INDEX

[1]	involute Σ (Spur & Helical Gear Design) \cdots	1
	* 円筒歯車(平、はすば歯車、内歯車)の寸法、歯形、強度、FEM、回転伝達誤差、	
	周波数解析、すべり率、フラッシュ温度、軸荷重、等の計算とシミュレーション	
[2]	involute Σ (Bevel Gear Design) \cdots	7
	* ストレートベベル、スパイラルベベル、ゼロールの寸法、歯形、強度、歯当たり、	
	測定データ、軸荷重、等の計算とシミュレーション	
[3]	involute Σ (Worm Gear Design) \cdots	12
	* ウォーム×ウォームホイールの寸法、歯形、強度、歯当たり跡、FEM、伝達誤差、	
	周波数解析、軸間変動、軸荷重、等の計算とシミュレーション	
[4]	involute Σ (Worm & Helical Gear Design) \cdots	17
	* ウォーム×ヘリカルギヤの寸法、歯形、強度、歯当たり跡、FEM、伝達誤差、	
	周波数解析、軸荷重、等の計算とシミュレーション	
[5]	Planet AGITΩ(遊星歯車設計支援ソフトウエア) ・・・・・	20
	* 歯数の設定やトルク配分を自動決定します。寸法、歯形、効率、強度、etc	
[6]	Hob Erase(歯車電極用エンドミル歯形解析ソフトウエア) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	22
	* ホブを使用しないで歯車電極等をエンドミルで加工するためのソフトウエア	
[7]	有理数分解ソフトウエア ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	22
	* 小数点付き数値を2つの分数に分解するソフトで差動換え歯車計算に最適です。	
[8]	歯厚変換&転位係数ソフトウエア ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	23
	* 歯切り時の歯厚(またぎ、オーバーピン、弦)変化とピンの位置を表示します。	
[9]	楕円系歯車 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	24
	* 同じ葉数(1 葉×1 葉、2 葉×2 葉等)だけでなく異葉数(3 葉×5 葉等)も設計できます。	
	歯形データ出力、かみ合い図、角度変位グラフを表示します。	
[10]	Worm Bite2(ウォームバイト刃形解析ソフトウエア) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	25
	* ウォーム歯形を1形に加工するための刃形解析ソフトウエアです。	
[11]	Gear Navigation System(歯切り、シェービング、ホーニング) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	26
	* ホブ切削、シェービング、ホーニング加工を3次元で解析するソフトウエアです。	
	バイアス修整を与えた歯数の異なるドレスギヤにも対応しています。	
[12]	AGMA2001-C95 ソフトウエア ・・・・・	31
	* ANSI/AGMA2001-C95 規格に基づいた強度計算ソフトです。曲げ、面圧、寿命計算	
	とフラッシュ温度、油膜厚さからスコーリングと摩耗の発生確率を計算します。	
[13]	AGMA2003-A86 ソフトウエア ・・・・・	33
	* ANSI/AGMA2003-A86 規格に基づいた強度計算ソフトです。曲げ、面圧、寿命計算。	
[14]	GearPro2000 (歯形出力ソフトウエア) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	34
	* 歯車歯形を DXF、3D-IGES で出力します。	
[15]	ねじ歯車 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	35
	* ねじ歯車のかみ合い理論に基づいて寸法、歯形を計算します。	
[16]	成形砥石歯形解析ソフトウエア(外歯車、内歯車) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	36
	* 成形研削時の3次元干渉を解析して砥石の形状を決定します。	

[17]	トロコイド曲線を用いた歯車ソフトウエア(ポンプ用歯車) ・・・・・・・・・・・・	38
	* 歯数、アウターロータの歯底円、偏心量から歯形を生成し吐出量を計算します。	
[18]	Adduction Differential Gear Design System(愛称:ピンコイド歯車)・・・・・・	39
	* 内歯車にピンを配置した内転差動式の減速機構です。	
[19]	VGRラック設計ソフトウェア ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	40
	* ギヤレシオカーブに基づいてラックの歯形を生成します。	
[20]	Face Gear Design System·····	43
	* フェースギヤの設計と歯形出力ソフトウエア	
[21]	L-Hypoid Gear Design System ·····	45
	* 球面インボリュート歯形のギヤにオフセットを与えピニオンの歯形を決定します。	
[22]	CT-FEM System ·····	48
	* 機械設計者が簡単に使えることができる 3D-FEM ソフトウエアです。歯面の接触問題を	
	考慮して応力解析をします。バイアス修整、軸の取り付け誤差にも対応しています。	
[23]	Hob chip software ·····	54
	* ホブ切削時における切粉の切取り形状や厚さのシミュレーションソフトウエア	
[24]	少歯数歯車設計支援ソフトウエア ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	57
	* 高減速機構とするためピニオン歯数を1歯、2歯とする設計ソフトウエア	
[25]	involute Gemma ·····	58
	* 歯形測定データによる歯当たり、回転伝達誤差解析ソフトウエア	
[26]	作図例	61
[27]	歯車精度規格ソフトウェア ・・・・・	61
[28]	動作環境 ·····	61
価格表	表 ••••••••••••••••••••••••••••••••••••	62

- カタログに記載していないソフトウエアもございますのでお問い合わせください。
- 歯車だけでなく機械要素、干渉解析などのソフト開発も別途承っていますのでお 問い合わせください。

[1] involute Σ (Spur & Helical Gear Design)



 \boxtimes 1.1 involute Σ (Spur & Helical)

1.1 概要

involute Σ (Spur & Helical)は、寸法、歯形、強度、FEM 解 析,回転伝達誤差解析,周波数解析など一連の歯車設計をする ことができるソフトウエアです。図1.1に設計画面を示します。 歯形は、DXF と 3D-IGES で出力することができ、歯形レンダ リングにより歯車回転時のかみあい接触線を連続して観察する こともできます。また、歯車強度を基準とした推論機能や最適 な転位係数を決定する機能があります。詳しくは、以下をご覧 下さい。

1.2 ソフトウエアの構成

ソフトウエアは、[SE]、[ST]、[PL]、[SP]の4 種類に分か れています。表1.1と項目1.3以降の内容をご確認下さい。

山 - 「」 - 「」 - 「」 - 「」 - 「」 - 「」 - 「」 - 「	記載貝	SE	81	PL	SP
<1>基準ラックの設定	1	0	0	0	0
<2>歯車寸法	1	0	0	\bigcirc	0
<3>推論1	2	×	0	0	0
<4>推論2	3	×	0	0	0
<5>歯形創成図	3	0	0	0	0
<6>歯車かみあい図	3	0	0	0	0
<7>かみあい連続回転	3	0	0	0	0
<8>歯形 DXF ファイル出力	3	\triangle	0	0	0
<9>歯形レンダリング図	3	\triangle	0	0	0
<10>歯車精度	3	0	0	0	0
<11>設計データ管理	-	0	0	0	0
<12>金属歯車強度計算	4	×	0	×	0
<13>樹脂歯車強度計算	4	×	×	0	0
<14>金属×樹脂歯車強度	4	×	×	×	0
<15>すべり率グラフ	3	×	0	0	0
<16>ヘルツ応力グラフ	3	×	0	0	0
<17>軸荷重	4	×	0	0	0
<18>FEM 歯形応力解析	5	×	0	0	0
<19>伝達誤差解析	6	×	0	0	0
<20>フーリエ解析	6	×	0	0	0
<21>IGES歯形データ ¹⁾	4	×	0	0	0
<22>フラッシュ温度	4	×	0	\bigcirc	0
<23>					
1) 一般的な CAD は確認済みで	すが、未確	認の CAI) もあり	ます。	

表1.1 ソフトウエアの構成

表1.1 の記号

- SE : Standard Edition ST: Steel Edition
- PL : Plastic Edition SP: Steel & Plastic Edition
- : ソフトウエアに含まれる。
- × : ソフトウエアに含まれない。
- △ : 制限付きでソフトウエアに含まれる。
- ◎:オプションソフトウエアとして適用

1.3 アイコンボタン

アイコンは、[寸法][歯形][精度][強度][すべり率グラ フ][ヘルツ応力グラフ][FEM][伝達誤差][フーリエ解析][歯形 レンダリング]など12種類あります。この他に基準ラック等の 初期値などを設定する[ツール]ボタンがあります。



1.4 適応歯車

インボリュート平、はすば歯車(外歯車、内歯車)

1.5 基準ラックの設定など

図1.2に、基準ラックなどの設定画面を示します。
 歯車の組み合わせ :外歯車×外歯車、外歯車×内歯車
 基準ラック :並歯、低歯、特殊
 歯先円決定の方式 :標準方式、等クリアランス方式

1.6 歯車寸法

歯車の各部寸法は、かみあい率、 すべり率、歯厚などを計算します。 アンダーカットが発生している歯車 のかみあい率は、TIF 径を基準にか みあい率を決定します。また、歯先 にRがある場合はRを考慮したかみ あい率を算出します。



· 图1.2/U/

- (TIF: True Involute Form)
- (1)中心距離と転位係数の関係は、以下の3種類です。
 <1>転位係数をピニオンとギヤに与え中心距離を決定
 <2>中心距離を基準として各歯車の転位係数を決定
 <3>転位係数を無視して任意に中心距離を決定
- (2)転位係数の設定方式は、以下の4種類です。

<1>転位係数を直接入力 <2>またぎ歯厚を入力して転位係数を決定 <3>オーバーピン寸法を入力して転位係数を決定 <4>転位量を入力して転位係数を決定

- 図1.3に諸元設定画面と、転位係数入力時の選択画面を示しま
- す。図1.4に寸法結果画面を示します。

Σ 寸法諸元					3					
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ						
モジュール	mn	mm	2	.00000	-					
歯数	Z		15	24						
圧力角	an	deg	20	.00000	•					
ねじれ角	β	deg	20 0	_,,	,					
ねじれ方向			「右ねじれ」	左ねじれ						
転位係数	xn		0.20000	0.00000	-					
中心距離	a	mm	41	.89118	転位係数決定方法					
法線歯厚減少量	fn	mm	0.00000	0.0200	● またき画序 ● 転位重 C おがけ*)対法					
歯幅	b	mm	20.00000	20.0000						
歯先円直径	da	mm	36.72533	55.0805						
歯底円直径	df	mm	27.72533	46.0805	またぎ歯数					
測定ピン径	dp	mm	3.665	3.414	またぎ歯厚					
歯先R	ra	mm	0.00000	0.0000	歯切り転位係数					
	確定 キャンセル 推論 1 推論 2									

図1.3 諸元設定

Σ 寸法計算結果					×
基礎円直径	db	mm	29.7702	47.6324	•
リード	PZ	mm	275.5621	440.8993	
転 位 量	Xm	mm	0.4000	0.0000	
歯末のたけ	ha	mm	2.4000	2.0000	
歯元のたけ	hf	mm	2.1000	2.5000	
全歯たけ	h	mm	4.5000	4.5000	
クリアランス	С	mm	0.4882	0.4882	
基礎円筒ねじれ角	βb	deg	18 * 4	4 50	
正面かみあい圧力角	αw	deg	22 * 3	0 14	
かみあいと。「肝直径	dw	mm	32.2240	51.5584	
歯直角基準円弧歯厚	sn	mm	3.4328	3.1416	
正面基準円弧歯厚	st	mm	3.6531	3.3432	
正面法線ビッチ	pbt	mm	6	.2351	
歯直角法線ビッチ	pbn	mm	5	.9043	
かみあい長さ	ga	mm	8	.5485	
正面かみあい率	εα		1	.3710	
重なりかみあい率	εβ		1	.0887	
全かみあい率	εγ		2	.4597	
すべり率(歯先)	σa		0.6930	0.7450	
すべり率(歯元)	σb		-2.9215	-2.2578	
またぎ歯数	Zm		3	4	
基準またぎ歯厚	W	mm	15.5359	21.4675	
設計またぎ歯厚	₩,	mm	15.5359	21.4475	
基準オーバーピン寸法	dm	mm	37.7951	55.7494	
設計オーバーピン寸法	dm'	mm	37.7951	55.6983	
キャリバ歯たけ	Hj	mm	2.4814	2.0426	
基準キャリバ歯厚	Sj	mm	3.4276	3.1400	
設計キャリバ歯厚	Sj'	mm	3.4276	3.1188	
基準ラック歯末たけ係数	hac'		1.0000	1.0000	
基準ラック歯元たけ係数	hfc'		1.2500	1.2500	
トータルルドックラッシ	jt	mm	0	.0229	-

1.7推論1

推論1は、曲げ強さを基準としてモジュールと歯幅を決定します。ここで推論したモジュールと歯幅を有効にして次の設計に進むこともできますが、無効とした場合は、図1.3 で与えた歯車諸元で次の設計に進むことができます。強度を満足するモジュール、歯幅、材料の組み合わせは何通りもありますので、推論結果を基本として歯車の概略を決定する際には非常に有効な機能です。図1.5 に推論1の画面を示します。

図1.4 寸法結果

Σ 歯車推論 1											
項目	記号	単位	ビニオン	ギヤ							
歯車材料			S45C (N	I)HB220 📃 💌							
熱処理			焼な	ろし							
硬度			HB2	20							
許容曲げ応力	σFlim	MPa	205.940	205.940							
ピニオントルク	T	Nim	100.000	160.000							
ビニオン回転数	n	rpm	1200.000	750.000							
モジュール	mn	mm	2	.250							
歯数	z		15	24							
圧力角	an	deg	20	.00000 *							
ねじれ角	β	deg	20 *	0'0"							
歯幅	Ь	mm	29.250								
曲げ安全率	SF		1	.200							
呼び円周力	Ft	N	5568.549								
許容円周力	Ftlim	N	5885.659	6723.675							
歯元曲げ応力	σF	MPa	19.869	17.392							
曲げ強さ	Sft		1.057	1.207							
推論結果の歯車	II. H	自論	推論結果の歯車は 推論 キント 推論2 設計に移る								

図1.5 推論1の画面

1.8 推論2

推論2は、すべり率とかみあい率を基準として最適な転位係 数を決定するための機能です。図1.6のグラフは、ピニオンの 最大すべり率を赤線で、ギヤの最大すべり率を青線で、正面か みあい率を緑線で示しています。この場合、すべり率とかみあ い率から判断してピニオンの転位係数0.2が、歯形にとって最 適な値ということができます。転位係数の決定理由は、アンダ ーカット防止や中心距離の変更、かみあい圧力角の調整などが 一般的ですが、この推論機能により、すべり率とかみあい率の 関係を基本とした転位係数を決定することができます。アンダ ーカットが発生している歯形では、すべり率の値が大きく、か みあい圧力角が大きいと、正面かみあい率が低下します。

1.9 歯形図

歯形図は、創成図、かみあ い図、3D 歯形、回転図を作図 し歯形 DXF ファイル(2D, 3D)、 IGES ファイル(3D)を出力する ことができます。図1.7 にピ ニオン歯形創成図を、図1.8 にかみあい図を表示します。

内歯車のかみあい図では3 種類の干渉(インボリュート干 渉、トロコイド干渉、トリミ ング)をチェックします。図 1.9 および図 1.10 に3次元歯 形図を示します。





1.10 歯形座標ファイル(DXF, IGES)出力

歯形座標は、2次元および3次元のDXFファイル及び3次元 のIGESファイルを出力することができます。金型用にモジュー ル収縮率、圧力角補正率を与えて歯形を出力することができ、 出力歯数は任意に設定可能であり、座標値は小数点以下8桁で 出力します。また、図1.11に示しますように、歯形修整の歯形 をグラフで与えることができます。図1.12及び図1.13にCAD 作図例を示します。

※3 次元 IGES ファイルは、オプションです。



図1.11 歯形ファイル設定

図 1.13 3 次元歯形(IGES)

1.11 歯形レンダリング

3次元歯形のかみあいを図1.14のように作図することができ ます。歯車のかみあいステップ角度を1にすれば、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、歯 形の向きを自由に変えることができ、拡大、縮小が可能です。 図1.14は、ギヤ側から見た図と設定画面を表示し、図1.15は、 ピニオン側から見た図を示しています。図1.14及び図1.15の かみあい部分に接触線を観察することができます。





1.12 歯車精度

図 1.16 と図 1.17 に新 JIS の歯車精度規格(JIS B 1702-1) と(JIS B 1702-2)による誤差の許容値を示します。また、プロ パティの設定により新 JIS と旧 JIS の切り替えが可能です。 精度規格の種類: JIS B 1702-1, JIS B 1702-2(1998) JIS B 1702(1976) JGMA 116-01(1960), 116-02(1983)

Σ 曲車精度								
諸元 JIS B 1702-1 JIS B 1702-2								
項目	記号	ピニオン	ギヤ					
単一ビッチ誤差	fpt	5	5.5					
部分累積ビッチ誤差	Fpk	6.5	8					
累積ビッチ誤差	Fp	14	18					
全歯形誤差	Fα	5	6					
全歯すじ誤差	Fβ	7	7.5					
片歯面110%がかみ合い誤差	f'i	7.5	8					
「片歯面全かみ合い誤差」	F'i	22	26					
歯形形状誤差	ffα	4	4.5					
歯形こう配誤差	fHα	3.3	3.7					
歯すじ形状誤差	ffβ	5	5.5					
歯すじ傾斜誤差	fΗβ	5	5.5					
		畄	(① [ノノ m]					

図1.16 歯車精度(JIS B 1702-1)

Σ 曲車精度								
諸元 JIS B 1702-1 JIS B 1702-2								
項目	記号	ピニオン	ギヤ					
両歯面全かみ合い誤差	Fi"	18	22					
両歯面1ピッチカンみ合い誤差	fi"	6.5	6.5					
歯溝の振れの許容値	Fr	11	15					
単位 [µm]								
	Los La	,						

図 1.17 歯車精度(JIS B 1702-2)

1.13 騒音対策(すべり率とヘルツ応力グラフ)

インボリュート歯形の特徴としてかみあいピッチ円ではこ ろがり運動となりますが、これ以外ではすべりを伴う運動とな ります。例題歯車(m,=2, Z1=15, Z2=24, α=20°の標準平歯車)のす べり率とヘルツ応力の変化グラフは、図1.18および図1.19と なり、ピニオンの歯元のすべり率が大きいため、かみあい始め に急激なヘルツ応力変化を示しています。このような場合、精 度を良くしても問題解決にはなりません。かみあい率だけでな く、すべり率およびヘルツ応力の変化を考慮して設計する必要 があります。ヘルツ応力の変化を滑らかにするには、転位を調 整するだけで簡単に解決する場合があります。また、樹脂歯車 は、すべりによる熱の影響が大きいため十分注意して設計する 必要があります。

中心距離を変化させないで、転位係数をXn,=0.24, Xn,=-0.24 とした時のすべり率とヘルツ応力の変化を、図 1.20 および図 1.21 に示します。図 1.21 の歯形に歯形修整(スムースメッシン グ)を施した場合のヘルツ応力の変化は、滑らかな応力変化グラ フ(図1.22)となっています。



1.14 0級歯車

歯車歯形のインボリュート面は重要ですが、これと同様に歯 元形状も重要です。図1.23のグラフは、歯元曲線を任意Rで接 続した歯形の試験結果(両歯面かみあい)であり、図1.24のグラ フは、理論トロコイド曲線歯形の試験結果を示しています。創 成運動を基本に考えますと歯元の形状は①**圧力角、②基準ラッ** ク歯元のたけ、③基準ラック歯元R、④転位量、⑤歯数によっ て決定される準トロコイド曲線となります。involuteΣは、理 論歯形曲線を出力します。

and manufattion and a second second	
1.23 歯車試験結果(任意歯形)	図1.24 歯車試験結果(理論歯形)

図1.23 歯車試験結果(任意歯形)

3

1.15 歯車強度計算(金属)

歯車強度計算は、JGMA401-01,402-02 に基づいています。設 計単位は、SI単位系、MKS単位系を選択することができます。 図 1.25 に強度の設定画面を示します。材料の選択は、図 1.26 に示しますように「熱処理」に適応した材料の選択フォームを 表示します。図 1.27 に、強度計算結果を示します。

Σ 金属歯車強度諸元									
項目		ピニ	オン		ギ	ヤ			
熱処理	浸	炭焼,	λh	•	高周	波焼	入れ	-	
材料記号	SCM420			•	SCM440			-	
心部硬度	HV		347		HV		284		
表面硬度	HV		580		HV		580		
σFlim(MPa)			480.5				304	.0	
σHlim(MPa)			1530.0				1167	.0	
JIS精度等級(1976)		3		•		3		-	
項目	記者	2	単位		ピニス	わ	Ŧ	t	
トルク	T		N *m		100.	.000	16	0.000	
回転数	n		rpm		1200.000 750.0		0.000		
軸受け支持方法					両軸受!:		力に対称 📃		
寿命繰り返し回数	L					10	00000	0	
歯車の回転方向						正転	のみ	-	
周 速	V		m/s		2.0247				
歯形修整						有	IJ	•	
歯面粗さ	Rma	x	μm		6.	.00		6.00	
負荷時歯当り状況						良	好	-	
材料定数係数	ZM		(MPa)).5	189.	.800	18	9.800	
潤滑油係数	ZL				1.	.000		1.000	
過負荷係数	Ко				1.000				
歯元曲げ安全率	SF				1.200				
歯面損傷安全率	SH					1	.150		
	- Bi	留定	++12	ŧμ					

図1.25 歯車強度の入力画面

∑ 浸炭焼き入れ歯車											
構造用	心部硬さ		σFlim	σFlim + + + + - = + + = + + - = + + - = + + - = + + - = + + + = + + + = + + + = + + + = + + + = + + = + + = + + + = + + + = + + + = + + + = + + + = + + = + + = + + + = + + = + + = + + + = + + + = + + + = + + + = + + + = + + + + = + + + + + + = +		i硬さ	σHlim	•			
炭素鋼	HB	HV	MPa	有別波厥味で	HV	HRc	MPa				
	140	147	178.5		580	54	1128				
	150	157	192		600	55	1147.5				
	160	167	206		620	56	1157				
\$150	170	178	215.5		640	57	1167				
0100	180	189	225.5		660	58	1177				
	190	200	235.5	比較的浅い	680	59	1177				
					700	60	1177				
S15CK					720	61	1167				
					740	62	1157				
					760	63	1147.5				
								780	63	1128	
					800	64	1108				
構造用	心部硬さ		σFlim	右が温思速す	歯面	i硬さ	σHlim	1			
合金綱	HB	HV	MPa.	H MIXEO TO	HV	HRc	MPa.				
	220	231	333.5		580	54	1284.5	1			
	230	242	353		600	55	1314	-			
	0.40	0.00	070 5		0.00		1040 5	_			

図1.26 材料の選択

Σ 平、はすば歯車	強度計算	結果(JGM	A:401-01,4	02-01) 🔀	
項目(曲げ)	記号	単位	ピニオン	ギヤ	
許容曲げ応力	σFlim	MPa	480.500	304.000	
曲げ有効歯幅	b'	mm	20.000	20.000	
歯形係数	YF		2.554	2.575	
荷重分布係数	Yε		0	.729	
ねじれ角係数	Yβ		0	.833	
寿命係数	KL		1.000	1.000	
寸法係数	KF×		1.000	1.000	
動荷重係数	Kv		1	.051	
呼び円周力	Ft	N	6206	.557	
許容円周力	Ftlim	N	9814.048	6159.480	
曲げ強さ	Sft		1.581	0.992	
歯元曲げ応力	σF	MPa	303.876	306.323	
項目(面圧)	記号	単位	ピニオン	ギヤ	
許容ヘルツ応力	σHlim	MPa	1530.000	1167.000	
面圧有効歯幅	bw	mm	20	.000	
領域係数	ZH		2	.293	
寿命係数	KHL		1.000	1.000	
かみあい率係数	Zε		0	.854	
粗さ係数	ZR		0.928	0.928	
潤滑速度係数	ZV		0.966	0.966	
硬さ比係数	ZW		1.000	1.000	
荷重分布係数	KH /S		1.000		
動荷重係数	Kv		1.050		
呼び円周力	Fc	N	6264.617		
許容円周力	Fclim	N	3853.918	2242.132	
歯面強さ	Sfc		0.615	0.358	
ヘルツ応力	σH	MPa	1950.686	1950.686	

図1.27 強度計算結果

1.16 歯車強度計算(樹脂)

樹脂歯車の強度計算は、Lewis の式を基本式とし、材料の許 容応力値は、温度、寿命などを考慮した実験値を採用していま す。材料の組み合わせは、[樹脂×樹脂]と[金属×樹脂]の強度 計算ができ、設計単位は、SI単位系、MKS単位系を選択するこ とができます。図1.28に、樹脂歯車強度計算の入力画面を示し ます。歯形係数は、図1.3で与えた歯車諸元の歯形を基準にし て決定し、強度計算をします。図1.29に、強度計算結果を示し ます。樹脂材料は、ポリアセタール(M90, KT20, GH25, その他)と ポリアミド(ナイロン)です。

Σ 借脂曲車強度:	諸元								
材料記号	M90-4	14 💌		×	MSO				
項目	記号	単位	ピニオン	ギ	7				
トルク	Т	N*cm	100.000	16	0.000				
回転数	n	rpm	1200.000	75	0.000				
寿命繰り返し回数	L		1000	0000					
周 速	V	m/s	2.	0247					
1 滑	·		<u> グ</u>	ノス	•				
温度	·	°C	60.	000		<u> </u>	周急性/2 後	78-5	
過負荷係数	Ко		1.	000	1日の運転	:時間	四旦回北部	(<u>トロ)</u> 負荷の種類	1
曲げ安全率	SF		1.	200	(hour)	均一負荷	輕衝撃	中衝撃
歯面損傷安全率	SH		1.	150	24h/c 10b/c	lay lay	1.25	1.50	1.75
,	, <u> </u>	_			3h/c	lay	0.80	1.00	1.25
	帷	正日	otelli -		0.5h/c	lay	0.50	0.80	1.00

図1.28 歯車強度諸元の設定

🛚 樹脂歯車強度結果 🛛 🔀						
項目(曲げ)	記号	単位	ピニオン	ギヤ		
許容曲げ応力	σFlim	N/mm ²	7.316	7.795		
歯形係数	YF		0.595	0.591		
速度補正係数	Kv		1.	.384		
温度係数	KT	_ 	0.	.650		
潤滑係数	KL	_ 	1.	.000		
材質係数	KM	_ 	0.750			
呼び円周力	Ft	N	62.646			
許容円周力	Ftlim	N	154.482	163.300		
曲げ強さ	Sft		2.466	2.607		
項目(面圧)	記号	単位	ピニオン	ギヤ		
許容面圧応力	σHlim	N/mm ²	36.177	40.579		
弾性係数	E	N/mm ²	1721.067	1721.067		
呼び円周力	Fc	N	62.	.646		
許容円周力	Felim	N	313.374	394.261		
歯面強さ	Sfc		4.350	5.473		
図1.29 強度計算結果						

1.17 軸荷重

歯車に作用する荷重と、軸受けに作用する荷重を計算します。 荷重の種類は、接線力、法線力など各軸受けに作用する荷重を 20 種類計算します。図1.30に計算結果を示します。

