

[21] involute Σ iii (Hypoid gear design system)

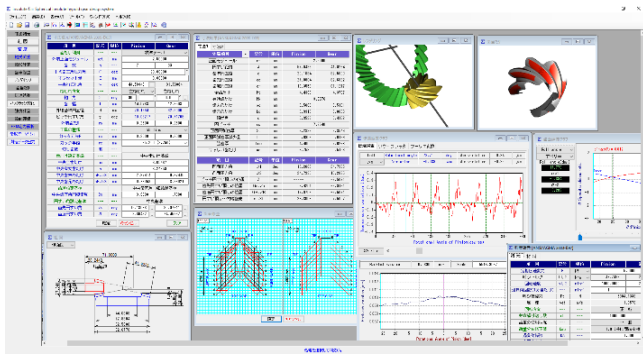


図 21.1 L-Hypoid gear design system

21.1 概要

旧ソフトウェアの L-Hypoid gear design system は、新しいソフトウェアの involute Σ iii (hypoid gear design) に変わりました。本ソフトウェアは、寸法、歯形、強度計算をトータルに設計することができます。

ハイポイドギヤの歯形、歯すじは、歯切り盤から生成されるものですが、本ソフトウェアでは、球面インボリュート歯形を持つスパイラルベベルギヤ（大歯車）またはピニオン（小歯車）にオフセットを与え相手歯車の歯形を解析し 1 組の歯車としています。図 21.1 に全体画面を示します。

21.2 ソフトウェアの構成

involute Σ iii (hypoid gear design) の構成を表 21.1 に示します。表中の○は基本ソフトウェアの機能で、◎はオプション機能です。

表 21.1 ソフトウェアの構成

No.	項目	掲載項	構成
1	寸法	21.3	○
2	精度	----	○
3	軸受荷重	----	○
4	組図	21.4	○
5	歯車修整（歯形、歯すじ）	21.6	○
6	歯形レンダリング	21.7	○
7	歯当たり解析	21.8	◎
8	伝達誤差解析	21.9	○
9	バックラッシュ変化	21.10	○
10	強度計算（鋼） AGMA2003-B97	21.11	○
11	歯面評価	21.12	○
12	FEM 歯形応力解析	21.13	○
13	歯形データ出力	21.14	○
14	測定データ出力（大阪精密機械）	21.15	◎
15	測定データ出力（Carl Zeiss）	21.15	◎

21.3 寸法設定

図 21.2 に寸法設定画面を示します。数値が不明な場合は、標準値を入力することができ、ねじれ角やオフセット量、工具半径などを自由に設定することができます。図 21.2 では勾配歯を選択していますが、等高歯も設計することができます。

AGMA2005-D03 規格に基づいてハイポイドギヤの各部寸法を計算します。図 21.3 および図 21.4 に寸法結果を示します。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
歯たけ傾斜	---	---	標準値=0°	
外端正面モジュール	met	mm	2.50000	
歯数	n	---	7	33
平均歯面角力角	Φ	deg	20.00000	
オフセット量	E	mm	8.00000	
中央ねじれ角	Ψ	deg	44.58348	31.76884
ねじれ方向	---	---	左ねじれ	右ねじれ
軸角	Σ	deg	90	0
歯幅	f	mm	14.0763	12.6503
外端基準円直径	d	mm	20.1894	82.5000
ピッチ円すい角	γ	deg	10.03217	79.71705
外端歯先R	ra	mm	0.2500	0.2500
工具の種類	---	---	Milling	
カッタ刃先R	ro	mm	0.3000	0.3000
カッタ半径	rc	mm	95.250 (3.750)	---
切り歯数	NS	---	----	
歯たけ設定基準	---	---	中央歯たけ基準	
中央全歯たけ	hm	mm	3.85467	
中央有効歯たけ	h	mm	3.24859	
中央歯末のたけ	aP, aG	mm	2.87414	0.37445
中央歯元のたけ	bP, bG	mm	0.78053	3.28021
歯厚設定基準	---	---	中央歯面角円弧歯厚基準	
中央歯面角円弧歯厚	Sn	mm	3.9000	1.7000
円すい角設定基準	---	---	中央基準	
歯先円すい角	α	deg	15.18083	80.97311
歯底円すい角	δ	deg	8.80482	74.45237

