

#### [4] involuteΣ(Worm and Helical Gear Design)

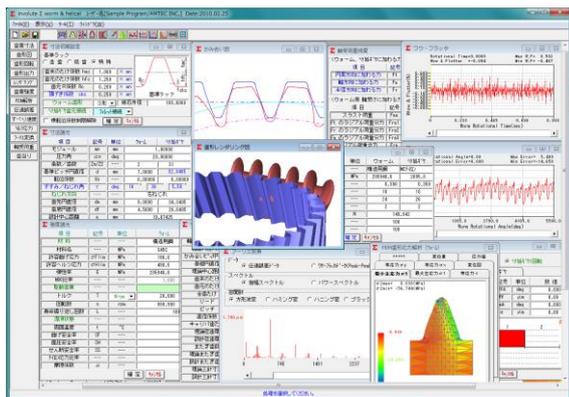


図 4.1 involuteΣ(Worm and Helical Gear Design)

#### 4.1 概要

involuteΣ(Worm and Helical Gear Design)は、ウォームとヘリカルギヤの設計ソフトウェアです。

#### 4.2 ソフトウェアの構成

表 4.1 にソフトウェアの構成を示します。

表 4.1 ソフトウェアの構成

項目	頁	適用
<1>基準ラックの設定	20	○
<2>ウォーム歯形(1形)	20	○
<3>ウォーム歯形(3,4形)	20	◎
<4>歯車寸法	20	○
<5>歯車かみ合い図	21	○
<6>歯形レンダリング(表示)	21	◎
<7>歯形レンダリング(取付け誤差設定)	21	◎
<8>ヘリカルギヤの諸元補正	21	◎
<9>歯形データファイル(DXF)	23	○
<10>歯形データファイル(3D-IGES)	23	◎
<11>歯車強度計算(POM)	21	○
<12>2D-FEM 歯形応力解析	21	◎
<13>回転伝達誤差解析	22	◎
<14>フーリエ解析	22	◎
<15>すべり速度, ヘルツ応力	22	◎
<16>設計データ管理	--	○
<17>歯形修整	20	◎
<18>ポリアミド材料歯車強度	21	◎
<19>歯当たり解析	22	◎
<20>軸受け荷重	22	○

○標準ソフトウェアに含む ◎オプションソフトウェア

#### 3.3 アイコンボタン

アイコンは、[寸法][歯形][強度][FEM][伝達]など 13 種類あります。



#### 4.3 基準ラックの設定

基準ラックの設定画面を図 4.2 に示します。ウォームの形式は、1,3,4 形を選択することができます。横転位係数制限解除は、ウォームの歯厚を極めて小さくする場合に必要です。



図 4.2 基準ラックの設定

#### 4.4 寸法諸元の設定

モジュール、条数、歯数、圧力角、ウォームピッチ円直径の入力で、順次計算を進めます。中心距離の任意設定や横転位の設定が可能です。図 4.3 に諸元入力画面を、図 4.5 に寸法計算結果を示します。また、図 4.4 で、ウォームに歯形修整を与えることができます。



図 4.3 諸元入力

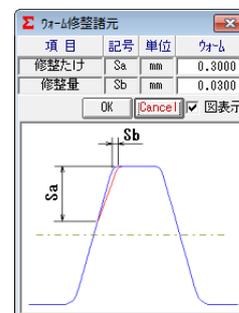


図 4.4 歯形修整

項目	記号	単位	ウォーム	ワジギヤ
軸直角モジュール	mx	mm	1.02062	
軸直角圧力角	αx	deg	20.3788	
かみ合いピッチ円直径	dw	mm	10.0000	31.6392
基礎円直径	db	mm	-----	29.6590
理論中心距離	ao	mm	20.81960	
歯末のたけ	ha	mm	1.0000	1.0000
歯元のたけ	hf	mm	1.2500	1.2500
全歯たけ	h	mm	2.2500	2.2500
リード	pz	mm	6.4127	496.8469
ピッチ	tx	mm	-----	3.2064
直径係数	Q	---	9.7980	-----
キャリバ歯たけ	Hj	mm	1.0025	-----
理論弦歯厚	Sjo	mm	1.5708	-----
設計弦歯厚	Sj	mm	1.1451	-----
またぎ歯数	Zm	---	-----	4
理論またぎ歯厚	Wo	mm	-----	10.7927
設計またぎ歯厚	W	mm	-----	11.1527
理論三針寸法	dho	mm	12.8490	-----
設計三針寸法	dh	mm	11.2012	-----
理論オグベ寸法	dno	mm	-----	39.9120
設計オグベ寸法	dn	mm	-----	34.7834
正面かみ合い率	εα	---	-----	1.4980
軸方向かみ合い率(参考)	BLx	mm	-----	0.04202

