

56]ヘリコンギヤ

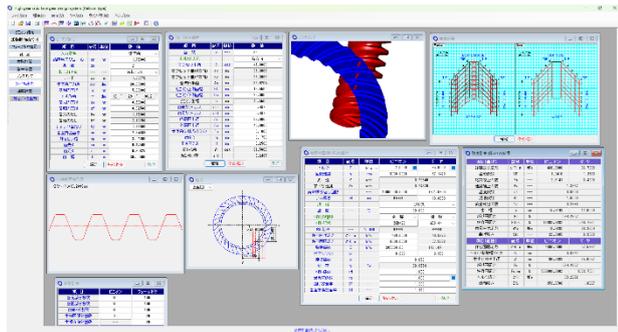


図 56.1 ヘリコンギヤ

56.1 概要

ヘリコンギヤは、フェースギヤの小歯車の歯数が1歯または2歯の歯車対でありスピロイドギヤと同様、歯数比は10~300程度までの広い範囲に使用され、かみ合い率は大きく ($\epsilon > 3$ 以上)、すべり率は割合小さく、更に、歯の接触も組み立て誤差に鈍感であるためバックラッシも容易に調整可能です。また、ウォームギヤ場合、潤滑方向は、ウォームの回転方向と接触線方向が同じであるため潤滑が厳しいですが、ヘリコンギヤは、小歯車の回転方向と接触線は、ほぼ直角方向であることから潤滑には非常に有利です。このことから、歯車材料は、鋼歯車対としても使用が可能です。そして、小歯車は、インボリュート円筒ウォームであるためウォーム研削盤や転造で製作することができ、大歯車は金型で製造することも可能です。また、ウォームギヤに比べヘリコンギヤは、大歯車の内側に小歯車を配置することができます。ただし、ヘリコンギヤに比べ小歯車が円筒形であることから大歯車の内端側で干渉が発生し易く、反作用面側の歯面でアンダーカットが大きくなる場合がありますが、アンダーカットを少なくするよう設計を上手にすることでウォームギヤ(ウォーム×ヘリカルギヤ)の代替え歯車になると考えられます。

56.2 ソフトウェアの構成

ソフトウェアの構成を表 56.1 に示します。表中の○は、基本ソフトウェアに含まれ、◎は、オプションです。

表 56.1 ソフトウェアの構成

No.	項目	掲載項	構成
1	基準ラックの設定	56.3	○
2	歯車諸元と寸法	56.4	○
3	組図	56.5	○
4	歯形計算	56.6	○
5	レンダリング	56.7	○
6	歯形修整	56.8	○
7	歯形データ出力	56.9	○
8	強度計算 (鋼×鋼, 鋼×樹脂)	56.10	○
9	接触解析	55.11	◎
10	測定データ	56.12	◎
11	HELP 機能	56.13	○
12	設計データ管理	56.14	○

56.3 プロパティ

基準ラックを図 56.2 で設定します。ここで基準ラックの□にチェックを入れると基準ラックの実寸法図を表示することができます。ここでは、並歯としたときの例を示します。



図 56.2 基準ラック

56.4 歯車諸元と寸法

図 55.3 では、モジュール、歯数を入力して[TAB]キーを押すと進み角から歯元 R まで標準値を表示します。ここでは、標準値を設定して歯車諸元を決定しています。そして、この歯車諸元で



図 56.3 歯車諸元 (ピニオン)



図 56.4 歯車諸元 (ギヤ)

