

[2] involuteΣ(Bevel Gear Design)

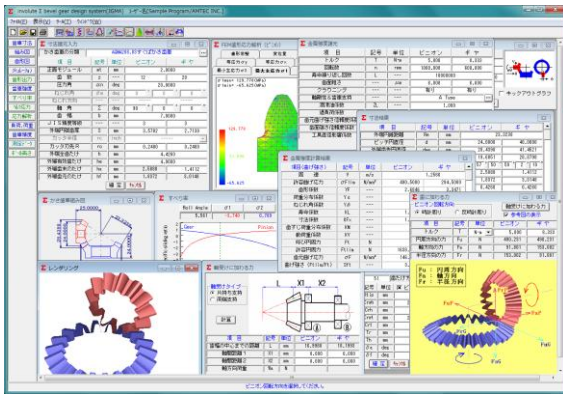


図 2.1 involuteΣ(Bevel Gear Design)

2.1 概要

involuteΣ(Bevel Gear Design)は、かさ歯車の寸法、強度(金属、樹脂)、歯形、組立図、軸荷重、すべり率、ヘルツ応力グラフ、歯形応力解析、歯当り跡、測定データ出力等の機能があります。

2.2 ソフトウェアの構成

表 2.1 にソフトウェアの構成を示します。

表 2.1 ソフトウェアの構成

項目	記載頁	ストレート	スパイラル
<1>歯車寸法	9	○	○
<2>歯車かみあい図	10	○	○
<3>組立図	10	○	○
<4>歯形 DXF ファイル	11	○	○
<5>強度歯車計算(金属)	11	○	○
<6>強度歯車計算(樹脂)	11	○	○
<7>歯車精度	11	○	○
<8>設計データ管理	---	○	○
<9>歯形レンダリング	10	○	○
<10>すべり率グラフ	12	◎	◎
<11>ヘルツ応力グラフ	12	◎	◎
<12>軸交差角(鋭角)	10	◎	◎
<13>3次元歯形座標	11	◎	◎
<14>歯形 IGES ファイル ¹⁾	11	◎	◎
<15>分割歯形 IGES ¹⁾	11	◎	◎
<16>組立誤差の設定	10	◎	◎
<17>ボール高さ ¹⁾	13	◎	×
<18>2D-FEM 歯形応力	12	◎	◎
<19>歯形測定データ ¹⁾	13	◎	◎
<20>歯当り跡表示 ¹⁾	11	◎	◎
<21>STL ファイル出力 ¹⁾	13	◎	◎
<22>歯すじ曲線(等リード)	10	◎	◎
<23>面取り形状	10	◎	◎
<24>キックアウト	11	◎	◎
<25>最小歯数 9 枚	---	◎	◎

○標準ソフトウェアに含む ◎オプションソフトウェア

1) <13>3次元歯形座標ソフトウェアが必要です。

2.3 アイコンボタン

アイコンは、[寸法][組図][歯形][レンダリング]など 13 種類あります。



2.4 適用するかさ歯車の種類

すぐばかさ歯車 6 種類、まがりばかさ歯車 8 種類のかさ歯車を計算することができます。適用するかさ歯車の種類を図 2.2 に示します。

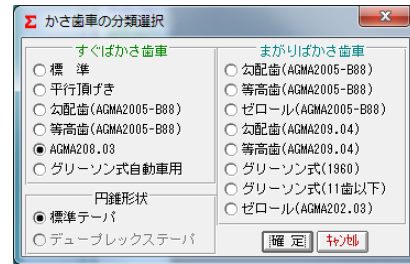


図 2.2 かさ歯車の種類

2.5 かさ歯車の寸法

かさ歯車の種類を選択すると図 2.3 の寸法入力画面となります。モジュール、歯数を入力することにより[TAB]キーで標準値が入力されます(数値変更可能)。軸角は90°以外(標準Σ=60°~160°、鋭角オプションΣ=10°~160°)にも対応し、勾配歯、等高歯も計算することができます。