図 21.2 寸法諸元設定

外観項目	記号	単位	Pinion	Gear
正面モジュール	mt	mm	2.5000	
円すい径距離	A	mm	57.9486	41.9234
基準円直径	d	mm	20.1894	82.5000
歯先円直径	do	mm	27.0904	82.6832
歯底円直径	dr	mm	18.3553	81.1217
全歯たけ	ht	mm	4.4396	4.3737
有効歯たけ	hk	mm	3.9876	
歯末のたけ	ao	mm	3.5093	0.5131
歯元のたけ	bo	mm	0.9313	3.8606
円すい角	c	mm	0.3523	0.4182
円ピッチ	cp	mm	7.8540	
正面円弧歯厚	St	mm	6.2326	2.3549
正面円弧歯厚減少量	ft	mm	0.0956	0.0129
弦歯厚	tnc	mm	4.4600	2.0226
キャリバ歯たけ	ac	mm	3.7590	0.5153

項目	記号	単位	Pinion	Gear
凹面圧力角	Φ1	deg	15.2665	24.7335
凸面圧力角	Φ2	deg	24.7335	15.2665
ピッチ円すい頂点の位置	Z	mm	----	-2.5071
歯先円すい頂点の位置	Go, Zo	mm	9.4201	-2.9181
歯底円すい頂点の位置	GR, ZR	mm	17.9758	-2.5071
円すい頂点～内端歯先	xi, Xi	mm	26.8603	7.5007

図 21.3 寸法結果 1

項目	記号	単位	Pinion	Gear
基礎円すい角	δb	deg	9° 25' 17.3"	87° 36' 28.9"
歯末角	θa	deg	5° 8' 55.2"	1° 15' 21.8"
歯元角	θf	deg	1° 13' 38.5"	5° 15' 52.8"
歯元角の和	Σθ	deg	6° 29'	31.3"
歯先間の軸方向距離	xb	mm	13.6402	1.9853
相当90°かさ歯車歯数比	m90	mm	5.5120	
相当平歯車歯数	zv	mm	19.6739	300.8301
円すい頂点～外端歯先	xo, Xo	mm	40.5005	9.4859
外端法線バックラッシュ	BL	mm	0.0868	
正面かみ合い率	εα	mm	0.5823	
重なりかみ合い率	εβ	mm	1.4545	
総合かみ合い率	εγ	mm	1.5667	
ツースアングル	ta	min	210.6740	198.1663
素材の角度	θx	deg	88° 46' 21.5"	84° 44' 7.2"
素材の角度	θy	deg	79° 58' 4.2"	10° 16' 58.6"

項目	記号	単位	Pinion	Gear
凹面圧力角	Φ1	deg	15.2665	24.7335
凸面圧力角	Φ2	deg	24.7335	15.2665
ピッチ円すい頂点の位置	Z	mm	----	-2.5071
歯先円すい頂点の位置	Go, Zo	mm	9.4201	-2.9181
歯底円すい頂点の位置	GR, ZR	mm	17.9758	-2.5071
円すい頂点～内端歯先	xi, Xi	mm	26.8603	7.5007

図 21.4 寸法結果 2

21.4 組み図

図21.3および図21.4の寸法計算結果に基づいたハイポイドギヤ組図を図21.6に示します。

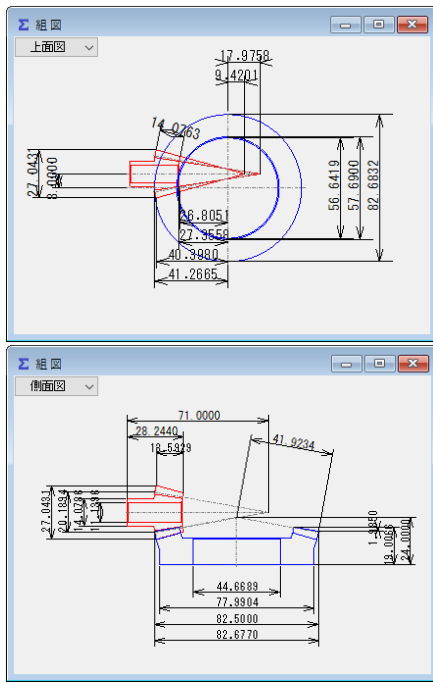


図 21.6 組図

21.5 歯形計算

歯形計算の設定画面を図21.7に示します。歯すじ曲線の種類は、円弧、インボリュート、エピトロコイド、等リードから選択することができます。一般的な歯すじは「円弧」ですが、金型でハイポイドギヤを製造する場合、円弧では干渉するため使用できませんが、「等リード歯すじ」としておけば金型から抜くことができます。また、本例では、最下段に示す「歯すじ曲線基準」を「ギヤ」としているためギヤの歯形を基準としてオフセットを与えた場合のピニオンの歯形を生成します。また、ピニオンの歯幅を内端側、外端側に歯幅を延長して歯形生成することができますので歯車加工時には逃げ量を与えておくことができます。