は、図 56.4 のように、かみ合い率は $\varepsilon_r=3.498$ であることがわかります。

56.5 組図

組図を図 56.5 および図 56.6 に、そして、寸法記号を図 56.7 に示します。補助フォームで図の拡大や距離計測をすることができます。

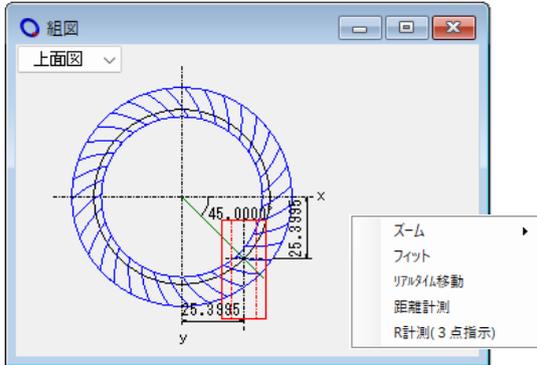


図 56.5 組図 1

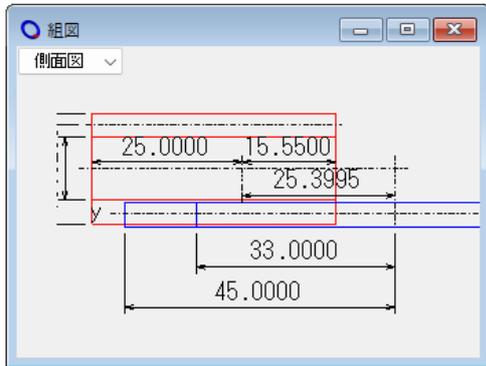


図 56.6 組図 2

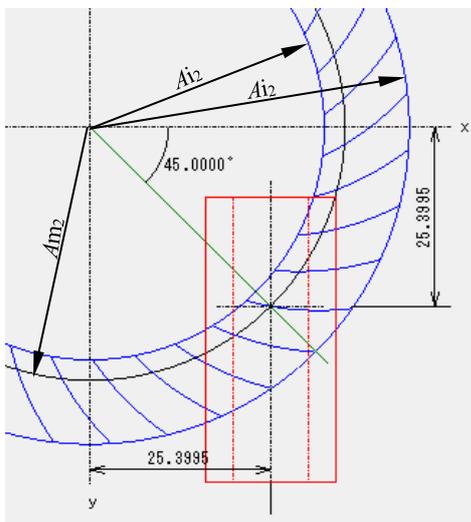


図 56.7 寸法記号

56.6 歯形計算

歯形計算では、図 56.8 のように歯面分割数を設定し歯形を計算します。なお、小歯車の歯形は、インボリュート歯形です。



図 56.8 歯形計算諸元

56.7 レンダリング

レンダリングと補助フォームを図 56.9 に示します。

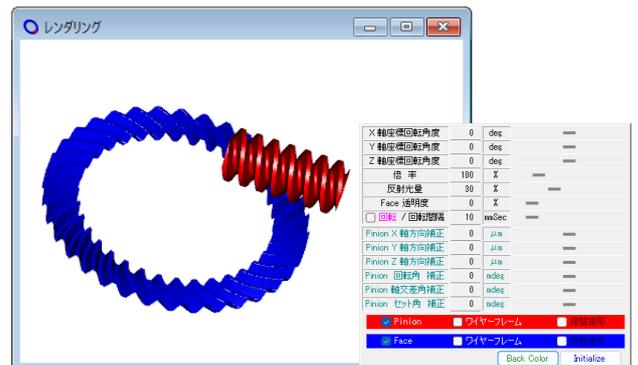


図 56.9 レンダリング

補助フォームで観察角度を変更してかみ合い接触線を確認すると図 56.10 のように同時接触線は 3 本であり図 56.11 では 4 本であることから図 56.4 のかみ合い率 $\varepsilon_r=3.498$ と一致します。

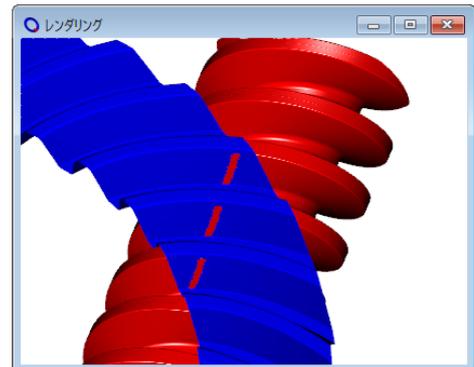


図 56.10 かみ合い接触線 3 本 (大歯車凹面)

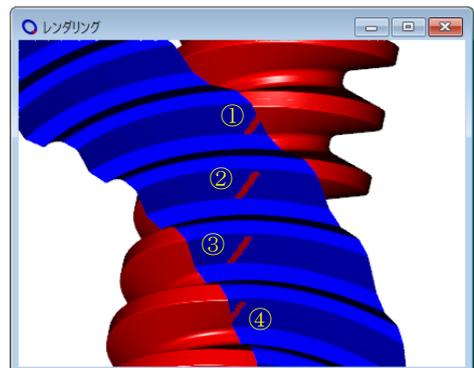


図 56.11 かみ合い接触線 4 本 (大歯車凹面)