Σ 軸受荷重					
Lat Fr		項目	数 値		
Brg2 Fr21 2 Fn	- ピニオ	ントルク(N+cm)	100.000		
Fu21	軸受問	問距窩ff a1(mm)	40.000		
Fr22 Fr12 Brg1	軸受間	問距窩ff a2(mm)	40.000		
Fr41	軸受問	問題部 b1(mm)	40.000		
Fr32	軸受問	間距離 b2(mm)	40.000		
Brg4 b1 b2 Brg3		jokj 🕴	i)til		
項目	記号	数値 (単	位 N)		
接線力	Fu	62	.066 🔺		
法線力	Fn	70	.288		
半径方向力(Total)	Fr	24	.040		
軸方向力 (Total)	Fa	22	.590 💌		
図 1.30 軸荷重					

1.18 フラッシュ温度

接触する歯面に発生するフラッシュ温度を計算します。図 1.31 に設定画面を、図 1.32 に、無修整歯形のフラッシュ温度 グラフを示します。

Σ フラッシュ温度詰	īπ				
項目	記号	単位	と*ニオン	‡° ?	
歯車の温度	GTc	°C 70.000			
油の温度	Tc	°C	40.000		
歯面粗さ(Ra)	σ1,2	μm	0.400 0.400		
摩擦係数	μ		- 0.060		
歯形修整			無	U 🔽	
OK C			有り		
			26-29		

図1.31 フラッシュ温度設定



1.19 2次元歯形応力解析ソフトウエア

2 次元歯形応力解析は、involute Σ (Spur & Helical)のオプ ションソフトです。ソフトウエアの構成(表1.1)をご覧下さい。

(1) 操作

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1.33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。

 EEM 解析語元 20.30選択 20FEM協形解析 30箇形解析 30箇形解析 						
項目	記号	単位	と*ニオン	‡° †		
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	٧d		8	8		
横分割数	Hd		20	19		
荷重点位置	Pn		2	2		
荷重	Ft	N	6206	.56		
色階調数	nc	100				
変位倍率	率 Sd 100					
	[曜定	キャンセル			

図1.33 FEM 解析の設定

(2) 歯に作用する荷重より応力を解析します。

5 種類の応力(σ_x , σ_y , 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1.34に最小主 応力 σ₂、図1.35 に最大主応力 σ₁の等応力線図を示します。

(3) 歯形の変位量より、歯形修整量を計算します。

歯形修整は、歯車の運転性能を上げるための有用な方法です。 精度の良い歯車であってもかみあい時の歯のたわみにより駆動 歯車と被動歯車の歯に法線ピッチの差が発生します。この法線 ピッチの差によるかみ合いのずれが、[振動]や、[音]の原因と なります。歯形修整はこれを解決する一つの方法です。弾性率 が小さい樹脂材料は変位も大きくなりますので歯形修整の効果 は大きいといえます。図1.36に歯形変位図を、図1.37に歯形 修整グラフを示します。



図1.36 歯形変位図



図1.35最大主応力 σ₁

∑ FEM 凿形応力	解析(ビニオン)	
等応力σγ) 等応力 σ >	() 変位図
最小主応力σ2	最大主応力 σ1	等応力で
****	宽位量	応力値
db TIF	9.382(mm) 3.09 m)	
修整長さRLI	nm) 修整量Ti	f(μm)
0.00000	9.	564
0.59009	9.	863
1.20458	8.	453
1.89262	1.	443
2.62268	6.	586 🗸

図1.37 歯形修整グラフ

1.20 3次元歯形応力解析ソフトウエア

3 次元歯形応力解析は、involute Σ (Spur & Helical)のオプ ションソフトです。はすば歯車は、図1.38の初期設定画面で歯 形のピッチ分割数により歯幅方向の分割数が決まります。また、 歯たけ方向の分割は、かみあい接触線を基本として分割します。 図1.39~図1.44に、最小主応力、最大主応力、歯形変位図を 示します。

Σ FEM 解析諸元							
2D、3D選択 C 2DFEM歯形解析 3D歯形解析用軸方向に®ッチ分割数 で 3D歯形解析 6							
項目	記号	単位	と°ニオン	‡° ₹			
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	٧d		6	6			
横分割数	Hd						
荷重点位置	Pn						
荷重	Ft	N	6206	.56			
色階調数	nc		100				
変位倍率	Sd		100				
輝 定] ++>地							

図1.38 FEM諸元初期設定





図1.39最大主応力 σ₁(はすば) 図1.40 最小主応力 σ₉(はすば)



図1.41 歯形変位図(はすば)





図1.43 最小主応力 G₂(平歯車) **図1.44** 歯形変位図(平歯車)

1.21 伝達誤差解析ソフトウエア

伝達誤差解析ソフトウエアは、involute Σ (Spur & Helical) のオプションソフトです。伝達誤差解析ソフトを使用するため には、FEM 歯形応力解析ソフトウエアが必要です。

(1) 歯車の回転伝達誤差を解析します。

①歯形誤差、②隣接ピッチ誤差、③歯のたわみ、④軸の振れ、 ⑤歯形のすべりの5種類を解析要素として伝達誤差を解析します。歯車の回転伝達誤差を製品試験するのではなく設計段階で 予測することができます。

対象とする歯車は、2次元歯形応力解析の場合は、平歯車として解析しますが、3次元歯形応力解析を使用しますと平歯車とはすば歯車の伝達誤差解析ができます。図1.45と図1.46に伝達誤差の設定画面を示します。



(2)伝達誤差の評価1

平歯車の回転伝達誤差グラフを図1.47 に、ワウ・フラッタ(回転変動率) グラフを図1.48 に表示します。また、周波数より[音] で確認することができます。



(3) 伝達誤差の評価 2

図1.49と、図1.50に、バックラッシを0.1mm、ピニオン軸の振れを10µmとしたはすば歯車の伝達誤差解析とワウ・フラッタの結果を示します。また、3次元伝達誤差解析は、かみあい面だけではなく背面干渉も考慮していますのでバックラッシを小さくしたい場合には、歯のたわみや、軸の振れを充分考慮して設計する必要がありますが、この3次元伝達誤差解析を使用することにより事前にその限界値を知ることができます。



1.22 フーリエ解析ソフトウエア

平歯車(m,=2, Z₁=Z₂=40)の回 転伝達誤差解析を行い、その 周波数解析結果を下記に示し ます。

ピニオンの歯形は、図1.51 に示すように歯面の中央が凸 の状態とし、ピニオン軸に3 μ mの振れを与え、1200min⁻¹ で回転させたときの回転伝達 誤差グラフは図1.52 となりま す。ただし、ピニオンのピッ チ誤差、ギヤの歯形誤差及びギ ヤの軸振れは無いものとします。

► 伝達誤差解析諸方	. 🗌 🗖 🛛
伝達誤差解析角度	1 des
基準回転	● ヒ*ニオン1回転 ○ ギヤ1回転
RE42	ギヤ 誤差単位 μ ո
軸のふれ歯番号	1 軸のふれ量 3.00
検査分割数 20	1 5 10 15 20
No. 歯形誤差fp へ	dfda (-)
9 0.000	fp ++++++++++++++++++++++++++++++++++++
10 -10.000	(µn) (+)
0.000	
● 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	に 5 10 15 20 25 30 35 40 曲数 (2)
国田ち 総体的に現業長大信	× ·····
0.00	₩
,	馨 ()
	(μn)
	確定快速
図 1.51	伝達誤差設定(P)

周波数解析の結果を図1.53に示しますが、ピッチ誤差等が無いため、かみ合い1次の周波数の800Hz(1200min⁻¹×40z/60sec)、2次の1600Hz、3次、4次の周波数が鮮明に表れています。



1.23 成形プラスチック歯車の伝達誤差解析

成形プラスチックはすば歯車(POM)を駆動して負荷を与えな がら片歯面かみあい試験機で伝達誤差を測定した。実験に用い た歯車は、モジュール(m_i)1mm、歯数(Z)37、圧力角(α)20°ね じれ角(β)20°(右、左)、歯幅(b)10mmであり、中心距離(a)を 39.47mmとした。

右ねじれ歯車を駆動し、トルクを 9.8N・cm、回転数を 6min⁻¹と して回転伝達誤差を測定した。測定結果を図 1.54 に、その周波 数解析結果を図 1.55 に示す。



歯形誤差、ピッチ誤差は歯車検査結果に基づいて設定を行い、 ピニオン(右)をステップ角 1[°]で回転伝達誤差のシミュレーシ ョンを行った結果を図1.56 に示す。その結果、波形状も回転伝 達誤差の最大値も $30 \mu m$ となりほぼ一致した。また、図1.57 に 示すように、かみあい1次の周波数3.7Hzも2次の7.4Hzも顕著 に表れている。



([1.23]項は、精密工学会、2002年講演論文集より抜粋)

[2] involute Σ (Bevel Gear Design)



 \blacksquare 2.1 involute Σ (Bevel Gear Design)

2.1 概要

involute Σ (Bevel Gear Design)は、2003 年 4 月に新しくな りました。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 ソフトウエアの構成

表2.1にソフトウエアの構成を示します。

夫	521	ソフ	トウエ	アの構成
1	ζ Ζ.Ι	//	トワエ	ノーマノ1円ルと

項目	記載頁	ストレート スパイラル	
<1>歯車寸法	7	0	
<2>歯車かみあい図	7	0	
<3>組立図	7	0	
<4>歯形 DXF ファイル	7	0	
<5>強度歯車計算(金属)	8	0	
<6>強度歯車計算(樹脂)		0	
〈7〉歯車精度	8	0	
〈8〉設計データ管理		0	
<9>歯形レンダリング	9	0	
<10>すべり率グラフ	10	Ø	
<11>ヘルツ応力グラフ	10	0	
<12>軸交差角(鋭角)	10	O	
<13>3次元歯形座標	9	0	
<14>歯形IGESファイル ¹⁾ 10		0	
<15>FEM解析用歯形IGES ¹⁾	10	O	
<16>組立誤差の設定	10	0	
<17>ボール高さ1)	9	© ×	
<18>2D-FEM歯形応力 ¹⁾	9	O	
<19>歯形測定データ ¹⁾	10	0	
<20>歯当り跡表示1)	10	0	
<21>STLファイル出力 ¹⁾	10	\odot	
<22>軸交差角(鋭角)		0	
<23>面取り形状	8	Ø	
〈24〉キックアウト	9	0	

○標準ソフトウエアに含む ◎オプションソフトウエア

1) <13>3次元歯形座標ソフトウエアが必要です。

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。

すぐばかさ歯車 「 標 準 C 平行頂ずき C な配造(AIMA2005-B88) C 等高歯(ACMA2005-B88) C グリーソン式自動車用 円錐形状 C 標準テーパ C デューブレックステーパ	まがりばかさ歯車 2 勾配歯(ACMA2005-B88)) 等高歯(ACMA2005-B88) 1 ゼロール(ACMA2005-B88) 1 ゼロール(ACMA2005-B88) 2 ヴロール(ACMA208.04) 1 等高歯(ACMA208.04) 2 グリーソン式(1180) 2 グリーソン式(11歳以下) 1 ゼロール(ACMA202.03) 1 輝 定 キャ/地

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。

Σ 寸法諸元入力					
かさ歯車の分類	AGMA208.03すぐばかさ歯車 -				
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ	
正面モジュール	mt	mm	2.	0000	
歯 数	Z		12	20	
圧力角	αn	deg	20.	0000	
ねじれ角	βm	deg		· 0 ″	
ねじれ方向					
軸角	Σ	deg	90 0	, <u></u>	
歯幅	b	mm	7.	0000	
JIS精度等級		·	3	3	
外端円弧歯厚	S	mm	3.5702	2.7130	
カッタ半径	rc	inch		🔽	
カッタ刃先R	ro	mm	0.2400	0.2400	
全歯たけ	h	mm	4.	4260	
有効歯たけ	he	mm	4.	0000	
歯末のたけ	ha	mm	2.5888	1.4112	
歯元のたけ	hf	mm	1.8372	3.0148	
	0	曜定	++>tell		

図2.3 寸法諸元入力画面

∑ 修整諸元入力				
歯幅方向分割数(hu)	þ	tظ ا	話たけ方向分割数(vu) 50
項目	記号	単位	▼ ピニオン	X ギ ヤ
カッタ刃元R	Rtip	mm	0.2000	0.2000
外端部りうウェンク・半径	Crwh	mm	24.0000	40.0000
外端部クラウニング量	Crh	mm	0.0000	0.0000
内端部クラウニング半径			N.	40.0000
内端部クラウニング量	86		64 <u> </u>	0.0000
外端部歯先修整量	-	A Xoa		0.0000
外端部歯先修整たけ	1	1		0.0000
歯先円錐角			· ·	63.5401
歯底円錐角	δf	deg	26.4599 *	51.6711
🛛 参考図の表示	確	定	≠ ≠2)till	

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。

∑ 寸法結果				X	
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ	
外端円錐距離	Re	mm	23.	.3238	
ビッチ円直径	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	19.6851	28.8798	
ビッチ円錐角	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	
頂げき	С	mm	0.4260	0.4260	
歯末角	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	18.6681	10.7899	
軸方向歯幅	ХЬ	mm	5.5369	3.1287	
円弧歯厚減少量	fn	mm	0.0000	0.0000	
バックラッシ	BL	mm	0.	.0000	
ツースアングル		min	361.6955	361.6972	
素材の角度	θ×	deg	82 838 6 "	85 29 46 "	
素材の角度	θy	deg	59°2'10″	30 ° 57 ' 50 ″	
弦歯厚	Sj	mm	3.5570	2.7109	
キャリバ歯たけ	Hj	mm	2.7027	1.4349	
相当平歯車歯数	Zv		13.9943	38.8730	
正面かみ合い率	εα		1.3896		
重なりかみ合い率	εβ		0.0000		
総合かみ合い率	εγ		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作図する事ができます。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事ができます。



図2.6 歯車組図と設定フォーム



図2.6a 歯車組図と設定フォーム



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。



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。



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。本ソフトウエアは、球面インボリュートと理論歯すじで 歯形を生成します。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、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 50 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 歯当たり跡が移動します。図2.14aと図2.14bにスパイラルベ ベルとゼロールの歯当たり跡を示します。



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)をシミュレーションします。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0.0009度です 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 5µmとしたときのキックアウトは図1.16に示すように0.0106 度となりグラフが大きく変化することが解ります。



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 FEM 解析データは、左右の 歯面と歯先部分に分けてデータを出力します。

Σ 歯形データファイル出:	ர 🔀
□ 組み図 🔽 3D歯形	□ 3D於アイ歯形
「3D歯形データ出力」 ○ ピニオン ○ ギヤ	🗖 ታቱአኑ
多角形メッシュ 💌	
多角形メッシュ 歯幅方向分割 歯たけ方向分割 FEM用データ	itili

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 かみ合い歯形(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。

Σ 強度計算初	期設定				
トルク単位	▲属材料 樹調	皆材料			
┌ 🔽 金属強度	行算				
1.1.万裕法	⊂ N•m	N ⋅ cm			
ドルシ単位	⊂ ksf•m	⊂ kgf•cm			
□ 樹脂強度語	计算				
トルク単位	⊙ N•cm				
1700 112	C ksf cm	C sfrom			
確定 <mark>キャンル</mark>					

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 403-01,404-01 に基いて計算します。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 の[参照]ボタンをクリ

🛽 強度計算初期設定 📃 🗖 🗙							
トルク単位	トルク単位金属材料 樹脂材料						
アピニオン科	「ビニオン材料						
材料	名	浸炭焼き入れ	歯車 ▼				
材料	2号	SCM420 💌					
σFlim	MPa.	490.5					
σHlim	MPa.	1530.0	参照				
心部硬度	HV	358					
表面硬度	HV	580					
-ギ ヤ材料	\$						
材料	名	高周波焼き入	れ歯車 💌				
材料	記号	SCM440 💌					
σFlim	MPa.	284.5					
σHlim	MPa.	1128.0	参照				
心部硬度	HV	263					
表面硬度	HV	540					
	躍う						

(4)材料の選択

図 2.21 材料設定

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。



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)

Σ 金属強度諸元					
項目	記号	単位	ビニオン	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		100000	00	
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 Ty		
潤滑油係数	ZL		1.0	00	
過負荷係数	Ко		1.0	00	
歯元曲げ強さ信頼度係数	KR		1.2	00	
歯面強さ信頼度係数	CR		1.1	50	
工具直径影響係数	Yc		1.1	50	
確定 キャンサル					

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。

∑ 金属強度計算結果	:			
項目(曲げ強さ)	記号	単位	ピニオン	ギヤ
周 速	٧	m/s		1.2566
許容曲げ応力	σFlim	N/mm ²	490.5000	284.5000
歯形係数	YF		2.6846	3.3471
荷重分布係数	Yε			0.6556
ねじれ角係数	Yβ			1.0000
寿命係数	KL		1.0000	1.0000
寸法係数	KF×		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	4	90.2314
許容円周力	Ftlim	N	1638.9787	762.4947
歯元曲げ応力	σF	N/mm²	146.7124	182.9138
曲げ強さ(Ftlim/Ft)	Sft		3.3433	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	σHlim	N/mm²	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	KH /S		1.3000	
動荷重係数	CV			1.0385
呼び円周力	Fc	N	4	90.2314
許容円周力	Felim	N	554.0296	301.1399
ヘルツ応力	σH	N/mm ²	1439.2144	1439.2144
歯面強さ(Fclim/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)を表示します。

Σ かさ歯車精度				×
誤差	記号	単位	ピニオン	ギヤ
単一ビッチ誤差(±)	ft	μm	24	25
隣接ビッチ誤差	ftu	μm	31	33
累積ビッチ誤差(±)	Ft	μm	97	100
歯溝の振れ	fr	μm	33	48
ACCURACY for Gear (JI	IS B 1704	1):JAPAN	ESE 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。



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 , 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 σ₁、図 2.30 に最小主応力 σ₂の等応力線図を示します。

Σ FEM 解析	諸元			
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	٧d		8	8
横分割数	Hd		23	21
荷重点位置	Pn		2	2
荷重	Ft	N	490	1.23
色階調数	nc		100	1
変位倍率	Sd		100]
金属 💌	[確定	キャンセル	

図 2.28 FEM 解析の設定





図 2.29 最大主応力(σ₁)

図2.30 最小主応力(σ₉)

2.18 軸荷重

歯と軸受けに作用する荷重の計算をします。





図2.32 軸受け荷重

2.19 歯形計測

三次元測定機用と大阪精密機械㈱製測定機の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。



(2) 大阪精密機械㈱製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



図 2.35 測定データ設定

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㈱様 カタログより転載)

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。



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,NT28, α20°, β35°)

[3] involute Σ (Worm Gear Design)



 \blacksquare 3.1 involute Σ (Worm Gear Design)

3.1 概要

involute Σ (Worm Gear Design) は、 $\dot{}$ $\dot{}$ ×ウォームホイール)の設計ソフトウエアです。ウォームとへ リカルギヤの組み合わせは involute Σ (Worm and Helical Gear Design)をご使用ください。

3.2 ソフトウエアの構成

ソフトウエアは、標準とオプションに分かれています。表3.1 にソフトウエアの構成を示します。

表3.1 ソフトウエアの構成				
項 目	頁	適用		
<1>基準ラックの設定	12	0		
<2>ウォーム歯形(1形)	12	0		
<3>ウォーム歯形(3,4形)	12	0		
<4>ホブ設定	12	0		
<5>歯形計算(標準)	13	0		
<6>歯形計算(干渉)	13	0		
<7>歯車寸法	13	0		
<8>歯車かみ合い図(2D-DXF, 3D-DXF)	13	0		
<9>歯形レンダリング(表示)	13	0		
<10>歯形レンダリング(取付け誤差設定)	13	0		
<11>歯形レンダリング(バックラッシ角)	13	0		
<12>歯形データファイル(2D-DXF、3D-DXF)	13	0		
<13>歯形データファイル(3D-IGES)	13	0		
<14>歯車強度計算(金属)	13	0		
<15>歯車強度計算(POM)	13	0		
<16>強度歯車計算(PA)	14	Ô		
<17>歯車精度		0		
<18>2D-FEM 歯形応力解析	14	0		
<19>回転伝達誤差解析	14	0		
<20>すべり速度	14	0		
<21>ヘルツ応力	15	0		
<22>フーリエ解析	15	0		
<23>設計データ管理		0		
<24>歯当たり解析	15	0		
<25>軸荷重	15	0		
<26>軸間距離変動解析	15	0		
○標準ソフトウエアに含む ◎オプション	ソフトウ	エア		

. . .

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17種類あ ります。

3.4 基準ラックの設定

寸法初期設定では、①基準ラックの選択(並歯、低歯、特殊)、 ②ウォーム歯形(1形、3形、4形)③歯形基準(軸直角、歯直角)、 ④ウォームホイールの形状を選択します。図3.2に初期設定画 面を示します。



図3.2 寸法初期設定

3.5 寸法設定

図3.3に寸法諸元の設定画面を示します。のどの丸み半径、 歯先円直径、歯底円直径、中心距離を変更することができます。 また、歯厚減少量と横転位係数の関係は、いずれか一方を入力 することにより決定します。

Σ 寸法諸元				
項目	記号	単位	ウォーム	ウォームホイール
モジュール	mn	mm	2.	00000
圧力角	αn	deg	15.	00000
条数,歯数	Zw,Z2		2	41
基準ビッチ円直径	d	mm	10.0000	89.4693
すすみ角	γ	deg	23 ° 3	4 ' 41.4
転位係数	X2			0.00000
のどの直径	dt	mm		93.4693
歯先円直径	da	mm	14.0000	97.1070
歯底円直径	df	mm	5.0000	84.4693
設計中心距離	a	mm	49.7346	
歯幅	Ь	mm	36.5000	9.7000
ねじれ方向	·		右ね	.Un 💌
歯厚減少量	fn	mm	1.10000	-1.00000
横転位係数	Xh		-0.56940	0.51764
理論ピン径	dp'	mm	3.5710	3.2793
測定ピン径	dp	mm	3.5000	3.5000
歯先R	Ra	mm	0.5000	
	耀定	ļ τ _t γ	비	

図3.3 寸法諸元設定

3.6 工具設定と寸法計算結果

ウォームホイール加工用のホブ諸元を設定します。ホブ取付 角の標準値は、軸方向ピッチを合わせた角度です。ホブの直径 およびホブ取付角によりホイールの歯形は変化します。3形ウ ォームは砥石の直径により変化します。図3.4に工具諸元設定 画面を、図3.5にウォームギヤの寸法を示します。

Σ 工具諸元			X		
項目	記号	単位	数 値		
条数	zwH	T	2		
ビッチ円直径	dH	mm	30.0000		
すすみ角	γH	deg	7.66226		
取り付け角	βH	deg	15.91592		
取り付け中心距離	aH	mm	59.7346		
刃先R	RH	mm	0.2000		
砥石外径	Gd	mm	300.0000		
曜 定 「キャンセル					

図3.4 ホブ諸元設定

Σ 寸法結果				
項目	記号	単位	ウォーム	ウォームホィール
歯末のたけ	ha	mm	2.0000	2.0000
歯元のたけ	hf	mm	2.5000	2.5000
全歯たけ	h	mm	4.5000	4.5000
クリアランス	ck	mm	0.4999	0.4999
基礎円直径	db	mm		85.8746
リード	PZ	mm	13.7110	
ピッチ	РХ	mm	6.8	8555
中心距離	a	mm	49.	7346
直径係数	Q		4.5826	
のど丸み半径	rt	mm		13.0000
歯底幅	Wn	mm	1.8018	
キャリバ歯たけ	hj	mm	2.0395	2.0232
理論弦歯厚	Sjo	mm	3.1416	3.1411
設計弦歯厚	Sj	mm	2.0028	4.1764
三針寸法(ピン~歯先)	dma	mm	12.8644	
三針寸法(ピン〜ピン)	dm	mm	11.7287	
	dmh	mm		97.4491

図3.5 ウォームギヤ寸法

3.7 歯形計算

(1)標準歯形解析

図3.4で与えたホブでホイールの歯形を計算します。

(2) 干涉解析

すすみ角が大きい場合には、ウォームとホブのリードが異な るため歯当りが歯面中央に接触することがありません。干渉解 析は、干渉部分を除去するためのホブ刃形を解析します。詳し くは3.20項をご覧ください。

Σ 曲形 🔳 🗖 🔀
● 뾅準番形
○ 干渉解析歯形
歯形計算 林池
図3.6 歯形計算

3.8 かみ合い図

ウォーム軸方向中心断面の歯形を図3.7に示します。この平 面図で歯形が食い込んでいない場合でも、中心部以外の歯面で 干渉している場合があります。干渉や組み立て誤差による歯当 りは、3.9項の歯形レンダリングで確認することができます。



3.9 歯形レンダリング

図3.7 で干渉がない歯形でも歯形レンダリングでは、図3.8 及び図3.9のようにホイール歯面で大きく干渉をしていること が解ります。図3.10に、歯形レンダリングのコントロールフォ ームを示します。X,Y,Z 軸回転角で観察角度を変更することが でき、Z 軸移動量で図の拡大、縮小が可能です。また、ウォー ムの軸角やウォーム軸位置のずれによるかみ合いを観察するこ とができます。

コントロールフォームの機能1は、①ウォーム軸角調整、② ウォーム軸位置、③中心距離の調整ができ、コントロールフォ ームの機能2は、バックラッシ角度を表示します。





図3.8 歯形レンダリング(左)

図3.9歯形レンダリング(右)



図3.10 コントロールフォーム

3.10 歯形データファイル

ウォームとホイールの歯形データは、図3.11に示す4種類の 歯形 CAD ファイルを出力することができます。図3.12は、ウォ ームホイール歯形の CAD 作図例です。

Σ 歯形ファイル出力 🔀	- ? ほどは見見を見めなうですからかいがい。 #351 #774月8日 * 747月8日 * = #865
 2 Dかみあい図(DXF) 	5 7/488
○ 3 Dかみあい図(DXF)	84.85 2722-1 7 2 80
○ウォーム(IGES)	R : : : : : : : : : : : : : : : : : : :
🔿 ウォームホィール(IGES)	
[保存] <mark>キャン制</mark>	-
図3.11 歯形ファイル	図 3.12 CAD 作図例(IGES)

3.11 強度計算初期設定

ウォームホイールの材料を図 3.13 で選択することができま す。図3.14に金属材料の選択画面を示します。



図3.13 強度初期設定(材料選択)

Σ 金属材料			
ウォームホイール	ウォーム	Sclim	Vlim
りん青銅遠心鋳造品	<u>合金細浸炭焼き入れ</u>	1.55	30.0
	合金細 HB400	1.34	20.0
	合金細 HB250	1.12	10.0
りん青銅チル鋳物	<u>合金輝浸炭焼き入れ</u>	1.27	30.0
	合金輝 HB400	1.05	20.0
	合金輝 HB250	0.88	10.0
りん青銅砂型鋳物	<u>合金縄浸炭焼き入れ</u>	1.05	30.0
または	合金縄 HB400	0.84	20.0
鍛 造 品	合金縄 HB250	0.70	10.0
アルミニウム春銅	<u>合金網浸炭焼き入れ</u>	0.84	20.0
	合金網 HB400	0.67	15.0
	合金網 HB250	0.56	10.0
黄 御 晋連铸鉄	合金編 HB250 鍛 造 品	0.42	5.0
Vlim:焼付限界滑り速加	寛(m/s)	確定	. キャンセル

