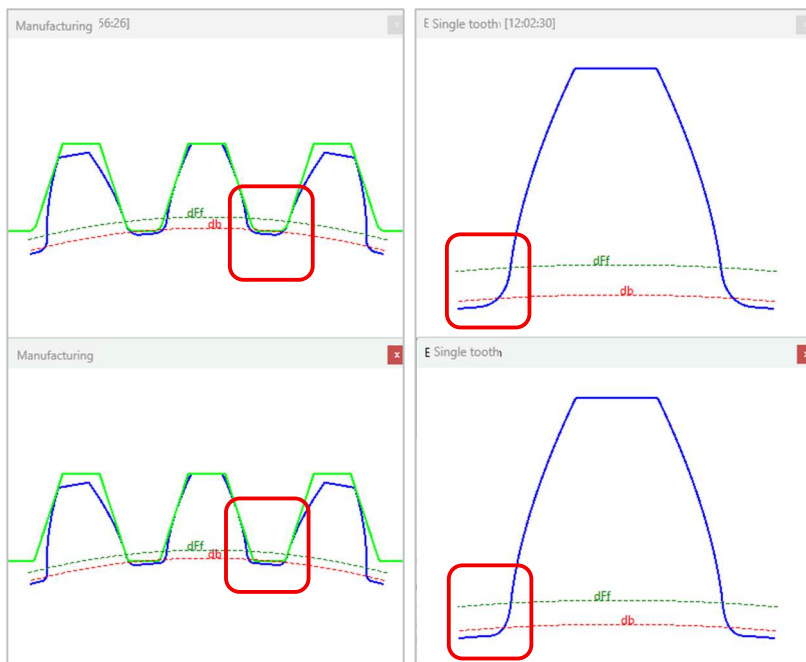


図 4-5 比較: $\rho_p = 0.25$ (上) と $\rho_p = 0.10$ (下)。左: グラフィックス/ 加工。右: グラフィックス/ 単一歯。歯底フィレットに注目してください。

「*」ボタンは、歯底フィレットを最大化するのに使用されます。これにより、工具歯先で可能な最大半径が計算されます。その後、計算が再度実行され、歯底の形状が表示されます。

General Geometry

Normal module m_n 10 mm

Normal pressure angle α_n 17.5 °

Helix angle β 15 °

Number of teeth z 37

Face width b 100 mm

Profile shift coefficient x 0.263841

Tip diameter d_s 408.329 mm

Inner diameter d_i 140 mm

Normal tooth allowance DIN 3967 26 cd

Tolerance class ISO 1328 6 R41

Type Reference profile

User input

Basic rack dedendum h_{fp} 1.25 mm

Basic rack root radius ρ_{fp} 0.53363 mm *

Basic rack addendum h_{fa} 1 mm

Chamfering profile angle α_{fp} 0 °

Basic rack tip radius ρ_{fp} 0 mm

Protuberance angle α_{fp} 0 °

Tip alteration k 0 mm

図 4-6 「*」ボタンを使用した、基準プロファイルの歯底半径の最大値の設定。

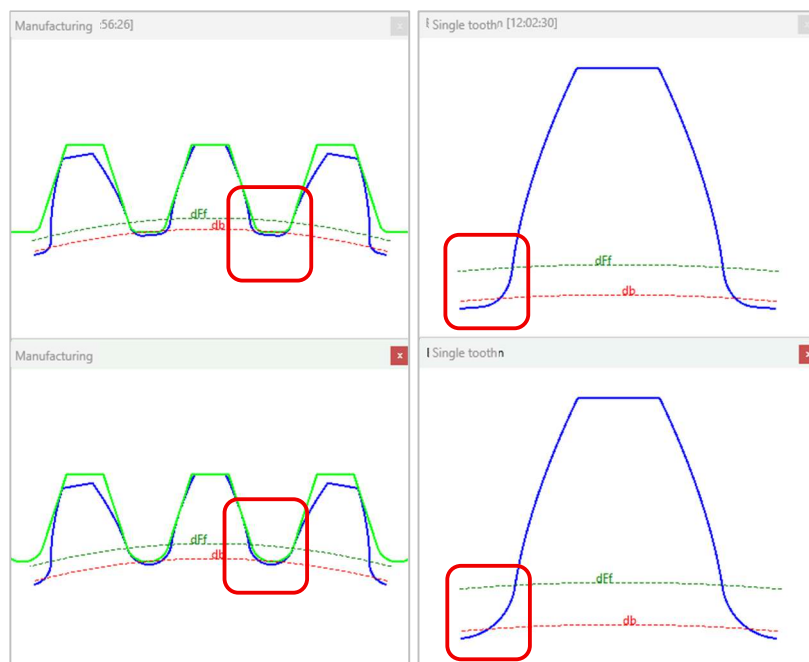


図 4-7 $\rho_{fp} = 0.25$ (上) と $\rho_{fp} = 0.53$ (下) の比較。左: グラフィックス/加工。右: グラフィックス/単一歯。歯底フィレットに注意。

5 実践、ステップ 4

5.1 歯先修正の計算

与えられたデータにおいて、歯先円直径は公称寸法 $d_a = 408.329 \text{ mm}$ として与えられています。歯先直径の公差 (ISO 286) は $h8$ が選択されています。許容上限は公称寸法 $d_a = d_{as}$ に等しく、許容上限は $\Delta d_{as} = 0.000 \text{ mm}$ です。下側許容は公称寸法より小さく、 $d_{ai} = d_a + \Delta d_{ai} = 408.329 \text{ mm} - 0.097 \text{ mm} = 408.232 \text{ mm}$ となります。