大歯車凸面の接触線は、図 56.12 のように 3 本を確認することができます。なお、この接触線の様子は、F.L. Litvin のスピロイドの論文²⁾と一致しています。一方、スパイラルベベルギヤ盤で歯切りした歯形を基にした論文³⁾では[55]スピロイドの図 55.9 のような接触線とはならないため同時接触線が 3~4 本という歯形はできないということになります。

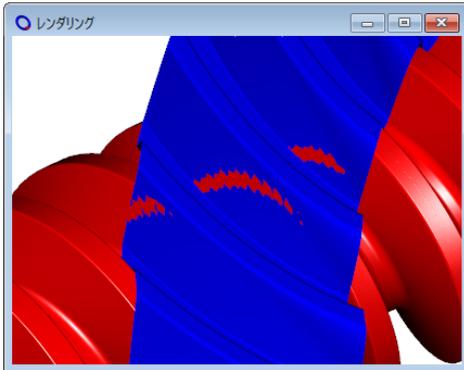


図 56.12 かみ合い接触線 3 本 (大歯車凸面)

図 56.10~56.12 のように同時接触線が 3~4 本であれば負荷が分担されるため 1 歯に作用する負荷が軽減され、且つ、小歯車の回転方法と接触線の方向が、ほぼ直行していることから潤滑に対して非常に有利ということがわかります。

歯面修整することでレンダリング表示をすると図 56.13 のように接触の様子が変わっていることがわかります。

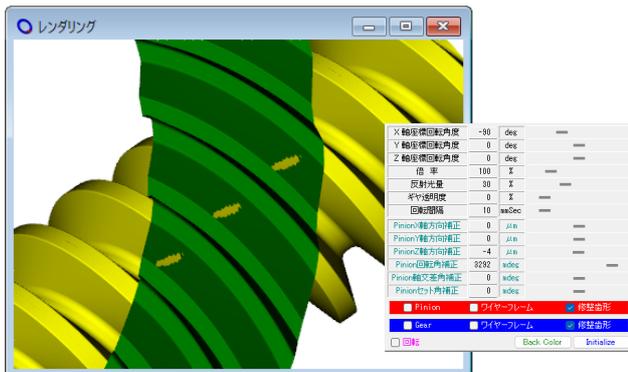


図 56.13 レンダリング (歯面修整)

56.8 歯面修整

歯先端部の端部接触を避けるため小歯車に歯先修整を施す場合、図 56.14~56.17 のように設定することができ、大歯車も小歯車の操作と同様、図 56.18 のように設定することができます。