図 3.14 金属材料の選択

3.12 強度計算

図 3.15 に樹脂(PA)材料の強度設定画面を示します。図 3.16 に樹脂材料、図 3.17 に金属材料の強度計算結果を示します。

∑ 樹脂(PA)強度諸元 🛛 🔀						
項目	記号	単位	ウォーム	功心心		
トルク	T	N•cm 💌	20.000	358.247		
回転数	n	rpm	600.000	29.268		
寿命繰り返し回数	L		1000000			
潤滑状態			グリス			
周囲温度	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			
摩擦係数	μ			0.0500		

図 3.15 樹脂(PA)の強度諸元設定

∑ 樹脂(PA)強度結果						
項目	記号	単位	数 値			
周 速	V	m/s	0.137			
	ηR		0.874			
有効歯幅	bw	mm	9.700			
接線力	Ft	N	80.083			
荷重分配係数	Yε		0.505			
ウォームホイール曲げ強	đ					
弾性率	E	MPa	2095.795			
歯形係数	YF		0.884			
潤滑係数	KL		1.315			
許容曲げ応力	σb	MPa	19.029			
許容接線力	Fa	N	587.459			
曲げ強さ	Sfb		7.336			
ウォームホイールのせん断	強さ					
円弧歯厚	So	mm	4.759			
断面積	A	mm ²	100.977			
許容せん断応力	σs	MPa	11.417			
許容接線力	Fs	N	960.732			
せん断強さ	Sfs		11.997			
ウォームはイールの歯面引	載さ					
ヘルツ応力	σH	MPa	18.498			
許容ヘルツ応力	σHlim	MPa	20.241			
歯面強さ	Sfh		1.197			

図3.16 樹脂(PA)の強度結果

∑ 強度計算結果(強度計算結果(金属)					
項目	記号	単位	数 値			
滑り速度	٧s	m/s	0.571			
効 率	ηR		0.866			
領域係数	Zo		0.792			
滑り速度係数	Kv		0.597			
回転速度係数	Kn		0.635			
呼び接線力	Ft	N	3966.705			
許容接線力	Ftlim	N	1386.360			
歯面強さ	Sfc		0.349			

図3.17 金属の強度結果

3.13 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3.18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 の数値変更をすることができます。図3.19と図3.20にウォー ムとホイールのFEM 解析結果を示します。

Σ FEM 解析諸元						
項目	記号	単位	ウォーム	ウォームホイール		
材料記号			金属	MCナイロン		
縦弾性係数	E	MPa	205800.0	2095.8		
ポアソン比	ν		0.300	0.350		
縦分割数	٧d		12	12		
横分割数	Hd		25	23		
荷重点位置	Pn		2	2		
荷重	Ft	N	80	.083		
色階調数	nc		100			
変位倍率	Sd		100			
	曜 定 キャンセル					





3.14 伝達誤差解析

図3.21 及び図3.22 に伝達誤差解析の設定画面を示します。 ウォームとホイールに、ピッチ誤差、軸の振れを与え、ウォー ムを1回転させたときの回転伝達誤差解析結果を図3.23 に、ワ ウ・フラッタを図3.24 に示します。次に、ホイールを1回転さ せたときの回転伝達誤差解析結果を図3.25 に、ワウ・フラッタ を図3.26 に示します。

2 武范解析諸元			
基準回転 C ウォーム1回	ŧz œ ?	z-6\$(-16	1092
01-4	Ø3~6#{~₩		
輸のる	n	"Un	0.00
軸位置该	化量	<i>µ</i> n	0.00
軸角支	七量	des	0.00000
圧力角:	読差	deg	0.00000
すすみ角	課差	des	0.00000
No. W 操作:"牙 就差 1 S.000 2 0.000	(生) 米 (生) 米 語 生 り 単 整 (川 の)		2 (2) (2) (+) (-)
☑ 伝達誤差解析	□ 軸間距離変動	14	₹ 1 40/46







図 3.22 誤差設定(ホイール)





3.15 周波数解析

ウォームを1回転させたときの周波数解析結果を図3.27 に、 ホイールを1回転させたときの周波数解析結果を図3.28 に示 します。



3.16 ヘルツ応力変化とすべり速度

ウォームを1回転させたとき、歯面に発生するヘルツ応力を 図3.29に、その時のすべり速度グラフを図3.30に示します。 このグラフは、伝達誤差解析後に有効です。



3.17 軸間距離変動

両歯面かみ合い試験機のようにウォームとホイールの歯面を 押しつけ合いながら回転させたときの中心距離変動をシミュレ ーションします。シミュレーション結果を図3.31(円グラフ)お よび図3.32(折れ線グラフ)に示します。



3.18 軸荷重

軸荷重の設定画面を図 3.33 に、計算結果を図 3.34 に示しま



図3.33 軸荷重の設定

3.19 歯当たり解析

ウォームの歯当たり解析例を下記に示します。図3.35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4として図3.3歯車 の歯当たりを解析しています。図3.36は、ウォームとホイール の歯当たりを示しますが、図3.37~3.40に1/4ピッチの歯当り 4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3.8の歯形レンダリングと図3.36の歯当たり紋様が若干異なります。この理由は、本例ではホイールの歯形レンダリングの歯形分割数の2倍(最大5倍可能)の細かさで歯当たり解析をしているためです。



図3.35 歯当たり解析設定



図3.36 歯当たり(ウォーム&ホイール)



図3.36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3.35の[歯当たり数値]で図3.41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1~4)での歯当りを表示します。





3.20 ホブ刃形解析シミュレーションの例¹⁾ 3.20.1 はじめに

ウォームとウォームホイールのかみあい時の歯当たりは、ウ オームの歯形およびウォームホイールを加工するホブの影響を 受け、特にウォームのすすみ角が大きい場合やウォームとホブ の直径差が大きいと歯当たりは大きく偏ることになる。この原 因は、ウォームとホブのリード差が原因であり正しい歯当たり を得るためにはホブの歯形を修正することにより解決すること ができる。以下に、本ソフトウェアを使用して、ウォームギヤ の歯当たりとバックラッシについて検討した結果を示す。

3.20.2 検討歯車

検討歯車の諸元を表 3.2 に示す。ウォームのピッチ円直径 12mmに対し、ウォームホイールを加工するホブ(図 3.42)のピッ チ円直径は36mmのため、軸方向ピッチを合わせるために、ホブ

のセット角は 14.5916(deg) となる。



表 3.2 ウォームギヤ諸元

Item	Symbol	Unit	Worm	Wheel
Worm type			1 ai	nd 4
Module pitch	mn	mm	1.	8
Pressure angle	αn	deg	14	.5
Number of starts	Zw		2	
Number of teeth	Z			40
Pitch circle dia.	d	mm	12.000	75.4765
Lead angle	γ	deg	17.4	4576
Addendum modifi- cation coef.	Xn			0.2
Center distance	a	mm	44.()983
Tooth thinning for backlash	fn	mm	0.871	-0.871

3.20.3 歯形レンダリング

1 形ウォームとウォームホイールの歯形レンダリングを図 3.43 及び図 3.44 に示す。無修整ホブの場合、3 箇所に大きな 干渉が発生しているが、修整ホブを使用した場合は、干渉が無 く歯面中央付近のかみ合いとなる。



3.20.4 ホブの直径とバックラッシの関係

無修整ホブの直径を12mmから100mmまで変化させたときのバ ックラッシ変化量を図3.45に示す。この場合、ホブ直径が18mm で最も多くの干渉が発生し、ホブ直径が大きくなるに従い干渉 量は少なくなる。修整ホブ(図3.47)によるバックラッシ変化量 は、図3.46に示すように大きく改善されほぼ一定となる。



1) MPT2001-Fukuoka、アムテック、2001 より抜粋

[4] involute Σ (Worm and Helical Gear Design)



 $\textcircled{\textbf{2}}$ 4.1 involute Σ (Worm and Helical Gear Design)

4.1 概要

involute Σ (Worm and Helical Gear Design)は、ウォームと ヘリカルギヤの設計ソフトです。

4.2 ソフトウエアの構成

表4.1にソフトウエアの構成を示します。

表4.1 ソフトウエアの構成

項目	頁	適 用
<1>基準ラックの設定	17	0
<2>ウォーム歯形(1形)	17	0
<3>ウォーム歯形(3,4形)	17	0
〈4〉歯車寸法	17	0
<5>歯車かみ合い図	17	0
<6>歯形レンダリング(表示)	18	0
<7>歯形レンダリング(取付け誤差設定)	18	0
<8>ヘリカルギヤの諸元補正	18	0
<9>歯形データファイル(2D-DXF、3D-DXF)	19	0
<10>歯形データファイル(3D-IGES)	19	0
<11>歯車強度計算(POM)	17	0
<12>2D-FEM 歯形応力解析	18	0
<13>回転伝達誤差解析	18	0
<14>フーリエ解析	19	0
<15>すべり速度、ヘルツ応力	19	0
<16>設計データ管理		0
<17>歯形修整	17	0
<18>ポリアミド材料歯車強度	17	0
<19>歯当たり解析	19	0

○標準ソフトウエアに含む ◎オプションソフトウエア

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。

∑ 寸法初期設定				
「基準ラック 〇 並 歯 〇 低 歯 (• 特殊			- part
歯末のたけ係数 hac	1.000	\times mn		_ -#
歯元のたけ係数 hfc	1.250	\times mn	Rc	\ ∳ £
歯元 R係数 Rc	0.300	\times mn	_	- Cha
」 頂げき係数 ckc	0.250	\times mn	基準	ラック いんし
ウォーム歯形	3形 💌	砥石外	*径	100.0000
19加4や歯元接続	フィレット接	德 💌		
│ 横転位係数制限解離	余 曜 定	. την	til,	

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

Σ 寸法結果					
項目	記号	単位	ウォーム	小川井、ヤ	
軸直角モジュール	MX	mm	1	.02062	
軸直角圧力角	αx	deg	15	.2950	
かみ合いた。が円直径	dw	mm	10.0000	31.6392	
基礎鬥直径	db	mm		30.5186	
理論中心距離	80	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	486.9469	
ピッチ	tx	mm	3.2064		
直径係数	Q		9.7980		
キャリパ歯たけ	Hj	mm	1.0025		
理論弦歯厚	Sjo	mm	1.5708		
設計弦歯厚	Sj	mm	1.1567		
またぎ歯数	Zm			3	
理論またぎ歯厚	Wo	mm		7.7818	
設計またぎ歯厚	W	mm		8.1518	
理論三針寸法	dho	mm	12.3953		
設計三針寸法	dh	mm	10.8906		
理論オーバーピン寸法	dmo	mm		33.9277	
設計オーバーピン寸法	dm	mm		34.9609	
正面かみ合い率	εα		1.9365		
軸方向バックラッシ(参考)	BL×	mm	0.03836		

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、ナイロンを 選択することができます。

Σ 強度諸元							
項目	記号	単位	94-6	^リノカルギヤ			
材料			S45C 💌	MCt/D) 💌			
M90比率	·		1.000	M90-44			
駆動歯車			ウォ	GH-25			
トルク	T	N°cm 💌	20.000	MCナイロン			
回車送数	n	rpn	999.998	64.516			
寿命繰り返し回数	L		1000000				
潤滑状態			グリス				
周囲温度	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				
ナイロン応力比率			1.000				
摩擦係数	μ		0.0700				
確定							

図4.7 強度初期設定

∑ 強度計算結果				<u> </u>
項目	記号	単位	<u> </u>	小川キャ
すべり速度	Vs	m/s	0.534	
周 速	V	m/s		0.107
効 率	μ		0	.727
PV値	PV	MPa m/s	47	.939
曲げ強さ項目	記号	単位	94-6	19加卡ヤ
接線力	Fx	N	142	. 477
材料係数	KM		1.000	1.000
歯形係数	YF		0.435	0.729
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	14	.461
許容曲げ応力	σblim	MPa	196.000	19.029
最大許容曲げ応力	σ	MPa	163.333	17.306
許容円周力	Fa	N	1027.373	152.134
曲げ応力	σb	MPa	22.651	13.506
曲げ強さ	Sft		7.211	1.068
歯面強さ項目	記号	単位	94-6	(リ加キ*ヤ
許容ヘルツ応力	σHlim	MPa	490.500	30.194
弾性率	E	MPa	205940.000	2095.795
許容円周力	Fh	N	4259.529	16.141
ヘルツ応力	σH	MPa	89.708	89.708
歯面強さ	Sfh		29.896	0.113
せん断強さ項目	記号	単位	97-6	^り加キ*ヤ
円弧歯厚	So	mm		1.941
断面積	A	mm ²		21.649
許容せん断応力	σSlim	MPa		11.417
許容円周力	Fs	N		205.979
せん断応力	σS	MPa		7.897
せん断強さ	Sfs			1.446

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歯先当りを生ずる場 合があります。



図4.9 y=11.5 の歯当たり 図4.10 y=16.5 の歯当たり

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°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 β=17.5°の歯当たり

Σ ヘリカルキヤ修整諸元					
項目	記号	単位	数 値		
圧力角	αH	deg	20.00000		
ねじれ角	β	deg	17°30′0.00″		
羅 定 <mark>井り切</mark>					
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。

Σ FEM 解析諸元							
項目	記号	単位	ウォーム	小川非ヤ			
材料記号			S45C	MCナイロン			
縦弾性係数	E	MPa	205940.0	2095.8			
ポアソン比	ν		0.300	0.350			
縦分割数	Vd		10	10			
横分割数	Hd		23	27			
荷重点位置	Pn		2	2			
荷重	Ft	N	142	. 477			
色階調数	nc		100				
変位倍率	Sd 100						
	[曜定!	キンセル				

図 4.13 FEM 設定



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。





4.12 軸荷重

軸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 軸荷重の設定

図 4.24 計算結果

142 47

39 549

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下記に示します。 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 ムとヘリカルギヤ歯当たりを示しますが、図4.27~4.29に1/3 ピッチの歯当り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倍可能)の細かさで歯当たり解析をしている ためです。

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1~3)での歯当りを表示します。

Σ 音当り解析							
項目	記号	単位	€≓°∥				
ヘリカル回転角度	θr	deg	0.0000				
ヘリカル操作角度	θs	deg	0.0000				
ウォーム角度誤差X	Δ¢×	deg	0.0000				
ウォーム角度誤差Y	Δ¢y	deg	0.0000				
ウォーム角度誤差Z	Δ¢z	deg	0.0000				
ウォーム取り付け誤差X	ΔΧ	mm	0.0000				
ウォーム取り付け誤差Y	ΔΥ	mm	0.0000				
ウォーム取り付け誤差Z	ΔZ	mm	0.0000				
ウォーム座標細分割数			0				
小加座標細分割数			1				
食い込み限界距離		μm	100				
回転位置分割数			3				
ヘリカル圧力角補正	Δα	deg	0.0000				
ヘリカルねじれ角補正	Δβ	deg	0.0000				
設定値確認モデル解析 歯当り表示 歯当り数値							
● 1ビッチ歯当り(複数の回転位置で計算)							
○ 固定位置歯当り(回転	○固定位置歯当り(回転角度 θ r位置のみで計算)						
色分布最大距離	·	μm	100				



図4.25 歯当たり解析設定









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 ファイルを出力します。 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。

[5] Planetary Gear Design System



🗵 **5**.1 Planet AGITΩ

5.1 概要

遊星歯車設計支援ソフトウエアPlanet AGITΩは、遊星歯車を 簡単に設計できるソフトウエアです。歯数の設定、トルク配分を 自動決定し、歯車寸法および歯車強度を簡単に設計する事ができ ます。遊星歯車の干渉チェック及び最適モジュールの決定、転位 係数の決定等、面倒な内容も簡単に計算する事ができます。また、 かみあい時におけるすべり率およびヘルツ応力の変化もグラフ で評価する事ができます。図5.1に計算結果画面を示します。

5.2 適用

(1)型 式:単列、等配置型

(2) 歯車材料:金属、樹脂

(3) 歯車歯形:インボリュート歯形

上記、遊星歯車装置の歯車寸法、歯車強度、歯車歯形の設計に 適用します。

5.3 初期設定

初期設定で、歯先円直径の決定方式、基準ラック、大きさの設計基準、転位係数と中心距離の関係、歯車精度、摩擦係数を設定します。図5.2に寸法初期設定の画面を示します。

5.4 遊星歯車機構の選択

遊星歯車のタイプの選択(プラネタリー型、ソーラー型、ス ター型)の減増速を含む6種類から選択します。図5.3に選択 画面を示します。





図 5.2 寸法初期設定画面

5.5 遊星諸元入力

遊星歯車諸元入力画面を図5.4に示します。設計条件の概要 を下記に示します。

- (1) 星歯車の個数は、2~10です。
- (2) 減速比、星歯車の個数および太陽、星、内歯車のいずれか の歯数を設定すると減速比等配条件を満たす歯数を自動計算 します。
- (3) 効率は、初期設定画面で設定した摩擦係数より決定します。
- (4) 中心距離よりモジュールの算出、またはモジュールより中 心距離の算出をします。
- (5) 転位係数の算出は、モジュールと中心距離の関係および歯 数より計算します。
- (6) 法線歯厚減少量の入力。(デフォルト値としてJISバックラ ッシ標準中間値の1/2を表示します。)
- (7) 歯先円直径は寸法初期設定で設定した基準ラックの歯たけで歯先円直径を表示しますが、変更が可能です。
- (8) 歯先Rを考慮したかみあい率を計算します。
- (9) 遊星歯車と内歯車の干渉(3種類) チェックとトップクリア ランスを計算します。(図5.5)





図 5.5 干渉表示画面

図 5.4 遊星歯車諸元入力画面

5.6 歯車寸法

歯車に関する寸法値(かみあい圧力角、かみあい率、すべり 率、またぎ歯厚、オーバーピン寸法、トータルバックラッシ等) を計算します。計算結果画面を図5.6に示します。

5.7 歯形作図

図5.7に示すよう に、正面かみあい図 を作図することがで きます。図5.8に部 分拡大図を示します。 歯形図は、インボリ ュート、トロコイド 曲線共、理論歯形で 作図します。遊星歯 車の数は 10 個まで 設定することができ ます。



図 5.6 寸法計算結果



5.8 強度計算初期設定

- (1) 強度計算の初期設定画面を図5.9 に示します。
- (2)金属材料、樹脂材料を選択する事ができます。
- (3) [参照]で材料表が表示され、表中からσ_{Flim}、σ_{Hlim}を選択することができます。また、任意数値を入力することができます。図 5.10に材料選択画面を示します。
- (4) トルク単位:N·m、N·cm、kgf·m、kgf·cm、gf·cm



図 5.9 強度初期設定



図 5.10 材料選択

5.9 強度諸元入力

図5.3 で選択した遊星歯車機構の種類に従ってトルクを設定 します。例題の場合、SUN GEAR が入力歯車となります。強度諸 元の設定画面を図5.11 に示します。

★ 強度諸元						
項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR	
SUN入力トルク	T	N•m	10.0000	49.6405	39.7124	
SUN入力回転数	n	rpm	500.0000	100.0000	0.0000	
寿命繰り返し回数	L			10000000		
周 速	٧	m/s	0.5027	-0.4021	0.0000	
潤滑方法				グリス	-	
温度	t	°C		60.0000		
過負荷係数	Ko		1.0000 1.0000 1.00			
歯元曲げ安全率	SF			1.2000		
歯面損傷安全率	SH			1.1500		
軸受け支持方法				両軸受けに対称	•	
歯車回転方向				正転のみ	-	
歯形修整			無 し	-	無し 🗾	
歯面粗さ	Rmax	μm	6.0000	6.0000	6.0000	
負荷時歯当り状況				良好	-	
潤滑油係数	ZL		1.0000	1.0000	1.0000	
荷重分配率	Tf			1.0000		
	麗 定门 牛沙地					

図5.11 強度諸元の入力

5.10 強度計算結果

(1)図5.12に強度計算結果を示します。(曲げ、歯面強さ)
(2)遊星歯車タイプによる効率を考慮した強度計算をします。
(3)金属歯車: JGMA401-01,402-01に基づき強度計算をします。
(4)樹脂材料の応力値は、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。

🖈 遊星歯車強度 🔀						
項目(曲げ強さ)	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR	
許容曲げ応力	σFlin	MPa	225.5000	225.5000	211.0000	
曲げ有効歯幅	b'	mm	10.0000	10.0000	10.0000	
歯形係数	YF		2.7890	2.5727	2.0650	
荷重分布係数	Yε		0.6925	0.6925	0.5837	
ねじれ角係数	Yβ		0.8333	0.8333	0.8333	
寿命係数	KL		1.0000	1.0000	1.0000	
寸法係数	KFx		1.0000	1.0000	1.0000	
動荷重係数	Kv		1.0000	1.0000	1.0000	
速度補正係数	KVo					
温度係数	KT					
潮滑係数	KLo					
材質係数	KM					
呼び円周力	Ft	N	347.2222	344.7254	344.7254	
許容円周力	Ftlin	N	1167.4887	1265.6374	1750.6465	
曲げ強さ	Sft		3.3624	3.6714	5.0784	
歯元曲げ応力	σF	MPa	67.0658	61.4201	41.5487	
項目(歯面強さ)	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR	
許容ヘルツ応力	σHlin	MPa	941.5000	941.5000	539.5000	
歯面有効歯幅	bw	mm	10.0000	10.0000	10.0000	
領域係数	ZH		2.3505	2.3505	2.3505	
材料定数係数	ZM		60.6088	60.6088	60.6088	
かみあい車係数	Zε		0.8322	0.8322	0.7640	
寿命係数	KHL		1.0000	1.0000	1.0000	
粗さ係数	ZR		0.9152	0.9152	0.8341	
撒骨速度係数	ZV		0.9368	0.9322	0.8940	
硬さ比係数	ZW		1.0000	1.0000	1.0000	
荷重分布係数	KH /3		1.0000	1.0000	1.0000	
動荷重係数	Kv		1.0000	1.0000	1.0000	
弹性係数	E					
呼び円周力	Fc	N	348.0343	345.5316	345.5317	
許容円周力	Felin	N	410.7861	610.1816	1291.5126	
ち紙面曲	sfc		1.1803	1.7659	3.7378	
ヘルツ応力	σH	MPa	866.6095	708.4916	279.0526	

図 5.12 強度計算結果

5.11 すべり率とヘルツ応力グラフ

すべり率グラフ(太陽×星)を図 5.13 に、ヘルツ応力の変化 グラフ(太陽×星)を図 5.14 に示します。





5.12 歯形レンダリング

図 5.15 に歯形レンダ リングを示します。歯形 図は X, Y, Z 軸の観察角度 を変更することができ、 図の拡大縮小ができます のでかみあい時の接触線 を観察することができま す。また、回転速度を変 更することができます。



図5.15 歯形レンダリング

5.13 その他

(1)遊星歯車の歯形を DXF ファイル(2D, 3D)に出力することができます。
(2)寸法計算結果、強度計算結果、かみあい図、すべり率グラフ、ヘルツ応力変化グラフを印刷します。

(3)設計データを、保存(読込)します。

[6] Hob Erase



🗵 6.1 Hob Erase

6.1 概要

歯車電極用エンドミル歯形解析ソフトウエア Hob Erase(ホブ イレーズ)は、収縮率、放電ギャップ、圧力角補正、ねじれ角補 正を考慮し切削時の包絡線軌跡を解析したエンドミル歯形座標 値を決定するソフトウエアです。図6.1に、全体画面を示しま す。

エンドミル歯形は、歯車の歯直角断面歯形ではなく切削時の 包絡線軌跡を解析し座標値を決定しています。平歯車の場合は、 歯車歯形とエンドミル歯形は一致しますが、はすば歯車の場合 は歯数が少ない程、また、ねじれ角が大きいほどエンドミル歯 形と歯車歯形の差は大きくなります。歯車のインボリュート面 は歯形解析により決定し、歯底付近のフィレットカーブは創成 運動に基づいて決定していますので完全な理論歯形となります。

Hob Erase は、インボリュート平、はすば歯車(外歯車)に適 用します。

6.2 初期設定

初期設定では、①モジュール収縮率、②圧力角補正率、③ね じれ角補正率、④放電ギャップ、⑤歯元R係数を設定します。 収縮率を考慮したモジュールを入力する場合は、収縮率に0を 入力します。

6.3 入力項目

歯車諸元の入力は、①モジュール、②歯数、③圧力角、④ね じれ角、⑤転位係数、⑥歯先円直径、⑦歯底円直径、⑧歯厚減 少量を入力します。

6.4 出力項目

- (1)エンドミル歯形を画面作図します。
- (2)エンドミル歯形座標値を表示します。(円弧補間座標値)(3) 歯形 DXF ファイルを出力します。
- 理論座標値を0.5µmの精度で円弧補間データに変換します。 (4)諸元を印刷します。
- (5)歯形図を印刷します。
- (6) 設計データの登録(読込み)をします。

6.5 エンドミル加工による歯形試験結果例

図6.2の歯形試験結果1は、収縮率=2%、圧力角補正=0、ねじ れ角補正=0としてエンドミルの刃形をHob Eraseで求め製作し た歯車の検査結果を示します。図6.3の歯形試験結果2は、相 当平歯車歯形をエンドミルの刃形として製作した歯車の検査結 果を示します。



[7] 有理数分解ソフトウエア(差動替え歯車)

図7.1 有理数分解ソフトウエア

7.1 概要

- (1) 有理数分解ソフトウエアは、小数点数値を2種類の分数に 分解するソフトウエアです。
- (2)分数に分解する数値は、小数点数値を直接入力する方法と ホブ盤を登録(名称、定数、歯数最大、歯数最小)し、モジュ ール、ねじれ角を入力して計算する2種類の方法があります。
- (3)分解精度は、小数点以下6桁~9桁の範囲で組み合わせを選 択することができます。
- (4) 減速歯車の歯数決定にも使用することができます。

[8] 歯厚変換&転位係数ソフトウエア



図8.1 歯厚変換&転位係数

8.1 概要

歯厚変換&転位係数ソフトウエア(図 8.1)は、歯厚と転位係 数の関係を計算するソフトウエアです。

- (1) 歯車の種類:インボリュート歯車(外歯車、内歯車)
- (2)使用するピン(ボール)を歯形上に作図しますのでスプライ ンなどの歯たけが低い歯形には、Dカットピンの使用限界を 知ることができます。
- (3)またぎ歯厚、オーバーピン寸法、弦歯厚の変化量の関係を計 算します。

8.2 初期設定

初期設定では、歯車の種類(外歯車または内歯車)を選択し、 歯厚基準を選択します。歯厚を決定する方法は、

①転位係数②またぎ歯厚③オーバーピン寸法④円弧歯厚の4種類があります。図8.2に初期設定画面を示します。



図 8.2 初期設定

8.3 歯車諸元入力

モジュール、歯数、圧力角、ねじれ角を入力します。歯先円 直径、歯底円直径の変更が可能です。図8.3に歯車諸元の入力 画面を示します。例題の歯車は、オーバーピン寸法を基準とし ています。

