

[42] Skiving cutter design system

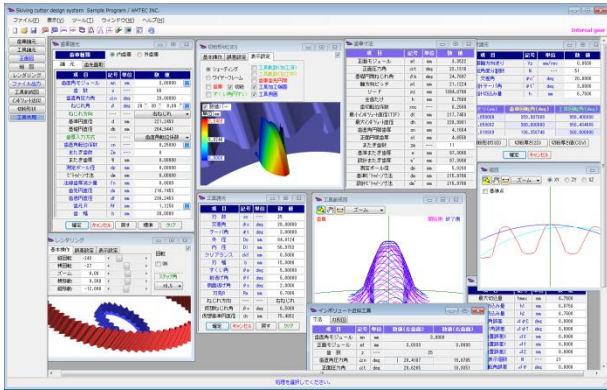


図 42.1 Skiving cutter design system

42.1 概要

円筒歯車（外歯車，内歯車）の歯切り工法の一つであるパワースカIVINGは1910年に特許が成立して100年が経過しましたが、近年、この工法が見直され国内外で専用機が上市されるようになりました。また、歯車加工も歯切り盤ではなく近年、マシニングセンタでスパイラルベベルギヤなどや特殊な歯車も加工されるようになってきました（カタログ(vol.16), 41 頁写真）。

パワースカIVINGは、工具の取り付け角（交差角，テーパ角）と工具の歯形さえ決まれば高機能のマシニングセンタで加工することができます。Skiving cutter design system は、歯車諸元と工具の取り付け角から工具（ピニオンカッタ）の歯形を生成することができるソフトウェアです。また、生成した刃形を近似インボリュート刃形として生成することができます。図 42.1 に全体画面を示します。

42.2 ソフトウェアの構成

Skiving cutter design system の構成を表 42.1 に示します。表中の○は基本ソフトウェアに含まれ、◎はオプションです。

適応歯車：インボリュート平，はすば歯車（外歯車，内歯車）

表 42.1 ソフトウェアの構成

No.	項目	掲載項	構成
1	歯車寸法	42.3	○
2	工具寸法	42.4	○
3	歯形（歯車，工具）	42.5	○
4	組図（2D）	42.6	○
5	歯形レンダリング	42.7	○
6	歯形創成	42.8	○
7	歯形出力	42.9	○
8	近似インボリュート刃形	42.10	○
9	設計データ管理	---	○
10	切り屑形状	42.12	◎
11	工具兼用	42.13	◎
12	面取り（R，C）	42.14	◎

○：標準ソフトウェア

◎：オプション

42.3 歯車寸法

被削歯車を内歯車としたとき歯車諸元は図 42.2 および図 42.3 のように設定します。転位係数は、直接入力する方法と、またぎ歯厚，オーバーボール（ビトゥインボール）寸法があります。なお、外歯車の例を 42.11 に示します。



図 42.2 歯車諸元（内歯車の例）

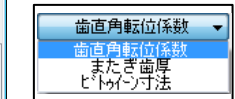


図 42.3 面取り設定

項目	記号	単位	数値
正面モジュール	mt	mm	3.3522
正面圧力角	α_t	deg	22.1316
基礎円筒ねじれ角	β_b	deg	24.7897
軸方向ピッチ	pt	mm	21.1224
リード	pz	mm	1394.0798
全歯たけ	h	mm	6.7500
歯切転位係数	xnc	---	0.2500
最小インボリュート直径(TIF)	dt	mm	217.7453
最大インボリュート直径	dh	mm	228.9901
歯直角円弧歯厚	sn	mm	4.1684
正面円弧歯厚	st	mm	4.8556
またぎ歯数	zm	---	11
基準またぎ歯厚	w	mm	97.3068
設計またぎ歯厚	w'	mm	97.3068
測定ボール径	dp	mm	5.0260
標準ビトゥイン寸法	dm	mm	215.9706
設計ビトゥイン寸法	dm'	mm	215.9706

図 42.4 寸法

42.4 工具寸法

加工工具（ピニオンカッタ）の諸元を図 42.5 に示します。ここでは、歯車のねじれ角 26.5° に対し、加工時の公差角を $\phi_c=20^\circ$ としたときの例を示します。また、カッタの形状、位置、逃げ角の参考図を図 42.5a, 42.5b に示します。