図 21.7 歯形計算の設定

21.6 歯形修整

歯形修整, 歯すじ修整をする場合, 図2.19~2.23に示すように修整を与えることができます。図2.21では修整する指定点数(最大=50)を入力することができ, 図2.22のように円弧パターンで入力することもできます。

歯形1本, 歯すじ1本修整の例を図2.23に, 歯形断面分割を5, 歯すじ1としたときの修整とトポグラフの例を図2.24に示します。トポグラフでは, 歯形と歯すじの分割数をそれぞれ最大50まで設定することができます。

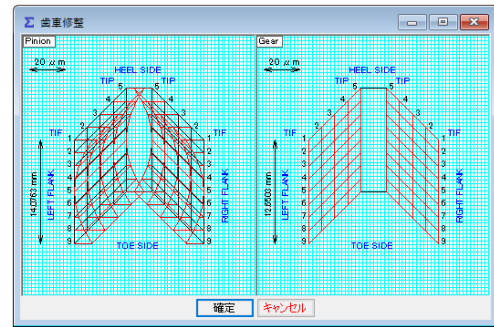


図21.8 歯形・歯すじ修整トポグラフ

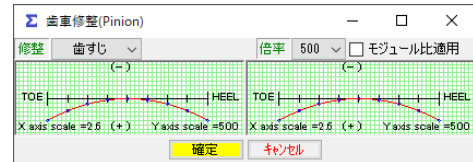


図21.9 歯すじ修整の例



図2.21 歯すじ修整の入力1

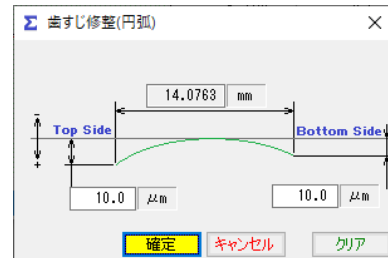


図2.22 円弧パターンの入力

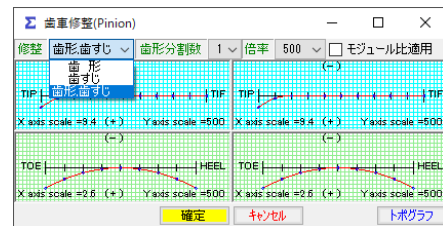


図2.23 歯形・歯すじ修整の入力

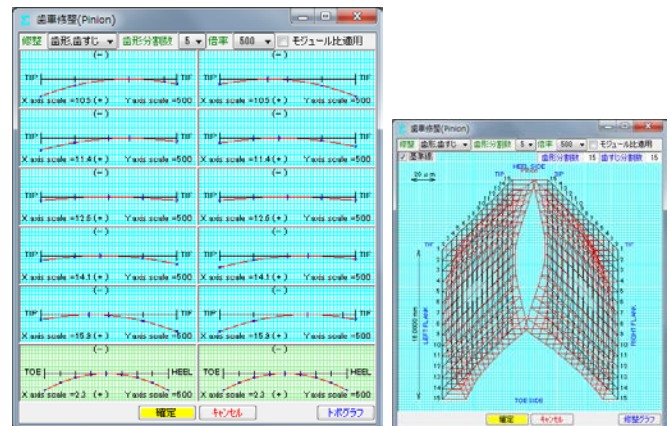


図2.24 歯形・歯すじ(バイアス)修整とトポグラフの例

21.7 歯形レンダリング

図21.7で設定した諸元に基づいて歯形を解析し図2.25～2.27のように表示します。図2.26では、無修整歯形のかみ合い接触線は内端から外端まで接触線が現れています。図2.27では図21.8の歯面修整を与えていますので両端部での接触は現れていません。