図 2.4 の「修整諸元入力」で歯先修整や、クラウニングを設定することができ、歯先円錐角、歯底円錐角を任意に変更することができます。

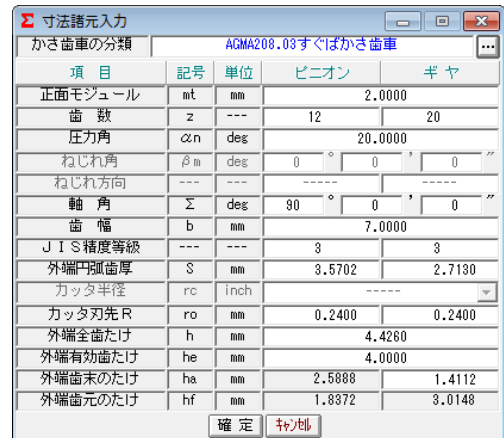


図 2.3 寸法諸元入力画面

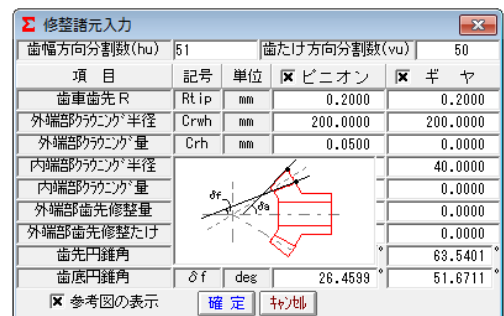


図 2.4 修整諸元入力画面

2.6 かさ歯車寸法表

図 2.5 に歯車の寸法計算結果画面を示します。

項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
外端円錐距離	Re	mm	23.3238	
ピッチ円直径	d	mm	24.0000	40.0000
外端歯先円直径	dae	mm	28.4398	41.4521
内端歯先円直径	dai	mm	19.5851	28.8798
ピッチ円錐角	δ	deg	30° 57' 50"	59° 2' 10"
歯末のたけ	ha	mm	2.5888	1.4112
歯元のたけ	hf	mm	1.8372	3.0148
歯厚	c	mm	0.4260	0.4260
歯元角	θa	deg	7° 21' 55"	4° 30' 14"
歯元角	θf	deg	4° 30' 14"	7° 21' 55"
歯先円錐角	δa	deg	38° 19' 44"	63° 32' 24"
歯底円錐角	δf	deg	26° 27' 36"	51° 40' 16"
有効歯たけ	he	mm	4.0000	
全歯たけ	h	mm	4.4260	
円錐頂点～外端歯先	X	mm	19.6681	10.7899
軸方向歯幅	Xb	mm	5.5369	3.1287
円弧歯厚減少量	fn	mm	0.0000	0.0000
バックラッシュ	BL	mm	0.0000	0.0000
ツースアングル	---	min	361.6955	361.6972
素材の角度	θx	deg	82° 38' 6"	85° 29' 46"
素材の角度	θy	deg	59° 2' 10"	30° 57' 50"
歯厚	SJ	mm	3.5570	2.7108
キャリア歯たけ	HJ	mm	2.7027	1.4349
相当平歯車歯数	Zv	---	13.3943	38.8730
正面かみ合い率	$\varepsilon \alpha$	---	1.3896	
重なりかみ合い率	$\varepsilon \beta$	---	0.0000	
総合かみ合い率	$\varepsilon \gamma$	---	1.3896	

図 2.5 歯車寸法結果

2.7 かさ歯車組図

図 2.6 に示すように、組立距離やボス径を設定して作図することができます。図 2.6a にピニオンを鍛造形状とするために外径と内端部を面取りした例を示します。図 2.7 に軸角 70°、図 2.8 に軸角 120° の作図例を示します。組図は、DXF ファイルで出力することができます。