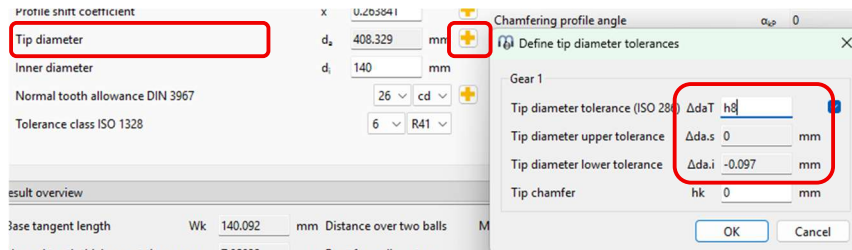


図 5-1 歯先径の公差データ。

対応する値はレポートに記載されています。

		Nominal	Average	Minimum	Maximum
Profile shift coefficient	x	0.2638	0.2391	0.2322	0.2460
Tip diameter	d_a	408.3290	408.2805	408.2320	408.3290 mm
Root diameter	d_f	262.2200	262.9245	262.6071	262.0718 mm

図 5-2 歯先径、公称寸法、平均値、最小値、最大値。

これで、歯先直径は $d_a = 408.000$ となり、許容差は $+0.050 - 0.100 \text{ mm}$ となります。上限の許容値を含む歯先円直径は $d_{as} = 408.050 \text{ mm}$ 、下限の許容値を含む歯先円直径は $d_{ai} = 407.900 \text{ mm}$ となります。このような仕様はさまざまな方法で実現できますが、ここでは3つの方法について説明します。

5.2 歯先修整による実践

基準プロファイルの歯末 $h_{ap} = 1.00$ を維持します。公称寸法を $d_a = 408.050 \text{ mm}$ と設定し、歯先変更によって実現します。この場合、許容差は $+0.000 \sim -0.150$ となります。

これを行うには、「歯先修整」で「=」ボタンを押して、希望する歯先円直径 $d_a = 408.050 \text{ mm}$ を入力します。その結果、歯先修整量 $k = -0.014$ となり、計算後に $d_a = 408.050 \text{ mm}$ という値が得られます。

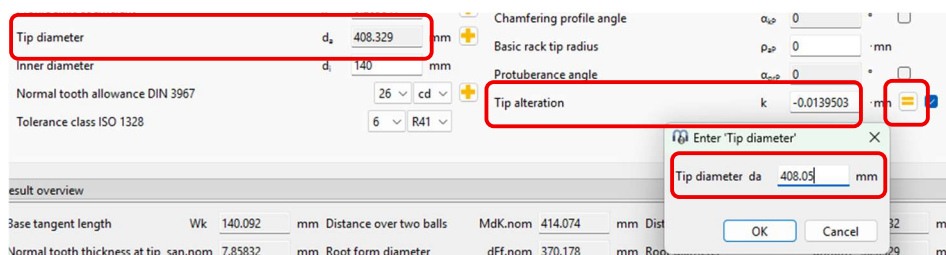


図 5-3 歯先径を入力して、歯先の修整量を計算します。計算実行後の結果となる歯先円直径。

これで公称寸法が設定され、次のステップでは歯先円直径の「+」ボタンを使用して許容値を入力します。

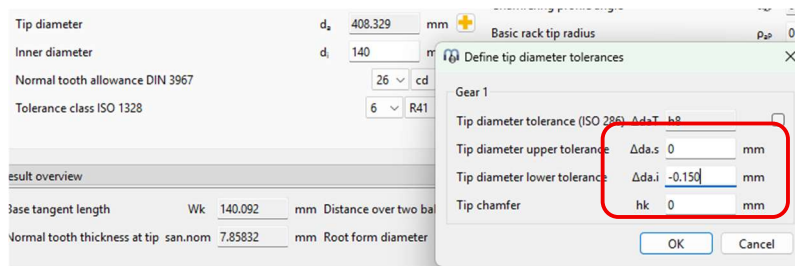


図 5-1 歯先円直径の公差を定義ウィンドウ、「+」ボタン。

計算実行後のレポート:

		Nominal	Average	Minimum	Maximum
Profile shift coefficient	x	0.2638	0.2353	0.2274	0.2432
Tip diameter	da	408.0500	407.9750	407.9000	408.0500 mm
Root diameter	df	363.3290	362.7581	362.5995	362.9167 mm

図 5-4 歯先円直径、公称寸法 $d_a = 408.050$ mm。最小値と最大値は仕様に合致しており、平均値も同様です。公称寸法は基準値です。

5.3 許容値による実践

基準プロファイルの歯末のたけは $h_{ap} = 1.00$ に保持されます。公称寸法は $d_a = 408.329$ mm に設定され、歯先修整量はゼロです。これにより、許容値は 408.050 mm $- 408.329$ mm $= -0.279$ mm および 407.900 mm $- 408.329$ mm $= -0.429$ mm となります。