図 4.5 寸法結果

#### 4.5 歯形図

中央断面のかみあい図を図 4.6 に示します。

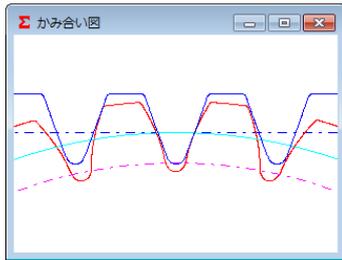


図 4.6 かみあい図

#### 4.6 歯車強度計算

図 4.7 に強度設定画面を示します。ヘリカルギヤの強度（樹脂）は、Lewis の式を基本とし、許容応力値は温度、寿命などを考慮した材料の実験値を採用しています。図 4.8 に強度計算結果を示します。材料は、M90-44、KT-20、GH-25、ナイロン(オプション)を選択することができます。

項目	記号	単位	ウォーム	ヘリカルギヤ
材料	---	---	構造用鋼	MC1010
材料名	---	MPa	S45C	構造用樹脂
許容曲げ応力	$\sigma_{b1im}$	MPa	196.0	BS
許容ヘルツ応力	$\sigma_{H1im}$	MPa	490.5	M90-44
弾性率	E	MPa	205940.0	KT-20
WGT比率	---	---	1.000	GH-25
14015	---	---	---	ナイロン
駆動歯車	---	---	ウォーム	---
トルク	T	N·cm	20.000	228.869
回転数	n	rpm	1000.000	64.516
寿命繰り返し回数	L	---	10000000	---
潤滑状態	---	---	---	---
潤滑油粘度	t	°C	60.000	---
曲げ安全率	SF	---	1.200	---
面圧安全率	SH	---	1.150	---
せん断安全率	SS	---	1.200	---
圧入応力比率	---	---	1.000	---
摩擦係数	$\mu$	---	0.0700	---

図 4.7 強度初期設定

項目	記号	単位	ウォーム	ヘリカルギヤ
すべり速度	Vs	m/s	0.534	---
周速	$\omega$	m/s	---	0.107
効率	$\eta$	---	0.721	---
PV値	PV	MPa·m/s	50.562	---
曲げ強さ項目	記号	単位	ウォーム	ヘリカルギヤ
接線力	Fx	N	141.393	---
材料係数	KM	---	1.000	1.000
歯形係数	YF	---	0.548	0.841
速度補正係数	Kv	---	1.000	1.399
温度係数	KT	---	1.000	1.000
潤滑係数	KL	---	1.000	1.315
複合有効歯幅	bw	mm	10.066	---
許容曲げ応力	$\sigma_{b1im}$	MPa	196.000	19.029
最大許容曲げ応力	$\sigma$	MPa	163.333	17.306
許容円周力	Fa	N	901.380	122.109
曲げ応力	$\sigma_b$	MPa	25.619	16.698
曲げ強さ	Sft	---	6.375	0.864
歯面強さ項目	記号	単位	ウォーム	ヘリカルギヤ
許容ヘルツ応力	$\sigma_{H1im}$	MPa	490.500	30.194
弾性率	E	MPa	205940.000	2095.795
許容円周力	Fh	N	3799.694	14.399
ヘルツ応力	$\sigma_H$	MPa	94.616	94.616
歯面強さ	Sfh	---	26.875	0.102
せん断強さ項目	記号	単位	ウォーム	ヘリカルギヤ
円弧歯厚	So	mm	---	1.962
断面積	A	mm <sup>2</sup>	---	16.518
許容せん断応力	$\sigma_{S1im}$	MPa	---	11.417
許容円周力	Fs	N	---	167.167
せん断応力	$\sigma_S$	MPa	---	10.271
せん断強さ	Sfs	---	---	1.112