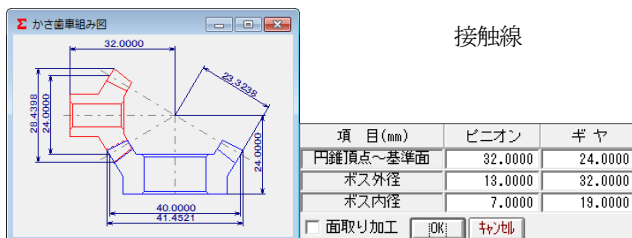


図 2.6 歯車組図と設定フォーム

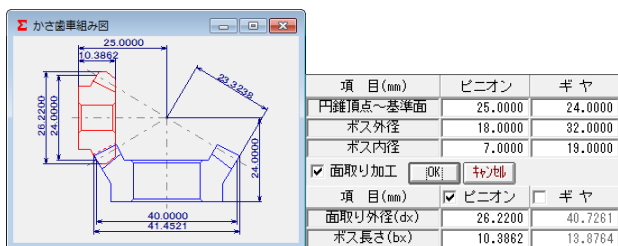


図 2.6a 歯車組図(面取り)と設定フォーム

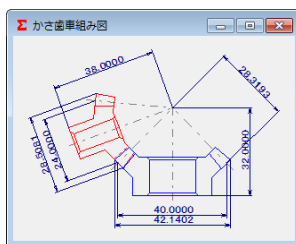


図 2.7 軸角 70° 組図

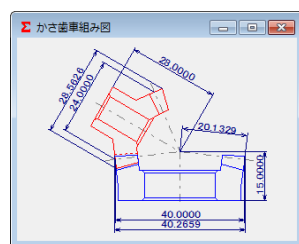


図 2.8 軸角 120° 組図

2.8 かさ歯車歯形図

大端部、中央部、小端部の歯形かみあいを作図することができます。図 2.9 に大端部歯形のかみあい図を示します。

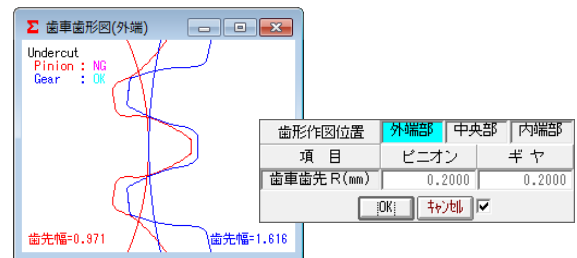


図 2.9 かみあい図

2.9 組立誤差の設定

歯車が正しく組み立てられていない場合、歯当りは変化します。「組立誤差の設定」は、組立の水平、垂直、角度及びオフセット誤差の影響を歯形レンダリングや歯当り跡の変化で確認するための機能です。

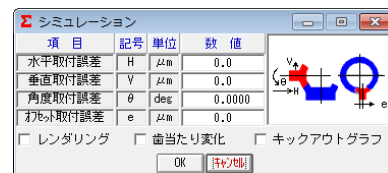


図 2.10 組立誤差の設定

2.10 歯形レンダリング

3次元歯形のかみあいを図 2.11 のように作図することができます。本ソフトウェアは、「球面インボリュート」と「理論歯すじ」で歯形を生成します。また、歯すじオプションとして、「等リード歯すじ」で出力することができます。

図 2.11 のコントロールフォームで観察角度を変更することができます。歯車のかみあいステップ角度を 1 にするとピニオンが 1 度ステップで回転し、0 とすれば静止画となります。また、拡大、縮小が可能です。スパイラルベベルとゼロールの歯形レンダリングを図 2.12 および図 2.13 に示します。

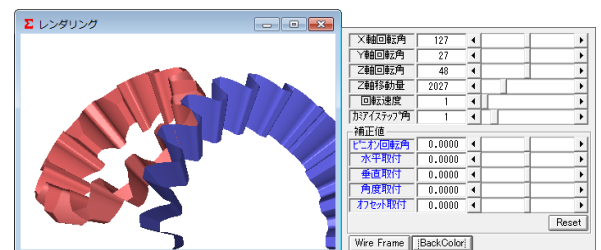


図 2.11 歯形レンダリングと設定

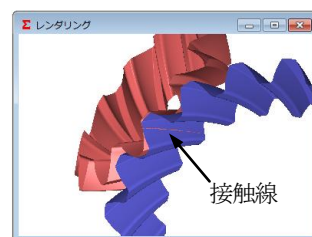


図 2.12 スパイラルベベル

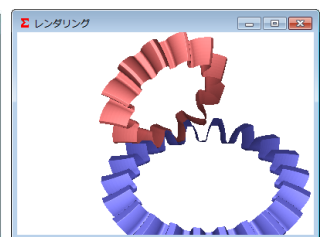


図 2.13 ゼロールギヤ

2.11 歯当り変化

図 2.4 の修整諸元入力でクラウニングを与えた時の歯当り跡を図 2.14 に示します。赤色は歯面接触を示し、青色は 40 μm の隙間があります。コントロールフォームのピニオン回転角で歯当り跡が移動します。図 2.14a と図 2.14b にスパイラルベベルとゼロールの歯当り跡を示します。

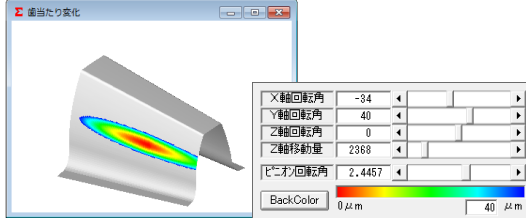


図 2.14 歯当り(ストレートベベル)