किं के						
項目	記号	単位	数 値			
モジュール	mn	mm	3.00000			
歯数	Z		20			
圧力角	an	deg	20.00000			
ねじれ角	β	deg	15 30 0			
基準比。可用直径	d	mm	62.2645			
転位係数	xn		0.00000			
またぎ歯数	ZM		3			
またぎ歯厚	W	mm	23.07496			
測定L®ン径	dp	mm	5.0000			
オーバーヒッフィー転位の	条数 0.00	000 ØB	寺の測定ビッ径は、5.1			
歯直角円弧歯厚	Sn	mm	4.71239			
弦歯厚	Sj	mm	4.7085			
キャリパ。歯たけ	hj	mm	3.4870			
歯先円直径	da	mm	69.0730			
歯底円直径	df	mm	55.5730			
基礎円直径	db	mm	58.2481			
歯先円筒ねじれ角	βa	deg	17 6 2 "			
歯末のたけ係数	hac		1.1347			
歯元のたけ係数	hfc		1.1153			
1	催 定	专动]			
図 8.	3 歯	車諸 元	入力			

8.4 歯厚変化量の変換

またぎ歯厚、オーバーピン寸法、弦歯厚変化量のうちいずれ か1種類を入力することにより他の2種類の歯厚変化量を表 示します。図8.4に三種類の歯厚の関係を示します。

🗑 歯厚変化				×
項目	記号	数値(下限)	記号	数値(上限)
またぎ歯厚変化量	811	0.10000	δ₩2	0.20000
設計またぎ歯厚	WL	23.17496	WH	23.27496
オーバーヒッン変化量	∂dm1	0.25054	$\delta \mathrm{dm}2$	0.49650
設計オーバーピン	dmL	69.06207	dmH	69.30803
弦歯厚変化量	∂Sj1	0.11012	∂Sj2	0.22027
設計弦歯厚	SjL	4.81862	SjH	4.92877

図8.4 歯厚変化量の変換

8.5 歯形に対するピンの位置

オーバーピン(ボール)で歯厚を測定する際、低歯などでは歯 底にピンが接触する場合があります。この機能により事前に歯 形に対するピンの位置を確認することができます。図8.5に直 径の大きなピンを使用した例を、図8.6に内歯車の例を示しま す。



[9] 楕円系歯車



🗵 9.1 Eliptical Gear Design System

9.1 概要

楕円系歯車設計システム(Eliptical Gear Design System)は、 旧来の内容を一新しました。旧カタログ(VOL.10、18頁)の楕円系 歯車は販売中止とさせていただきます。

新しい楕円系歯車ソフトウエアは、図9.1に示しますように同 葉数だけでなく異葉数の設計も可能です。

非円形歯車はカムに比較して滑りが少なく、リンク機構に比 較してコンパクトな設計ができます。また、確実に荷重を伝達 することができるなど非常に有利な特徴を有しています。

9.2 諸元入力画面

諸元入力画面を図9.2 に示します。例題の場合、ピニオンの 葉数を2、ギヤの葉数を3としていますが、葉数は、1~10の範 囲で設定することができます。

🔺 諸元				X	
基準ラック	記号	単位	ピニオン	ギヤ	
歯末のたけ係数	hac		0.800	0.800	
歯元のたけ係数	hfc		1.000	1.000	
歯元R係数	Rc		0.300	0.300	
圧力角	αn	deg	20.00000		
歯車	記号	単位	ピニオン	ギヤ	
棄 数	Z1		2	3	
基準長直径	A	mm	20.0000	26.3626	
基準短直径	В	mm	9.0000	15.3626	
歯数	Z2	·	22	33	
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0000	0.0000	
歯幅	Ь	mm	7.0000	7.0000	
麗定					



9.3 寸法結果

図9.3に楕円系歯車の寸法結果を示します。

📕 寸法					
項目	記号	単位	ビニオン	ギヤ	
モジュール	mn	mm	0.70208		
最大歯先円直径	daMax	mm	21.1233	27.4860	
最小歯底円直径	dfMin	mm	7.5958	13.9585	
基準円直径	d	mm	14.5000	20.8626	
中心距離	a	mm	17.6813		
クリアランス	ck	mm	0.1404	0.1404	
トータルハジックラッシ	BL	mm	0.0000		

図9.3 楕円系歯車の寸法

9.4 楕円系歯車の基準線

図9.4に楕円系歯車の基準線を示します。



9.5 変位曲線グラフ

角度変位、角速度変位、角加速度変位グラフを図9.5~図9.7 に示します。このグラフの角度カーソルと図9.10及び図9.11 の歯形軌跡図のピニオン回転角と連動しています。



9.6 歯形創成図

図9.8及び図9.9に歯形創成図を示します。



9.7 歯形軌跡図

図 9.10 に歯形軌跡図を、図 9.11 に、歯形かみあい部の拡大 図を示します。



9.8 歯形レンダリング

楕円系歯車の歯形レンダリングを図9.12に示します。コント ロールフォームにより視点や回転角を変更することができます。



図 9.12 歯形レンダリング

9.9 歯形ファイル

楕円系歯車の歯形を DXF ファイルで出力することができます。 図 9.13 に DXF ファイル出力フォームを示します。



図 9.13 DXF ファイル出力フォーム

9.10 作図例



[10] Worm Bite2(ウォームバイト刃形解析ソフトウェア)



🗵 10.1 Worm Bite2

10.1 概要

ウォームの歯切り加工は、図 10.2 のようにフライスカッタ (または砥石) で加工する3形歯形が一般的ですが、小形のウ オームや電極に使用されるウォームはバイトで切削されてい ます。加工方法として図 10.3 のようにバイトを軸方向に対し 平行に取り付けて切削すればウォームの軸方向歯形は直線と なります。しかし進み角が大きくなると一方の刃のすくい角が 負となり反対側では逃げ角を大きくとらなければならないた め切削が困難となります。このような場合には図 10.4 のよう にバイトをねじ面に対し直角に取り付けて切削する事になり ます。

図 10.4 のようにバイトを歯直角に取り付けてウォームを切 削すると切削後のウォーム軸方向歯形は、直線とはなりません。 Worm Bite2 は、切削後のウォーム軸方向歯形が直線となるよ うにバイトの形状を解析するソフトウエアです。







図10.23形ウォーム

図10.31形ウォーム

図10.42形ウォーム

[11] Gear Navigation System 11.1 概要

Gear navigation system は、ホブ、ピニオンカッタ、シェー ビングカッタ、ホーニングの各工具による歯車加工形状解析と、 そのかみ合いのシミュレーションをすることができるソフトウ エアです。また、データベースによる工具管理機能を有し、条 件に見合う工具を共用計算することにより検索することができ ます。

歯車加工シミュレーションは、歯面、歯元、歯先、面取り形 状と各数値の計算、特にホーニングでは、歯形修整、歯すじ修 整、歯面修整後の形状を計算しグラフ表示します。更に、かみ 合いシミュレーションでは、加工後の歯形をかみ合わせて歯当 たりを観察することができます。図 11.1 に Gear navigation systemの画面の様子を示します。



図11.1 Gear navigation system 画面

11.2 適用歯車

- •インボリュート平、はすば歯車
- 外歯車、内歯車

11.3 適用工具

3.1 ホブ

標準、セミトッピング、プロチュバランス、プロチュバラン スセミトッピング、転位ホブ、刃先修整ホブ

(セミトッピングホブは刃底のR面およびC面が可能) 3.2 ピニオンカッタ

標準、セミトッピング、プロチュバランス、プロチュバラン スセミトッピング(セミトッピングは刃底R面、C面が可能) ピニオンカッタは、外歯車と内歯車に適用します。

- 3.3 シェービングカッタ
- 3.4 ホーニング

ドレスギヤには、歯形修整、歯すじ修整および歯面修整の設 定が可能です。また被削歯車と諸元の異なるドレスギヤを設 定することも可能です。

11.4 歯車諸元設定

被削歯車の諸元設定を図11.2に示します。ここではホブ加工、 シェービング加工、ホーニング加工を1回づつ行うものとして ドレスギヤに歯面修整(バイアス)を与えた場合のシミュレーション例を下記に示します。

😸 歯車諸元 📃 🗖 🗙								
歯車の種類			外歯車 💌					
項目	記号	単位	数 値					
モジュール	mn mm 2.50000							
歯 数	Z	Z 20						
圧力角	an	an des 20.00000 *						
ねじれ角	β	deg	20 0 0.0					
ねじれ方向			右ねじれ 💌					
転位係数	xn		0.00000					
歯先円直径	da	mm 58.2089						
歯底円直径	df	df mm 46.9589						
歯 幅	b mm 30.0000							
基準ピッチ円直径	d	mm	53.2089					
基礎円直径	db	mm	49.6170					
基礎円筒ねじれ角	βb	deg	18 44 50.1					
確 定 <mark>キャンセル</mark> クリア								
図1	図 11.2 歯車諸元設定							

👹 ホブカッタ語	元[1]						
種類	標業	隼	💌 🗖 転位ホブ				
項目	記号	単位	数 値				
モジュール	mn	mm	2.50000				
圧力角	an	deg	20.00000 *				
刃末のたけ	ha	mm	8.1250				
刃元のたけ	hf	mm	3.1250				
刃厚	S	mm	3.9270				
刃先R	r	mm	0.9375				
すすみ角	Υ	deg	5 0 0 0				
ねじれ方向			右ねじれ 💌				
溝数	N		12				
条数	Zw		1				
工具デーダ	工具データ管理番号						
工具データ備考	工具データ備考(対称品番)						
[確定] <mark>キャンセル クリア</mark> □ 修整 参考図 刃形図 検索 登録							

11.5 工具諸元設定

図 11.3 標準ホブ

11.5.1 ホブ諸元設定

各種ホブの設定項目を図 11.3~11.6 に示します。ホブ諸元は、 最大3工程まで設定することが可能です。入力したホブ数値の 実刃形形状を[刃形図]で作図することができます。ここでは図 11.6 のホブを使用してシミュレーションをします。



図 11.6 プロチュバランスセミトッピングホブ

11.5.2 ピニオンカッタ諸元設定

各種ピニオンカッタの設定項目を図 11.7~11.10 に示します。 ピニオンカッタ諸元は、最大3工程まで設定することができま す。ホブと同様に入力した数値の実刃形形状を[**刃形図**]で作図 することができます。

🔒 ビニオンカッタ諸元 [1] 💦 📃 🗖 🔀									
種類			標 準						
項目	記号	単位	數 値						
刃 数	Zc		69						
刃先円直径	da	mm	189.8207						
基準比。近円直径	d	1 mm 183.5707							
刃底円直径	df	if mm 141.8565							
刃厚入力方式		キャリバ刃厚							
キャリバ刃たけ	hj	mm 3.1436							
キャリバ刃厚	sj	mm 3.9268							
またぎ刃数	ZM		10						
またぎ刃厚	1	mm	72.9974						
刃先R	r mm 0.9375								
工具データ管	理番号								
工具データ備考(対称品								
確定 =	確 定 1401 クリア 参考図 刃形図								
			検索 登録						

		18.	<u></u> 98
図 11.7	標準ピ	ニオンカッ	9

😂 ピニオンカッタ	諸元 [1							
種類		プロ・	チュバランス 💌					
項目	記号	単位	数 値					
刃 数	Zc		69					
刃先円直径	da	mm	189.8207					
基準1°。,7円直径	d	mm	183.5707					
刃底円直径	df	df mm 141.8565						
刃厚入力方式		キャリパ刃厚 💌						
キャリパ刃たけ	hj	hj mm 3.1436						
キャリパ刃厚	sj	sj mm 3.9268						
またぎ刃数	ZM	zm 10						
またぎ刃厚	W	W mm 72.9974						
刃先R	r	mm	0.9375					
刃先逃げ量	E	mm	0.0250					
工具データ管	理番号							
工具データ備考(対称品	番)						
確定 特別 クリア 参考図 刃形図								
使索 登録								
図 11.9 プロチュバランスピニオン								

🔒 ピニオンカッタ	諸元 [1]						
種類		セミ	トッピング 📃					
項目	記号	計 単位 数 値						
刃 数	Zc		69					
刃先円直径	da	-	189.8207					
基準比。,开门直径	d	mm	183.5707					
刃底円入力方式			面取り高さから決定 💌					
刃底円直径	df	mm	176.9405					
刃厚入力方式			キャリバ刃厚 💌					
キャリパ刃たけ	hj	mm	3.1436					
キャリバ刃厚	sj	3.9268						
またぎ刃数	ZM	10						
またぎ刃厚	N.	mm	72.9974					
刃先R	r	-	0.9375					
面取り高さ	hc	-	5.3750					
面取り刃厚	SC	-	2.6631					
面取り角	θ	deg	45 0 0 "					
工具データ管	理番号							
工具データ備考(対称品	률)						
曜定中	e) till	クリア	7 参考図 刃形図					

図 11.8 セミトッヒ ング ヒ ニオンカッタ

🔒 ピニオンカッタ諸元 [1] 📃 🗖 🔀								
種類		7°07ച	ነ ትንአቲዩ ሎታ የንሳ					
項目	記号	単位 数値						
刃 数	Zc		69					
刃先円直径	da	mm	189.8207					
基準比。可用直径	d	mm	183.5707					
刃底円入力方式		·	面取り高さから決定 💌					
刃底円直径	df	mm	176.9405					
刃厚入力方式		·	キャリバ刃厚 💌					
キャリパ刃たけ	hj	mm	3.1436					
キャリバ刃厚	sj	mm	3.9268					
またぎ刃数	ZM		10					
またぎ刃厚	W	mm	72.9974					
刃先R	r	mm	0.9375					
面取り高さ	hc	mm	5.3750					
面取り刃厚	SC	mm	2.6631					
面取り角	θ	deg	45 * 0 ' 0 *					
刃先逃げ量	E	mm	0.0250					
工具デーク管	理番号							
工具データ備考(工具データ備考(対称品番)							
確定中	e)tili	クリア	7 参考図 刃形図					
			検索登録					
図 11.10 プ ロチュハ ランスセミ								

トッピングビ ニオンカッタ

図 11.9 プ ロチュハ ランスヒ ニオン カッタ

11.5.3 シェービングカッタ諸元設定

シェービングカッタ諸元設定例を図11.11に示します。

🦉 シェービングカッ							
項目	記号	単位	数 値				
刃 数	Z		69				
ねじれ角	β	deg	10 ° 0 ' 0 ″				
ねじれ方向		·	左ねじれ 💌				
基準ビッチ円直径	d	mm	175.1611				
刃先円直径	da	mm	180.1611				
刃たけ入力方式			任意入力 💌				
有効刃たけ	he	mm	5.6250				
基礎円直径	db	mm	164.2991				
またぎ刃数	Zm 8						
またぎ刃厚	W	mm	57.8763				
刃幅	b	mm	30.0000				
セット角	-10.00432						
工具データ管理							
工具データ備考(対	工具データ備考(対称品番)						
確定林训	検索登録						

図11.11 シェービングカッタ諸元

11.5.4 ホーニング諸元設定

ホーニング諸元設定は、ドレスギヤ諸元、ホーニング砥石諸 元をそれぞれ設定します。ホーニングは、2工程まで設定する ことができます。ドレスギヤ諸元項目を図 11.12、ドレスギヤ の歯面修整設定を図 11.13、ドレスギヤ修整トポグラフを図 11.14、ホーニング砥石諸元項目を図 11.15 に示します。

◎ ドレスギヤ諸元	[1]							
計算方法	A:N'I	スキッヤー	→砥石→歯車 📃					
項目	記号	単位	数 値					
歯 数	Z		20					
ねじれ角	β	deg	20 * 0 * 0.0 *					
ねじれ方向			右ねじれ 💌					
基準ビッチ円直径	d	mm	58.2089					
基礎円直径	db	mm	49.6170					
歯先円直径	da	mm	59.4589					
歯底円直径	df	mm	45.7089					
歯厚入力方式	[[]	またぎ歯厚 💌					
またぎ歯数	Zm		3					
またぎ歯厚	W	mm	19.32000					
測定ビン径	dp	mm	4.2800					
オーバービン寸法	dm	mm	59.15220					
歯幅	b	mm	30.0000					
ドレスリング外径	dD	mm	59.4589					
耀定	物池	•	797 🗆 修整					

図 11.12 ドレスギヤ諸元







図 11.15 ホーニング砥石

11.6 歯車仕上歯厚設定

各工具での歯車仕上歯厚は、またぎ歯厚、ピン寸法、円弧歯 厚での設定が可能です。図11.16に歯車仕上歯厚設定画面を示 します。本例ではホブ加工、シェービング加工、ホーニング加 工を1回づつ行います。ホブでまたぎ歯厚W₁=19.350mmの粗加工 を行い、最終のホーニング加工でW₃=19.287mmに仕上げる手順を 示しています。

🡼 歯車仕上歯厚					
項目	記号	単位	わごかり [1]	ジェーヒ゛ンク゛カッタ	ホーニング かっタ [1]
歯厚入力方式			# # # # xnc=0.03693	またぎ歯厚 👤	またぎ歯厚 👤
またぎ歯数	Zm		3	3	3
またぎ歯厚	W	mm	19.35000	19.32000	19.28684
測定ピン径	dp	mm	4.2800	4.2800	4.2800
オーバーセッフ寸法	dm	mm	59.22616	59.15220	59.06992
歯直角円弧歯厚	Sn	mm	3.99421	3.96228	3.92699
またぎ歯厚変化量	δ₩	mm		-0.0300	-0.0332
オーバーピン変化量	∂dm	mm		-0.0740	-0.0823

図 11.16 歯車仕上歯厚設定

11.7 歯車歯形

諸元と加工条件を設定する と、歯車形状を表示します。 歯形図では、各工具で加工し た歯形形状の重ね合わせや直 径、距離の計測、加工後の歯 形などを容易に確認すること ができます。図11.17 に歯形 選択画面を、図11.18~11.25 に解析後の歯形を示します。



図 11.17 歯形選択



11.8 加工数值

各工具での加工数値を図 11.26~11.29 に示します。これらの 表で面取り長さ、歯面直径、歯車体積、各直径などの詳細数値 を確認することができます。

🎟 加工数值表				Ì	田 加工数值表			×
工具の種類	1	ブカッタ	[1] 💌 📖		工具の種類	t°:	わかり	[1] -
項目	記号	単位	数 値		176 18	파문	甾位	對值
半径方向面取り長さ	hp	mm	0.2609				+12	8X 1E
円周方向面取り長さ	hk	mm	0.1660		手住方回面取り長さ	NP	mm	0.2717
面取り開始直径	dh	mm	57.6870		円周方向面取り長さ	hk	mm	0.2039
歯先幅	Sc	mm	1.6750		面取り開始直径	dh	mm	57.6654
歯面開始径	fd	mm	50.7979		歯先幅	Sc	mm	1.5210
作用線長さ(dh~fd)	RL	mm	9.2689		歯面開始径	fd	mm	49.9978
有効歯たけ	he	mm	3.4446		作用線長さ(dh~fd)	RL	mm	11.6128
歯車体積	V	mm3	6.610E+4		有効歯たけ	he	mm	3.8338
歯先円直径	da	mm	58.2089		売車休穂	V	2	C 505514
歯底円直径	df	mm	47.1436					0.000214
切り込み深さ	h	mm	5.5327		歯先円直径	da	mm	58.2089
ホブセット角	βs	deg	-15.0000		歯底円直径	df	mm	46.9589
齿面多角形誤差	Δe	mm	0.0014		切り込み深さ	h	mm	5.6250
図 11.26	ホフ	"加	工数値	-	図 11. 27 ピ	ニオン	カッタ力	叩工数値

図11.26 ホブ加工数値

工具の種類	Ŷx	-ヒミンクジ	<u>አ</u> -ን 🗾	_			_
項目	記号	単位	数值	🎟 加工数值表			
半径方向面取り長さ	hp	inin 🗌	0.2321	工具の種類	- #~1	ングあら	[1] 🔻 📙
円周方向面取り長さ	hk	mm	0.1474	項目	記号	単位	数 値
面职り開始直径	dh	mn	57.7446	半径方向面取り長さ	hp	mm	0.1926
西九幅	Sc	mm	I.6750	円周方向面取り長さ	bk	mm	0.1269
国国開始1± 作用線長さ(db~fd)	RI	100	9 7534	而取旧融合径	db	mm	57,8238
有効歯たけ	he	-	3.5617	齿状与病的色性	Sc	000	1 6750
歯車体積	V	mm3	6.603E+4	赤面閉筋径	fd	1000	50 2604
かみ合い中心距離	a	mm	114.2333				10 0000
加工最小直径	TC	mm	50.6212				0.3013
刃先と歯車歯底の隙間	C	mm	0.5810	有効面だけ	ne	mm	3.7817
歯直角かみあい圧力角	anc	deg	20.0631	歯車体積	I V	mm3	6.593E+4
かみ合い率	ε	「	1.6896	加工最小直径	TC	mm	50.2600

11.9 歯形誤差グラフ

加工後の歯形形状を示す歯形誤差グラフを図11.30に示しま す。特に、被削歯車と異なる諸元のドレスギヤや、バイアス修 整等の複雑な修整を施したドレスギヤを使用した場合、正確に 歯形が加工されるか否かの判断を容易にすることができるよう に各直径での修整量や歯形全体の傾向を示すトポグラフ、倍率 の指定など豊富な機能を備えています。

図11.31は、ホーニング後の歯すじ誤差グラフ例であり、歯 面形状と歯すじ形状を表したトポグラフを図11.32に示します。





図11.31 ホーニング後の歯すじ誤差グラフ例



図 11.32 トポグラフ

11.10 歯形座標値ファイル出力

加工後の歯形座標値を CAD データとして出力することがで きます。ファイル形式はDXFとIGESをサポートしています。 図11.33に歯形座標値ファイル出力フォームを図11.34にCAD 作図例を示します。





図 11.34 歯形作図例(IGES)

図 11.33 歯形座標値ファイ ル出力

11.11 歯車かみ合い

加工シミュレーションした歯形データを保存しておくことで 任意の歯車歯形データ同士のかみ合いシミュレーションを行う ことができます。図 11.35 にかみ合いシミュレーションの画面 を示します。



図11.35 かみ合いシミュレーション

11.12 歯車データの選択

登録したデータから、かみ合わせる歯車のデータを選択し設 定します。図11.36にかみ合い歯車を選択した画面を示します。

🦹 歯車選択 🛛 🔀							
項目	記号	単位	駆動(外)	従動(外)			
管理番号			Check00	Check00			
モジュール	mn	mm	1	.00000			
歯数	Z		20	20			
圧力角	αn	deg	20	.00000			
ねじれ角	β	deg	0 0	0.0"			
ねじれ方向			****	****			
転位係数	xn		0.20000	0.20000			
またぎ歯数	Zm		3	3			
またぎ歯厚	W	mm	7.79000	7.79000			
測定ピン径	dp	mm	1.8100	1.8100			
ピン寸法	dm	mm	22.95556	22.95556			
歯直角円弧歯厚	Sn	mm	1.70867	1.70867			
基準ビッチ円直径	d	mm	20.0000	20.0000			
基礎円直径	db	mm	18.7939	18.7939			
歯先円直径	da	mm	22.4000	22.4000			
歯底円直径	df	mm	17.9000	17.9000			
歯幅	b	mm	10.0000	10.0000			
設計中心距離	a	mm	20.5000				
設計クリアランス	ck	mm	0.3500	0.3500			
	曜	足	Fe)till ////]			

図 11.36 かみ合い歯車歯形データ選択

11.13 歯車かみ合い図

図11.37の歯形図選択で2D歯車かみ合い図、3Dかみ合い モデル、従動歯車の回転運動軌跡、連続回転図を表示します。 2D歯車かみ合い図は、部分拡大、距離計測機能や円作図機能 をサポートしていますので、かみ合いの状態を細部に渡り確認 することができます。図11.38~11.44にかみ合い図および運動 軌跡図を示します。



11.14 かみ合い歯形ファイル出力

かみ合った状態の歯車歯形データを CAD データとして DXF および IGES 形式で出力することができます。図 11.45 にかみ 合い歯形ファイル出力フォームを示します。



図 11.45 かみ合い歯形ファイル出力

11.15 工具管理

Gear navigation systemは、保有の工具諸元をデータベース に登録しておくことにより、加工シミュレーション時に共用計 算や加工後の面取り長さや有効歯面長さなどの条件に見合う適 正工具を検索することができます。工具管理の画面の様子およ び設定項目を図11.46~11.50に示します。



図11.46 工具管理の画面

登録 検索 削除

基本項目 種類

目記号単位

 圧力角 αn des
 ねじれ角 β des
 ねじれ方向 --- ---基準に*が円直径 nn nn
 刃先円直径
 da

 刃底円直径
 df

 り厚入力方式

キャリパ刃たけ hj nn キャリパ刃たけ sj nn

刃先R

nn nn

nn nn

r nn

図 11. 48 ピニオンカッタ諸元

7 参考図 刃形図

数 値

20.00000

*###### キャリバ対厚

🗰 ホブカッタ管理							
登録検索削除 ++>地 物7 参考図 刃形図							
基本項目	補	助項目					
種類	標準	1	▼ □ 刃形修整				
項目	記号	単位	数 値				
管理番号							
モジュール	mn	-					
圧力角	an	an deg 20.00000 *					
刃末のたけ	ha	-					
刃元のたけ	hf	-					
刃厚	S	-					
刃先R	r –	-					
すずみ角	Υ	deg	5 0 0 "				
ねじれ方向							
溝数	N		12				
条数	Zw		1				

図 11.47 ホブ諸元

				_		
🕴 シェーヒング	カッタ 管	1 <u>1</u>		<		
登録 検索	削除	1	<u> </u>	I.		
基本項目		補助	項目研制歯車			
項目	記号	単位	数 値			
加工方法	[[]	プランジ 💌	-		
内径	dc	mm				
材質						
メーカ		[
工具名		「				
図面番号		「				1
品番	·	[● 基礎円盤管理	E
数 量		·			登録 検索 削除	<u> クリア キャンセル</u>
製作日		·	2004年08月15日 토		項目 記号 単位	数 値
登録日	·	[2004年08月15日 💌		管理番号	
消耗度		X			外住しい。	
備考					厚さ t mm	
図 11.	49	シェー	ゼングカッタ諸元		図 11.50 基礎	円盤諸元

図 11.49 シェービングカッタ諸元

11.16 その他の機能

16.1 ホブの取り付け角度計算(図 11.51) 転位ホブのホブ取り付け角度を計算します。

🧱 末ブカッタの取り付け角度 🛛 🔀									
項目	記号	単位	歯 車	ホフドカッタ					
モジュール	mn	mm	1.00000	0.97061					
歯数,条数	Z,Zw	[20	1					
圧力角	αn	deg	20.00000 *	14.50000 *					
ねじれ,すすみ角	β,γ	deg	5°0'0.0″	3°0'0.0″					
ねじれ方向		[右ねじれ 💌	左ねじれ 💌					
取り付け角度	βset	deg	-7* 51	10"					
[計算] 本→ンセル									

図 11.51 ホブの取り付け角度

16.2 データベースの形式

Gear navigation system は、設計データの管理、工具管理な どの情報、検索などを SQL サーバを使用して行います。

データベースを容易に構築、管理することができるように補 助ツールが付属されています。(図 11.52~11.53) 本ソフトウエアではMicrosoft SQL Server(MSDE 2000)が必 要です」)。

	🐞 DataBase r	nanager
2 接结 🛛 📝	Data Source	HOTARUS
••• 184 •••	User ID	S8.
Gear navigation system	Password	******
サーバーター		Database Name
	🐷 (Salesia)	(CearNaviSimulationSOL)
ユーザー名 sa	1 - J < ab 34.	
	▶ かみ合い	(GearNaviContactSUL)
バス・フート ************************************	▼ 工具管理	(GearNaviToolSQL)
IOKI Cancel Test	Crea	te Cancel Remove 1
図11.52 データベースへの接続	図 11.53	データベース・
	ネージャ	_