図 4.8 強度結果

#### 4.7 歯形レンダリング

図 4.9 の場合、良好な歯当り接触を示していますが、すすみ角が大きい場合には、二段当りや、歯先当り（図 4.10）を生ずる場合がありますので慎重な設計が必要です。

ウォームとウォームホイールの歯当たりも工具の直径によりホイールの歯形が変化しますので異常な歯先当りを生ずる場合があります。

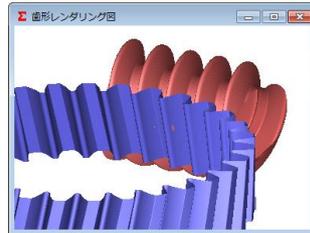


図 4.9  $\gamma=11.5^\circ$ の歯当り

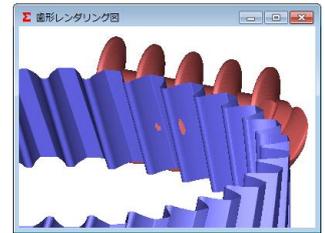


図 4.10  $\gamma=16.5^\circ$ の歯当り

#### 4.8 ヘリカルギヤのねじれ角補正

図 4.10 の歯当りを修整するためヘリカルギヤの圧力角やねじれ角を修整する方法があります。図 4.12 のヘリカルギヤの諸元補正を使用し、はすば歯車のねじれ角を  $1^\circ$  大きく補正した場合の歯形レンダリングを図 4.11 に示します。

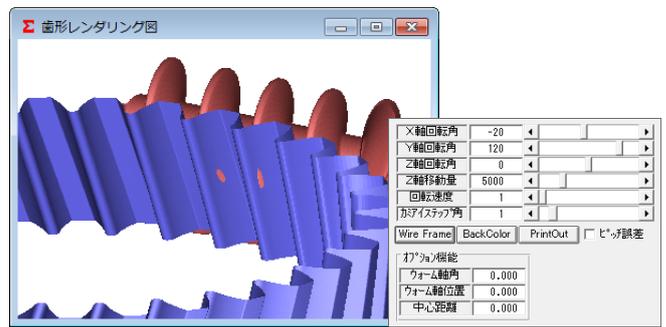


図 4.11  $\beta=17.5^\circ$ の歯当り

項目	記号	単位	数値
圧力角補正	$\Delta\alpha$	deg	0.00000
ねじれ角補正	$\Delta\beta$	deg	1.00000
回転補正	$\Delta\theta$	deg	0.00000

図 4.12 諸元補正

#### 4.9 FEM 歯形応力解析

強度計算終了後、[FEM]アイコンをクリックするだけで簡単に応力解析を行うことができます。図 4.13 に FEM 設定画面を、図 4.14 と図 4.15 にウォームとヘリカルギヤの FEM 解析結果を示します。

項目	記号	単位	ウォーム	ヘリカルギヤ
材料記号	---	---	構造用鋼	MC1010
縦弾性係数	E	MPa	205940.0	2095.8
ポアソン比	$\nu$	---	0.300	0.350
縦分割数	Vd	---	10	10
横分割数	Hd	---	24	26
荷重点位置	Pn	---	2	2
荷重	Ft	N	---	149.942
色階調数	nc	---	---	100
変位倍率	Sd	---	---	100

図 4.13 FEM 設定

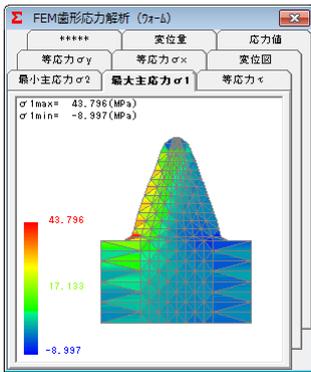


図 4.14 ウォーム( $\sigma_1$ )

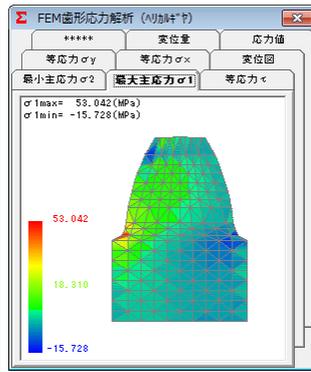


図 4.15 ヘリカルギヤ( $\sigma_1$ )