本ソフトウェアでは、交差角 ϕ_c 、テーパ角 ϕ_t で工具を取り付け、図 42.2 の歯車を加工するときの工具刃形をすくい角や側面逃げ角を考慮して生成します。なお、はすば歯車加工時のピニオンカッタには、刃付け研磨が容易となるよう横すくい角（刃付け角）は与えないものとします。



図 42.5 工具諸元

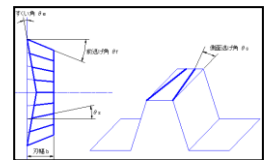


図 42.5a 逃げ角

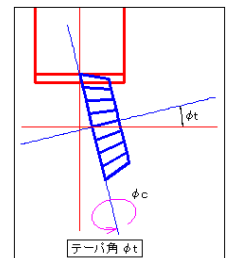


図 42.5b 位置

42.5 歯形 (歯車, 工具)

歯車歯形を図 42.6 に、ピニオンカッタの刃形を図 42.7 に示します。図 42.7 の青線刃形は、図 42.8 に示すピニオンカッタの加工端面の刃形であり水色線はピニオンカッタの上面の刃形を示します。歯形図には拡大、縮小、距離計測機能があります。

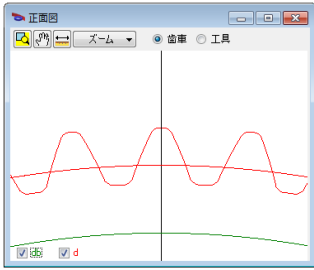


図 42.6 歯車歯形

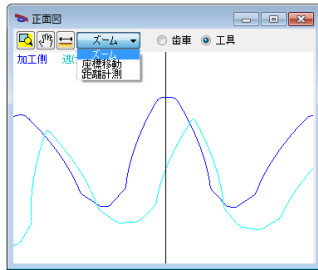


図 42.7 ピニオンカッタ

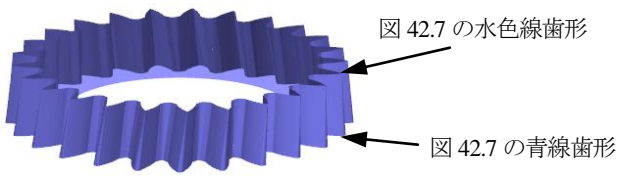
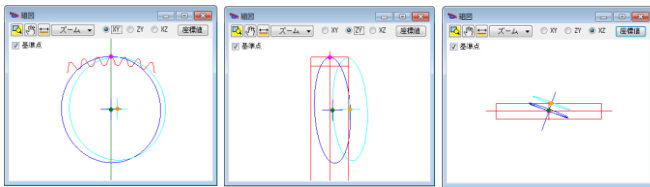


図 42.8 ピニオンカッタ (歯形レンダリング機能)

42.6 組図 (2D)

組図を図 42.9 に示します。加工座標値の工具ポイント(A, B, C) は図 42.10 に示すように歯車の中心を(0,0,0)原点としています。



(a) X-Y (b) Z-Y (c) X-Z
図 42.9 組図

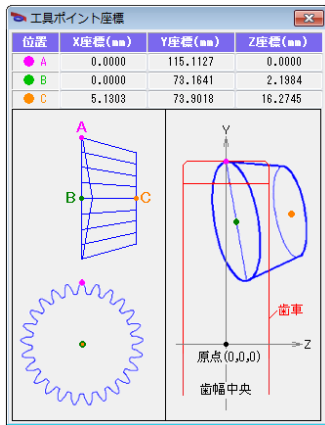


図 42.10 加工座標値

42.7 歯形レンダリング

歯形レンダリング (図 42.12~42.15) では歯車とピニオンカッタのかみ合いを確認することができます。補助機能として工具の X,Y,Z 方向の移動や回転機能がありますので図 42.13 のように工具と歯車のかみ合い (切削) の関係を工具刃を回転させながら確認することができます。また、図 42.15 のようにピニオンカッタのみを表示することもできます。