このため、歯先の修正 k は $k = 0$ に設定されます。「歯先円直径」の「+」ボタンを使用して、許容差を入力します。

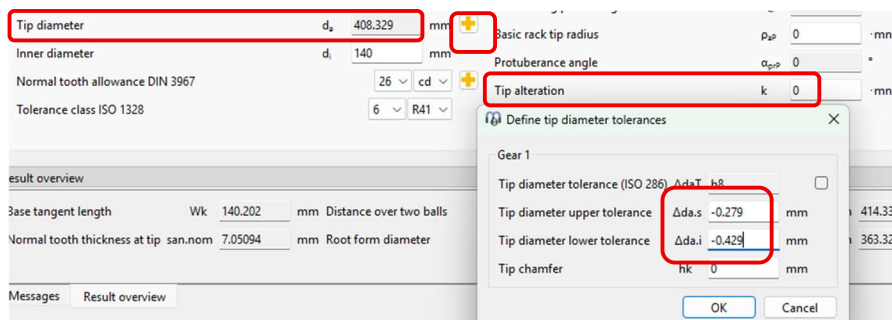


図 5-5 「歯先円直径」の「+」ボタンを使用して、歯先円直径の許容値を入力します。歯先の修正 k は 0 に設定します。

計算後、ユーザーインターフェースに公称寸法 $d_a = 408.329$ mm が表示され、レポートには以前と同じ上値、下値、平均値(ただし公称寸法は異なる)が表示されます。

		Nominal	Average	Minimum	Maximum
Profile shift coefficient	y	0.2638	0.2391	0.2322	0.2460
Tip diameter	da	408.3290	407.9750	407.9000	408.0500 mm
Root diameter	df	363.3290	362.8345	362.6971	362.9718 mm

図 5-6 歯先円直径、公称寸法 $d_a = 408.329$ mm。最小値と最大値は仕様と一致しており、平均値も同様です。公称寸法は基準値です。

5.4 基準プロファイルによる実践

基本ラックの歯末のたけは、歯先円直径の公称寸法が $d_a = 408.000$ mm となるように調整されます。歯先修正係数はゼロです。これにより、許容差は $+0.050 \sim 0.100$ となります。

このため、歯先修正係数 k は $k=0$ のままに設定されます。基本ラックの歯末のたけの「=」ボタンを使用し、歯先円直径の希望公称寸法 $d_a = 408.000$ を入力します。これにより、 $h_{af} = 0.984 \cdot m_n$ が得られます。

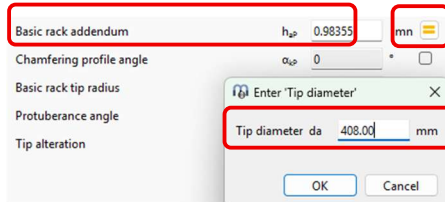


図 5-7 歯先円直径の公称寸法を基本ラック歯末のたけに変換します。「=」ボタンを使用します。

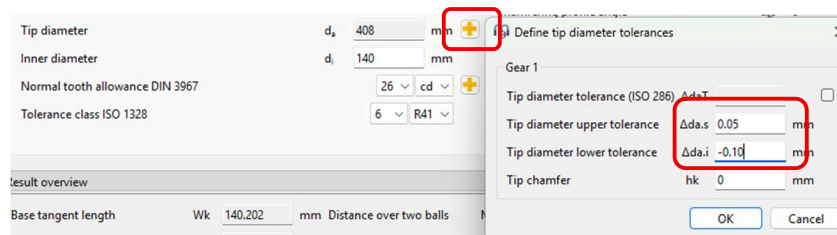


図 5-8 歯先円直径の許容値を、歯先円直径の「+」ボタンから入力します。

計算後、変更された公称寸法がレポートに表示されます。その他の値は上記と同じです。

		Nominal	Average	Minimum	Maximum
Profile shift coefficient	x	0.2638	0.2391	0.2322	0.2460
Tip diameter	d_a	408.0000	407.9750	407.9000	408.0500 mm
Root diameter	d_f	363.3290	362.8345	362.6971	362.9718 mm

図 5-9 歯先円直径、公称寸法 $d_a = 408.000$ mm。最小値と最大値は仕様と一致しており、平均値も同様です。公称寸法は基準値です。

6 実践、ステップ 5

6.1 ファイル

ファイル *MESYS-Tutorial-Cyl_gear_single_01-v2500.mSCG* を開き、ステップ 1 の状態を復元します。

6.2 歯先面取り

「形状」タブで、入力項目「面取りプロファイル角 α_{fp} 」に 45° 、「基準ラックの有用歯末のたけ h_{FaP} 」に 0.80 を入力します。これにより、歯先には圧力角 $\alpha_n = 45^\circ$ の第 2 のインボリュートが生成されます。その後、「グラフィックス/単一歯」および「グラフィックス/形状(3D)」の公称寸法表示で、この面取りを確認できます。



図 6-1 基準プロファイルによる歯先面取りの定義。

歯先面取りを生成するには、ラック型工具の歯元に 2 番目の歯面(直線として)を追加します。生成プロセスを通じて、2 番目のインボリュート(面取り)が生成されます。つまり、面取りは直線ではなく、インボリュートとして曲線を描きます。

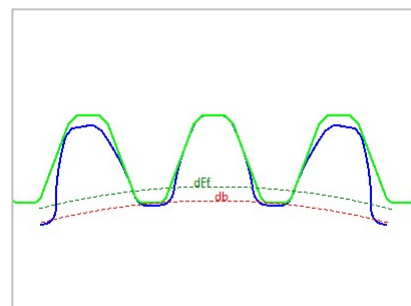


図 6-2 工具プロファイルから歯先の面取りを生成します

6.3 歯車の品質仕様

「形状」タブで入力された ISO 1328 に基づく公差クラスから、許容される製造偏差が決定されます。これらはレポートの「公差」セクションに一覧表示されます。

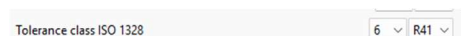


図 6-3 「形状」タブでの公差クラスの入力。

Tolerances		
Tolerance class ISO 1328-1	A	6
Single pitch tolerance	fpT	13.000 μm
Cumulative pitch tolerance	FpT	43.000 μm
Profile slope tolerance	fHαT	12.000 μm
Profile form tolerance	ffαT	15.000 μm
Profile tolerance, total	FαT	19.000 μm
Helix slope tolerance	fHβT	12.000 μm
Helix form tolerance	ffβT	14.000 μm
Helix tolerance, total	FβT	18.000 μm
Tolerance class ISO 1328-2	R	41
Tooth-to-tooth radial composite tolerance	fidT	84.000 μm
Total radial composite tolerance	FidT	95.000 μm