#### 4.10 回転伝達誤差解析

図 4.16 及び図 4.17 に伝達誤差解析の設定画面を示します。ウォームとヘリカルギヤに、ピッチ誤差を与え、ヘリカルギヤを1回転させたときの回転伝達誤差の解析結果を図 4.18 に、ワウ・フラッタを図 4.19 に示します。また、図 4.20 にフーリエ解析グラフを示します。



図 4.16 誤差設定(ウォーム)



図 4.17 誤差設定(ギヤ)

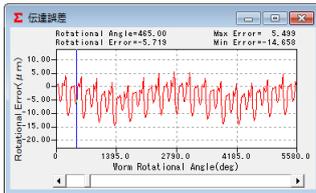


図 4.18 回転伝達誤差

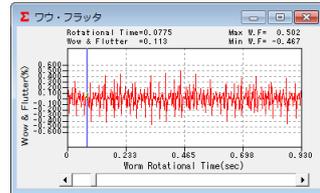


図 4.19 ワウ・フラッタ

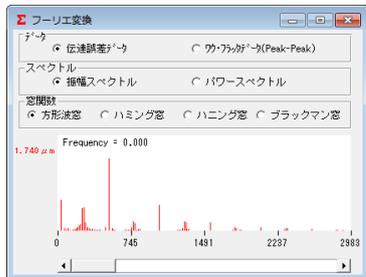


図 4.20 フーリエ解析

#### 4.11 すべり速度、ヘルツ応力

図 4.21 および図 4.22 にすべり速度とヘルツ応力のグラフを示します。このグラフは、歯面の接触位置を基準に解析しているため、回転伝達誤差解析ソフトが必要です。

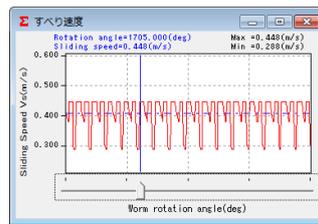


図 4.21 すべり速度

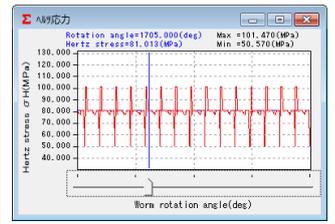


図 4.22 ヘルツ応力

#### 4.12 軸受け荷重

軸受け荷重の設定画面を図 4.23 に、計算結果を図 4.24 に示します。



図 4.23 軸受け荷重の設定

項目	記号	単位	ウォーム	ヘリカルギヤ
中間方向に加わる力	Ft	N	97,143	143,342
軸方向に加わる力	Fa	N	143,342	97,143
半軸方向に加わる力	Fr	N	58,242	58,242
ウォーム側 軸受けに加わる力				
スラスト荷重	Fsb	N	28,571	143,342
Fr のラジアル荷重成分	Fr1	N	28,571	28,571
Fa のラジアル荷重成分	Fr2	N	28,121	28,121
Fr のラジアル荷重成分	Fr3	N	-18,120	18,120
ラジアル荷重成分	Fr4	N	32,747	50,388
ヘリカル側 軸受けに加わる力				
スラスト荷重	Fsb	N	57,143	
Fr のラジアル荷重成分	Frb1	N	28,121	28,121
Fr のラジアル荷重成分	Frb2	N	74,971	74,971
Fa のラジアル荷重成分	Frb3	N	-28,106	28,106
ラジアル荷重成分	Frb4	N	76,212	91,389

図 4.24 計算結果

#### 4.13 歯当たり解析

ウォーム&ヘリカルギヤの歯当たり解析例を以下に示します。図 4.25 の、歯当たり解析設定で種々設定が可能です。回転位置分割数は3~20を設定することができますが、本例では3として図 4.3 歯車の歯当たりを解析しています。図 4.26 は、ウォームとヘリカルギヤの歯当たりを示しますが、図 4.27~4.29 に 1/3 ピッチの歯当たり3種類を示します。ただし、歯当たり解析は、歯のたわみとピッチ誤差は考慮していません。

図 4.9 の歯形レンダリングと図 4.26 の歯当たり紋様が若干異なります。この理由は、本例では歯形レンダリングの歯形分割数の2倍(最大5倍)の細かさで歯当たり解析をしているためです。