1) SQL サーバを準備していない場合

データベースをmdb ファイルで管理するソフトウエアもござ いますのでご注文の際にお申し付けください。

[12] 歯車強度計算(ANSI/AGMA2001-C95)



🗵 12.1 AGMA2001-C95

12.1 概要

AGMA2001-C95の規格に基づいて歯車の強度計算をします。歯 形の幾何係数(I,J)は、AGMA908-B89に基づいています。 (1) 適用規格

「ANSI/AGMA2001-C95」:Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth [Annex A] : Method for Evaluating the Risk of Scuffing and Wear [ANSI/AGMA 908-B89] : Geometry Factor for Determining the Pitting Resistance and Bending Strength of Spur, Helical and Herringbone Gear Teeth

(2) 歯車の種類

インボリュート平、はすば歯車(外歯車、内歯車) (3)工具

ホブおよびピニオンカッタ(プロチュバランス含む)

(4) 歯車の強さ

曲げ強さ、歯面強さ、寿命および幾何係数の詳細数値 (5) スコーリング

すべり率、ヘルツ応力、油膜厚さ、フラッシュ温度のグラ フと摩耗およびスコーリング発生確率

12.2 初期設定



図 12.2 初期設定画面

12.3 歯車諸元入力

(1) 歯車精度は、AGMA, JIS を選択することができます。 (2) 歯面粗さは Ra(µm) で入力してください。

1956 亩車諸元				
項目	記号	単位	ビニオン	ギヤ
歯直角モジュール	nn	mm	3	.00000
齿数	Np,Ng	「	20	30
ねじれ角	ψs	deg	10 * 0	, 0 ,
ねじれ方向		[右ねじれ 💽	左ねじれ 💽
齿幅	Fp,Fg	mm	30.0000	30.0000
転位係数	xn		0.20000	0.15000
齿直角法線齿厚減少量	fn	mm	0.0720	0.0720
歯先円直径	da	mm	68.1256	98.2884
中心距離	C	mm	77	. 1606
リム厚さ	tR	mm	20.0000	20.0000
クラウニンクド・エントドリリーフ			有	y 💌
歯車精度の規格			JIS	規格・
歯車精度等級			3	3
歯面粗さ(Ra)	fp,fg	µn	3.000	3.000
測定ビン径	dp	mm	5.000	5.000
	耀定	. ₩2	tβ	

図 12.4 歯車諸元入力画面

12.4 動力および係数入力

- (1)動荷重係数、荷重分配係数などは[0] [TAB] で理論値が入力 されます。
- (2) 平歯車の場合には歯先荷重または外の最悪荷重点を選択す ることができます。
- (3)入力する数値に関するグラフおよび表などは[表示]機能に より参照する事ができます。

図 12.5 に動力および係数入力画面を示します。図 12.6 および 図12.7に係数、グラフの表示例を示します。



図12.5 動力及び係数設定



12.5 材料入力

- (1) 図12.8に材料の設定画面を示します。
- (2) [参照]をクリックすると材料に適応した許容応力数の表を 表示します。(図12.9)

5 Pinion 材 料				
材料名		iii a	E.	-
材料記号		SCM440		
熱処理名		高周波	対焼入れ	-
グレード・クラス		グレード 1	-	
硬 度	60	HRC		参考
許容接触応力数(Sad	:)	1210	MPa	キャンセル
許容曲げ応力数(Sat	.)	310	MPa	曜 定

図 12.8 ピニオン材料の設定

Table 3 – Allowable contact stress number, sec, for steel gears							
Material	Heat	Minimum	Allowable o	ontact stress nu lb/in ²	imber ²⁾ , s _{ar}		
designation	treatment	hardness ¹⁾	Grade 1	Grade 2	Grade 3		
Steel ⁽³⁾	Through hardened ⁴⁾	see figure 8	see figure 8	see figure 8			
	Flame ⁵⁾ or induction	50 HRC	170 000	190 000			
	hardened®	54 HRC	175 000	195 000	-		
	Carburized & hard- ened ⁵⁾ Nitrided ⁵⁾ (through	see table 9	180 000	225 000	275 000		
		83.5 HR15N	150 000	163 000	175 000		
	hardened steels)	84.5 HR15N	155 000	168 000	180 000		
2.5% Chrome (no aluminum)	Nitrided ⁵⁾	87.5 HR15N	155 000	172 000	189 000		
Nitralloy 135M	Nitrided ⁵⁾	90.0 HR15N	170 000	183 000	195 000		
Nitralloy N	Nitrided ⁵⁾	90.0 HR15N	172 000	188 000	205 000		
2.5% Chrome Nitrided ⁵⁾ 90.0 HR15N 176 000 196 000 216 000 (no aluminum)							
NOTES ¹⁾ Hardness to be eq ²⁾ See tables 7 throug ³⁾ The steel selected ⁴⁾ These materials m ⁵⁾ The allowable streed	uivalent to that at the star gh 10 for major metallurg must be compatible with ust be annealed or norms is numbers indicated may	t of active profile i cel factors for eac the heat treatmen lized as a minimu y be used with the	n the center of the h stress grade of t process selected m. case depths pres	face width. steel gears. I and hardness req cribed in 16.1.	uired.		

図 12.9 材料許容応力数

12.6 強度結果

図12.10に強度計算結果を示します。図12.11および図12.12 に、幾何係数の詳細数値と係数を決定する際の歯形図を示しま す。

🎫 平、はすば歯車強度計算					
項目	記号	単位	ビニオン	ギヤ	
有効歯幅	F	mm	30.0000		
周 速	vt	m/s	3	.8785	
接線荷重	Wt	N	5156	.6087	
【歯面強さ】					
引擎性係数	Ср	√ MPa	190	.1995	
幾何係数	I		0	.1338	
硬度比係数	CH		1	.0000	
歯数比係数	CG		0	.6000	
歯すじ修正係数	Cmc		0	.8000	
ビニオン形状係数	Cpf		0	.0273	
ビニオン位置係数	Cpm		1	.0000	
かみあい精度係数	Cma		0.0499		
かみあい修正係数	Ce		0.8000		
応力繰り返し係数	ZN		1.0000 1.0		
許容接触応力数	Sac	MPa	1210	1210	
接触応力数	Sc	MPa.	964.6474		
許容接触荷重係数	Kac	MPa.	4.6733 4.89		
接触荷重係数	K	MPa.	4	.6409	
許容伝達動力	Pac	k₩	20.1393	21.0742	
歯面強さ(Pac/P)	SFc		1.0070	1.0537	
サービスファクタ	Csf		1.5625	1.6350	
[曲げ強さ]					
リム厚さ係数	KB		1.0000	1.0000	
幾何係数	J		0.3287	0.3345	
応力繰り返し係数	YN		1.0176	1.0250	
許容単位荷重	Uat	MPa	68.1324 69.8408		
単位荷重	UL	MPa	57	.2956	
許容曲げ応力数	Sat	MPa	310	310	
曲げ応力数	St	MPa	212.2339	208.5420	
許容伝達動力	Pat	k₩	23.7828	24.3791	
曲げ強さ(Pat/P)	SFt		1.1891	1.2190	
サービスファクタ	Ksf		1.2500	1,2813	

図 12.10 曲げ、歯面強さ結果



図 12.11 幾何係数(J)



図12.12 幾何係数(I)

12.7 寿命結果

負荷の回数と図 12.7 グラフより曲げ強さに対する寿命時間 を計算します。図 12.13 に寿命計算結果を示します。

035 寿命結果				
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
【歯面強きの寿命】				
予想応力繰り返し係数	ZN'		0.997	0.997
予想寿命負荷回数	Nc	cycs	1.164E+07	1.164E+07
予想寿命時間	Lc	hrs	1.616E+02	2.425E+02
[曲げ強さの寿命]				
予想応力繰り返し係数	YN'		0.856	0.841
予想寿命負荷回数	Nt	cycs	1.685E+11	4.516E+11
予想寿命時間	Lt	hrs	2.340E+06	9.407E+06

図 12.13 寿命結果

12.8 スコーリング評価

- (1)油(ISO粘度グレード)はVG46~VG1500を選択することができます。範囲外の場合は動粘度、平均温度などを直接入力することができます。(図12.14)
- (2) 歯面粗さは Ra(µm)で入力してください。
- (3) 摩擦係数の方式は、AGMA 方式、一定値、ISO 方式を選択す る事ができます。
- (4) すべり率、ヘルツ応力、フラッシュ温度、油膜厚さのグラ フを表示します。(図 12.15~図 12.18)
- (5) 摩耗とスコーリングの発生する確率を表示します。

95 スコーリング					
項目	記号	単位	ビニオン	ギヤ	
歯車の温度	GTc	°C	70	.000	
油の温度	Tc	°C	40	.000	
油の種類			鉱物)油 🗾	
ISOグレード			ISO V0	320 💌	
動粘度(40°C)			820		
平均温度	Mtc	°C	252	.000	
標準偏差温度	SD	°C	41	.000	
絶対粘度	μο	cP	53.48		
粘度圧	α	mm²/N	0	.02156	
なじみ歯面粗さ(Ra)	σ1, σ2	μm	0.400	0.400	
摩擦係数の方式			AGI	A N	
摩擦係数	,∦ m				
歯形修整			有「	J 👤	
駆動歯車			Ľ=>	オン 💌	
	曜定	キャン111,			

図 12.14 スコーリング評価の設定



12.9 その他機能

- (1)データ管理画面を図 12.19 に示します。
- (2)印刷(寸法、強度、寿命、スコーリング、グラフ)日本語印刷 と英語印刷(オプション)ができます。
- (3)係数などの図、表、グラフを表示します。
- (4) 計算結果、グラフをクリップボードに出力することができ ます。



[13] 歯車強度計算(ANSI/AGMA2003-A86)



🗵 13.1 AGMA2003-A86

13.1 概要

involute Σ (Bevel Gear Design) の強度計算に AGMA2003-A86 の規格を使用しています。従って、歯車寸法、歯形図、組立図 を作図することができます。また、ベベルギヤの3次元歯形座 標値解析ソフト(図2.15)や歯形応力解析、測定データ出力機能 を追加することができます。

13.2 かさ歯車の分類選択

「すぐばかさ歯車」と「まがりばかさ歯車」に対応しています。図2.2のかさ歯車の分類画面をご覧ください。

13.3 歯車諸元入力

- (1) 軸角は、90 度以外も計算できます。
- (2) まがりばかさ歯車の最小歯数は6枚です。
- (3) 図 13.2 に諸元入力画面を、図 13.3 に歯車寸法結果画面を示します。寸法結果は、図 2.5 と同様です。



図 13.2 歯車諸元入力

13.4 強度計算(動力、材料の設定と計算結果)

図13.3~図13.5に入力画面と強度計算結果画面を示します。

Σ 建度計算諸元(2 強度計算諸元(動力)							
項目	記号	単位	面圧	曲 げ				
定格伝達馬力	Po	kl	250	.0000				
等価動力	P	k₩	806	88*				
ビニオン回転数	np	rpm	1000	.0000				
寿命編り返し数	N		1000000					
歯車の使用状況			一般					
回転方向			E	₿ <u>⊼</u> ▼				
支持構造係数	Cmf		1.0000					
外部動荷重係数	Ca,Ka		1.000	1.000				
信頼度係数	CR,KR		1.000	1.000				
温度係数	CT,KT		1.000	1.000				
ビニオン過負荷の	ビニオン過負荷の回数/分 1							
ギ ヤ過負荷の[ギ や過負荷の回数/分 1							
Life Factor CL	∏ Life	Factor KL	曜 定	460111				

図 13.3 動力諸元設定

∑ 強度計算諸元(材料) X						
「ビニオン材料	ł		ギ ヤ材料			
材料名	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		材料名	鋼		
材料記号	SCM420		材料記号	SCM4	20	
熱処理	浸炭焼7	n 💌	熱処理	浸炭焼入	n 💌	
硬 度(HRC)	6)	硬 度(HRC)	55	i	
許容面圧応	力数(MPa)	1240.0	許容面圧応	力数(MPa)	1240.0	
許容曲げ応	力数(MPa)	380.0	許容曲げ応	力数(MPa)	380.0	
□ 参考表の	表示	確定	49)til	ß	剿性係数	

図 13.4 材料入力

∑ 強度計算結果				Ð	<
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ	•
歯 数 比	mG		3	.944	
周 速	٧t	m/s	7	.540	
定格ビニオントルク	TD	N•m	2387	.430	
等価ビニオントルク	TP	N-m	2387	.430	
歯面強さ					
応力調整係数	Cb		0	.634	
内部動荷重係数	Cv		0	.912	
∪係数	U		0	.239	
最小動荷重係数	Cvmin		0	.393	
重なりかみあい率	mF		2	.581	
寸法係数	Cs		1	.000	
荷重分配係数	Cm		1	.200	
歯すじ修正係数	Схс		1.500		
歯面状態係数	Cf		1.000		
幾何係数 …	I		0.148		
寿命係数	CL		1	.000	
硬さ比係数	CH		1	.000	
許容面圧応力数	Sac	MPa	1240.000	1240.000	
面圧応力数	Sc	MPa	746.904	746.904	
許容伝達動力	Pac	k 🛛	689.091	689.091	
歯面強さの余裕率	SFc		2.756 2.756		
曲げ強さ					
内部動荷重係数	Κv		0.912		
寸法係数	Ks		1.009 1.009		
荷重分配係数	Km		1.200		
歯筋曲線係数	K×		1.000		
幾何係數 …	J		0.247	0.380	_
寿命区断	KI		1	000	~

図 13.5 強度計算結果(曲げ、歯面)

13.5 寿命計算結果

寿命時間の計算結果を、図13.6に示します。

▶ 寿命計算結果				
歯面強さの寿命	記号	単位	ピニオン	ギヤ
予想寿命係数	CL'		0.602	0.602
予想寿命負荷回数	Nc	cycs	2.336E+16	2.336E+16
予想寿命時間	Lc	hrs	3.893E+11	1.536E+12
曲げ強さの寿命	記号	単位	ピニオン	ギヤ
予想寿命係数	KL'		0.734	0.477
予想寿命負荷回数	Nt	CYCS	1.000E+07	1.000E+07
予想寿命時間	Lt	hrs	1.667E+02	6.574E+02

図 13.6 寿命計算結果

13.6 幾何係数

曲げ強さに対する幾何係数の詳細数値を図13.7に示します。 幾何係数 J を決定するための歯形図を図13.8に示します。

Σ 幾何係数J								
	1102			. 400				
Determination of •••	p3		18.422	9.447	F			
Distance From	xo`	mn	5.907	5.907				
Sum of Gear & Pinion •••	ΣRN		1582	.720				
Normal Pressure Angles ···	¢LP,¢LG	deg	25.892 *	19.604 *				
Rotation Angles Used in Bending •••	8 hP,8 hG	deg	2.004 *	0.196 *				
Normal Pressure Angles	¢hP,¢hG	deg	23.888 *	19.408				
Distances from Pitch Circl ···	ΔrN,ΔRN	deg	2.650 *	-5.496				
Tooth Fillet Radii in Mean •••	rfP,rfG	mn	1.054	1.016	1			
	y2P,y2G	mn	3.042	9.184				
	xoP,xoG	mn	7.249	8.133				
Tooth from Factors Excluding	YP,YG		0.562	1.287				
Stress Concentration •••	kfP,kfG	mn	2.114	2.764				
暖何係数」の料								

図 13.7 曲げに対する幾何係数(J)



図13.8 曲げに対する幾何係数の図

[14] Gear Pro2000 (インボリュート歯形出力ソフトウエア)



🗵 14. 1 GearPro2000

14.1 概要

インボリュート歯形出力ソフトウエア GearPro2000 は、歯厚 と転位係数の関係を決定し、2次元と3次元歯形のCADデータを 出力します。適用歯車は、外歯車および内歯車です。

14.2 諸元入力画面

歯厚入力方式は、転位係数、またぎ歯厚、オーバーピン寸法 の内から選択することができます。歯元曲線は、理論フィレッ ト曲線または任意Rを選択することができます。また、歯先円 直径、歯底円直径を任意に変更することができます。図 14.2 に諸元入力画面を図14.3に寸法結果画面を示します。

🔅 告車諸元 📃 🗖 🔀						
歯車の形状	外歯	車	·	歯元接続方式		
歯厚入力	転位係	酸	- T	フィレット接続 💌		
項目		記号	単位	数 値		
モジュー	·IV	mn	mm	1.00000		
歯数	t	Z		20		
圧力角	1	αn	deg	20.00000		
ねじれ	角	β	deg			
ねじれ方	向			右ねじれ 💌		
基準ビッチ円直径		d	mm	21.28356		
転位係	 数	Xn		0.11110		
またぎ歯	澍	Zm		3		
またぎ歯	厚	Sm	mm	7.79073		
測定ピン	怪	dp	mm	1.80000		
オーバーセッン	寸法	dm	mm	24.10889		
歯先円直	隆	da	mm	23.50576		
歯底円直	隆	df	mm	19.00576		
歯幅		Ь	mm	10.00000		
ホブ刃先R		R	mm	0.37500		
歯車歯先	R	Rt	mm	0.20000		
	H	定	专动			

図 14.2 歯車諸元の入力

🏟 貴重寸法			
項目	記号	単位	数 値
基礎円直径	db	mm	19.84681
リード	PZ	mm	183.70805
転位量	Xm	mm	0.11110
歯末のたけ	ha	mm	1.11110
歯元のたけ	hf	mm	1.13890
全歯たけ	h	mm	2.25000
基礎円筒ねじれ角	βb	deg	18.74724
歯先円筒ねじれ角	βa	deg	21.89875
歯直角円弧歯厚	sn	mm	1.65167
正面円弧歯厚	st	mm	1.75767
キャリパ歯たけ	hj	mm	1.13939
キャリバ歯厚	sj	mm	1.65038
正面またぎ歯厚	wa	mm	8.22722

図 14.3 歯車寸法結果

14.3 歯形図

- (1) 歯形軌跡図を図14.4 に示します。歯形軌跡図を部分拡大し たい場合は、ドラッグ&ドロップで拡大します。
- (2) 歯先が尖る場合は歯先とがり直径を示します。(図 14.5)
- (3) ピン配置図を図14.6に示します。スプラインなどの低歯を オーバーボール法で測定する場合に事前確認することがで きます。
- (4) 歯形創成図を図14.7 に示します。



14.4 歯形レンダリング

レンダリング機能で歯車の形状を表示し、 X, Y, Z 軸での回 転、図の拡大縮小により歯形を観察することができます。(図 14.8)





図14.8 歯形レンダリング 14.5 歯形座標値出力の設定

歯形出力の設定画面を図14.9に示します。出力歯数は任意に 設定することができ、DXF または IGES ファイルで出力すること ができます。図14.10にAutoCADで作図した例を、図14.11に MasterCAM で作図した例を示します。





図 14.10 歯形作図例

14.6 歯形修整

歯形修整量と作用線長さを入力することにより歯形修整を 含んだ歯形作図と歯形座標値を出力します。



[15]ねじ歯車



図15.1 ねじ歯車

15.1 概要

ねじ歯車寸法計算ソフトウエアは、ねじ歯車の寸法計算を行い、 歯形かみ合いと、2次元と3次元歯形のCADデータを出力します。

15.2 初期設定

図 15.2 に設計基準の設定を示します。

(1) 軸角の変更

転位を与えた場合や中心距離を変更した場合に、軸角を変更 する方式と軸角を変更しない方式(Buckingham)を選択します。 (2)歯先円直径の決定方式:標準方式および等クリアランス方式 (3)基準ラックの設定:並歯、低歯、特殊

- (3) 本中ノソノの取足・亚困、 四困、 村休
- (4)中心距離と転位係数の関係は、以下の3種類です。 <1>転位係数をピニオンとギヤに与え中心距離を決定 <2>中心距離を基準として各歯車の転位係数を決定 <3>転位係数を無視して任意に中心距離を決定



図 15.2 初期設定

15.3 諸元入力画面

図 15.3 に諸元入力画面を示します。

👌 諸元入力						
項目	記号	単位	ピニオン	ギャ		
モジュール	mn	mm	2.0	00000		
歯数	Z		22	33		
圧力角	an	deg	20.0	00000		
ねじれ角	β	deg	45 30 50	50 20 0		
ねじれ方向			右ねじれ	右ねじれ		
転位係数	xn		0.2000	0.0000		
中心距離	a	mm	83.49065			
法線歯厚減少量	fn	mm	0.2000	0.0000		
黄幅	b	mm	10.0000	10.0000		
歯先円直径	da	mm	67.5911	107.3964		
歯底円直径	df	mm	58.5911	98.3964		
測定ビン径	dp	mm	4.0000	4.0000		
歯先R	ra	mm	0.0000	0.0000		
またぎ歯数	zm		7	12		
「確定」キャンセル						
6	তা 1	г 0	=+v → =n,			

図 15.3 諸元設定

15.4 寸法結果

図 15.4~図 15.6 にねじ歯車の寸法、かみ合い、歯厚計算結 果を表示します。

🥇 寸法計算結果					
歯車寸法	Ĩ	かみ	·合い)		歯厚
項目	記号	単位	ピニオン		ギャ
基礎円筒ねじれ角	βb	deg	42°5′5	1″	46° 19' 53"
ビッチ円直径	d	mm	62.791	1	103.3964
基礎円直径	db	mm	55.722	7	89.8207
有効歯元円直径	dt	mm	59.767	6	99.4245
有効歯先円直径	dh	mm	67.5911		107.3964
歯末のたけ	ha	mm	2.400	0	2.0000
歯元のたけ	hf	mm	2.100	0	2.5000
全歯たけ	h	mm	4.500	0	4.5000
正面モジュール	mt	mm	2.854	1	3.1332
正面圧力角	αt	deg	27.447	9	29.6918
歯直角ピッチ	pn	mm		6.28	832
正面ピッチ	pt	mm	8.966	5	9.8433
相当歯数	ZV		63.938	0	126.8815

図 15.4 歯車寸法結果

🗴 寸法計算結果				
(歯車寸法)	か	み合い	I Y	歯厚
項目	記号	単位	ヒニオン	ギヤ
歯直角かみ合い圧力角	awn	deg	20.3	229
正面かみ合い圧力角	awt	deg	27.9092	30.1984
かみ合いビッチ円直径	dw	mm	63.0568	103.9245
かみ合いビッチ円筒ねじれ角	βw	deg	45° 38′ 5″	50°28′36″
軸角	Σ	deg	96.1	115
クリアランス	С	mm	0.4969	0.4969
歯直角かみ合い率	εn		1.8	072
歯直角法線方向バックラッシ	jnn	mm	0.2	00
歯直角円周方向バックラッシ	jtn	mm	0.2	13
接触歯幅	bw	mm	7.8975	8.5213

図15.5 かみ合い数値

🥇 寸法計算結果						
歯車寸法	ħ	いみ合い	Ĭ	首耳		
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ		
歯直角基準円弧歯厚	sn	mm	3.4328	3.1416		
歯直角設計円弧歯厚	sn'	mm	3.2199	3.1416		
正面設基準円弧歯厚	st	mm	4.8988	4.9217		
正面設計円弧歯厚	st'	mm	4.5951	4.9217		
またぎ歯数	zm		7	12		
基準またぎ歯厚	W	mm	40.3199	71.1228		
設計またぎ歯厚	w'	mm	40.1199	71.1228		
オーバービン直径	dp	mm	4.0000	4.0000		
基準オーバーピン寸法	dm	mm	70.3257	110.2179		
設計オーバービン寸法	dm'	mm	69.8241	110.2179		
基準キャリバ歯たけ	hj	mm	2.4230	2.0097		
設計キャリバ歯たけ	hj'	mm	2.4203	2.0097		
基準キャリバ歯厚	sj	mm	3.4324	3.1415		
設計キャリバ歯厚	sj'	mm	3.2196	3.1415		

図 15.6 歯厚数値

15.5 歯形図

図15.7に3D歯形を示します。図15.8の歯形レンダリングで かみ合い接触線が歯車の回転に伴い移動する様子を確認するこ とができます。





図 15.7 歯形図

15.6 歯形データ

ねじ歯車の歯形座標をDXFまたは IGES ファイルに出力すること ができます。(IGES ファイル出力 は、オプションです。)

义	15.8 歯形1	ィンダリン	グ
	🗴 DXFファイル		×
-	© 2D出力	○ 3D出力	
	◎ ビニオン	○ギヤ	
	⊙ 直線補間	○ 円弧補間	
	補明装度	μı	n

出力歯数 歯幅分割数 歯たけ分割数

DXF IGES 図 15.9 歯形データ出力

[16] 成形砥石歯形解析ソフトウエア



図16.1 成形砥石歯形解析

16.1 概要

はすば歯車を成形研削する場合、ねじれ角や砥石の直径など によって3次元干渉が発生します。本ソフトウエアは研削後の 歯車が正しい歯形となるように干渉解析を行い砥石の歯形を決 定するソフトウエアです。

歯形解析は、インボリュート歯形部分は勿論のこと歯元のト ロコイド曲線部分も解析しますので正しい砥石座標を得ること ができます。

16.2 歯車の種類と歯形

(1)歯車の種類:外歯車および内歯車
 (2)歯 形:インボリュート平歯車及びはすば歯車
 (3)歯形修整:定型5種類+フレキシブルタイプ

16.3 出力概要

- (1)歯形作図 : 3 次元干渉を解析して砥石形状を決定し歯形 を作図します。
- (2) 歯形データ:砥石座標値は、DXFファイルおよびクリップ ボードに出力します。
 Gコード出力(オプション)
- (3)データ管理:設計データの保存、検索をします。

16.4 初期設定内容

(1)設計基準の設定(歯車)

「歯形設計のプロパティ」では、歯車と砥石の設計基準を決定します。図16.2は歯車の設計基準の例です。歯形修整を施す場合には左右異なった歯形修整にも対応しています。また歯先にRをつけた場合の砥石座標も解析します。



図 16.2 設計基準の設定(歯車)

16.5 設計基準の設定(砥石)

- (1)図16.3に砥石の設計基準例を示します。
- (2) 歯形精度

解析した砥石の座標を円弧(直線)データに変換する際の精 度を設定します。例では1µmとしていますが任意に設定す ることができます。

(3)出力方式

円弧データまたは直線データ (4)座標の出力原点

砥石の刃先または中心



凶 10.3 页訂基準() 页正(低

16.6 成形研削の歯車条件

(1) 歯車の種類

外歯車または内歯車を選択します。(図16.4)

(2) 歯厚決定方式

転位係数を直接入力して歯形を決定する方法と歯厚(またぎ 歯厚またはオーバーピン寸法)を基本として歯形を決定する 方法を選択します。

(3) 歯元接続方式

理論フィレットカーブ接続と任意 R 接続の選択をします。 (4) 砥石外径

砥石の直径によって干渉量が異なりますので正確な直径を入 力してください。

(5)加工対象

歯車または電極用歯車を選択します。電極用歯車の場合には 収縮率、放電ギャップを設定することができます。図 16.5 に設定内容を示します。



図16.4 成形研削の歯車条件

A 電極設定			X
項目	記号	単位	数 値
モジュール収縮率	Sp		20.00 /1000
圧力角補正率	Sβ	·	0.00 /1000
直径方向収縮率	Sd		10.00 /1000
歯幅方向収縮率	Sb	·	5.00 /1000
ねじれ角	βx	deg	35 ° 21 ' 52 °
放電ギャッブ	Ô	μm	20.00