図 6-4 レポートに記載された、最大許容製造誤差としての公差。

6.4 検査測定値の計算

検査測定値を計算するには、測定球の直径と測定対象となる歯数を指定する必要があります。これらは、DIN 3967 に基づいて歯厚許容値の入力欄で、「+」ボタンを使用して自動的に設定されるか、手動で入力されます。直接入力を行う場合は、以下に示す対応するフラグを有効にする必要があります。

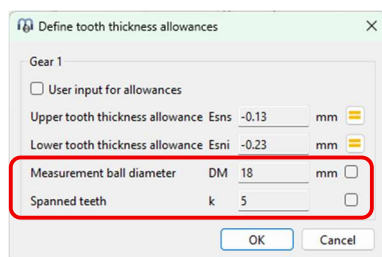


図 6-5 測定球の直径と測定歯数の入力。

検査測定値は、レポートに以下のように一覧表示されます。

Spanned teeth	k	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
Base tangent length	Wk	140.3713	140.2022	140.1552	140.2492 mm
Contact diameter for base tangent length	dMWk	383.4376	383.3794	383.3633	383.3956 mm
Measurement ball diameter	DM	18.0000	18.0000	18.0000	18.0000 mm
Radial single ball distance	MrK	207.1685	206.9637	206.9066	207.0207 mm
Distance over two balls	MdK	413.9799	413.5706	413.4566	413.6845 mm
Distance over two pins	MdR	414.3370	413.9274	413.8132	414.0413 mm
Contact diameter for ball distance	dMBall	389.2079	388.8340	388.7298	388.9380 mm

図 6-6 検査測定値の一覧。

測定が不可能な場合は、対応するメッセージが表示されます。以下は、ゲージによるまたぎ歯厚長計測が不可能になり、歯高を小さくしたことで、そのようなメッセージが表示された例です。

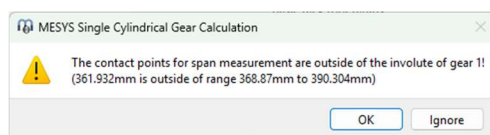


図 6-7 測定が不可能な場合のメッセージ。

6.5 各入力後の即時形状計算

MESYS のデフォルト設定では、1 つ以上の入力後、対応するボタンまたは F5 キーを押すことで計算が実行されます。あるいは、各入力後に即座に計算が行われるように MESYS を設定することも可能です。これを形状計算 (3D グラフィックスは含まず) に限れば、ワークフローを妨げないほど高速です。「M」は手動での計算実行、「A」は自動実行を表します。

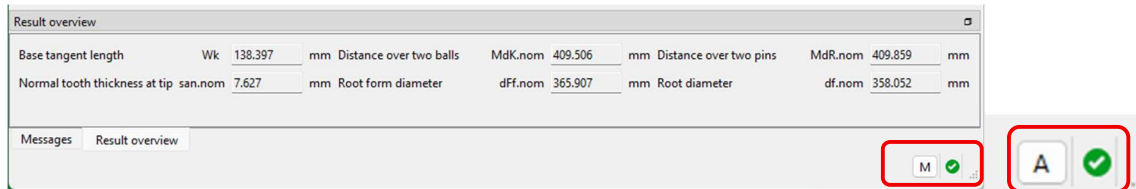


図 6-8 入力ごとに計算を直ちに実行する設定。

7 工具による歯車の定義

7.1 ファイル

ファイル `MESYS-Tutorial-Cyl_gear_single_01-v2500.mSCG` ファイルを開き、ステップ 1 の状態に戻します。

グラフィックスの `グラフィックス/単歯`、`グラフィックス/加工`、および `グラフィックス/加工 (アニメーション)` を開きます。以下のスクリーンショットには、アニメーションは表示されていません。

7.2 ホブとしての定義

ラック型工具(ホブ)の基準プロファイルを定義するためのパラメータは、ISO 21771-1:2024に基づいて規定されています。下図には、工具の歯底形状高さ h_{fP0} および面取りプロファイル角度 α_{kP0} を持つ面取り歯面が示されています。これにより、歯車(被加工物)の歯先に面取りが形成されます。右側には、工具の歯底半径 ρ_{fP0} を持つ歯底フィレットが示されています。これにより、歯車に歯先丸みが形成されます。