項目	記号	単位	モデル
ヘリカル回転角度	$\theta_r$	deg	0.0000
ヘリカル操作角度	$\theta_s$	deg	0.0000
ウォーム角度誤差X	$\Delta \phi_x$	deg	0.0000
ウォーム角度誤差Y	$\Delta \phi_y$	deg	0.0000
ウォーム角度誤差Z	$\Delta \phi_z$	deg	0.0000
ウォーム取り付け誤差X	$\Delta X$	mm	0.0000
ウォーム取り付け誤差Y	$\Delta Y$	mm	0.0000
ウォーム取り付け誤差Z	$\Delta Z$	mm	0.0000
ウォーム歯幅 細分割数	---	---	0
ヘリカル歯幅 細分割数	---	---	1
食い込み限界距離	---	$\mu m$	100
回転位置分割数	---	---	3
ヘリカル圧力角補正	$\Delta \alpha$	deg	0.0000
ヘリカルねじれ角補正	$\Delta \beta$	deg	0.0000

設定値確認モデル 解析 歯当たり表示 歯当たり数値

ピッチ歯当たり(複数の回転位置で計算)

固定位置歯当たり(回転角度  $\theta_r$  位置のみで計算)

色分布最大距離 ---  $\mu m$  100

図 4.25 歯当たり解析設定

図 4.26 の色階調で歯当たり量を確認することができますが、更に、図 4.25 の[歯当たり数値]で図 4.30 のように詳細な歯当たり数値を確認することができます。画面下のコントロールバーで回転位置（本例の場合 3 分割）での歯当たりを表示します。

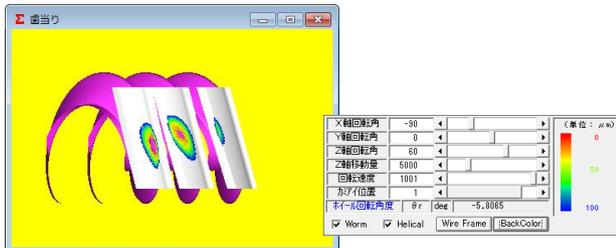


図 4.26 歯当たり (ウォーム&ヘリカル)

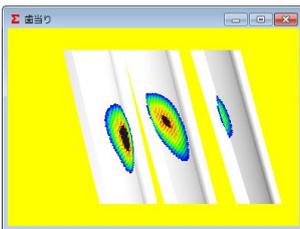


図 4.27 歯当たり 1

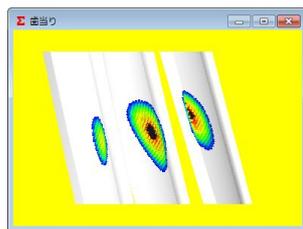


図 4.28 歯当たり 2

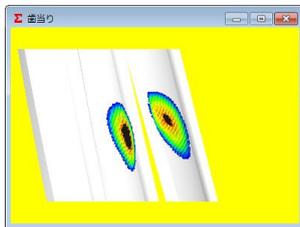


図 4.29 歯当たり 3

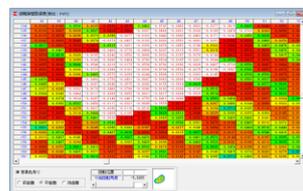


図 4.30 歯当たり数値

#### 4.14 歯形データファイル

歯形かみあい図の DXF ファイルとウォームとヘリカルギヤの歯形 3D-IGES ファイルを出力します。図 4.32 にウォーム歯形の CAD 作図例を示します。

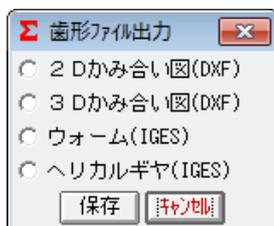
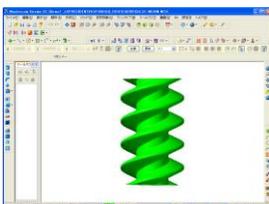
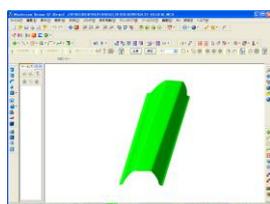


図 4.31 歯形ファイル



(a) Worm



(b) Helical gear

図 4.32 CAD 作図例(3D-IGES)