図16.5 電極用歯車の設定

16.7 歯車諸元入力

図 16.6 のように、モジュール、歯数、圧力角と順次入力します。本例の場合、またぎ歯厚を基準としていますので転位係数は、Xn=0.29224 となっています。歯先円直径は並歯の場合、da=79.6996 となりますが数値を変更しています。歯底円直径も数値を変更しています。



16.8 歯形修整

歯形修整は図 16.7 から図 16.11 に示しますように 5 種類の 修整およびフレキシブル修整に対応しています。本例では図 16.11 の歯形修整を持つ歯形を解析します。

図 16.12 は図 16.11 の歯形修整量をグラフ表示した結果です。 縦倍率の標準値は 500 倍ですが任意に設定することができます。



図 16.12 歯形修整グラフ

16.9 歯形と座標値

解析した砥石の歯形と歯形座標値を図 16.13 に示します。図 16.14 は歯元の部分拡大図であり図 16.15 は歯先部分の拡大図 です。

砥石の歯形座標値を DXF ファイルに出力することができます。 出力方式は、16.5 項で設定していますように直線または円弧デ ータを選択することができます。また、砥石の歯形座標値を表 16.1 のようにクリップボードに出力することができます。



表16.1 砥石の歯形座標

No.	中心X	中心Y	半径R	開始X	開始Y	回転
1	-38.93050	10.83236	39.66737	-3.79192	-7.57363	CCW
2	-33.38653	8.39380	33.61136	-2.42247	-4.68098	CCW
3	-114.84621	32.35329	118.52136	-1.17641	-1.20990	CCW
4	0.79375	-1.49887	1.97229	-1.08461	-0.89744	CW
5	0.03921	-1.07443	1.10699	-0.90233	-0. 49225	CW
			-			

16.10 データ管理

設計データの保存、検索をします。図16.16,図16.17 は設計 データの検索条件の項目を示します

🎍 設計データ検	* *
成形研削条件	歯車諸元
○ 整理番号	*
○ タイトル	
○ 作成年月日	2003年05月01日
○ 歯車の種類	外歯車 💌
○ 砥石外径	120.000
	(検索) キャンル↓
N 10	10 ヨニージ との込ま

図16.16 設計データの検索

16.11 NC出力(オプション)

機械に合わせたGコードを出力 することができます。お問い合わ せください。

※本ソフトウエアはインボリュート 歯形専用ですが、特殊歯形にも対応 可能です。お問い合わせください。



🛓 NC出力 🛛 🔀
-出力ポート
-通信速度
(48000Bps (96000Bps 出力歯面
プログラム番号
- 出刀先 ● 沙別出力 ○ ファ仙出力
「、「、フック語货定」
沙개出力 林池
図 16.18 NC 出力

[17]トロコイド曲線を使用した歯車



図17.1 トロコイド曲線を使用した歯車

17.1 概要

インナーロータの歯数、アウターロータの歯底円直径および偏 心量を基準として、それぞれの歯形を決定します。歯形曲線は、 ころがり円直径や偏心量によって変化し、生成した歯形より、各 部屋の面積計算を行い吐出量(cc/rev)を算出します。また、三次 元歯形で表示します。

17.2 諸元入力画面

- (1) ロータ諸元の入力画面を図 17.2 に示します。
- (2)サーキュラーピッチの変更により歯の大きさを変更することができます。
- (3) クリアランスを与えた歯形を生成することができます。
- (4) アウターロータの歯底部分はフル R または任意の R で接続 することができます。
- (5)ころがり円直径により歯形曲線を変更することができます。
- (6) 歯幅は吐出量の計算及び三次元の歯形表示に使用します。
- (7) 歯形生成分割角度は、歯形の細かさの尺度です。

@ hoofh'a-y諸元 📃 🗖 🗙								
項目	記号	単位	ብ <u>ን</u> ታ-በ-ያ	ፖሳጵ-በ-ጵ				
歯数	Z		8	9				
偏心量	е	mm	1.	5000				
歯底円直径	df	mm	29.6757	40.5000				
歯先円直径	da	mm	35.6757	32.6757				
基準ビッチ円直径	d	mm	24.0000	27.0000				
サーキュラーヒ゜ッチ	CP	mm	9.42478					
ころがり円直径	Rb	mm	1.5000					
チッフ゜クリアランス	ck	mm	0.0000					
歯底逃げ量	cb	mm		0.9122				
歯底R設定方法	·	·		フルR接続 👤				
歯底R	rO	mm		2.7135				
歯幅	b	mm	18.	0000				
製品内径/外径	Di/OD	mm	12.0000	45.0000				
歯形生成分割角度	λ	deg		0.10000				
押付チッフ。クリアランス	cko	mm	0.0000					
曜 定 キャンセル								

図 17.2 ロータ諸元の設定

17.3 ロータの歯形図

ロータのかみ合い組図を図 17.3 に示します。図 17.4 の補助 機能によりピッチ円の作図やインナーロータの回転角度を変更 した図を作図することができます。また、歯形を拡大して作図 することができます。



17.4 歯形 DXF 出力

①ロータ組図②インナーロータ歯形③アウターロータ歯形を 円弧データ DXF ファイルで出力することができます。図 17.5 に設定フォームを示します。

🧖 DXFファイル 🛛 🔀
出力歯形 ・ h口小*い~雑図
○ インナーロータ歯形 ○ アウターロータ歯形
出力歯数
出力 特沙地

図17.5 DXF ファイル設定

17.5 面積計算

歯形計算後、各面積および吐出量を図 17.6 に示します。図中の×マークはロータ歯形の接点を示します。



17.6 レンダリング図

歯形レンダリングを図 17.7 に示します。コントロールフォームにより視点や回転角を変更することができ、歯形図に接触線を観察することができます。図 17.9、図 17.10 に作図例を示します。





図17.7 歯形レンダリング

図 17.8 コントロールフォーム



図17.9 作図例1

図 17.10 作図例 2

[18] Adduction Differential Gear Design System



🗵 18.1 Adduction Differential Gear

18.1 概要

Adduction Differential Gear (愛称: ピンコイド歯車)は、外 歯車と内歯車に1 歯差または2 歯差を与えた内転差動式の歯車 減速装置です。インボリュート歯形を用いて同じ機構を成立さ せることができますが、効率やかみ合い干渉の点からも内歯車 にピンを配置する歯形が有利と言えます。

18.2 諸元入力

- (1) 歯車諸元の入力画面を図 18.2 に示します。
- (2) 最大歯数差は、2 歯です。
- (3) 外歯車の歯形は、内歯車のピン径と、ころがり円および偏心 量から決定します。
- (4)外歯車の歯厚管理用に、またぎ歯数を設定します。

(5) CAD データ作成時の精度を設定します。

📕 歯車諸元							
項目	記号	単位	外歯車	内歯車			
モジュール	mn	mm	2.	0000			
歯数	Z		20	21			
ピン径	Pq	mm		3.5000			
基準比。所用直径	d	mm	40.0000	42.0000			
偏心量	е	mm	0.8500				
ころがり円直径	dw	mm	40.0000	41.7000			
歯先円直径	da	mm	40.2000	38.5000			
歯底円直径	df	mm	36.8000	41.9000			
製品外径	od	mm	55.	0000			
またぎ歯数	Zw		5				
またぎ歯厚	W	mm	25.1412				
歯幅	b	mm	12.0000				
円弧補間精度	Ci	μm	0.5000				
麗定							

図 18.2 諸元入力

18.3 かみ合い図

図18.3にかみ合い図を示します。部分拡大によりピンと外歯 のかみ合いを確認することができます。



図 18.4 歯形拡大図

18.4 回転図

図18.5 に歯車回転図を示します。



18.5 歯形レンダリング

図18.6に歯形レンダリングを示します。XYZ 軸で観察角度の 変更ができ、Z 軸移動量で拡大、縮小ができます。また、かみ 合いステップ角により回転速度を変更することができます。



図18.6 歯形レンダリング

18.6 偏心量を変更した歯形

図 18.2 の歯車で偏心量を 1.3mm に変更した歯形を図 18.7 お よび図18.8に示します。





18.7 DXF ファイル出力

図18.9にCAD 作図例を示します。



[19] VGR ラック設計ソフトウエア



19.1 概要

VGR(Variable Gear Ratio) ラック設計ソフトウエアは、ギヤレ シオカーブに基づいて運動するピニオンとラックの歯形を生成 し、強度計算、FEM歯形応力解析、すべり率グラフ、ヘルツ応力 グラフを計算することができます。

19.2 ピニオンの諸元入力

ラックとかみ合うピニオンの諸元と、ラックを生成するため のピニオン諸元を入力します。図 19.2 にピニオン諸元の入力画 面を、図19.3にピニオンの寸法を示します。

🔺 ヒニオン諸元							
項目(ピニオン)	記号	単位	ビニオン うっり生成用ピニカ				
モジュール	mn	mm		1.85000			
歯 数	Z	·		8			
圧力角	an	deg	2	0.00000			
ねじれ角	β	deg	2	5.00000			
ねじれ方向			右ねじれ 🚽				
ビッチ円直径	d	mm	16.3300				
転位係数	xn		0.55000				
歯先円直径	da	mm	20.9560	22.0000			
歯底円直径	df	mm	14.5000	15.3360			
歯厚減少量	fn	mm	0.0000	0.0000			
歯先 R	Ra	mm	0.5000	0.5000			
基準ラック歯元R係数	Rco		0.3750	0.3750			
歯先夘アランス	ckt	mm	0.5220				
歯底切アランス	ckb	mm	0.4180				
測定ピン径	dp	mm	4.0000				
軸交差角	Σ	deg	20.00000				
曜 定 ++)地							

図19.2 ピニオン諸元の設定

🔺 ビニオン寸法				X		
項目	記号	単位	ピニオン	うック生成用L®にわ		
またぎ歯数	ZM		2	2		
またぎ歯厚	W	mm	9.1624	9.1624		
オーバーセッフ寸法	dm	mm	24.2471	24.2471		
歯末のたけ	ha	mm	2.3130	2.8350		
歯元のたけ	hf	mm	0.9150	0.4970		
正面円ビッチ	Ps	mm	6	.4128		
歯直角円ビッチ	Pn	mm	5.8119			
基礎円直径	db	mm	15.1537			
歯直角歯先幅	Sn	mm	0.9295	0.1006		

図19.3 ピニオンの寸法結果

19.3 ピニオン歯形図

ピニオンの歯形図を図19.4に示します。図19.5は、歯形の 部分拡大図です。





19.4 ギヤレシオカーブ

ピニオンの回転角に対するラックゲイン(mm/rev)の数値を設 定します。図19.6は直線変化のグラフですが、図19.7は、ス プライン曲線で接続しています。

(1)ストッパ位置の入力

ピニオンの最大回転角度がラック長となります。

- (2) 図中の一点鎖線は、
- ①ころがり円がピニオン歯先円のときのストロークゲイン ②ころがり円がピニオン基準ピッチ円のときのストロークゲ イン

③ころがり円がピニオン基礎円のときのストロークゲイン を示します。

(3) グラフ表示後、スクロールバーをスライドさせると上部にピ ニオン回転角とラックストローク値を表示します。

図19.6および図19.7は、ピニオン回転角の増加に伴いラッ クゲインも増加していますが、ラックゲインを減少させること も可能です。



図19.6 ギヤレシオカーブ(直線接続)



図19.7 ギヤレシオカーブ(スプライン接続)

19.5 ラックの諸元設定

ラックの諸元設定画面を図19.8に示します。ラックの基準角 度の設定により、ラックの基準位置(ピニオン回転角0deg 位 置)における中央断面の歯形が、歯山または谷を選択します。ラ ック寸法の計算結果を図19.9に示します。



図19.8 ラックの諸元設定

🔺 599寸法								
項目	記号	単位	ラック(ローケ・イン)	うっり(パケデイン)				
モジュール	mn	mm	1.7474	2.1938				
圧力角	an	deg	5.8039	37.5869				
ねじれ角	β	deg	3.5268	10.0766				
ねじれ方向	[·	左ね	Uh 👘				
オーバーピン寸法	dm	mm	36.1364	34.2073				
歯先高さ	ht	mm	32.5820	32.5820				
ビッチ高さ	pt	mm	32.6268	30.1094				
歯底高さ	hb	mm	29.2500	29.2500				
軸方向ビッチ	Px	mm	5.5000	7.0000				
歯直角ビッチ	Ph	mm	5.4896	6.8920				
正面かみあい率	εα		1.0068	0.7088				
重なりかみあい率	εβ		1.2099	1.7794				
総合かみあい率	εγ		2.2167	2.4883				
歯直角歯先幅	Sn	mm	1.7850	1.2674				



19.6 VGR ラックの歯形創成図

ラック歯幅中央断面歯形の創成図を図19.10に示します。図 のAは、ラック軸の中央位置でありBは、ストッパ位置を示し ます。左右の歯形の変化を確認することができます。



図 19.10 ラックの創成図

19.7 VGR ラックの3D 歯形計算

歯形計算の前に歯形の分割数を設定します。(図19.11)

	🔺 歯形計算	
	分割数	数値
	したこれ歯幅方向	50
	ううり歯幅方向	30
	ううってったけ方向	30
	○ 歯底幅 (●)	500外径
	OK to	/t∥
叉	19.11 歯形計算	章の設定

19.8 レンダリング図

歯形計算終了後、[レンダリング図]ボタンを押すと、ピニオ ンとラックの歯形かみあい図を表示します。レンダリング図は、 座標軸の角度を変更することにより、視点を変えて観察するこ とができます。

図 19.12 にピニオン上面から観たレンダリング図を示します。 また、図 19.13 のラック背面から観たしたレンダリング図には、 かみあい接触線を観察することができます。 図 19.13の右に示すコントロールフォームで、
①座標軸の角度変更
②ズーム
③ワイヤフレーム、シェード表示切り替え
④背景色の設定
⑤ラックストロークチェック(ピニオンまたはラックの移動)

の機能があります。



図 19.12 レンダリング(ピニオン上面から観察)



図 19.13 レンダリング(ラック背面から観察)

19.9 CAD ファイル出力

ピニオンと VGR ラックの歯形を DXF または IGES ファイルで出 力することができます。図 19.14 および図 19.15 にファイル出 力設定を示します。CAD 作図例を、図 19.16~図 19.19 に示しま す。



7+16世纪4 7+16世纪 - 世祖24 - 世祖28



図 19.18 CAD 作図例(IGES)

19.10 すべり率グラフ

ラック軸中央のかみ合い位置とストッパ位置でのかみ合いに おけるすべり率グラフを図 19.20 及び図 19.21 に示します。図 19.20のピニオン歯元で大きなすべりが発生しています。





図 19.20 すべり率(Low)

19.11 強度計算

JGMA 強度計算に基づいた計算結果を図 19.22 および図 19.23 に示します。ラックの強度は、Low Gain 側と High Gain 側の2 箇所の歯形について強度計算をします。

※AGMA 強度計算は、別途お問い合わせ下さい。

🥖 JGMA強度計算諸元								
項目		オン		VGRラック				
熱処理	高周	〕波烁	込れ	•	高周波焼入れ 💌			
材料記号	SCM440			•	SCM440 👻			-
心部硬度	HV		242		HV	242		
表面硬度	HV		500		HV		500	
σFlim(MPa)			265.0				265.0	,
σHlim(MPa)			1069.0				1069.0	
JIS精度等級(1976)	3 💌				3		•	
項目	記号		単位		ビニオン		VGRラック	
トルク	T		N *m		5	.000		-
回転数	n		rpm		60	.000		-
軸受け支持方法					両軸受け		こ対称	•
寿命繰り返し回数	L					1000000		
歯車の回転方向					正転のみ		のみ	•
周速	V (m/s	_	0.0514			
歯形修整						有	9	•
歯面粗さ	Rmac	<u> </u>	μm		6	.00	6.	.00
負荷時歯当り状況						良	好	•
材料定数係数	ZM		(MPa) ^{0.5}		189	.800	189.	.800
潤滑油係数	ZL					1.000 1.0		.000
過貝何係数	Ko				1.000			
歯元田げ安全率	SF				1.200		_	
画面損傷安全半	I SH			_		1	.150	
	5	留 定	1 4721					

図 19.22 強度計算設定

📕 JGMA強度計算結果								
項目(曲げ)	記号	単位	ピニオン	うっク(ローケドイン)	ラック(ハイケ・イン)			
許容曲げ応力	σFlim	MPa	265.000	265.000				
曲げ有効歯幅	b'	mm	20.614	13.775	21.217			
歯形係数	YF		2.225	2.065	2.065			
荷重分布係数	Yε		0.840	0.397	1.622			
ねじれ角係数	Yβ		0.792	0.971	0.916			
寿命係数	KL		1.000	1.400	1.400			
寸法係数	KF×		1.000	1.000	1.000			
動荷重係数	Kv		1.000	1.000	1.000			
呼び円周力	Ft	N	611.767	713.253	560.397			
許容円周力	Ftlim	N	5687.987	9341.765	4691.756			
曲げ強さ	Sft		9.298	13.097	8.372			
歯元曲げ応力	σF	MPa	28.502	20.233	31.652			
項目(面圧)	記号	単位	ピニオン	うっク(ローケドイン)	うっり(ハイケ・イン)			
許容ヘルツ応力	σHlim	MPa	1069.000	1069	.000			
面圧有効歯幅	bw	mm	18.764	13.775	21.217			
領域係数	ZH		2.296	4.075	1.942			
寿命係数	KHL		1.000	1.300	1.300			
かみあい率係数	Zε		0.917	0.952	1.155			
粗さ係数	ZR		1.008	1.004	1.010			
潤滑速度係数	ZV		0.891	0.891	0.891			
硬さ比係数	ZW		1.000	1.000	1.000			
荷重分布係数	KH 🕫		1.000	1.000	1.000			
動荷重係数	Kv		1.000	1.000	1.000			
呼び円周力	Fc	N		612.370				
許容円周力	Fclim	N	1327.453	480.501	2241.640			
歯面強さ	Sfc		2.168	0.785	3.661			
ヘルツ応力	σH	MPa	726.064	1206.806	558.730			

図 19.23 強度計算結果

19.12 ヘルツ応力グラフ

ラック軸中央のかみ合い位置とストッパ位置でのかみ合いに おけるヘルツ応力グラフを図19.24および図19.25に示します。



19.13 FEM 歯形応力

ピニオンと VGR ラックの2次元 FEM 歯形応力解析をします。 図 19.26 に FEM 設定画面を、図 19.27 および図 19.28 に最小主 応力図を示します。

🔺 FEM 解析	諸元						
項目	記号	単位	ビニオン	うっり(ローケドイン)	うっり(パイケドイン)		
材料記号			SCM440	SCM	440		
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		12	12	12		
横分割数	Hd		22	23	18		
荷重点位置	Pn		2	2	2		
荷重	Ft	N	611.77	713.25	560.40		
色階調数	nc			100			
変位倍率	Sd			100			
	確 定 キャンセル						

図 19.26 FEM 解析諸元





図 19.28 FEM 解析 (R-Low)

[20] Face Gear Design System



🗷 20.1 Face Gear Design System

20.1 概要

フェースギヤ3次元歯形解析ソフトウエアは、ピニオンの歯 形(インボリュートギヤ)を決定し、それにかみ合うフェースギ ヤの3次元歯形を計算します。また、フェースギヤの歯厚の調 整や歯形修整、クラウニングにも対応できる柔軟な設計が可能 です。図20.1にフェースギヤの画面を示します。

20.2 基準ラック設定

ピニオンの基準ラックを設定します。歯たけは並歯、低歯、 特殊たけに対応しています。(図 20.2)



図 20.2 基準ラックの設定

20.3 ピニオン諸元設定

- (1) 図 20.3 にピニオン諸元 設定画面を示します。
 (2) 歯先円および歯底円直
 (2) は 其進ニュク記字で
- 径は、基準ラック設定で 設定された値を基準に計 算します。
- (3) 入力するとピニオンの 歯形図が確認できます。
 図 20.4 にピニオンの歯 形図を示します。

📕 ビニオン諸元入ス							
項目	記号	単位	ピニオン				
モジュール	mn	mm	1.0000				
歯 数	z	[9				
圧力角	αn	deg	20.000000				
ねじれ角	β	deg	40 0 0 "				
ねじれ方向		[右ねじれ				
転位係数	×n	[0.300000				
法線歯厚減少量	fn	mm	0.000000				
ビッチ円直径	d	mm	11.7487				
基礎円直径	db	mm	10.6118				
歯先円直径	da	mm	14.2000				
歯底円直径	df	mm	9.8487				
歯先R	ra	mm	0.2000				
歯先りリアランス	cka	mm	0.2500				
歯底クリアランス	ckb	mm	0.2500				
確定 りっアランス参考図							
図 20.3	図 20.3 ピニオン諸元設定						



20.4 フェースギヤ諸元設定

図 20.5 にフェースギヤの諸元入力画面を示します。また、図 20.6 で歯形修整、歯すじ修整をすることができます。歯先円直 径の尖り限界直径は[ギヤ歯先とがり径]で計算することができます。

🔏 ギヤ諸元入力						
項目	記号	単位	ギヤ			
歯数	Zg		46			
オフセット量	e	mm	8.0000			
歯直角法線方向バータラーシ	Jn	mm	0.1000			
内端直径	di	mm	46.0000			
外端直径	do	mm	56.0000			
歯すじ方向分割数	6N0		22			
歯たけ方向分割数	hNO		22			
創成角度	Ang	deg	0.5000			
重なりかみ合い率(参考)	εk		1.0781			
確定						

図 20.5 フェースギヤ諸元入力

🖊 フェースギヤ 🗄	形態書	3	
歯形修整項目	記号	数 (值(mm)	Tf :
歯先修整量	Tf	0.0000	
歯先修整たけ	RLt	0.0000	
歯元修整量	Bf	0.0000	RLb
歯元修整たけ	RLb	0.0000	Bf 外端部會形
歯すじ修整項目	記号	数 値(mm)	
外端修整量	Reo	0.0000	内端 外端
外端修整幅	Rwo	0.0000	Rwi Rwo
内端修整量	Rei	0.0000	Rei
内端修整幅	Rwi	0.0000	
フェース歯先R(mm)	FtR	0.0000	確定 キャンセル
図 20.	6 7	/ェースギー	ヤ歯形修整

20.5 すべり率

フェースギヤのすべり率グラフ(内側、中央、外側)をグラフ で表示します。本例の場合のすべり率グラフを図 20.7~図 20.9 に示します。内側のすべり率が外側に比べ大きいことが解りま す。



図 20.9 すべり率(中央)

20.6 歯形レンダリング

フェースギヤのかみ合い歯形レンダリングを図 20.10 および 図 20.11 に示します。また、コントロールフォームで観察角度 や倍率の変更をすることができます。図 20.11 は、フェースギ ヤの背面から観察した図には、かみ合い接触線が顕著に現れて います。





図 20.11 歯形レンダリング2

20.7 組図

全体のバランスを[組図]で確認することができます。図 20.12の組図1でピニオンの歯幅を変更することができます。 図 20.13 は、本例の実縮図です。



20.8 CAD ファイル出力

図 20.14 および図 20.15 に CAD 作図例(IGES ファイル)を示します。



20.9 ストレートフェースギヤ

ピニオンを平歯車としてオフセットが0のフェースギヤの歯 形を設計した例を下記に示します。図 20.16 にピニオン諸元を 図 20.17 にフェースギヤ諸元設定画面を示します。この場合、 フェースギヤの内端側も外端側も尖り限界に近い直径で設計し ています。歯形レンダリングを図 20.18 および図 20.19 に示し ます。

🗛 ビニ オン諸元入力 📃 🗖 🔀				
項目	記号	単位	1	ビニオン
モジュール	mn	mm		1.0000
歯 数	z			9
圧力角	αn	des		20.000000
ねじれ角	β	des		
ねじれ方向				
転位係数	xn			0.300000
法線歯厚減少量	fn	mm		0.000000
ピッチ円直径	d	mm		9.0000
基礎円直径	db	mm		8.4572
歯先円直径	da	mm		11.0000
歯底円直径	df	mm		7.1000
歯先R	ra	mm		0.2000
歯先りリアランス	cka	mm		0.2500
歯底クリアランス	ckb	mm		0.2500
	幡	定	25	75以参考図
図 20.16	ピニ	-オ	ン言	者元設定
📕 ギヤ諸元入力				
項目		記号	単位	ギャ
歯 数		Zξ		30
オフセット量		е	mm	0.0000
歯直角法線方向が ックラッシ		Jn	mm	0.1000
内喘直径		di	mm	26.0000
275備世任 売すじて右公割断	h	DNO	mm	36.0000
画9 0 万回万割度 満たけ方向公割医	x t	5NO		22
創成角度	<u> </u>	Ans	deg	0.5000
重なりかみ合い率(考	考)	εk		0.0000

図 20.17 フェースギヤ諸元設定

確定



図 20.18 歯形レンダリング1



図 20.19 歯形レンダリング2

20.10 測定データの出力(オプション)

3次元測定機の測定用データを出力することができます。出 力形式は測定機によって異なりますので打合せの上、別途見積 もりいたします。

[21]L-Hypoid Gear Design System 21.1 概要

L-Hypoid Gear Design System 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、歯切り機械から生成されるものですが、本ソフ トウエアでは、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)にオフセットを与えピニオンの歯形を解析し1 組の歯車としています。図21.1 に全体画面を示します。



🗵 21.1 L-Hypoid Gear Design System

21.2 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。

🔺 寸法諸元(ANS	I/AGM	A2005	- 888)	
項目	記号	単位	ビニオン	ギヤ
分類			二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二二	2曲 💌
円錐形状			標準	テーパ 💌
正面モジュール	mt	mm	6	.00000
歯数	n,N		11	45
平均圧力角	Ф	deg	19	.00000 💌
オフセット量	E	mm	40	.0000
ねじれ角	Ψ	deg	48.44633	
ねじれ方向			🛛 左ねじれ 💌	右ねじれ
軸角	Σ	deg	90	.00000
歯幅	F	mm	41	.6900
AGMA粘度等級			9(JIS= 3) 💌	9(JIS= 3) 💌
工具の種類			Mill	ing 💌
工具半径	rc	mm(in)	114.300 (4.500) 🗾
切り刃数	NS			
中央円弧歯厚	tn, Tn	mm	9.1836	4.8331
クリアランス係数	k2			0.1250
工具刃先R	rt	mm		0.7200
歯面粗さ	Rmax	μm	10.0000	10.0000
		確定	ia)tili	

図 21.2 寸法諸元設定

21.3 寸法計算結果

AGMA2005-B88 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 に寸法結果を示します。図21.4 の諸元修 整で、歯形の解析精度を設定し、クラウニング、歯形修整、歯 先円錐角、歯たけなどを変更することができます。