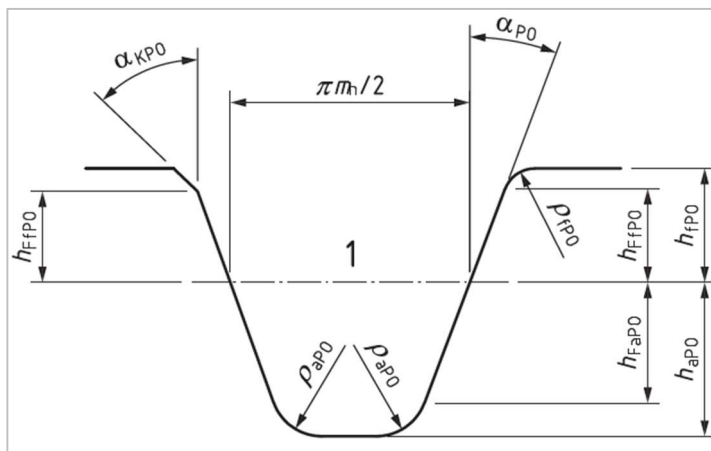


図 7-1 ホブとしての工具の基準プロファイルの定義。長さは基準線で、または基準線から測定されます。

[形状] タブでは、入力が [タイプ=基準プロファイル] ではなく [タイプ=ホブ] になります。歯車の基準プロファイルに対する入力は、ラック型工具(ここではホブと呼ぶ)の基準プロファイルに対する入力に変換されます。最も単純なケースでは、歯車の基準プロファイルが基本ラック歯元のたけ h_{fp} 、歯元半径基準プロファイル ρ_{fp} 、および歯末のたけ基準プロファイル h_{ap} によってのみ定義されている場合、ホブデータへの変換は簡単です。工具(ここではホブ)については、記号に下付き文字「0」を使用します。歯車の歯末のたけ h_{ap} は工具の歯元のたけ h_{fp0} となり、歯車の歯元のたけ h_{fp} は工具の歯末のたけ h_{ap0} に変換されます。

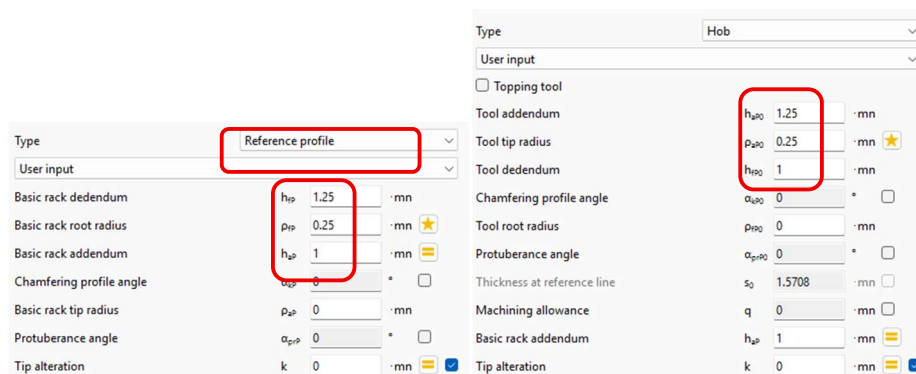


図 7-2 左: 基準プロファイルによる歯車の元の定義。右: ホブの基準プロファイルへの変換。

歯車の基本ラック歯末のたけは依然として必要です。なぜなら、原則として歯車の外径は工具の歯元のたけによって決定されるのではなく、それ以前の加工工程(ブランクを外径まで旋削する工程)で決定されるからです。したがって、工具の歯元のたけは一般的に歯車の歯末のたけよりも大きく入力されることに注意してください。

最も単純なケースでは、歯車の歯末のたけはホブの歯元のたけと等しく設定されます(以下を参照)。図「グラフィックス/加工」では、この場合、工具の根底領域と歯車の歯先領域が接触します。

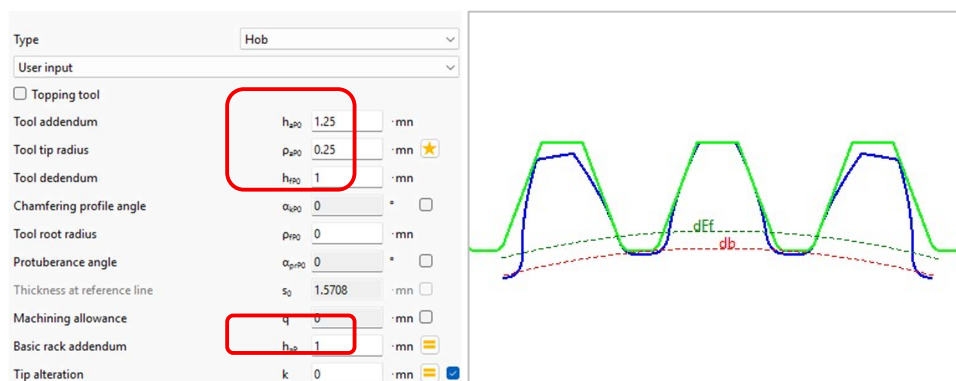


図 7-3 歯車の歯末のたけ=ホブの歯元たけ。

ホブの歯元のたけが、例えば h_{fP} = 0.80 に縮小された一方で、歯車の歯末のたけが、例えば h_{aP} = 1.00 のまま維持されている場合、矛盾が生じます。その場合、歯形は変更されず、入力された歯車の歯末のたけに基づいて計算されます。つまり、計算は h_{fP} の定義ではなく、h_{aP} の定義に従います。