図 42.11 歯形レンダリング



図 42.12 工具加工端面 (切り刃) と歯車

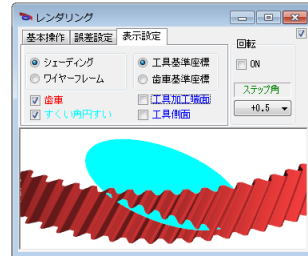


図 42.13 すくい角断面と歯車



図 42.14 ピニオンカッタ

42.8 歯形創成図

歯形創成図の設定画面を図 42.15 に示します。ここでは、粗加工時の工具切り込み量を 5mm、仕上げの切り込み量を 6.75mm としたときの歯形創成図を図 42.16 に示します。

項目	記号	単位	数値
最大切込量	hmax	mm	6.7500
開始切込量	h1	mm	5.0000
終了切込量	h2	mm	6.7500
交差角誤差	$\Delta \phi C$	deg	0.0000
テーパー角誤差	$\Delta \phi T$	deg	0.0000
工具位置誤差X	ΔX	mm	0.0000
工具位置誤差Y	ΔY	mm	0.0000
工具位置誤差Z	ΔZ	mm	0.0000
創成刃表示個数	N	---	41
歯車回転角誤差	$\Delta \theta$	deg	0.0000
設計交差角	$\phi C'$	deg	20.0000
設計テーパー角	$\phi T'$	deg	3.0000

図 42.15 歯形創成図設定

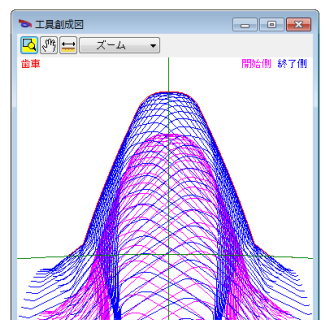


図 42.16 歯形創成

42.9 歯形ファイル出力

歯車歯形と工具刃形を DXF ファイルおよび IGES ファイルで出力することができます。図 42.17 に歯形出力設定画面を、図 42.18 に工具の CAD 作図例を示します。

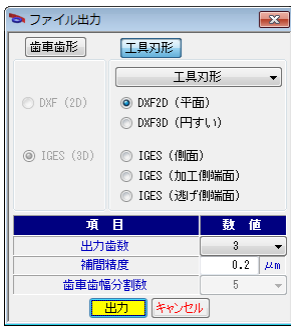
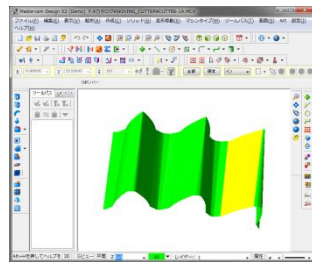
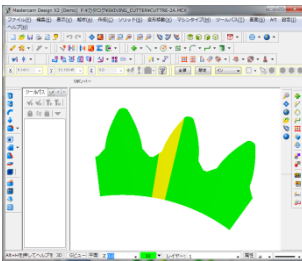


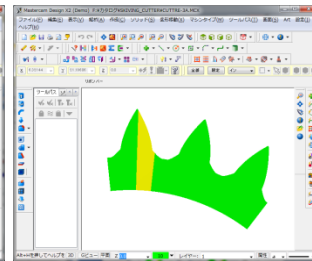
図 42.17 歯形出力設定



(a) 刃側面



(a) 刃 (前)



(b) 刃 (後)

図 42.18 CAD 作図例

42.10 近似インポリュート刃形

図 42.18 で生成した刃形をインポリュートとして近似することができますので、工具を発注（製造）する際、容易に扱えることができます。本例の図 42.18 の刃形は、図 42.19 のように左刃面の場合、圧力角は $\alpha_n=20.6265^\circ$ 、ねじれ角は $\beta=8^\circ30'$ で近似することができます。近似した刃形と理論刃形との違いは、図 42.20 に示すようにカッタ刃先付近で 0.0007mm と僅かです。