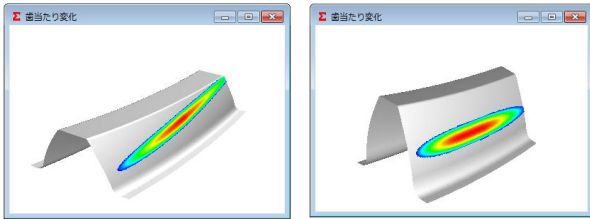


図 2.14a 歯当り(スパイラル)

図 2.14b 歯当り(ゼロール)

2.12 キックアウト

かみ合い始めからかみ合い終わりまでのギヤの円周方向の遊び量(キックアウト)をシミュレートします。軸の取り付け誤差が 0 のキックアウトは図 2.15 に示すように 0.0002° ですが、図 2.10 の軸の水平取り付け誤差と垂直取り付け誤差を共に 5 μm としたときのキックアウトは図 2.16 に示すように 0.010° となりグラフが大きく変化することが解ります。

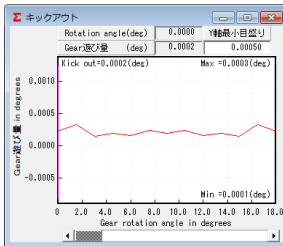


図 2.15 キックアウト 1

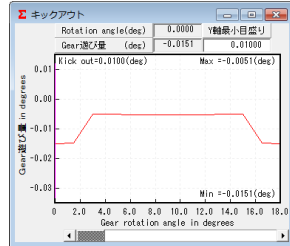


図 2.16 キックアウト 2

2.13 歯形データ出力

歯形データは、図 2.17 に示すように、組み図、3D 歯形図、3D かみ合い図を出力することができます。図 2.18 に、3D 歯形の CAD 作図例を示します。図 2.19 の分割歯形は、左右の歯面と歯先部分に分けてデータを出力します。

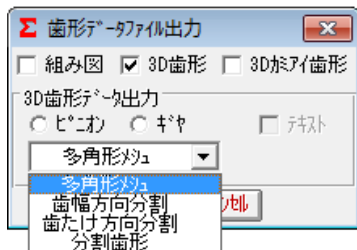


図 2.17 歯形データファイル出力

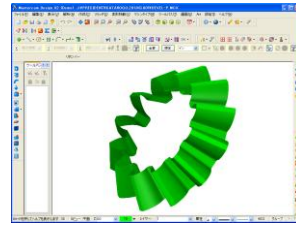


図 2.18 ピニオン歯形(IGES)

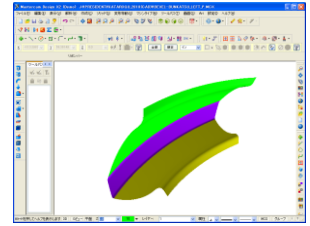


図 2.19 分割歯形(IGES)

2.14 かさ歯車強度計算

(1)トルク単位の設定(N·m, N·cm, kgf·m, kgf·cm, gf·cm)

図 2.20 に強度計算初期設定(トルク単位)画面を示します。

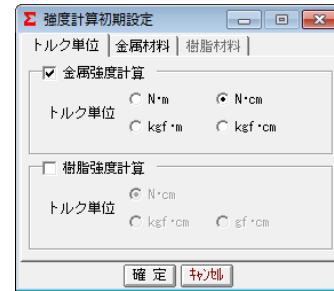


図 2.20 強度初期設定(トルク単位)

(2)かさ歯車の強度計算式

金属歯車は JGMA 403-01:1976, 404-01:1977 に基づいて計算します。また、樹脂歯車の曲げ強さは、Lewis の式を基本とし、歯面強さはヘルツの応力に基づいて計算します。

(3) 材料

金属材料の設定画面を図 2.21 に示します。樹脂材料の応力値は、温度、寿命を考慮した樹脂材料の実験値を使用しています。適応材料は、M90,KT20,GH25,です。これ以外の材料は、M90 を基本として計算することができます。

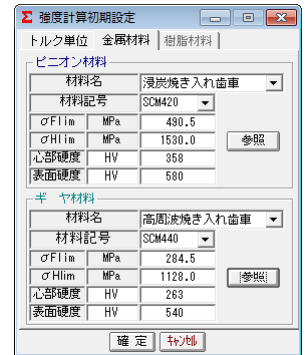


図 2.21 材料設定

(4)材料の選択

図 2.21 の[参照]ボタンをクリックすると図 2.20 の材料選択画面を表示します。表の中から硬度を参考にして材料の許容応力値を決定します。また、材料記号、材料の許容応力値(σ_{Flim} , σ_{Hlim})および硬度は、任意に入力することができます。