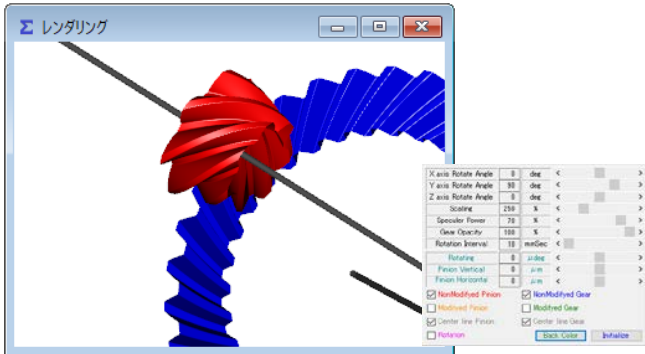


図 2.25 レンダリングとコントロールフォーム

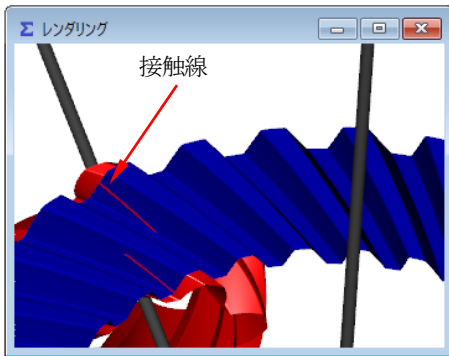


図 2.26 レンダリング (かみ合い接触), 無修整歯形



図 2.27 レンダリング (かみ合い接触), 修整歯形

21.8 歯当たり解析 (オプション)

歯当たり解析諸元の設定を図 21.28 に示します。ここでは、取り付け誤差は無いものとし、接触最大クリアランス(光明丹厚さ)を $3\mu\text{m}$ として歯当たり解析した結果を図 21.29 に示します。

項目	記号	単位	数値
水平方向取り付け誤差	ΔH	μm	0.0
垂直方向取り付け誤差	ΔV	μm	0.0
軸角取り付け誤差	$\Delta \Sigma$	deg	0.00000
オフセット取り付け誤差	ΔE	μm	0.0
接触最大クリアランス	c	μm	3.0
回転分割数(1ピッチ当たり)	---	---	50
インボリュート分割数	vui	---	50
歯ずり分割数	hul	---	50

回転方向
 BOTH(両歯面) CCW(左歯面) CW(右歯面)

図 21.28 歯当たり解析諸元



図 21.29 歯当たり

21.9 伝達誤差

図21.8の歯形修整を持つ歯形で無負荷における回転伝達誤差解析を行った例を以下に示します。ここでは、図 21.30 のように取り付け誤差およびピッチ誤差が無いものとしています。

伝達誤差, ワウ・フラッタ, フーリエ解析の計算結果を図21.31～21.33に示します。図21.32のワウ・フラッタではこのグラフ波形を音で確認することができます(グラフ右上の Sound)。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
水平方向取り付け誤差	ΔH	μm	0.0	
垂直方向取り付け誤差	ΔV	μm	0.0	
軸角取り付け誤差	$\Delta \Sigma$	deg	0.00000	
オフセット取り付け誤差	ΔE	μm	0.0	
インボリュート分割数	vui	---	50	
歯ずり分割数	hul	---	50	
回転数	n	---	1000.00000	212.12121
回転方向	---	---	CCW(左歯面)	CW(右歯面)
回転角度	θ	deg	360.00000	76.36364
回転分割数(1ピッチ当たり)	ru	---	80	6

図 21.30 回転伝達誤差解析の設定

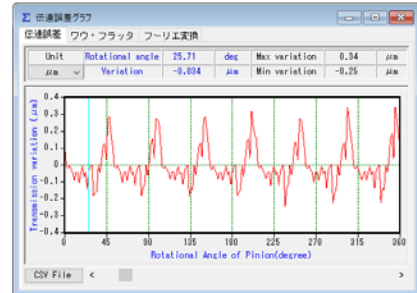


図 21.31 伝達誤差結果 ($TE=0.59\mu\text{m}$)