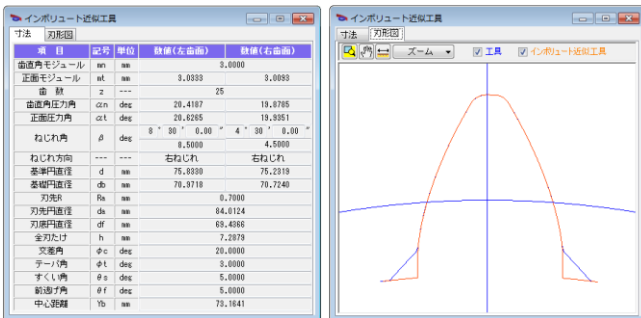


図 42.19 インポリュート近似刃形

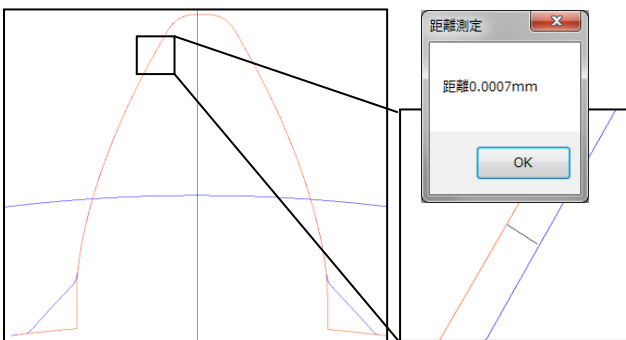


図 42.20 インポリュート近似刃形の違い (距離計測)

42.12 切り屑形状 (オプション)

図 42.21 の加工条件でスカイピング加工したときの切り屑形状を図 42.22~42.24 に示します。図 42.21 の加工条件では工具の送り量、交差角および切り込み量を任意に設定することができます。

す。図 42.22 および図 42.23 の切り屑形状は、工具の 1 刃が、切削を初めてから終わるまでの形状を示しています。図 42.24 は歯車とすくい面の状態を示し、図 42.25 は 2D 切削厚さを 100 倍で示しています。



図 42.21 加工条件

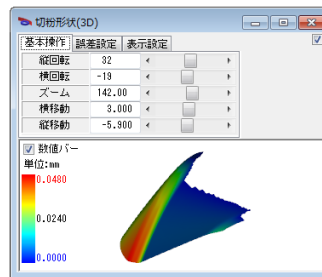


図 42.22 切り屑形状

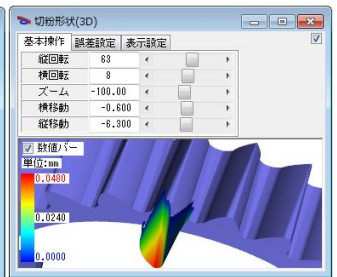


図 42.23 歯車と切り屑形状

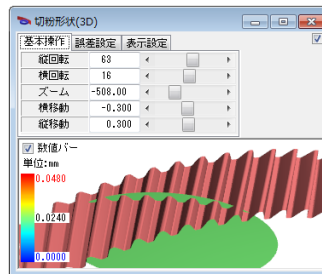


図 42.24 歯車とすくい面

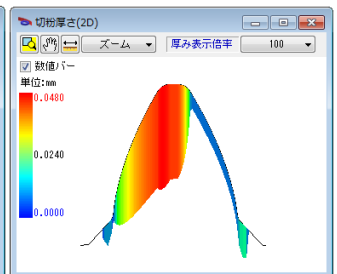


図 42.25 切削厚さ (100倍)

図 42.21 加工条件の「切削厚さ値(csv)」で切り屑形状を図 42.24 のように csv ファイルに出力することができます。

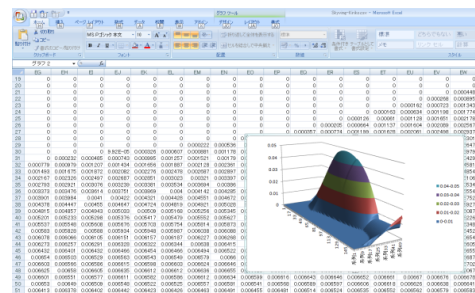


図 42.24 切削厚さ (csv)

42.13 工具兼用 (オプション)