材料記号	HB	HV	MPa	有効浸炭深さ	HV	HRC	MPa
SCM415	220	231	333.5	比較的深い	5.90	5.4	1284.5
	230	242	353		6.00	5.5	1314
	240	252	372.5		6.20	5.6	1343.5
	250	263	382.5		6.40	5.7	1363.5
SCM420	260	273	402	6.60	5.8	1393.5	
	270	284	417	6.80	5.9	1393.5	
	280	295	431.5	7.00	6.0	1393.5	
	290	305	441.5	7.20	6.1	1343.5	
SNC420	300	316	451	7.40	6.2	1333.5	
	310	327	461	7.60	6.3	1314	
	320	337	470.5	7.80	6.3	1294.5	
	330	347	480.5	8.00	6.4	1275	
SNC815	340	357	490.5	8.20	6.4	1255.5	
	350	367	500	8.40	6.5	1533	
	360	380	505	8.20	6.6	1608.5	
	370	390	510	8.40	6.7	1628	
				8.60	6.8	1628	
				8.80	6.9	1628	

図 2.22 材料選択(参照画面)

(5)強度設定(動力)

入力トルク，回転数等を設定します。(図 2.23)

項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
トルク	T	N·m	5.000	8.333
回転数	n	rpm	1000.000	600.000
寿命繰り返し回数	L	---	10000000	---
歯面粗さ	---	μm	6.000	6.000
クラウニング	---	---	有り	有り
軸剛性&歯車支持	---	---	A Type	---
潤滑油係数	ZL	---	1.000	---
過負荷係数	Ko	---	1.000	---
歯元曲げ強さ信頼度係数	KR	---	1.200	---
歯面強さ信頼度係数	DR	---	1.150	---
工具直径影響係数	Yc	---	1.150	---

図 2.23 動力設定

(6)強度計算結果

図 2.24 に強度計算結果画面を示します。

項目(曲げ強さ)	記号	単位	ピニオン	ギヤ
周速	V	m/s	1.2566	---
許容曲げ応力	σ_{Flim}	N/mm ²	490.5000	284.5000
歯形係数	YF	---	2.6846	3.3471
荷重分布係数	Ye	---	---	0.8556
ねじれ再係数	Yβ	---	---	1.0000
寿命係数	KL	---	1.0000	1.0000
寸法係数	KFz	---	1.0000	1.0000
歯すじ荷重分布係数	KM	---	---	1.2000
動荷重係数	KV	---	---	1.0385
呼び円周力	Ft	N	490.2314	---
許容円周力	Ft lim	N	1638.3787	762.4947
歯元曲げ応力	σ_F	N/mm ²	146.7124	182.3138
曲げ強さ (Ft lim/Ft)	Sft	---	3.3493	1.5554
項目(歯面強さ)	記号	単位	ピニオン	ギヤ
許容ヘルツ応力	σ_{Hlim}	N/mm ²	1530.0000	1128.0000
領域係数	ZH	---	---	2.4946
材料定数係数	ZM	---	---	60.6000
かみあい率係数	Zε	---	---	1.0000
寿命係数	KHL	---	1.0000	1.0000
粗さ係数	ZR	---	0.9201	0.9201
潤滑速度係数	ZV	---	0.9558	0.9558
硬さ比係数	ZW	---	1.0000	1.0000
荷重分布係数	KHβ	---	---	1.3000
動荷重係数	KV	---	---	1.0385
呼び円周力	Fc	N	490.2314	---
許容円周力	Fc lim	N	554.0296	301.1399
ヘルツ応力	σ_H	N/mm ²	1439.2144	1439.2144
歯面強さ (Fc lim/Fc)	Sfc	---	1.1301	0.6143

図 2.24 強度計算結果

2.15 歯車精度

図 2.25 に，かさ歯車の精度(JIS B 1704:1978)を表示します。

誤差	記号	単位	ピニオン	ギヤ
単一ピッチ誤差(±)	ft	μm	24	25
隣接ピッチ誤差	ftu	μm	31	33
累積ピッチ誤差(±)	Ft	μm	97	100
歯薄の揺れ	fr	μm	33	48

ACCURACY for Gear (JIS B 1704): JAPANESE INDUSTRIAL STANDARDS.