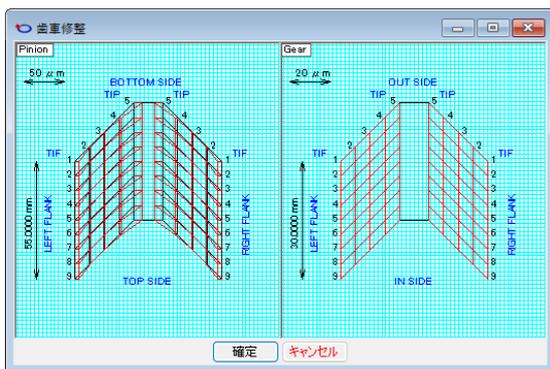


図 56.14 トポグラフ



図 56.15 歯形修整 (表示), 小歯車

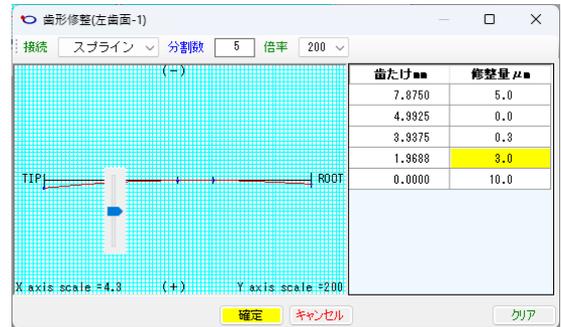


図 56.16 歯形修整, 小歯車

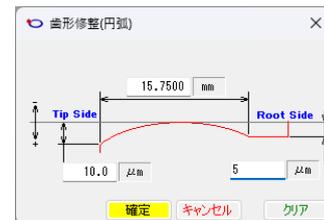


図 56.17 歯形修整 (簡易入力), 小歯車

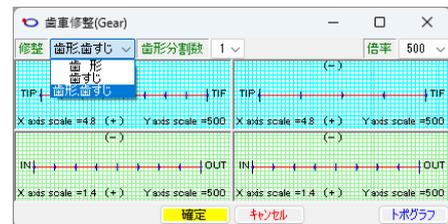


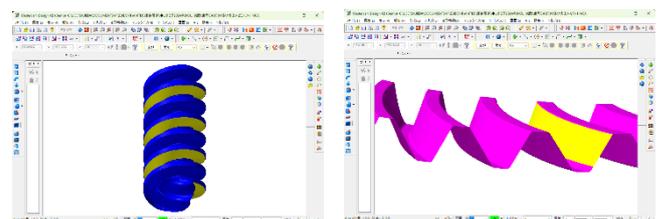
図 56.18 歯形・歯すじ修整 (表示), 大歯車

56.9 歯形データ出力

生成した歯形は、図 56.19 で出力することができます。歯形作図例を図 56.20 に示します。



図 56.19 歯形ファイル出力



(a) 小歯車

(b) 大歯車

図 56.20 CAD 作図例

56.10 強度計算

(1) 鋼×鋼

強度計算は、Machine Design¹⁾に基づいていますが、本ソフトウェアではかみ合い率を考慮しています。強度計算は、図 56.21 のように小歯車のトルクと回転速度を入力し、図 56.22 で材料を選択することで強度結果を表示します。

項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
トルク	T	N·m	20.0000	350.0000
回転速度	n	rpm	2000.0000	114.2857
周速	v	m/s		0.5000
すべり速度	vs	m/s		1.4968
材料	---	---	鋼×鋼	
心部硬度	---	HRC	60	
材料損傷係数	M	---	203000	
材料係数	FM	---	0.0020	
摩擦係数	μ	---	0.0489	
許容摩擦係数	Kw	---	2016.1833	
寸法係数	Fc	---	0.3939	
速度係数	Fv	---	56.4399	
歯数比係数	Fr	---	4.7845	
効率	η	%	89.16	
実トルク	Tg	N·m	25.5058	
許容トルク	Ts	N·m	39.5205	
曲げ安全率	Sfs	---	1.314	
摩擦許容トルク	TGo	N·m	59.3420	
摩擦安全率	SfM	---	2.327	
セルフロック	---	---	作用しない	

図 56.21 強度計算 (鋼×鋼)

鋼×鋼		鋼×Ni鋼	
心部硬度 [HRC]	材料損傷係数 (M)	引張強度 [MPa]	材料損傷係数 (M)
20	67500	240	54000
30	81000	620	108000
40	117000		
50	182000		
60	203000		

図 56.22 材料選択

(2) 鋼×樹脂

強度計算は、かみ合い接触線 (図 56.10) から判断し、円筒歯車に置き換え JIS B 1759 (2019) 計算します。歯車強度諸元を図 56.23 に、強度結果を図 56.24 に示します。

項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
トルク	T	N·m	2.0000	35.0000
回転速度	n	rpm	2000.0000	114.2857
周速	V	m/s		1.57080
すべり速度	Vs	m/s		1.49659
寿命繰り返し回数	L	---	10000000.0000	1721.0700
リム厚さ	sR	mm	*****	10.0000
潤滑	---	---	---	---
温度	---	℃	---	60.0000
材料の種類	---	---	金属	樹脂
材料記号	---	---	SCM420	M90-44
M90倍率	---	×	*****	*****
許容曲げ応力	σFlim	MPa	430.0000	57.3106
許容面圧応力	σHlim	MPa	1300.0000	56.9972
弾性係数	E	MPa	205000.00	1721.07
ポアソン比	ν	---	0.300	0.350
摩擦係数	μ	---	0.050	
効率	η	%	88.9554	
材料係数	KM	---	1.000	
過負荷係数	Ko	---	1.000	
曲げ安全率	SF	---	1.200	
歯面損傷安全率	SH	---	1.150	

図 56.23 強度諸元 (鋼×樹脂)