図 42.18 の工具で図 42.2 と異なる歯車を加工するとき、この工具でどこまで兼用できるかを計算します。

図 42.25 の歯車は、図 42.2 の歯車のモジュールと圧力角は同じですが、歯数とねじれ角が異なります。また、工具の取り付け角を図 42.26 とすると図 42.27 および図 42.28 を表示することができます。そして、図 42.28 の口部分を拡大して歯車諸元 (図 42.25) の歯形との比較をすると図 42.29 のようにその差は $1.2\mu\text{m}$ である

ことが解ります。同様に左歯面を計測すると 0.7 μ m です。

以上に示したように対象歯車と異なる工具であっても交差角とテーパ角を調整することにより、歯形誤差を微小に抑えることができますので工具の兼用が可能です。ただし、本例の場合、極めて良く一致していますが、諸元や条件によっては良く一致しない場合もあります。そして、図 42.26 で設定したときの歯形レンダリング表示 (図 42.27) や、加工条件 (図 42.21) に基づく切り屑形状 (図 42.22) も解析することができます。

ここでは内歯車の例題を示しましたが、外歯車も同様に計算することができます。なお、工具兼用は図 42.30 のように第 2 画面で計算します。

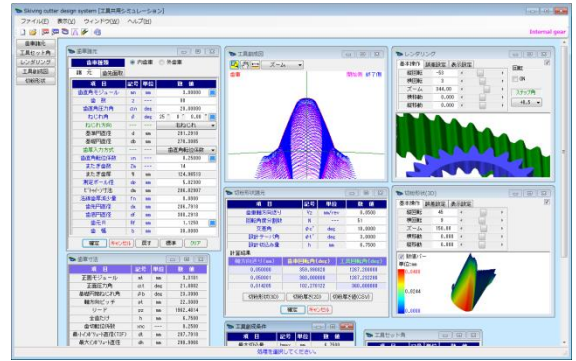


図 42.30 工具兼用画面

項目	記号	単位	数 値
歯直角モジュール	mn	mm	3.00000
歯 数	z	---	88
歯直角圧力角	α_n	deg	20.00000
ねじれ角	β	deg	25° 0' 0.00"
ねじれ方向	---	---	右ねじれ
基準円直径	d	mm	291.2918
基準円直径	db	mm	270.3085
歯厚入力方式	---	---	歯直角転位係数
歯直角転位係数	xn	---	0.25000
またぎ歯数	Zm	---	14
またぎ歯厚	W	mm	124.98513
測定ボール径	dp	mm	5.02300
ピトマン寸法	dm	mm	286.02907
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0000
歯先円直径	da	mm	286.7918
歯底円直径	df	mm	300.2918
歯元 R	Rf	mm	1.1250
歯 幅	b	mm	30.0000

図 42.25 諸元 (工具兼用)

項目	記号	単位	数 値
交差角	ϕ_c	deg	18.00000
設計テーパ角	ϕ_t	deg	3.00000

図 42.26 工具セット角



図 42.27 レンダリング

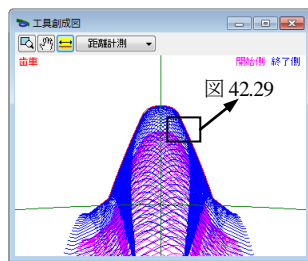


図 42.28 歯形創成

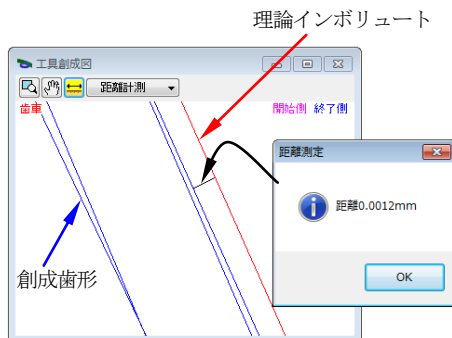


図 42.29 計測

42.14 外歯車の例

外歯車も内歯車同様、工具刃形状、切り屑形状、インポリュート近似刃形を計算します。計算例を図 42.31~42.43 に示します。

項目	記号	単位	数 値
歯直角モジュール	mn	mm	3.00000
歯 数	z	---	25
歯直角圧力角	α_n	deg	20.00000
ねじれ角	β	deg	25° 0' 0.00"
ねじれ方向	---	---	右ねじれ
基準円直径	d	mm	82.7593
基準円直径	db	mm	76.7922
歯厚入力方式	---	---	歯直角転位係数
歯直角転位係数	xn	---	0.25000
またぎ歯数	Zm	---	5
またぎ歯厚	W	mm	41.75623
測定ボール径	dp	mm	5.30300
オナー・ギヤ寸法	da	mm	91.50713
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0000
歯先円直径	da	mm	90.2533
歯底円直径	df	mm	76.7593
歯元 R	Rf	mm	1.1250
歯 幅	b	mm	30.0000