図 2.25 かさ歯車精度表

2.16 すべり率とヘルツ応力グラフ

ベベルギヤのすべり率とヘルツ応力のグラフを図 2.26 および図 2.27 に示します。

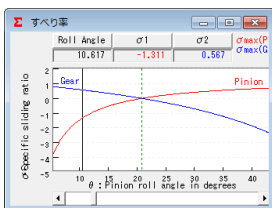


図 2.26 すべり率

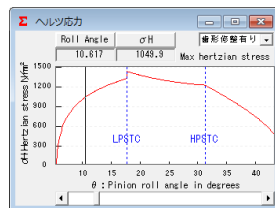


図 2.27 ヘルツ応力

2.17 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 2.28 に，FEM 解析の設定画面を示します。縦弾性係数，ポアソン比，分割数および荷重の数値変更が可能です。

5種類の応力(σ_x, σ_y, τ , せん断応力 τ , 主応力 σ_1, σ_2)を計算します。歯車強度計算と歯に作用する実応力を評価する事により歯車強度の信頼性を高めることができます。図 2.29 に最大主応力 σ_1 ，図 2.30 に最小主応力 σ_2 の等応力線図を示します。

項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
材料記号	---	---	SCM420	SCM440
縦弾性係数	E	MPa	205800.0	205800.0
ポアソン比	ν	---	0.300	0.300
縦分割数	Vd	---	8	8
横分割数	Hd	---	22	19
荷重点位置	Pn	---	2	2
荷重	Ft	N	490.231	---
色階調数	nc	---	100	---
変位倍率	Sd	---	100	---

図 2.28 FEM 解析の設定

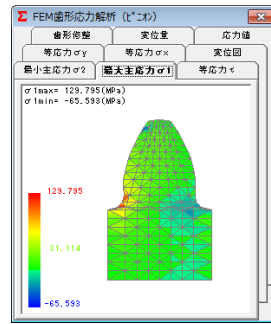


図 2.29 最大主応力(σ_1)

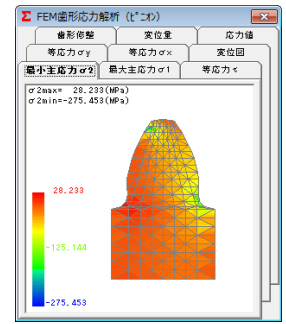


図 2.30 最小主応力(σ_2)

2.18 軸受け荷重

歯と軸受けに作用する荷重の計算をします。

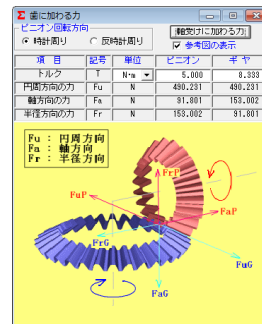


図 2.31 歯面荷重

項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
歯幅の中心までの距離	L	mm	19.3888	19.3888
軸間距離 1	X1	mm	20.000	20.000
軸間距離 2	X2	mm	20.000	20.000
軸方向荷重	Fw	N	91.8017	153.0827
歯すじに作用する半方向荷重				
半方向荷重(歯力)	Fv	N	1014.142	381.324
Fvによる半方向荷重	Fv(1)	N	306.084	189.882
Fvによる半方向荷重	Fv(2)	N	388.462	389.482
Fvによる半方向荷重	Fv(3)	N	46.815	130.142
軸すじに作用する半方向荷重				
半方向荷重(歯力)	Fu	N	691.800	481.729
Fuによる半方向荷重	Fu(1)	N	153.082	91.801
Fuによる半方向荷重	Fu(2)	N	490.231	490.231
Fuによる半方向荷重	Fu(3)	N	46.815	130.142

図 2.32 軸受け荷重

2.19 歯形計測

三次元測定機(Zeiss 社)用と大阪精密機械(株)測定機の 2 種類の測定データ出力機能がありますので，ご注文の際にはいずれかを選択してください。

(1)三次元測定機用測定データ出力の概要

図 2.33 に測定データの設定画面を示します。歯形分割数と歯面の測定逃げ量及び測定基準距離を設定することにより，図 2.34 の測定点座標と測定ベクトルをファイルに出力します。