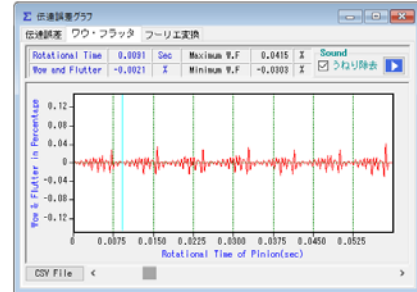


図 21.32 ワウ・フラッタ

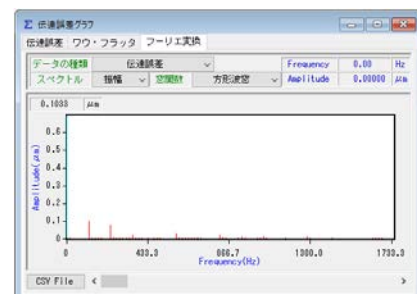


図 21.33 フーリエ解析

Item	Symbol	Unit	Pinion	Gear
Geometry factor for bending	Y _{J12}	---	0.245	0.126
Mean dedendum	h _{m12}	mm	0.796	0.276
Assumed locations of critical point on tooth for ...	y _J	---	1.283	
Length of action within the contact ellipse	a _r	mm	7.672	
Determination of point of load application for max ...	y ₃	---	3.107	5.045
Distance from mean section to center of pressure	e ₀	mm	3.032	-0.073
Sum of gear and pinion mean normal pitch radii	Σr _{mpn}	mm	289.598	
Normal pressure angle at point of load applicatio...	α _{L12}	deg	28.468	19.670
One half of angles subtended by normal circular ...	φ _{h12}	deg	7.531	0.196
Normal pressure angle at point of load applicatio...	α _{h12}	deg	20.837	19.674
Distances from pitch circle to point of load appli...	Δr _{yo12}	mm	0.074	-0.557
Tool or cutter tip edge radii used to produce ...	r _{pa012}	mm	0.000	0.000
Tooth fillet radii in mean section at the tooth root	r _{m12}	mm	0.320	0.332
Tooth strength factor	X _{N12}	---	4.390	1.496
Tooth form factors excluding stress concentra...	Y ₁₂	---	1.552	0.421
Stress concentration and stress correction factor	H	---	2.976	1.920
Empirical constant used in stress correction for...	L	---		0.150
Empirical exponent used in stress correction for...	M	---		0.450
Tooth form factors for gear and pinion	Y _{PYG}	mm	0.535	0.218
Load sharing ratio	e _{NJ}	---		7.672
Inertia factor	Y _i	---		1.000
Projected length of instantaneous line of contact	e _k	mm		7.692
Toe increments of face width (effective)	Δb _{t12}	mm	7.374	2.804
Toe increments of face width	Δb ₁₂	mm	7.374	2.804
Heal increments of face width (effective)	Δb _{e12}	mm	0.242	3.955
Heal increments of face width	Δb _{e12}	mm	0.242	3.955
Effective face width	b ₁₂	mm	9.044	11.267

図 21.42 幾何係数 (J), (Convex)

21.13 FEM 歯形応力解析

図 21.46 の FEM 解析の設定画面で縦弾性係数, ポアソン比, 分割数および荷重位置そして荷重を入力することにより 5 種類の応力 (σ_x, σ_y, τ , せん断応力 τ , 主応力 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_m$ および変位) を計算します。歯車強度計算と共に歯に作用する実応力を評価することができますので歯車強度の信頼性を高めることができます。図 21.47 および図 21.48 にピニオンとギヤの最大主応力 σ_1 の例を示します。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
計算位置	---	---	中央	
材料記号	---	---	SCM420	SCM420
縦弾性係数	E	MPa	207000.0	207000.0
ポアソン比	ν	---	0.30	0.30
縦分割数(歯面部)	mNO	---	21	21
横分割数	wNO	---	21	21
荷重点位置	Nf	---	2	2
荷重	F	N	5384.1338	
かみ合い歯面	---	---	左歯面	

図 21.46 FEM 解析の設定

21.12 歯面評価

強度計算終了後, 図 21.43 の歯面評価グラフ設定画面で歯形修整の有無, 駆動歯車の種類, 計算ポイント数を入力するとすべり率グラフ (図 21.44) とヘルツ応力グラフ (図 21.45) を表示します。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
歯車の温度	G _{Tc}	°C	70.000	
油の温度	T _c	°C	40.000	
油の種類	---	---	鉱物油	
ISOグレード	---	---	ISO VG 320	
動粘度(40°C)	---	mm ² /s	320	
平均温度	M _{Tc}	°C	252.000	
標準偏差温度	SD	°C	41.000	
絶対粘度	μ ₀	cP	53.48	
粘度圧	α	mm ² /N	0.02156	
なじみ歯面粗さ (Ra)	σ ₁ , σ ₂	μm	0.400	0.400
摩擦係数の方式	---	---	一定値	
摩擦係数	μ _m	---	0.0600	
歯形修整	---	---	有り	
駆動歯車	---	---	Pinion	
計算ポイント数	---	---	100	