項目(曲げ)	記号	単位	ピニオン	ギヤ
許容曲げ応力	σFlim	MPa	430.0000	51.8845
歯形係数	YF	---	1.0418	1.0932
応力修正係数	Ys	---	2.5141	3.5225
速度補正係数	Kv	---		1.3874
温度係数	KT	---		0.6500
潤滑係数	KL	---		1.0000
荷重分担係数	Yε	---		0.2998
歯幅	b	mm	15.8249	12.0000
呼び円周力	Ft	N		564.4957
許容円周力	Ftlim	N	12863.9882	779.1692
歯元曲げ応力	σb	MPa	18.8692	37.4446
曲げ強さ	Sft	---	22.7885	1.3803
項目(面圧)	記号	単位	ピニオン	ギヤ
許容面圧応力	σHlim	MPa	1300.0000	56.9972
ヘルツ接触幅の1/2	c	mm		0.8342
歯すじ曲率半径	ρ	mm	106.7889	25.6087
呼び円周力	Fc	N		564.4957
許容円周力	Fclim	N	538008.7802	1034.2123
ヘルツ応力	σH	MPa		39.2672
歯面強さ	Sfc	---	953.0786	1.8321

図 56.24 強度結果

56.11 接触解析 (オプション)

図 56.25 で接触解析の設定を行い[確定]すると生成した歯形を基にして伝達誤差解析、歯当たり (接触距離) や、すべり速度を計算します。そして、かみ合い接触を基にした全かみ合い率は、 $\epsilon_\gamma=3.653$ と求まります (図 56.4 では $\epsilon_\gamma=3.498$)。

伝達誤差解析結果、フーリエ解析結果、そして、ワウ&フラッタを図 56.26~56.28 に示します。

解析条件項目	記号	単位	数値
回転角度分割数	N	---	40
最大接触距離	L	μm	30.00
ピニオン回転速度	n	min-1	2000.00000
誤差設定項目	記号	単位	数値
軸角誤差	ΔΣ	deg	0.00000
ゼット角誤差	Δβ	deg	0.00000
水平方向誤差	Δx	mm	0.00000
垂直方向誤差	Δy	mm	0.00000
軸方向誤差	Δz	mm	0.00000
<input checked="" type="radio"/> 左歯面接触 (CCW) <input type="radio"/> 右歯面接触 (CW)			
<input type="checkbox"/> 修整歯形で解析 <input checked="" type="checkbox"/> 並列処理			
全かみ合い率	ε _γ		3.65256

図 56.25 接触解析設定

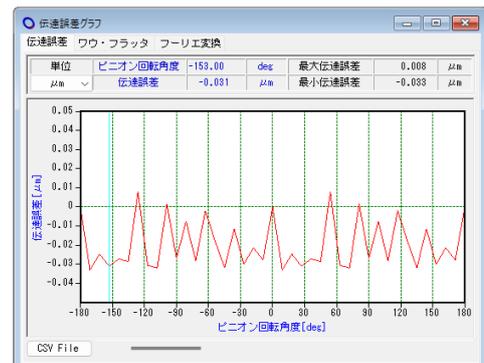


図 56.26 伝達誤差 (TE=0.041 μm)



図 56.27 フーリエ解析

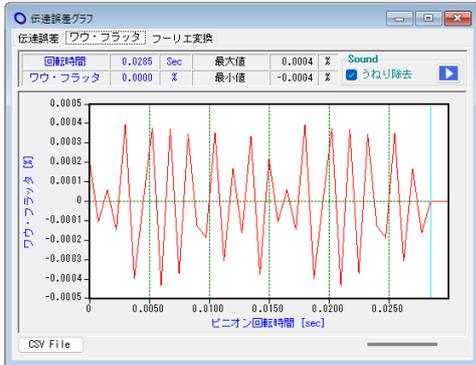


図 56.28 ワウ&フラッタ

歯当たり解析結果を図 56.29 に、すべり速度解析結果を図 56.30 に示します。また、接触距離のセル表示を図 56.31 および図 56.32 に、すべり速度の接触距離のセル表示を図 56.33 および図 56.34 に示します。

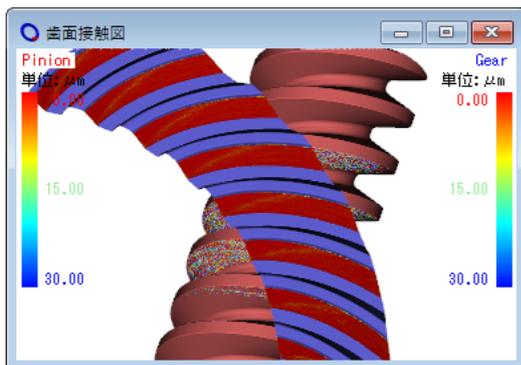


図 56.29 歯当たり解析 (接触距離)