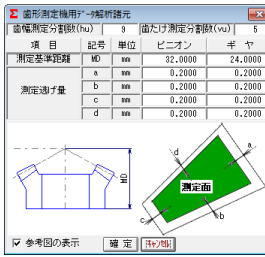


図 2.33 測定データ設定

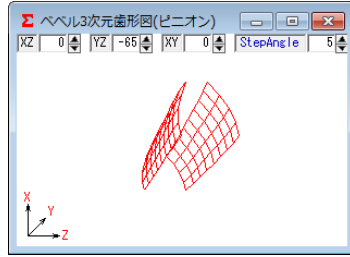


図 2.34 測定歯形

(2)大阪精密機械株式会社測定機の測定データ出力の概要

図 2.35 の測定データの設定をすることにより測定ノミナルデータをファイルに出力します。「測定機(HyB-35・65)」は、測定歯面を、「点」ではなく「線」で測定するため精密な測定をすることができます。3次元測定機のような格子点ではなく、線で歯のエッジまで測定することにより、騒音や振動の原因となる微妙な形状誤差をキャッチし、歯車の精度を追求します。」(大阪精密機械株式会社カタログより転載)

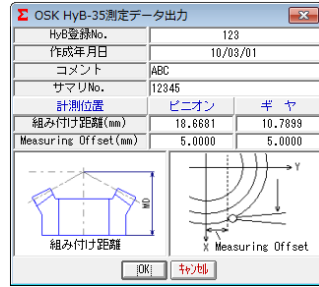


図 2.35 測定データ設定

2.20 ボール高さ

歯厚管理をするため歯幅の中央付近にボールを配置し、その時のボール高さを計算します。製造時の歯厚管理に適しています。図 2.36 にベベルギヤのボール高さを示します。

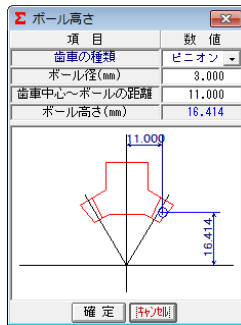


図 2.36 ボール高さ

2.21 加工例

歯形データを使用して、ボールエンドミルで機械加工(歯形データファイル→CAD/CAM→NC 機械)した例を図 2.37 に示します。また、図 2.38 に STL ファイルにより製作した光造形モデルの写真を示します。



図 2.37 歯車加工例



図 2.38 光造形モデル
($m1,z28,\alpha20^\circ,\beta35^\circ$)

2.22 測定例 1

involuteΣ(Bevel Gear Design)でベベルギヤ測定用の歯形データと測定ベクトルを出力して Zeiss 社の 3 次元測定機のベベルギヤ測定用のソフトウェア(GearPro-Bevel²)で読み込み、表示した例を図 2.39 および図 2.40 に示します。

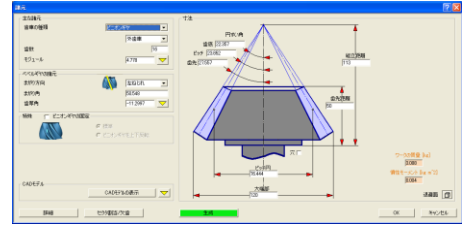


図 2.39 ベベルギヤ諸元

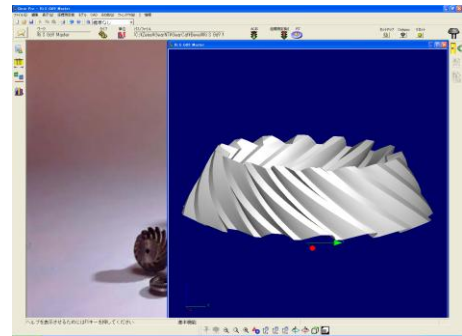


図 2.40 ベベルギヤ測定用画面

* 2) : 「GearPro は、ドイツ・カール ツァイス社(Carl Zeiss IMT GmbH)の製品です。」

2.23 測定例 2

involuteΣ(Bevel Gear Design)でベベルギヤ測定用の歯形データと測定ベクトルを出力して大阪精密機械株式会社測定機(HyB-35・65)で測定した例を図 2.41 に示します。