▲ 寸法結果(ANSL/AGM	A2005-	888)		
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
中央正面モジュール	mm	mm	5.	.11101
凹面圧力角	Φ1	deg	13.	.92678
凸面圧力角	Φ2	deg	24.	.07322
ビッチ円錐頂点の位置	Z	mm		-0.0738
歯先円錐頂点の位置	Go,Zo	mm	9.9861	-1.2348
歯底円錐頂点の位置	GR,ZR	mm	13.6969	-0.0738
外端円錐距離	Ao	mm		141.7191
中央円錐距離	AmP, AmG	mm	128.1239	120.7213
ピッチ円直径	d,D	mm	87.9334	270.0000
外端歯先円直径	do,Do	mm	103.8947	271.6387
ビッチ円錐角	[γ,Γ	deg	16.78092	72.28633
外端歯末のたけ	aoG	mm		2.6929
外端歯元のたけ	boG	mm		9.2828
外端有効歯たけ	hk	mm		10.8603
外端全歯たけ	ht	mm	12.1669	11.9757
中央歯末のたけ	a	mm	6.7945	2.1288
中央歯元のたけ	b	mm	3.2442	7.9099
クリアランス	С	mm	1.1154	1.1154
中央有効歯たけ	h	mm	8.	.9233
中央全歯たけ	hm	mm	10.	.0387
歯元角の和	Σδ	deg	5.	.28816
歯元角	δ	deg	1.46901	3.74879
歯末角	α	deg	3.58355	1.53937
歯底円錐角	γR,ΓR	deg	15.31191	68.53754
歯先円錐角	γο,Γο	deg	20.36446	73.82570
90°相当歯数比	m90		3.	.1308
中央円ピッチ	Pm	mm	16.	.0567
Crossing Point~外端歯先	хо,Хо	mm	129.9617	40.6281
中央ビッチ円直径	dm	mm	73.9820	229.9956
中央歯直角円弧歯厚減少量	fn	mm	0.0000	0.0000
ギヤ外端ねじれ角	ΨoG	deg		35.84757
中央歯直角もりい。歯厚	the	mm	9.0596	4.7324
中央歯直角も別い。歯たけ	ac	mm	7.0674	2.1365
トータルバックラッシー	j	mm	0.	.0000
中央ねじれ角	ΨP,ΨG	deg	48.44177	29.19668

図 21.3 寸法結果(標準値)

🔺 修整諸元入力					X
ピニオン粗さ 密 ◀				▶ 粗	
歯幅方向分割数(hu)	2	1 1	話たけ方向分割数(vu	J) 40	
項目	記号	単位	▼ ビニオン	▼ ギ ヤ	
歯車歯先R	Rtip	mm	0.6000	0.6000	_
外端部クラウニング半径	Crwh	mm	87.9334	270.0000	_
外端部りラウニンク、量	Crh	mm	0.0000	0.0000	_
内端部ウラウニング半径	Crwt	mm	87.9334	270.0000	_
内端部クラウニング量	Crt	mm	0.0000	0.0000	_
外端部歯先修整量	Tr	mm	0.0000	0.0000	_
外端部歯先修整たけ	Th	mm	0.0000	0.0000	_
歯先円錐角	δa	deg	20.36446	73.82570	- •
歯底円錐角	ôf	deg	15.31191 *	68.53754	- •
外端歯末のたけ	hao	mm		2.6929	_
外端歯元のたけ	hfo	mm		9.2828	_
外端歯先円直径	do	mm	103.8947		_
□ 参考図の表示	幡	足	ŧø⊃telk		

図 21.4 修整諸元設定

🔺 寸法結果(諸元変更後)			X
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
中央正面モジュール	mm	mm	5.	.11101
凹面圧力角	Φ1	deg	13.	.92678
凸面圧力角	Φ2	deg	24.	.07322
ビッチ円錐頂点の位置	Z	mm		-0.0738
歯先円錐頂点の位置	Go,Zo	mm	9.9861	-1.2348
歯底円錐頂点の位置	GR,ZR	mm	13.6969	-0.0738
外端円錐距離	Ao	mm		141.7191
中央円錐距離	AmP, AmG	mm	128.1239	120.7213
ビッチ円直径	d,D	mm	87.9334	270.0000
外端歯先円直径	do,Do	mm	103.8947	271.6387
ビッチ円錐角	γ,Γ	deg	16.78092	72.28633
外端歯末のたけ	aoG	mm		2.6929
外端歯元のたけ	boG	mm		9.2828
外端有効歯たけ	hk	mm		10.8603
外端全歯たけ	ht	mm	12.1669	11.9757
中央歯末のたけ	a	mm	6.7945	2.1288
中央歯元のたけ	b	mm	3.2442	7.9099
クリアランス	С	mm	1.1154	1.1154
中央有効歯たけ	l h	mm	8.	.9233
 中央全歯たけ 	hm	mm	10.	.0387
歯元角の和	Σδ	deg	5.	.28816
歯元角	Ô	deg	1.46901	3.74879
歯末角	α	deg	3.58355	1.53937
歯底円錐角	γR,ΓR	deg	15.31191	68.53754
歯先円錐角	γο,Γο	deg	20.36446	73.82570
90°相当歯数比	m90		3.	. 1308
 中央円ビッチ 	Pm	mm	16.0567	
Crossing Point~外端歯先	xo,Xo	mm	129.9617	40.6281
中央ビッチ円直径	dm	mm	73.9820	229.9956
中央歯直角円弧歯厚減少量	fn	mm	0.0000	0.0000
ギヤ外端ねじれ角	ΨoG	deg		35.84757
中央歯直角も別や歯厚	the	mm	9.0596	4.7324
中央歯直角特別や歯たけ	ac	mm	7.0674	2.1365
トータルバックラッシ	<u> </u>	mm	0.	.0000
中央ねじれ角	ΨP,ΨG	deg	48.44177	29.19668

図 21.5 寸法結果(修整諸元変更後)

21.4組み図

図 21.5 の寸法計算結果に基づいたハイポイドギヤ寸法を図 21.6 に示します。



図 21.6 寸法図

21.5 強度計算

21.5.1 動力設定

ハイポイドギヤの強度計算は、ANSI/AGMA2003-A86 規格に基づいています。図 21.7 に動力諸元設定を示します。図 21.8 および図 21.9 に、Life Factor グラフを示します。

🔺 動力諸元				_ 🗆 🔀
項目	記号	単位	面 圧	曲 げ
定格伝達馬力	Po	k\\	60	.0000
等価動力	P	k₩	***	**
ビニオン回転数	np	rpm	1000	.0000
寿命繰り返し数	N		1000000	
歯車の使用状況			-	般 💌
回転方向			Ē	転
クラウニング			有	IJ 🔽
支持構造係数	Cmf		1	.000
外部動荷重係数	Ca,Ka		1.000	1.000
信頼度係数	CR,KR		1.000	1.000
温度係数	CT,KT		1.000	1.000
した。 に が 過負荷の回数	数/分二		1	
ギ ヤ過負荷の回数/分 1				
🗌 Life Factor CL	🗌 Life	Factor	KL 幾何係数	曜定日神ン地

図 21.7 動力諸元設定



21.5.2 幾何係数

幾何係数(I, J)の標準値を図 21.10 に示しますが、図 21.11 および図 21.12のグラフを参考にして、任意に変更することが できます。

項目	記号	ピニオン	ギヤ
面圧用幾何係数	I	0	.18697
曲げ用幾何係数	JP,JG	0.34687	0.31609
オフセット係数	E/D	0	.15
Γ Ιのグラフ	□ Jの5	ブラフ 🛛	曜定日本沙山

図 21.10 幾何係数(標準値)



図 21.12 幾何係数(J)

21.5.3 材料設定

図 21.	13に材料。	埶 仉 理	硬度.	許容応力数を設定し	ます
21 2 .		Mix Contraction	PX/X		~ J (

🔺 材料設定					
ビニオン材料			-	ギヤ材料一	
材料名	網		材料名	調	
材料記号	aaa	۹.	材料記号	bbb)
熱処理	浸炭焼入れ 💌		熱処理	浸炭焼入れ ▼	
硬 度(HRC)	60		硬 度(HRC)	55	5
許容面圧応	力数(MPa)	1240.0	許容面圧応	力数(MPa)	1240.0
許容曲げ応	力数(MPa)	380.0	許容曲げ応	力数(MPa)	380.0
□ 参考表の表示 ()確定) 弾					剿性係数

図 21.13 材料設定

21.5.4 強度計算結果

ハイポイドギヤの強度結果を図21.14に示します。

🔺 強度計算結果(ANSI/AGMA2003-A86) 💦 🔲 🔀						
項目	記号	単位	ビニオン	ギヤ		
歯数比	mG		4.091			
周 速	Vt	m/s	4.604			
効 率	ζ	%	96.	.379		
定格ビニオントルク	TD	N•m	572.	.983		
等価ビニオントルク	TP	N•m	572.	.983		
歯面強さ						
応力調整係数	СЬ		0.	.634		
内部動荷重係数	Cv		0.	.928		
∪係数	U		0.	.239		
最小動荷重係数	Cvmin		0.	.238		
重なりかみあい率	mF		2.	.760		
寸法係数	Cs		1.000			
荷重分配係数	Cm		1.200			
歯すじ修正係数	Схс		1.500			
歯面状態係数	Cf		1.000			
幾何係数	I		0.187			
寿命係数	CL		1.000			
硬さ比係数	CH		1.	.000		
許容面圧応力数	Sac	MPa	1240.000	1240.000		
面圧応力数	Sc	MPa	731.524	705.037		
許容伝達動力	Pac	k\\	172.409	166.167		
歯面強さの余裕率	SFc		2.873	2.769		
曲げ強さ						
内部動荷重係数	Kv Kv		0.	.928		
寸法係数	Ks		1.000	1.000		
荷重分配係数	Km		1.200			
歯筋曲線係数	K× K		1.061			
幾何係数	J		0.347 0.316			
寿命係数	KL		1.000			
許容曲げ応力数	Sat	MPa	380.000 380.000			
曲げ応力数	St	MPa	183.104 270.821			
許容伝達動力	Pat	k₩	124.526	104.196		
曲げ強さの余裕率	SFt		2.075	1.737		

図 21.14 強度計算結果(曲げ、面圧)

21.5.5 寿命計算結果

図 21.15 に寿命計算結果を示します。

▲ 寿命計算結果				X
歯面強さの寿命	記号	単位	ピニオン	ギヤ
予想寿命係数	CL'		0.590	0.590
予想寿命負荷回数	No	cycs	5.662E+16	5.662E+16
予想寿命時間	Lc	hrs	1.573E+13	6.434E+13
曲げ強さの寿命	記号	単位	ピニオン	ギヤ
予想寿命係数	KĽ,		0.482	0.713
予想寿命負荷回数	Nt	cycs	1.000E+07	1.000E+07
予想寿命時間	Lt	hrs	2.778E+03	1.136E+04

図21.15 寿命結果

21.6 歯形レンダリング

図 21.4 で設定した歯幅方向および歯たけ方向分割数に基づいて歯形を解析し表示します。図 21.16 および図 21.17 に歯形レンダリングを示します。図 21.18 のコントロールフォームにより観察角度および図形の大きさを変更することができます。 図 21.19 の歯形レンダリングは、図 21.16 に加工カッタを重ね合わせた図です。



155	4			
	_			•
32	4			Þ
40	•			۲
998	•			۲
1	4			Þ
0.0	4			۲
0.040	•			۲
回転方向	6) -			ī
◉ 正転	0) 逆回	康云	
🗙 Gear		Cut	tter	
	32 40 3998 1 0.0 -0.040 回庫云方「 ● 正庫云	32 4 40 4 3998 4 1 4 0.0 4 -0.040 4 回転方向 ④ 正転云(文 Gear	32 《 40 《 3938 《 1 《 0.0 0 () 回転方向 ④ 正敏之 ① 这回 文 Gear Cut	32 40 40 1 1 4 0.0 4 0.0 4 回転方向 ● 正転云 〇 逆回転云 文 Gear Cutter

図 21.18 コントロールフォーム



図21.19 歯形レンダリング(カッタ表示)

ここで出力するハイポイドギヤの歯形は、歯切盤によって得られた歯形ではありません。両歯車の歯形は(1)~(3)で決定しています。

- (1) ギヤ(大歯車)を球面インボリュート歯形で出力します。
- (2) 歯すじ曲線は、諸元設定の工具半径で決定します。
- (3) ピニオン(小歯車)の歯形は、ピニオン軸にオフセットを与 え、ギヤ歯形とかみ合うように歯形を決定しています。

21.7 CAD ファイル

ピニオンとギヤの歯形は、DXF および IGES ファイルで出 力することができます。図 21.20 にファイル出力フォームを、 図 21.21 および図 21.22 に CAD 作図例を示します。



(ギヤ)

(ビニオン)

21.8 その他

8.1 設計データの保存、読み込み

8.2 印刷(寸法、強度計算、組図)

[22] CT-FEM System(Ver.2) 22.0 はじめに

CT-FEM Systemは、2004年09月に発売開始以来、歯車の限界設計に挑戦している専門家の方々から、バイアス修整や軸角誤差を持つ歯車の実験結果とシミュレーションが非常に良く一致した結果であると高い評価をいただいています。また、通常の歯車設計の感覚で操作することも高評価の一因です。

この度、お客様の要望にお答えして種々新機能を追加した CT-FEM System(Ver.2)を開発しました。詳しくは下記をご覧く ださい。

22.1 概要

有限要素法による応力解析は剛性解析であり、扱うオーダー はmm単位です。一方、歯形のかみ合い解析はµmオーダーの寸法 を扱う必要があります。さらに、一般のFEMは接触問題の解析 を苦手としており、かみ合う一対の歯車の応力解析を歯面形状 をも考慮して有限要素法で行うのはこれまで不可能であったと いえます。

そこで、機械設計者が柔軟に使用することができるように、 歯車の接触問題を考慮した FEM による歯車の応力解析ソフトを 開発しました。図 22.1 に CT-FEM System の画面を示します。



図 22.1 CT-FEM System

22.2 初期設定

- 2.1 適用歯車 :インボリュート歯車
 - 外歯車×外歯車

外歯車×内歯車

2.2 基準ラック: 並歯、低歯、特殊

図 22.2 に、諸元設定画面を、図 22.3 にメッシュの初期設定 画面を示します。

A 37.87	A メッシュ設定	X
- 助元用決定方式 - 健康当方式 - 健康当方式 - 御道二方式 - 御道二方式 - 御道二方式 - 御道二方式 - 御道二方式 - 一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一	2次元要素分割設定 最小分割面積比率 0.1000 細分割境界半径 19.3940	36.3145
項目 2:5 ドニカン 4・ ↑ 面示の行力研発数 hao 1.22000 1.2000 電元の行力研発数 He 1.5500 1.5000 面子の行動 He 1.5500 0.5000 同子変体数 data 0.3500 0.5000 副子変体数 data 0.3500 0.5000	膜要素分割数 脱要素数 はたけ方向 ビニカン 41	齿幅方向 41
	・ ・ ・ ・ ・ </th <th>41 [確定] 標準</th>	41 [確定] 標準

図 22.2 歯車初期設定

図 22.3 メッシュ設定

22.3 諸元入力(1/4)

歯車の FEM 解析例を以下に示します。歯車諸元入力は、図22.4 に示しますようにモジュールから歯底円直径までを順次入力す るだけで済みます。また、中心距離を離してバックラッシを与 えることも可能です。図22.5 に、検討歯車の歯形レンダリング を示します。また、歯面膜要素だけを表示することができます ので食い違い誤差や平行度誤差と歯形修整を与えたときの歯面 の接触を容易に観察することができます。

A 諸元入力 (1)	A 諸元入力(1/4)					
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ		
モジュール	mn	mm	2	.00000		
歯数	Z		20	35		
圧力角	αn	deg	14.5000			
ねじれ角	β	deg	30 0	_ , <u> </u>		
ねじれ方向			「右ねじれ」	左ねじれ		
転位係数	xn		0.20000	0.00000		
中心距離	a	mm	63	.89566		
法線歯厚減少量	fn	mm	0.1000	0.1000		
歯幅	b	mm	10.0000	10.0000		
歯先円直径	da	mm	51.7880	85.6290		
歯底円直径	df	mm	40.7880	74.6290		
「確定」キャンセル						

図 22.4 寸法諸元設定



図 22.5 歯形レンダリング

22.4 メッシュ作成(2/4)

本ソフトウエアでは FEM 解析用に歯車を四面体 2 次要素(図 22.6)で自動分割することができます。生成条件は、図 22.7 に 示すように歯元、歯面、歯先部分を分割精度基準として決定す ることができるため、応力集中部分を細かく、その他の部分を 粗く設定することができます。

生成したメッシュは、図 22.8a および図 22.8b で確認することができ、生成した要素の中の最大偏平要素も確認することができます。もし、生成した要素分割に不満があれば、図 22.7の分割精度および節点数を変更することによりメッシュの形態

を変更することができます。



🚨 メラシュ作成(2/4) 📃 🗖 🔀						
創面部分の固定 ● 拘束なし ○ 拘束						
底面部分	の固定(拘束なし	. 🛈	拘束		
1	項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ	
ŀ	内 径 dmi			30.0000	65.0000	
歯元	歯元分割精度 あ1 µu			15.00	15.00	
當面	分割精度	82	μn	10.00	10.00	
歯先F	盼割精度	83	μn	20.00	20.00	
内谷	圣分割数	NB		8	7	
2)次元	総節点數			300	300	
ヤ	ング半	E	MPa	205940	205940	
ポアソン比				0.3000	0.3000	
外,内節点 20分割 30分割 外,内節点 20分割 30分割						
			確定			
			_			

図 22.6 四面体 2 次要素

図 22.7 メッシュ分割条件



図 22.8a 2 次元メッシュ

図 22.8b3次元メッシュ

図22.7のメッシュ条件により自動メッシュを生成した結果、 メッシュ分割数は、図 22.9 に示すようにピニオンの節点数は 32634、要素数は 20770 となります。また、検討歯車の各部寸法 を図 22.10 に示します.

<mark>且</mark> メッシュ分割結果			
諸元計算結果	】 メッシュ	分割結果	
項目	ピニオン	ギヤ	
外部節点数	102	71	
内部節点数	98	61	
2次元1次要素節点数	282	248	
2次元1次要素要素数	460	417	
4面体2次要素節点数	32634	30895	
4面体2次要素要素数	20770	20251	
4面体最大偏平度	44.6085	52.8704	
4面体平均偏平度	20.5680	20.1213	
要素節点一覧」解析開始			

図 22.9 メッシュ分割数

🖳 メッシュ分割結果					
諸元計算結	果		メッシュ分割結果		
項目	記号	単位	ピニオン	ギャ	
基礎円直径	db	mm	44.2568	77.4494	
した。が円直径	d	mm	46.1880	80.8290	
Tif径	dt	mm	44.2688	77.5820	
歯直角円弧歯厚	sn	mm	3.2452	3.0383	
正面円弧歯厚	st	mm	3.7472	3.5083	
正面圧力角	at	deg	16	.6270	
またぎ歯数	ZM		3	5	
基準またぎ歯厚	W	mm	15.734	27.945	
設計またぎ歯厚	₩'	mm	15.634	27.845	
オーバーヒック径	dp	mm	3.406	3.271	
基準オーバーピン寸法	dm	mm	51.481	84.885	
	dm'	mm	51.183	84.518	
かみ合いじ。が円直径	dw	mm	46.4696	81.3217	
「正面かみ合い圧力角」	awt	deg	17	.7525	
正面かみ合い率	εα	「	1	.7588	
重なりかみ合い率	εβ	·	0	.7958	
全かみ合い率	$\epsilon \gamma$	[2	.5545	
滑り率(歯先)	σa	·	0.7436	0.8830	
滑り率(歯元)	σb	·	-7.5480	-2.8996	
バックラッシ角度	θj	deg	0.5918	0.3382	
正面法線BL jtt mm 0.2286					

図 22.10 歯車寸法結果

22.5 回転角度、トルク設定(3/4)

図 22.11 および図 22.12 に示すように、ピニオンの回転角を 設定することによりかみ合い位置を変更することができます。 また、図 22.13 は接触直径と作用線長さをグラフで示したもの であり、作用線長さが重なる部分が2点接触であり、重ならな い部分が1点接触です。また、そのときの回転角度や接触直径 を確認することができます。ただし、本ソフトウエアは、3点 接触まで解析可能です。





図 22.13 かみ合いグラフ

22.6 歯形修整(4/4)

22.6.1 歯形修整(定型)

歯形修整と軸の取り付け誤差設定画面を図 22.14 に示します。 定型の歯形修整と歯すじ修整は、4種類あり、図22.15および 図 22.16 に示すように作用線と修整量および歯形Rで設定する ことができ、図 22.17 および図 22.18 に示すようにグラフで確 認することができます。また、任意の歯形修整、歯すじ修整お よび歯面修整は図 22.19の[任意修整]で設定することができま す。



図 22.14 歯形修整および歯すじ修整設定(定型)



図 22.17 歯形修整

49

22.6.2 歯形修整(任意修整)

任意修整の与え方は、歯形修整(図 22.20)と歯すじ修整(図 22.21) そして図 22.22 に示すように歯面修整(歯形基準)と歯面 修整(歯すじ基準)があります。歯形修整グラフは最大20分割す ることができ、誤差の設定方法は、図22.24のように簡単な操 作で行うことができます。また、修整量の確認は、図 22.25 の ようにトポグラフで確認することができます。



22.6.3 組み付け誤差角度 図 22.19 で、軸の食い違い誤差 および平行度誤差を設定すること ができます。(図 22.26)





図 22.26 誤差の方向

22.7 解析

(1)諸元入力、(2)メッシュ分割、(3)回転角度・トルク、(4) 歯形修整・誤差角度の入力後に解析することができます。解析 前に設計データを保存することもできます。

解析は、(1)歯面応力の計算、(2)メッシュモデルの FEM 解析 の順に行います。また、複数個の解析を効率よく行うことがで きるオプションがありますので、適宜ご利用ください。

解析後は、(1)要素応力、節点変位、節点応力、膜応力の数値 一覧表、(2)応力分布図、(3)変位分布図、(4)歯面応力分布図、 (5)外面最大応力、(6)歯面変位グラフ、(7)膜要素応力色付き表 で結果を確認することができます。

22.8 FEM 解析結果(数值一覧表)

数値一覧表を図 22.27 に示します。画面の0行目をクリック すると昇降順に表示しますので応力や変位の最大となる節点番 号や要素番号を確認することができます。また、確認後は要素 と節点を図中で点滅させることができますので、最大値の数値 と場所を確認することができます。

■ 解析結果 ヒニわ要素応力(MPa)							
要素応力	節点変位	命点応力 膜	応力				
要素応力	節点変位	節点応力 膜	応力				
要素番号	σxx	σуу	σzz	τху	τyz		
1	0.0181	-0.1863	-0.0007	-0.0300	-0.0		
2	0.0102	-0.1393	0.0309	-0.0603	-0.1		
3	0.0078	-0.1133	0.1191	-0.0669	-0.1		
4	0.0270	-0.0900	0.2226	-0.0590	-0.1		
	図 22.27 ズ	らかと応力-	- 暫表(10)	種類)			

22.9 FEM 解析結果(応力分布図)

応力分布図は x、 y、 z、 mと主応力 S1、S2、S3 を表 示します。例題歯車のピニオンの応力分布図を図 22.28~22.34 に示します。ギヤの表示も同様に表示します。図は拡大、縮小、 回転させることができ、任意の要素番号と節点番号を点滅させ ることができます。



図 22.28 応力分布図(m)





図 22.31 応力(z)





図 22.32 主応力(S1)



図 22.33 主応力(S2)

図 22.34 主応力(S3)

22.10 FEM 解析結果(变位分布図)

変位分布図は、x、y、z 方向の変位と総変位の色分布図を表示することができます。図 22.35 に変位分布図を示します。 図は拡大、縮小、回転させることができます。また任意の要素番号と節点番号を点滅させることができます。



図 22.35 変位図とコントロールフォーム

22.11 FEM 解析結果(外面最大応力)

図 22.36 に外面最大応力を示します。歯面最大圧縮応力は、 FEM 解析後のメッシュモデルの外面の応力になります。画面 の数値から歯面最大圧縮応力、歯元最大圧縮応力、 歯元最大引 張り応力を持つ要素番号を確認し、応力分布図で点滅させるこ とにより最大応力値とその位置を確認することができます。

🖪 外面最大応力 📃 🗖 🔀						
歯面の種類 ○ 左歯形 ○ 真ん中歯形 ○ 右歯形 調査 単位:MPa						
」 ビニオン						
	要素番号	主応力	σm			
歯面最大圧縮応力	11391	-203.6718	161.4313			
歯元最大圧縮応力	15026	-156.9317	138.7023			
歯元最大引張り応力	11222	152.2325	139.9414			
「ギヤー						
	要素番号	主応力	σm			
歯面最大圧縮応力	11794	-149.3155	120.6231			
歯元最大圧縮応力	7656	-156.1898	134.1363			
歯元最大引張り応力	12858	145.0328	123.7204			

図 22.36 外面最大応力

22.12 FEM 解析結果(歯面変位グラフ) 歯面変位を図 22.37 のようにグラフで表示します.



図 22.37 歯面変位グラフ

22.13 歯面応力解析結果(歯面応力分布図)

歯面に作用する応力を図22.38のように表示します。ピニオンとギヤの歯面(膜要素)の表示非表示を切り替えることにより、 歯車単体やかみ合った状態での歯面応力分布を確認することが できます。歯面応力の値は、図22.27の数値一覧表や、22.14 項の歯面応力値色付き画面で確認することができます。



図 22.38 歯面応力分布図

22.14 歯面応力解析結果(歯面応力値色付き)

膜要素応力値色付き表示は、図 22.39 に示すように膜要素と 同様に縦横を 40 分割したセル上に数値を表示します。



図 22.39 膜応力値色付き

22.15 歯面応力分布まで解析する機能

本ソフトでは、まず歯面同士の接触を解析します。その後、 歯面の応力分布をメッシュ切りしたモデルに与え FEM 解析し ます。この機能は、歯面応力まで解析した時点で計算を終了し ます。この機能により、歯面応力だけが必要な場合は FEM 解 析する時間を省略できますので、解析時間を短縮することがで きます。また、歯面応力から FEM 解析をするかどうかを判断 することができますので、トルク単位や回転角度の入力ミスを この時点で発見し、FEM 解析する時間のロスを防ぐことができます。

膜要素まで解析した時点で表示できるものは、歯面応力分布 図と歯面応力の数値です。FEM 解析をしていないためメッシ ュモデルの結果は表示することはできません。

歯面応力まで解析後に、FEM 解析する場合は[解析開始]ボ タンを押すと歯面応力の計算はしていますので FEM 解析を始 めます。

22.16 バッチ処理

ー度クリックするだけで、任意のフォルダ内の複数の設計デ ータを解析し結果を自動的に保存する機能です。

[FEM 解析(膜応力計算も含む)]か[膜応力まで解析]かを選択す ることができます。操作の手間を省くことができるため複数個 の解析を行う場合には有効な機能です。

22.17 各角度計算

回転角度のみを変更して複数個の設計データを解析する機能 です。各角度計算の入力画面を図 22.40 に示します。



図 22.40 各角度計算画面

22.18 色分布図レンジ変更設定

「応力分布図」「変位分布図」「膜要素応力分布図」は最小値 を青、最大値を赤で表示しています。この青と赤の値を任意に 変更することができる機能です。解析するピニオン回転角度に よって最大値と最小値が異なる(赤と青で示す値が異なる)ため 複数の解析結果を比較する場合に有効です。