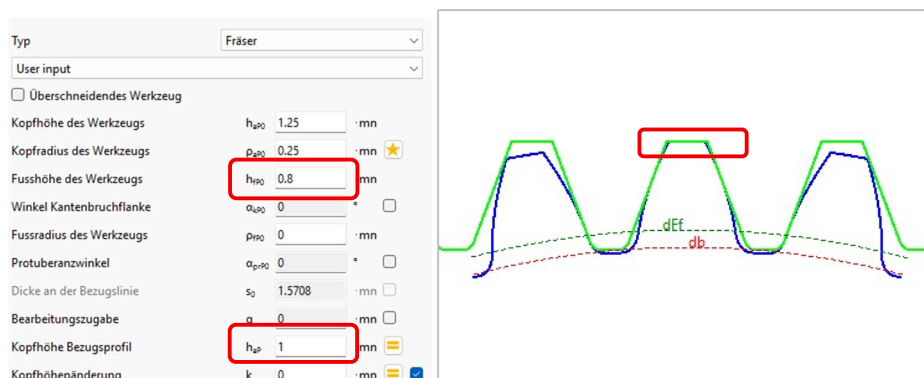


図 7-4 歯車の歯末のたけ≠ホブの歯元のたけ。計算は歯車の歯末のたけによって制御されます。

「トッピングツール」フラグが有効な場合、歯車の形状はホブの形状によって制御されます（ホブの歯元が歯車の歯先を切削します）。計算は、歯車の定義である h_{ap} ではなく、工具の定義である f_{p0} に従います。これにより、歯車の歯先は工具の歯元と等しくなります。歯車の歯末のたけ h_{ap} および歯先変更量 k の入力項目は削除されます。

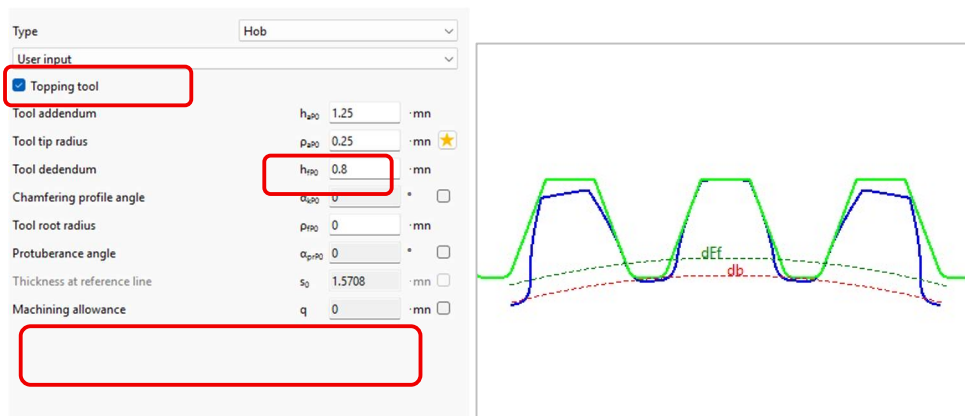


図 7-5 歯車の歯末のたけは入力されなくなりました。歯車の歯末のたけは、工具の歯元のたけから決定されるようになります。「トッピングツール」フラグが有効になっています。

工具の歯底にはフィレットまたは半径を入力でき、これにより生成プロセスを通じて歯車の歯先に丸みが生成されます。



図 7-6 トッピングツール用にホブにおける歯元フィレットの定義。生成プロセスにより、歯車に歯先丸みが生成されます。

あるいは、ホブの歯元でフィレットの代わりに、対応するフラグを有効にし、 $\alpha_{kp0} = 60^\circ$ および $h_{FP0} = 0.60$ を入力することで、面取りを定義することもできます。

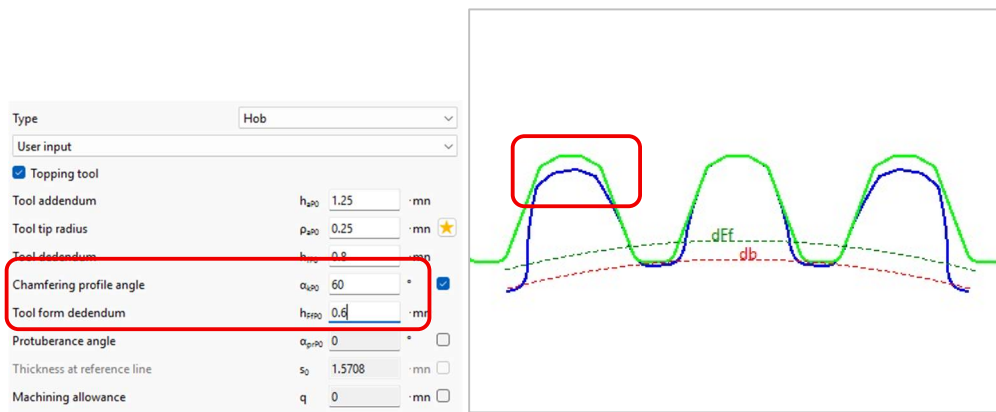


図 7-7 ホブの歯元にある面取り面を介して、トッピングツール用の歯先面取りを歯車上に定義。

7.3 プロチュバランスホブの定義、荒加工と仕上げ加工で

プロチュバランスカッターを用いたホブ切りによる荒加工と研削による仕上げ加工（その他の組み合わせも可能）で歯車を製造する場合、ホブにはプロチュバランスおよび仕上げ加工用の加工許容値が追加で定義されます。これらのパラメータは、ISO 21771-1:2024 に基づき、以下のように定義されます。