図 21.43 歯面評価グラフ設定

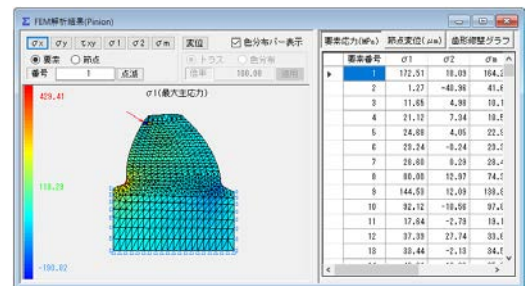


図 21.47 FEM 解析結果, ピニオン σ_1

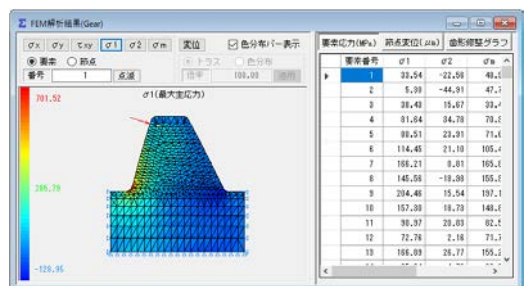


図 21.48 FEM 解析結果, ギヤ σ_1

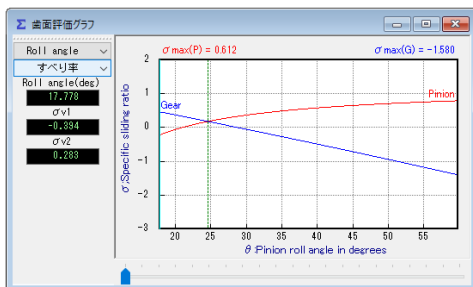


図 21.44 すべり率グラフ

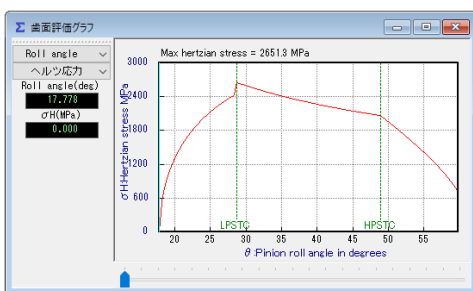


図 21.45 ヘルツ応力グラフ

21.14 歯形データ出力

歯形・歯すじ修整を与えた歯形(無修整歯形を含む)をCADデータで出力することができます。図 21.49 で歯形ファイル条件を設定し, 図 21.50 で歯形の分割数を変更することができます。

歯形は, 図 21.51 のように 3D-IGES ファイルを出力することができます。かみ合い歯形の 3D-IGES (図 21.52) や, 組図の 2D-DXF ファイル (図 21.53) を出力することができます。

ファイル形式		座標値補正設定	
出力歯形	<input type="radio"/> 組図 <input checked="" type="radio"/> Pinion <input type="radio"/> Gear <input type="radio"/> Pinion×Gear		
	<input type="radio"/> DXF 3D		
出力歯数	1		1
ブロック名	PINION	GEAR	
色	赤色 (Red)	青色 (Blue)	
<input checked="" type="radio"/> IGES 3D			
形式	分割型		
出力歯数	4		27

図 21.49 歯形ファイルの設定

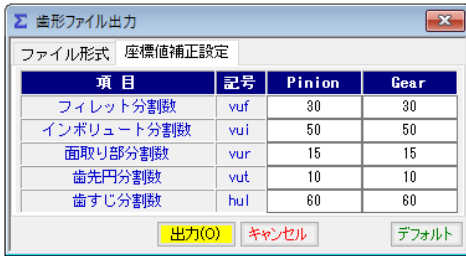


図 21.50 歯形ファイルの設定 (分割数)

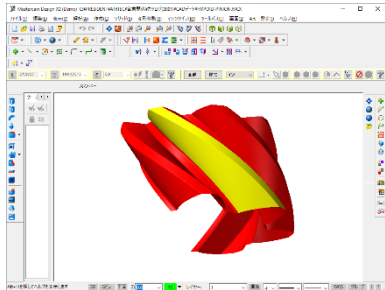


図 21.51 CAD 作図例 (ピニオン 4 歯の例)