22.19 内歯車の計算例

内歯車の FEM 解析例を下記に示します。歯車諸元入力は、外 歯車と同様にモジュールから歯底円直径までを順次入力するだ けで済みます。例題歯車諸元を、図 22.41 に示します。

A 諸元入力 (1.	🖁 諸元入力(1/4) 📃 🗖 🔀					
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ(内歯車)		
モジュール	mn	mm	2	.00000		
歯数	Z	·	20	55		
圧力角	αn	deg	20	.00000		
ねじれ角	β	deg	20 0	, 0 "		
ねじれ方向			「右ねじれ」	右ねじれ		
転位係数	xn		0.00000	0.50000		
中心距離	a	mm	38.17460			
法線歯厚減少量	fn	mm	0.1000	0.1000		
歯幅	Ь	mm	10.0000	10.0000		
歯先円直径	da	mm	46.5671	115.0596		
歯底円直径	df	mm	37.5671	124.0596		
内歯歯先C面	С	mm		0.0000		
確定						

図 22.41 諸元入力(内歯車)

歯車の解析条件を図22.42および図22.43に示します。また、 ピニオンには、図22.44のように20µmのクラウニングを与え て解析しています。解析結果を図22.45~22.49に示します。



22.20 強度計算式との比較(解析例)

図 22.4 の歯車に食い違い誤差 0.05 度と図 22.50 のようにピニオンに歯すじ修整を与え FEM 解析した結果(図 22.51~22.54) と歯車強度計算結果(図 22.55~22.58)の比較を下記に示します。

強度計算結果は JGMA401-01、402-01 と ANSI/AGMA2001-C95 の2種類について計算しています。これらの計算結果をまとめ ると表 22.1 となります。 解析条件として食い違い誤差と歯す じ修整を与えているため歯面応力は強度計算と比較して約2倍 の応力となっていますが、歯元曲げ応力には大きな差がない結 果となっています。



図 22.53 歯面応力分布図

🖪 外面最大応力						
「歯面の種類 ○ 左歯形 ○ 真ん中歯形 ○ 右歯形 [調査] 単位: MPa						
_ ピニオン						
	要素番号	主応力	σm			
歯面最大圧縮応力	11390	-1017.2688	730.5643			
歯元最大圧縮応力	15041	-278.4335	245.0477			
歯元最大引張り応力	10893	286.6533	254.0036			
ギヤ						
	要素番号	主応力	σm			
歯面最大圧縮応力	11538	-614.1417	459.1241			
歯元最大圧縮応力	7644	-405.7201	359.4822			
歯元最大引張り応力	12847	344.5038	299.1319			

図22.54 外面最大応力

Σ 金属曲車強度:	[
項目	Ľ=	わ	ギ	ヤ
熱処理	浸炭焼	λh 🔻	浸炭焼	vh 🔻
材料記号	SCM415	-	SCM415	-
心部硬度	HV	231	HV	281
表面硬度	HV	580	HV	580
ofFlim(MPa)		333.5		333.5
σHlim(MPa)		1284.5		1284.5
JIS椿度等級(1976)	3	+	3	Ψ.
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
トルク) T	N+m	50.000	87.500
回転数	n	rpa	600.000	342.057
軸受け支持方法			両軸受け	こ対称 💌
寿命繰り返し回数	L		1000000	
歯車の回転方向			正転の	わるチ 🔹
周速	V	m/s	1	.4533
宙形修整			無	U 💌
歯面粗さ	Rmax	μn	1.000	1.000
負荷時歯当り状況			良	好 💌
材料定数係数	ZM (MPa) ^{0.5}		189.800	189.800
濫得油係数	ZL		1.000	1.000
過負荷係数	Ко		1	.000
歯元曲げ安全率	SF		1	.000
當面損傷安全率	SH		1	.000
	曜定	キャンセル		

Σ 〒、はすは歯車	张度計算	結果(JGB	IA:401-01.4	02-01) 🔀
項目(曲げ)	記号	単位	ピニオン	47
許容曲げ応力	<i>d</i>Flin	HPa	333.500	333.500
曲げ有効歯幅	b	80	10.000	10.000
歯形係数	YF		3.686	3.465
荷重分布係数	YC		U	.670
ねじれ角係数	Υß		0	.750
寿审係鼓	KL		1.000	1.000
寸法係数	KF×		1.000	1.000
動荷重係数	Kv		1	.046
呼び円周力	FL	N	2151	.948
許容円周力	Ftlim	N	4150.792	4307.309
曲げ嫌さ	Sft		1.323	2.002
歯元曲げ応力	σF	HPa	172.900	166.618
項目(面圧)	記号	単位	ピニオン	ギヤ
許容ヘルツ応力	of HI in	HPa.	1284.500	1284.500
面圧有効歯幅	br		10	.000
領域係赦	211		2	. 440
寿命係鼓	KHL		1.000	1.000
かみあい半係数	28		0	.011
粗さ係数	ZR		1.077	1.077
潤滑速度係数	ZV		0.858	0.858
硬さ比係数	ZW		1.000	1.000
简重分布係数	KHB		I	.000
動荷重係数	Kv		1	.045
呼び円周力	Fc	N	2165	.063
許容円周力	Felim	N	\$509,608	\$509.608
歯面強さ	Sfc		1.821	1.821
ヘルウ応力	0H	HPa	1008.881	1008,881

図 22.55 JGMA 強度諸元設定

🥵 動力及び係数					
項目	記号	単位	ピニオン	# ヤ	
伝達動力	P	k	3.141		
ビニオン回転数	np	rpa	600.000		
寿命攝り返し数	N		1	000	
ビニオン軸受け間距離	S	nn	20.000		
ビニオンのわいを	\$1	nh	0.000		
曲車装置の種類			高精密級の	空閉金車装置 💌	
組み立て積度の条件			細立時	- 調整 💌	
回転方向			TERES	D24 *	
曲車の使用状況			-	赦 💌	
内部動荷重係数	Kv		1	.000	
简重分配係款	Km		1.000		
過負荷係数	Ko		1	.000	
信頼度係数	KR		1	.000	
寸法孫散	Ks		1.000	1.000	
表面状態係数	Cr		1.000	1.000	
温度係数	KT		1	.000	
會面安全率	SH		1	.000	
曲げ安全率	SF		1	.000	
荷重の位置			信先	নি 💌 💌	
過負荷の回数	Ns	ain-1	1 💌	1 💌	
📷 🐨] 4+265					
図 22.57 AGMA 強度諸元設定					

図 22.56 JGMA 強度結果

155 平、はすば高市強度計算				
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
有効面幅	F	80	10.	0000
周速	vt	8/5	1.	4599
接線商量	Wt.	N	2151.	5374
【の研練さ】				
弹性语数	Cp	/ MPa	190.	1995
规何係数			0.	1750
硬度比係数	CH		1.	0000
當数比係数	00		0.	6364
富すじ得正係数	Cao		1.	0000
ビニオン形状体数	Cpf		0.	0250
ビニオン位置係数	Com		1.	0000
かみあい確定係数	Cao		0.	0725
かみあい線正係数	Ce		0.	8000
応力繰り返し係数	ZN		1.4720	1,4720
許容接触応力数	Sac	MPa	1240	1240
接触応力数	\$c	MPa	\$94.	0545
許容視般同重係数	Kac	MPa	25.0320	25.0320
福祉简重係数	K	MPa	7.	.2757
許容伝達動力	Pac	k#	10.8066	10,8566
歯面違さ(Pac/P)	SFc		3.4405	3.4405
サービスファクタ	Cof		1.0000	1,0000
(曲げ張さ)				
リム厚さ係数	KB		1.0000	1.0000
展问係数	J		0.2582	0.2812
応力繰り返し係数	YN		2.7000	2.7000
許容單位荷重	Uat	MPa	305.1244	308.6525
単位荷重	u	MPa	107.	5768
許容曲げ応力数	Sat	MPa	379	379
曲げ応力数	St	MPa	360.7819	356.6580
許容伝達動力	Pat	kit	8,9089	9.0120
曲げ強さ(Pat/P)	उन्द		2.8363	2.0691
サービスファクタ	Ksf		1.0000	1.0116

図 22.58 AGMA 強度結果

表 22.1 FEM 解析結果と強度計算の比較

 歯元曲げ応力(MPa)						
	ピニオン	ギャ				
CT-FEM	286.7	344.5				
JGMA401-01	172.9	166.6				
AGMA2001-C95	360.8	356.7				
CT-FEM(膜応力)	2210.4					
JGMA401-02	1008.9					
AGMA2001-C95	984.1					

22.21 その他機能

- 21.1 設計データの保存、読み込み
- 21.2 印刷(歯車諸元、メッシュ結果、かみ合い図)
- 21.3 応力、変位の一覧(txt、csv)
- 21.4 節点座標と要素の一覧(txt、csv)

[23] Hob Chip Software 23.1 概要

Hob Chip Software は、ホブ切削時における切粉の切取り形 状や切取り厚さを計算やホブ切れ刃位置における切取り量をシ ミュレーションすることができるソフトウエアです。図 23.1 に全体画面を示します。



図 23.1 Hob Chip Software

23.2 歯車諸元入力

歯車諸元を、図23.2 に示します。加工方法は、図23.3 に示 すように「両歯面仕上げ」、「片歯面仕上げ」、「1回削り」の3 通りがありますが、本例では1回削りとして計算を進めます。 加工歯厚は、「またぎ歯厚」、「オーバーピン寸法」、「円弧歯厚」 の内から選択します。本例では、図23.4 のように、またぎ歯厚 を21.734mm として計算を進めます。



図 23.4 歯厚入力

23.3 ホブ諸元入力

ホブの種類は、「標準」、「セミトッピング」、「プロチュバラ

ンス」、「プロチュバランスセミトッピング」と「転位ホブ」に 対応しています。本例では「プロチュバランスホブ」を使用し ます。図 23.5 で設定するホブの各部寸法は、図 23.6 の[参考 図](刃先部詳細)で、また、入力後の刃形形状は図 23.7 で確認 することができます。





23.4 歯形図

ホブ加工後の歯形を図 23.8 の歯形選択画面で歯形創成図(図 23.9)、歯形軌跡図(図 23.10)、歯形レンダリング(図 23.11)を作 図することができます。これらの歯形は、図 23.5 で設定したホ プを使用して作図したものであり図 23.10 の歯形軌跡図からも 明らかなようにホブのコブ形状を考慮した歯形図となっています。



ホブ加工後の歯車寸法を図 23.12 に示します。本例の場合、 面取りホブでないため面取りは発生していません。また、イン ボリュート開始径(歯面開始径)43.6343mm は、図 23.13 の歯形 軌跡拡大図で確認することができます。

囲 加工数值表			
工具の種類	đ	ブかタ	[1] 🔽 🛄
項目	記号	単位	数 値
半径方向面取り長さ	hp	mm	
円周方向面取り長さ	hk	mm	
面取り開始直径	dh	mm	
歯先幅	Sc	mm	1.2510
歯面開始径	fd	mm	43.6343
作用線長さ(dh~fd)	RL	mm	8.0915
有効歯たけ	he	mm	3.3033
歯車体積	٧	mm3	1.987E+4
歯先円直径	da	mm	50.2409
歯底円直径	df	mm	41.2409
切り込み深さ	h	mm	4.5000
ホブセット角	βs	deg	-7.3417
歯面多角形誤差	Δe	mm	0.0011

図 23.12 ホブ加工数値表



図 23.13 歯形軌跡拡大図

23.5 ホブ加工

23.5.1 ホブ加工条件

ホブ加工の送り方向と送り量を図 23.14 で設定します。本例 ではコンベンショナルカットとし、送り量は 1mm/rev としてい ます。



図 23.14 加工条件

23.5.2 切削体積

ホブ加工後の全切削体積と同時切削体積のグラフを図 23.15 に示します。このグラフは、横軸を切れ刃番号、縦軸を切削体 積(mm³)にしたグラフです。同時切削体積とはホブの左右の角部 が同時に切削(ワークと接触)するときの切削体積です。ここで の切削体積は、ある1つの切れ刃がホブ1回転当たりに1溝を 削る体積です。

切れ刃番号は,ホブの創成中心刃を 0 として負側の番号は先 行刃(創成中心刃より前に存在する切れ刃)を意味し、正側の番 号は後続刃(創成中心刃より後に続く切れ刃)を意味します。.本 例の場合、切れ刃番号は-18 から+17 までを検討切れ刃としてい ます。

図 23.15 のグラフより、本例の場合には切れ刃番号-2 の刃が 全切削体積も同時切削体積も最大となります。図 23.16 に切削 体積表を示します。



🎖 侍	積數値表(単位:		×	
番号	切れ刃番号	全切削体積	同時切削体積	^
17	-2	0.9285	0.4805	
18	-1	0.8676	0.4502	
19	0	0.7751	0.3983	
20	1	0.6805	0.3413	
16	-3	0.9294	0.3317	
21	2	0.5992	0.2088	
- 22	0	0.5110	01477	

図 23.16 切削体積表

23.5.3 切取り厚さ

図23.15の切削体積で最大となる切れ刃番号である-2に着目 すると、切取り形状と切取り厚さは図23.17となり、最大切取 り厚さは114.3µmとなります。しかし、切取り厚さが最大とな るのは図23.18に示すように切れ刃番号が-5であり、その厚さ は121.3µmとなります。



図 23.17 切取り厚さ形状と数値(切れ刃番号-2)



図 23.18 切取り厚さ形状と数値(切れ刃番号-5)

23.5.4 歯溝図

図 23.19~23.26 に、歯溝を基準として切れ刃が削り取る形状 を切れ刃番号-15 から+13 までを示します。切れ刃番号と切り粉 (uncut chip)形状の変化が良く解ります。





図 23.19 歯溝図(切れ刃-15) 図 23.20 歯溝図(切れ刃-10)



23.5.5 ホブ刃形と切り粉の関係

切削体積が最大となる切れ刃番号-2 において切取り厚さの 大きい切れ刃位置を図 23.27 で確認すると、表の最上段列に示 すホブ座標番号の 35 番目となります。このホブ座標番号の 35 番目は、図 23.28 のホブ刃先の赤丸の点で示されます。また、 切取り厚さが最大となる切れ刃番号が-5 では、ホブ座標番号の 43 番目となります。従って、本例では、切取り体積と切削厚さ から推測すると、この位置(図 23.28、図 23.29)でホブの摩耗が 大きくなることを予測することができます。



図 23.27 切取り厚さ形状と数値(切れ刃番号-2)



23.6 ソフトウエアについて

Hob Chip Software は、九州大学工学研究院知能機械システム部門の梅崎先生が開発した「ホブ切りにおける切取り厚さ数 値解析プログラム」を計算プログラムとして使用し、九州大学 知的財産本部との契約に基づいて共同開発した商品です。

[24]少歯数歯車設計支援ソフトウエア



図 24.1 involute (少歯数歯車)

24.1 概要

involute (少歯数歯車)は、基本的に involute (Spur and Helical Gear Design/Steel Edition)と同じです。ただし、歯 数を1枚、2枚の場合にも歯形設計ができるようにしています。 図 24.1 に全体画面を示します。

24.2 歯車寸法諸元

諸元入力は、involute (Spur and Helical Gear Design)と 同様です。例題数値を図 24.2 としたときの寸法を図 24.3 に示 します。





▶ 寸法計算結果					×
項目	記号	単位	t*ごわ	ギャ	•
ビッチ円直径	d	mm	4.0000	80.0000	
有効歯幅	bw	mm	8	.0000	
基礎円直径	db	mm	8.2339	64.6783	
リード	PZ	mm	7.2552	145.1039	
転 位 量	Xm	mm	1.0000	1.0000	
歯末のたけ	ha	mm	3.0000	3.0000	
歯元のたけ	hf	mm	1.5000	1.5000	
全歯たけ	h	mm	4.5000	4.5000	
クリアランス	С	mm	0.4226	0.4226	
基礎円筒ねじれ角	βb	deg	54 2	8 7 8	
正面かみあい圧力角	αw	deg	39 * 2	2 4	
かみあいと。が円直径	dw	mm	4.1831	83.6622	
歯直角基準円弧歯厚	sn	mm	3.8695	3.8695	
正面基準円弧歯厚	st	mm	7.7391	7.7391	
正面法線ビッチ	pbt	mm	10	1.1596	
歯直角法線ビッチ	pbn	mm	5.9043		
かみあい長さ	ga	mm	4.3657		
正面かみあい率	εα		0.4297		
重なりかみあい率	εβ		1.1027		
全かみあい率	εγ		1.5324		
オペリ本 (先生)	<i>π</i> .		0 7558	0 7340	-

図 24.3 寸法結果

24.3 歯形

歯形図を図 24.4~24.7 に示します。 図 24.7 にかみ合い接触 線を観察することができます。



24.4 すべり率とヘルツ応力グラフ

ピニオン歯数を1とすれば高減速比を得ることができますが、 少歯数の場合、図24.8のようにピニオン歯元で非常に大きなす べりが発生します。また、図24.9のようにピニオンの歯元で急 激なヘルツ応力が発生しますので慎重な設計が必要です。



24.5 ピニオン歯数2のかみ合い

ピニオン歯数を2としたときの歯形を図 24.10~24.13 に示 します。







図 24.11 歯形かみ合い



図 24.12 歯形レンダリング1 図 24.13 歯形レンダリング2

24.6 その他

強度計算等の説明は省略します。

[25] involute Gemma 25.1 概要

involute Gemma は、大阪精密機械㈱様の歯車測定機 (CLP-35/65、GC-1HP)で測定した実データを使用して歯形相対誤 差、歯当たり、回転伝達誤差をシミュレーションすることがで きるソフトウエアです。 図 25.1 に involute Gemma の画面を、 図 25.2 に CLP-35 の写真を示します。



図 25.1 involute Gemma



図 25.2 歯車測定機(CLP-35)

25.2 歯車諸元設定

歯車諸元は、図25.4の測定データ検索画面から選択します。 検索項目は、日付、歯車の種類(外歯車、内歯車)、モジュール、 歯数、圧力角、歯幅などを検索することができます。駆動歯車 と従動歯車の両歯車を選択して歯車諸元を確定することができ ますが、歯厚と中心距離は任意に変更することができます。歯 厚は、転位係数、またぎ歯厚、オーバーピン寸法から選択して 入力することができます。

図 25.5 に示すように従動歯車に理論歯車を設定することに より理論歯車とのかみ合いシミュレーションも可能です。

& 歯車諸元				
項目	記号	単位	駆動(外歯車)	従動(外歯車)
諸元名称			FN11 19 5E7F ‡	FS50 19 5R1 ‡
歯直角モジュール	mn	mm	1.	.50000
歯 数	Z		86	82
歯直角圧力角	an	deg	14.	.50000
ねじれ角	β	deg	30.	.25000
ねじれ方向			右ねじれ	左ねじれ
歯先円直径	da	mm	154.5300	147.6700
基準ビッチ円直径	d	mm	149.3340	142.3880
基礎円直径	db	mm	143.0600	136.4060
歯幅	b	mm	18.0000	18.0000
歯厚入力方式			転位係数 ▼	転位係数 ▼
転位係数	xn		0.00000	転位係数
またぎ歯数	ZM		11	しょたさ 画厚 ビン寸法
またぎ歯厚	W	mm	49	49
測定ピン径	dp	mm	2.4410	2.4420
ピン寸法	dm	mm	152.39916	145.45756
中心距離	a	mm	145	.8611
確定キャンセル全て切え				

図 25.3 歯車諸元

🞖 駆動貴車用測定7~	夕検索	×
日 付 ▼ 年 ▼ 月	✓ 歯車諸元 検索 キャンセル クリア	
	歯車諸元	
選択項目	検索項目	数 値
💽 モジュール 🔥	歯車の種類	外歯車 💌
田 田 田 田 田 田 田 田 田 田 田 田 田 田 田 田 田 田 田	モジュール	1.50000
□ ねじれ角 □ ねじれ角(少数点) □ ねじれ方向 □ 歯先円直径 ▼		

図 25.4 測定データの検索

🖁 マスターギヤ			X			
項目	記号	単位	従動歯車			
歯車の種類			外歯車 💌			
歯直角モジュール	mn	mm	1.50000			
歯数	Z					
歯直角圧力角	an	deg	14.50000			
ねじれ角	β	deg	30.25000			
ねじれ方向			左ねじれ 💌			
転位係数	xn					
歯先円直径	da	mm				
基準ビッチ円直径	d	mm				
基礎円直径	db	mm				
歯幅	b	mm	18.00000			
確定 ++ンセル クリア						

図 25.5 マスターギヤ設定画面

25.3 誤差グラフ

図 25.3 の「諸元名称」で読み込んだ歯形測定データ(歯形誤 差、歯すじ誤差)をグラフで表示することができます。誤差倍率 も任意に拡大することができ、測定番号を各々表示することが できます。また、グラフ線上にマウスを置くと作用線長さ、直 径、誤差を表示します。



図 25.6 歯形誤差グラフ(駆動歯車)



図 25.7 歯すじ誤差グラフ(駆動歯車)

25.4 解析諸元

シミュレーションをする際に必要な解析諸元を図 25.8 で設 定します。例題の場合、解析測定歯番号は平均値を使用し、駆 動軸回転方向は、両回転、右回転、左回転の内、両回転を選択 します。また、平行度誤差および食い違い誤差はともに0度と し、接触最大隙間を1 µm として歯当たりシミュレーションを します。



25.5 相対誤差

図 25.9 および図 25.10 に歯形の相対誤差を表示します。分割 数は、Z 方向 X 方向ともに最大 30 分割の表示をすることができ、 誤差倍率は任意に設定することができます。図 25.9 および図 25.10 の分割数は 9×15 とし、誤差倍率を 500 倍として表示し ています。



25.6 歯当たり

図 25.8 の解析諸元で歯当たりシミュレーションした結果、右 歯面の歯当たりを図 25.11 に、左歯面の歯当りを図 25.12 に示 します。この歯当たりは、歯幅の中央部よりやや左側に位置し ていますが、歯形誤差および歯すじ誤差グラフより妥当な位置 であると判断することができます。また、歯当たり跡の面積は、 図 25.8 の接触最大隙間数値を大きくすると広くなります。



25.7 回転伝達誤差

図 25.8 の解析諸元で回転伝達誤差を解析した結果、右歯面の 回転伝達誤差は図 25.13 となり、伝達誤差は 5.34(sec)となり ます。左歯面の回転伝達誤差は図 25.14 となり伝達誤差は 4.59(sec)となります。また、縦軸の単位は(sec)または(µrad) を選択することができます。



25.8 食い違い誤差を与えた場合の歯当たりと回転伝達誤差

図 25.8 解析諸元の食い違い誤差を 0.1 度として解析した結 果を図 25.15 および図 25.16 に示します。解析結果より、右歯 面の歯当たりは歯幅中央に移動しますが、回転伝達誤差は 5.34(sec)から 5.62(sec)に増加することが解ります。



T.error=5.624(sec)

(右歯面)

T.error=4.928(sec) (左歯面)

25.9 内歯車

図 25.17 の外歯車をマスタギヤとして内歯車の歯当たりと回転伝達誤差シミュレーションの結果を下記に示します。

図 25.18 に内歯車の歯形誤差グラフを、図 25.19 に歯すじ誤 差グラフを示します。図 25.20~25.26 に解析諸元と解析結果を 示します。



図 25.17 歯車諸元



図 25.18 内歯車歯形誤差グラフ



図 25.19 内歯車歯すじ誤差グラフ

8 解析諸元		
┌歯形		
解析測定歯番号	理論値 💌 平均値 💌	
駆動軸回転方向	両回転 👤	
歯形方向分割数	100	
歯すじ方向分割数	100	
平行誤差(deg)	0.0000	
【食い違い誤差 (deg)	0.0000	
- 歯当たり		
計算角度分割数	30	
─ 接触最大隙間(µm)	0.20	
計算角度分割数	50	
確定	キャン41 標準値	

図 25.20 解析諸元



図 25.23 歯当たり(右歯面)





図 25.24 歯当たり(左歯面)

図 25.25 伝達誤差(右歯面) 図 25.26 伝達誤差(左歯面)

25.10 解析データ管理

図 25.27 に示しますように解析結果をデータベースに保存す ることができます。また、図 25.28 で管理データ(名称、歯車番 号、図面番号など)または歯車諸元(モジュール、歯数、圧力角 など)で検索することが可能です。

	🧏 解析データの管理 📃 🗖 🔀
🧏 解析データの保存 🛛 🔀	管理データ 歯車諸元
項目 数値	検索項目
管理名称 sample	● 管理名称 ○ 歯車番号 ○ 図面番号
歯車番号	○解析者 ○備考
図面番号	* 「文字列を含む
解析者	
日付 2005年6月2日 -	
備考	2005年4月18日 - ~ [2005年4月6日 -
1米 存 キャンセル	検索
図 25.27 データ保存	図 25.28 データ管理

25.11 オプション

1 歯かみ合いにおける歯当たりと回転伝達誤差
 ワウ&フラッタと「音」
 周波数解析
 回転伝達誤差の CSV 出力
 ピッチ誤差を考慮した歯当たりと回転伝達誤差
 …

25.12 その他

歯車測定機の測定プログラムによっては適応しない場合(旧 タイプの測定プログラム、特殊仕様など)がありますので、詳し くは大阪精密機械㈱様にお問い合わせください。

[26]その他ソフトウエアの作図例



図 26.1 スプロケット

図 26.2 サイクロイド歯車



図 26.3 ヒンドレーウォーム



図 26.5 スパイラルベベル (軸角 25 度)

図 26.6 インボリュート 曲線

図 26.4 円弧歯形歯車

[27]歯車精度規格ソフトウエア

1998年3月20日にJIS B 1702-1,2(1998)が制定されことに より、JIS B 1702(1976)は廃止となりました。永年に渡って親 しんできた規格を、急激に新しい規格基準に変更することは 色々な障害を伴うことになりますが、いつまでも旧規格を使用 し続けることはできません。設計者や製造担当者が困ることは、 旧規格と新規格の相関関係であると予想することができるた め、「歯車精度規格ソフトウエア」(図 27.1)を作成し無償配布 することと致しました。旧規格から新規格に移行する際の手助 けになれば幸いです。このソフトウエアは、弊社のホームペー ジ(www.amtecinc.co.jp)からダウンロードすることができま すのでご活用ください。



図 27.1 歯車精度規格

[28]動作環境

コンピュータ本体 Pentium 1GHz 以上を搭載し Windows が稼動するパーソナルコ ンピュータ オペレーティングシステム Windows 2000, Windows XP CD-ROM ドライブ Windows 対応の解像度 1024×768 以上のディスプレイ 動作用に 512MB 以上の使用可能メモリ ハードディスク 1GB 以上の空き領域 Windows 対応のマウスまたは他の適切なポインティングデバ イス Windows 対応のプリンタ Open GL Ver.1.5 以上に対応したビデオボード(推奨)

- * Windows2000, XPは、米国 Microsoft 社の登録商標です。
- * DXF ファイルのバージョンは、Release 12J です。
- * IGES ファイルは、一般的な CAD では確認していますが未確認の CAD もあります。

さいごに

歯車に関して種々ソフトウエアを取り揃えておりますが、更に充実したソフトウエアを開発する所存です。 お気づきの点やご意見、ご希望などがございましたら下記までご連絡くださいますようお願い申し上げます。 E-mail:info@amtecinc.co.jp URL:www.amtecinc.co.jp