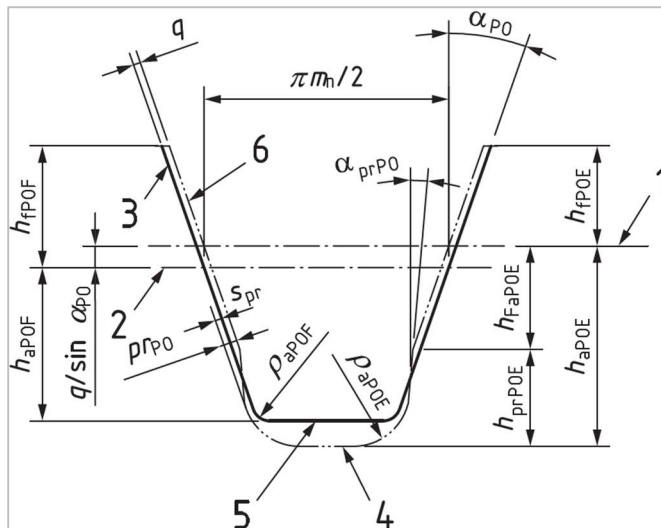


図 7-8 ホブ（荒加工用、インデックス「E」）および砥石（仕上げ加工用「F」）の基準プロファイル。

凡例

- 1 荒加工用工具の基準線。
- 2 仕上げ加工用工具の基準線。
- 3 仕上げ加工用工具の基準プロファイル。
- 4 荒加工用工具の歯先。
- 5 仕上げ加工用工具の歯先。
- 6 荒加工用工具の基準プロファイル。

6+4 = 荒加工用工具、3+5 = 仕上げ加工用工具、3+4 = 歯形を決定する仮定の工具。

MESYSでは、荒加工用工具のプロチュバランスは、入力プロチュバランス角 α_{prP0} および以下のいずれかによって定義されます。

- 工具の歯先形状の高さ h_{FaP0} 。
- プロチュバランスの高さ h_{prP0} 。
- プロチュバランス量 p_{rP0}

$h_{prP0} + h_{FaP0} = h_{aP0}$ (工具の歯末のたけ)となることに注意してください。以下の3つの図に、3つのケースを示します。プロチュバランスの入力は、「プロチュバランス角」のフラグを有効にし、その値(ここでは $\alpha_{prP0} = 10^\circ$)を設定することで行います。

Protuberance angle	α_{prP0} 10	*	☒
Tool form addendum	h_{FaP0} 1.1	mn	☐
Height of protuberance	h_{prP0} 0.15	mn	☐
Amount of protuberance	p_{rP0} -0.00617992	mn	☐

図 7-9 プロチュバランス角度とツールの歯末のたけを入力設定します。プロチュバランスの高さとプロチュバランス量がそれに続きます。

Protuberance angle	α_{prP0} 10	*	☒
Tool form addendum	h_{FaP0} 1.05	mn	☐
Height of protuberance	h_{prP0} 0.2	mn	☒
Amount of protuberance	p_{rP0} 0.00263643	mn	☐

図 7-10 プロチュバランス角度とプロチュバランスの高さを入力します。続いて、工具形状の歯末のたけとプロチュバランス量が設定されます。

Protuberance angle	α_{prP0} 10	*	☒
Tool form addendum	h_{FaP0} 0.497824	mn	☐
Height of protuberance	h_{prP0} 0.752176	mn	☐
Amount of protuberance	p_{rP0} 0.1	mn	☒

図 7-11 プロチュバランス角度とプロチュバランス量を入力します。続いて、工具形状の歯末のたけとプロチュバランス高さを指定します。

プロチュバランス角 $\alpha_{prP0} = 10^\circ$ 、プロチュバランス量 $p_{rP0} = 0.10$ の場合、歯形は以下の通りとなります。

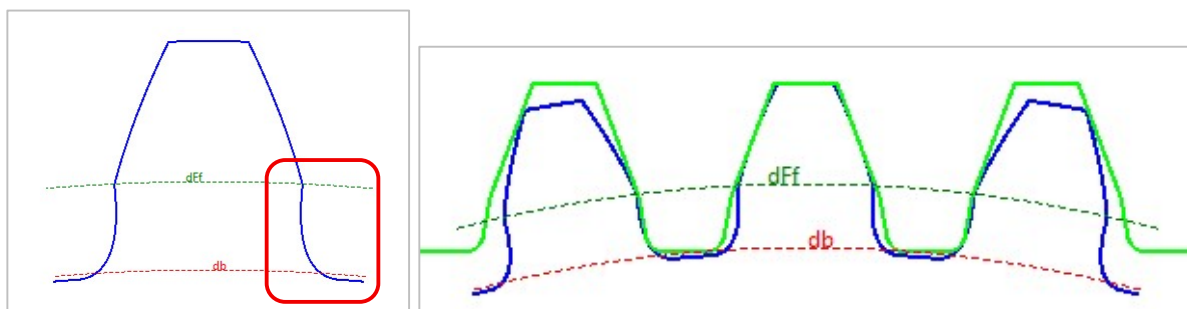


図 7-12 工具のプロチュバランスによるアンダーカットのある歯形。

仕上げ加工ステップが加工許容値の入力によって定義されている場合、仕上げ加工工具の関連する形状を定義する必要があります。加工許容値は $q = 0.05 \cdot m_n$ 、仕上げ加工工具の歯末のたけ $h_{aP0F} = 1.00$ 、仕上げ加工工具の歯先半径は $\rho_{aP0F} = 0.05 \cdot m_n$ です。

Amount of protuberance	p_{rP0} 0.1	·mn	☒
Thickness at reference line	s_0 1.5708	·mn	☐
Machining allowance	q 0.05	·mn	☒
Basic rack addendum	h_{aP} 1	·mn	☐
Tip alteration	k 0	·mn	☒
Finishing tool addendum	h_{aPOF} 1	·mn	☐
Finishing tool tip radius	ρ_{aPOF} 0.05	·mn	☐