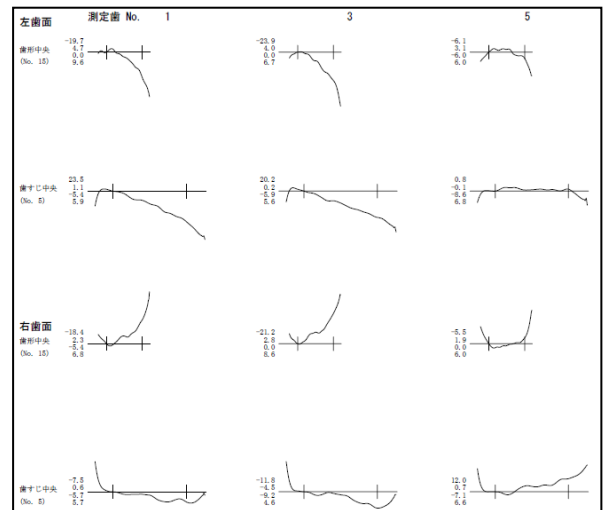
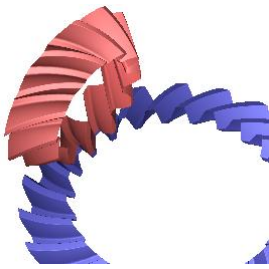


図 2.41 ストレートベベル歯形・歯すじ検査例

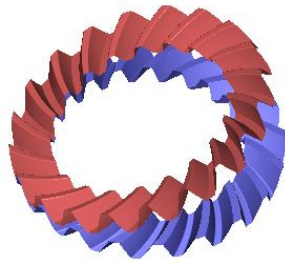
2.24 計算作図例

スパイラルベベルの歯すじを等リードで出力(オプション)した歯形を図 2.42 に、軸角が 160° の例を図 2.43 に、軸角が 20° の例を図 2.44 に示します。



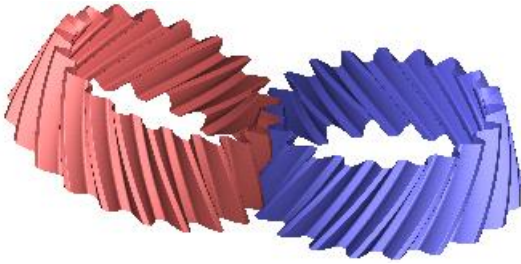
$m2, z_1=12, z_2=23, \alpha 20^\circ$
 $\beta=35^\circ, \Sigma=90^\circ$

図 2.42 等リードスパイラル



$m2, z_1=z_2=20, \alpha 20^\circ$
 $\beta=35^\circ, \Sigma=160^\circ$

図 2.43 軸角 160° スパイラル



$m2, z_1=z_2=20, \alpha 20^\circ, \beta=35^\circ, \Sigma=20^\circ$

図 2.44 軸角 20° スパイラルベベル

2.25 マシニングセンタによるベベルギヤの加工例



$m15, z65, \alpha 20, \beta=35, d=975.0$

マシニングセンタ : HU80A-5X (JIMTOF2008)

(三井精機工業 株式会社様 ご提供)

図 2.45 スパイラルベベルギヤ加工例



$m5, z20, \alpha 20, \beta=35, d=100.0$

マシニングセンタ : YBMVi40

(安田工業 株式会社様 ご提供)

図 2.47 スパイラルベベルギヤ加工例

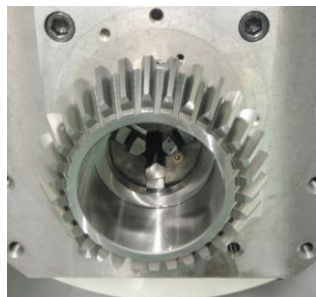


$m10, z47, \alpha 20, \beta=35, d=470$

マシニングセンタ : HERMLE C-50U

(愛知産業 株式会社様 ご提供)

図 2.48 スパイラルベベルギヤ加工例

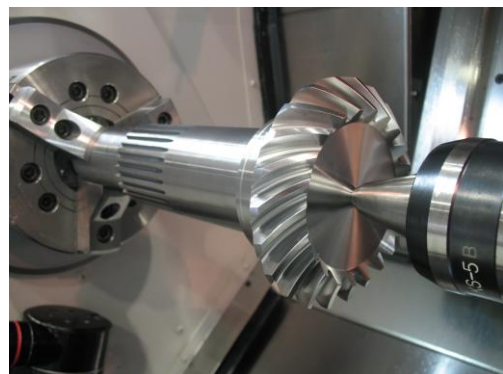


$m5, z30, \alpha 20, \beta=0, d=150$

マシニングセンタ : D500

(株式会社 牧野フライス製作所様 ご提供)

図 2.46 ストレートベベルギヤ加工例



$m6, z22, \alpha 20, \beta=35, d=132$

インテリジェント複合加工機 : MULTUS B300C

(オークマ 株式会社様 ご提供)

図 2.49 スパイラルベベルギヤ加工例