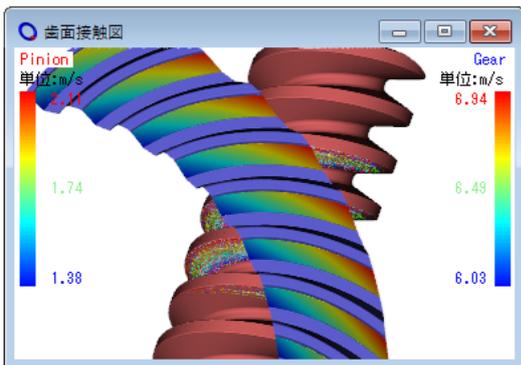


図 56.30 すべり速度

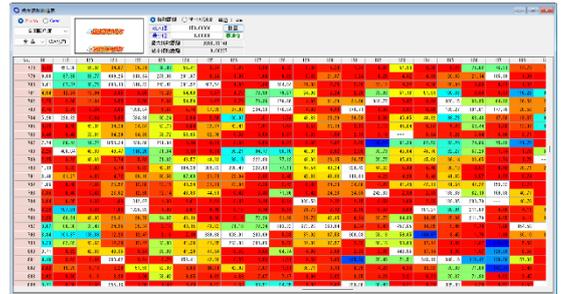


図 56.31 歯当たり解析 (接触距離, ピニオン) のセル表示

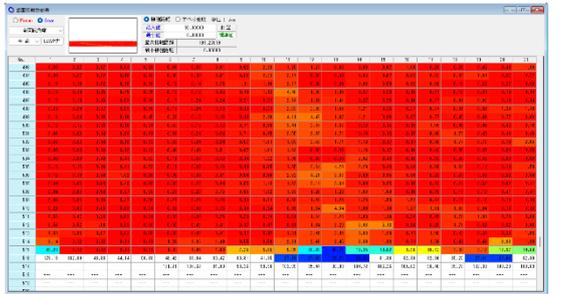


図 56.32 歯当たり解析 (接触距離, ギヤ) のセル表示

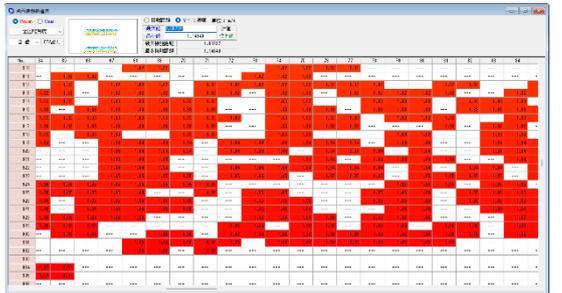


図 56.33 すべり速度 (ピニオン) のセル表示

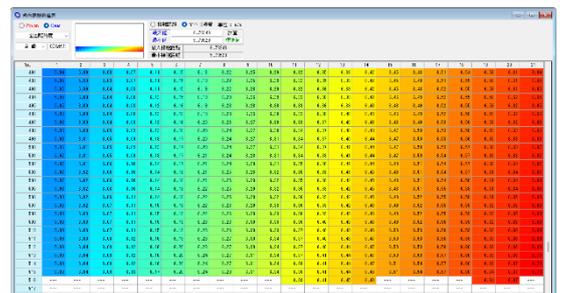


図 56.34 すべり速度 (ギヤ) のセル表示

56.12 測定データ (オプション)

Call Zeiss 三次元測定機の測定データの設定を図 56.35 に示します。歯形分割数と測定逃げ量および測定基準距離を設定することにより測定点座標と法線ベクトルを TXT ファイルに出力します。