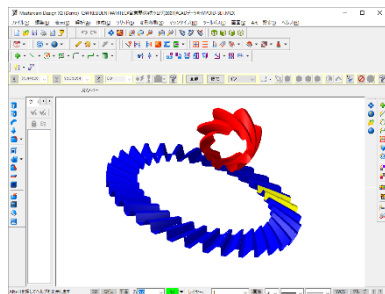


図 21.52 CAD 作図例

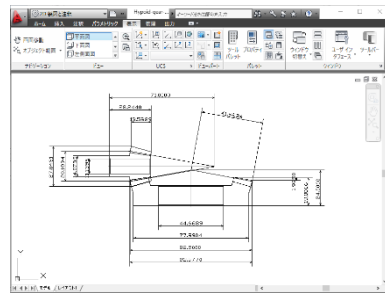


図 21.53 CAD 作図例, 組図 (DXF)

21.15 歯形測定データ出力 (オプション)

Carl Zeiss 三次元測定機と大阪精密機械測定機の 2 種類の測定データ出力機能があります。以下に、三次元測定機 (Carl Zeiss) 用測定データ出力例を示します。図 21.54 の測定データの設定画面で歯形測定分割数と歯面の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ファイルを図 21.55 のように出力します。

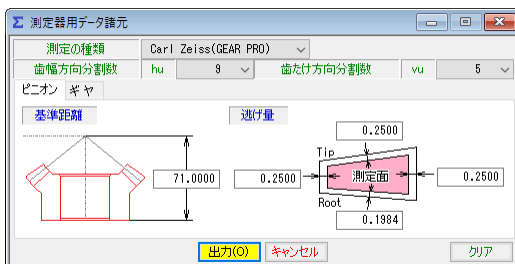


図21.54 測定データの設定 (Carl Zeiss)

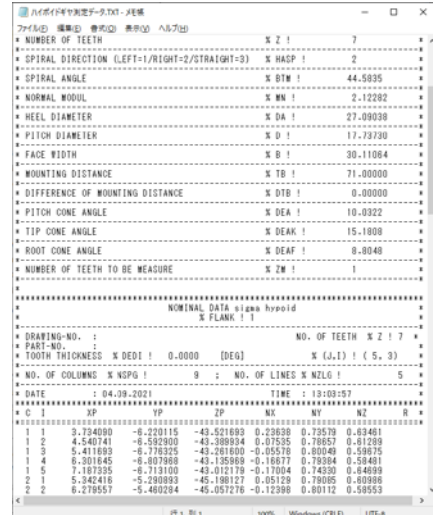


図21.55 測定データ (ピニオン) の例 (Carl Zeiss)

21.16 その他機能

- (1) 軸受け荷重および歯車精度表 (説明は省略します)。
- (2) 設計データの保存, 読み込み
- (3) 印刷 (寸法, 強度計算, 組図)
- (4) HELP 機能

操作方法を知りたい場合は[HELP]機能を使うことができます。例えば、歯当たりを表示しているとき、この画面をアクティブにして[F1]キーを押すことで図 21.56 を表示します。また、画面上部の[ヘルプ] (図 21.57) で操作説明を表示します。また、ソフトウェアに変更があった場合にはクラウドに置いたソフトウェアを「最新版ダウンロード」からダウンロードすることができます。

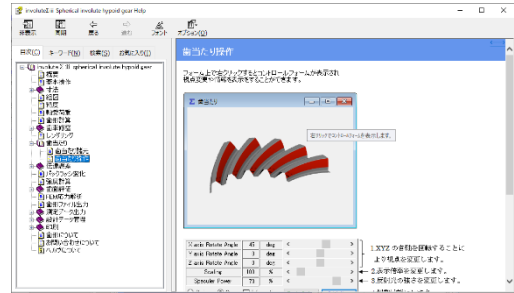


図 21.56 操作説明 (HELP 機能)

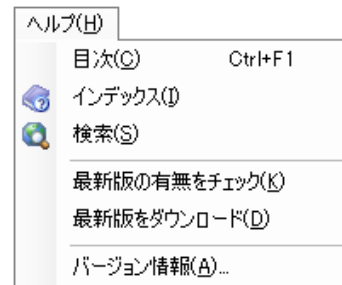


図 21.57 ヘルプ