図 7-13 仕上げ加工用工具の入力。

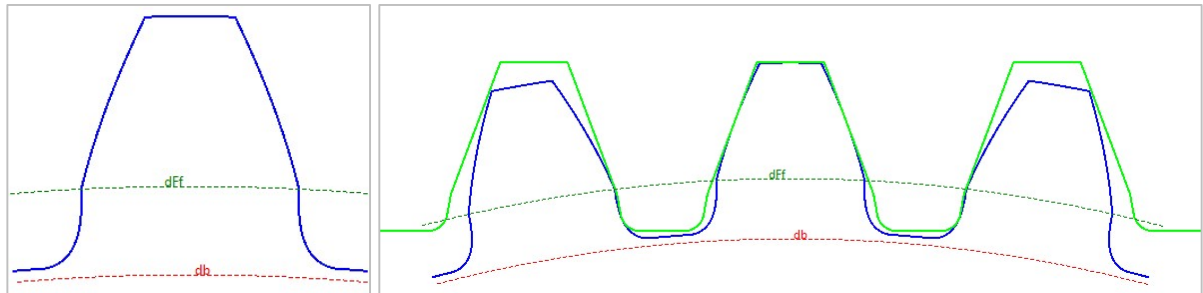


図 7-14 仕上げ加工後の歯形。右：緑色の仮想工具。

荒加工および仕上げ加工のパラメータの選択が不適切であると、歯形が不十分なものになってしまいます。以下の計算では、加工許容値をプロチュバランス量よりも大きく定義しました($q=0.20 > p_{rP0}=0.10$)。仕上げ加工用工具の歯末のたけは、低い値($h_{aPOF}=0.50$)に設定されています。これにより、歯高が低くなり、研削ノッチが生じます。

Amount of protuberance	p_{rP0} 0.1	·mn	☒
Thickness at reference line	s_0 1.5708	·mn	☐
Machining allowance	q 0.2	·mn	☒
Basic rack addendum	h_{aP} 1	·mn	☐
Tip alteration	k 0	·mn	☒
Finishing tool addendum	h_{aPOF} 0.5	·mn	☐
Finishing tool tip radius	ρ_{aPOF} 0.05	·mn	☐

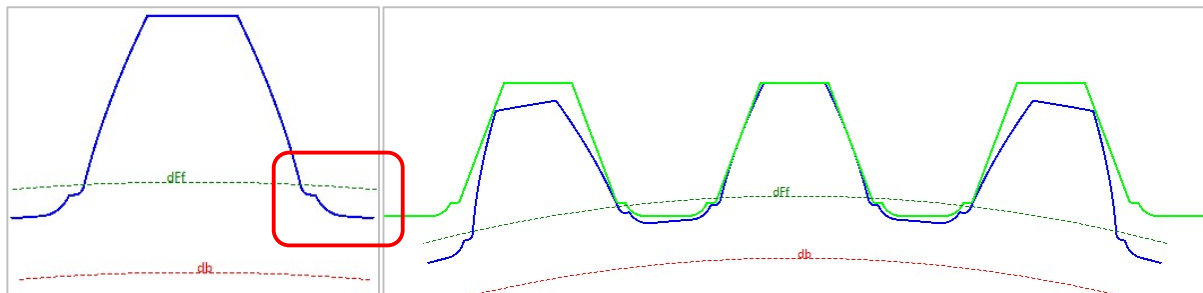


図 7-15 左：荒加工および仕上げ加工の定義が不適切で、研削ノッチが生じた歯形。右：緑色の仮想工具。

7.4 ファイル

ファイル「MESYS-Tutorial-Cyl_gear_single_01-v25.mSCG」を開き、手順 1 の状態に戻します。

グラフィックス、グラフィックス/単一歯、グラフィックス/加工、およびグラフィックス/加工 (アニメーション)を開きます。以下のスクリーンショットには、アニメーションは表示されていません。

7.5 シェイパーカッターによる定義

シェイパーカッターを使用して歯車の形状を生成するには、「形状」タブで「タイプ」=「シェーパーカッター」を選択します。シェイパーカッターについては、ツール歯数 $z_0 = 20$ およびツール転位 $x_0 = 0.00$ を入力します。歯形および加工は、「グラフィックス/単一歯」および「グラフィックス/加工」に表示されます。

Type	Shaper cutter	
User input		
Tool number of teeth	z_0	20
Tool profile shift	x_0	0
Tool addendum	h_{a0}	1.25 · mn
Tool tip radius	ρ_{a0}	0.25 · mn ★
Tool dedendum	h_{f0}	1 · mn
Tool root radius	ρ_{f0}	0 · mn
Basic rack addendum	h_{ap}	1 · mn
Tip alteration	k	0 · mn

図 7-1 「形状」タブにおけるシェイパーカッターの定義。

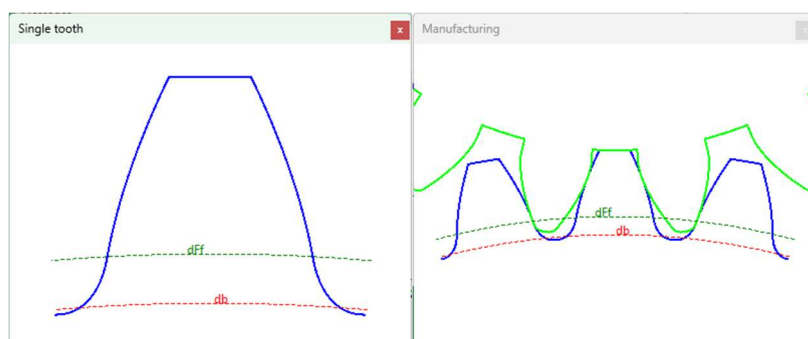


図 7-16 左: 歯形。右: シェイパーカッターによる加工。