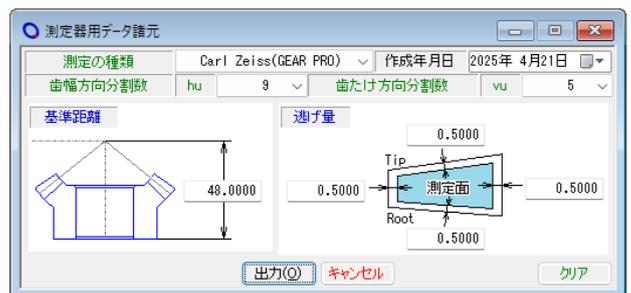


図 56.35 測定データ諸元

Helicon®および Spiroid®は、 Illinois Tool Works 社の商標です。

表示

```

-----
* PITCH CONE ANGLE          % DEA !      90.0000  *
-----
* TIP CONE ANGLE           % DEAK !     0.0000  *
-----
* ROOT CONE ANGLE          % DEAF !     0.0000  *
-----
* NUMBER OF TEETH TO BE MEASURE  % ZW !      1      *
-----
*****
***** NOMINAL DATA Helicon gear *****
***** % FLANK ! 1 *****
*****
* DRAWING-NO. :                NO. OF TEETH % Z ! 35 *
* PART-NO. :                    *
* TOOTH THICKNESS % DEDI ! 0.0000 [DEG] % (J,1) ! ( 5, 3) *
* NO. OF COLUMNS % NSPG !      0 ; NO. OF LINES % NZLG !      5 *
* DATE : 04.21.2025              TIME : 09:42:07 *
*****
# C 1  XP  YP  ZP  NX  NY  NZ  R  #
-----
1  30.-310898  -3.331582  13.870838 -0.18368  0.85805 -0.48318
2  30.-3085537  -3.075540  14.410118 -0.17685  0.85348 -0.48025
3  28.-348484  -2.817775  14.848343 -0.18368  0.85131 -0.48840
4  28.-802515  -2.558840  15.472329 -0.18333  0.84853 -0.50182
5  28.-344788  -2.298708  15.895283 -0.18078  0.85051 -0.50081
2  1  31.-888412  -2.788554  14.481872 -0.21752  0.84574 -0.48728
2  2  31.-374581  -2.453008  15.029440 -0.21057  0.84344 -0.48423
3  31.-132412  -2.231884  15.582570 -0.20393  0.84148 -0.50034
2  4  30.-878852  -1.948344  16.080504 -0.19734  0.83980 -0.50560
2  5  30.-818851  -1.835470  16.613232 -0.19484  0.84084 -0.50484
3  1  32.-888387  -2.018532  15.111258 -0.23011  0.83421 -0.49116
3  2  32.-850276  -1.771838  15.648746 -0.24384  0.83211 -0.49883
3  3  32.-481238  -1.523858  16.181214 -0.23778  0.83045 -0.50418
3  4  32.-144150  -1.278175  16.708676 -0.23011  0.82804 -0.50938
-----
行 1, 列 1  12,087 文字  100%  Windows (CRLF)  UTF-8

```

図 56.36 測定データ (大歯車)

56.12 HELP 機能

操作途中で使い方がわからない場合は、アクティブ画面で[F1]キーを押すことで図 56.37 のように説明画面を表示します。

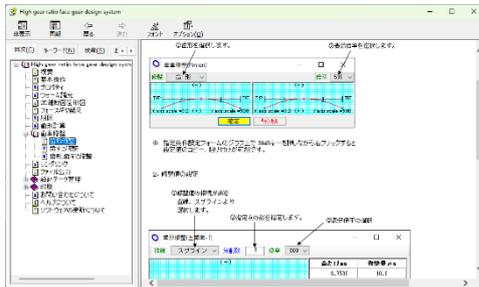


図 56.37 HELP 画面の例

56.13 設計データ管理

データベースは、Microsoft Access Database, Microsoft SQL Server そして ORACLE MySQL Server に対応しています。データベースの設定画面を図 56.38 に示します。

※Microsoft SQL Server および ORACLE MySQL Server は、インストールされている必要があります。



図 56.38 データベースの設定

引用文献

- 1) W.D. Nelson, Machine Design, Spiroid Gearing, 1961-2-16, Vol.33, No.4, pp.136-144 (1961)
- 2) F.L. Litvin, M. De Donno, Computerized design and generating of modified spiroid worm gear drive with low transmission errors and stabilized contact, Computer. Methods in applied mechanics and engineering. 162, pp.195 (1998)
- 3) Michael J. Herberger, Flex Rudolph, Bjorn Sievers, Efficient concepts for high ratio angular gear boxes, VDI-Berichte Nr. 2422, pp.801-813, (2023)