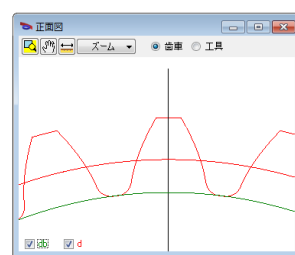
図 42.31 諸元 (面取りなし)

項目	記号	単位	数 値
正面モジュール	mt	mm	3.9101
正面圧力角	α_t	deg	21.8902
基準円間ねじれ角	β_b	deg	23.9390
軸方向ピッチ	pt	mm	22.3009
リード	---	---	557.5231
全歯たけ	h	mm	6.7500
歯切転位係数	xnc	---	0.2500
最小インポリュート直径 (TIF)	dt	mm	78.0391
最大インポリュート直径	dh	mm	90.2533
歯直角間歯厚	sn	mm	5.2583
正面間歯厚	st	mm	5.8019
またぎ歯数	zm	---	5
基準またぎ歯厚	w	mm	41.7562
設計またぎ歯厚	w'	mm	41.7562
測定ボール径	dp	mm	5.3030
基準オナー・ギヤ寸法	dm	mm	91.5071
設計オナー・ギヤ寸法	dm'	mm	91.5071

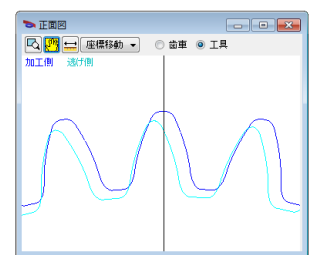
図 42.32 寸法

項目	記号	単位	数 値
刃 数	zc	---	39
交差角	ϕ_c	deg	-20.00000
テーパ角	ϕ_t	deg	3.00000
外 径	Do	mm	123.4552
内 径	Di	mm	96.4181
クリアランス	ckf	mm	0.7500
刃 幅	b	mm	10.0000
すくい角	θ_e	deg	5.00000
前歯角	θ_f	deg	5.00000
側面歯角	θ_s	deg	2.0000
刃先 R	Ra	mm	1.1250
ねじれ方向	---	---	左ねじれ
仮想ねじれ角	β_v	deg	5.0000
仮想基準円直径	dv	mm	117.4469

図 42.33 工具諸元



(a) 歯車歯形



(b) ピンオンカット

図 42.34 歯形

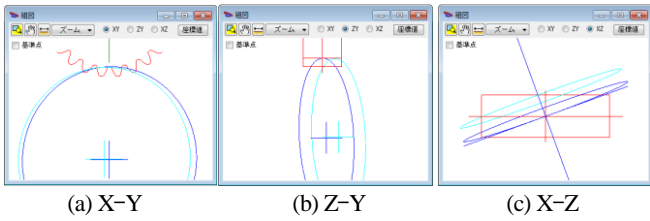


図 42.35 組図



図 42.36 歯形レンダリング

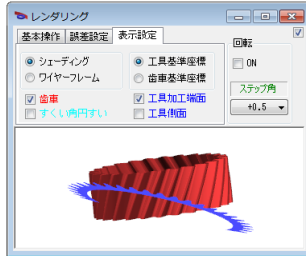


図 42.37 切り刃と歯車



図 42.38 すくい角断面と歯車

項目	記号	単位	数値
最大切込量	h _{max}	mm	6.7500
開始切込量	h ₁	mm	6.0000
終了切込量	h ₂	mm	6.7500
交差角誤差	$\Delta\phi C$	deg	0.0000
テーパ角誤差	$\Delta\phi T$	deg	0.0000
工具位置誤差X	ΔX	mm	0.0000
工具位置誤差Y	ΔY	mm	0.0000
工具位置誤差Z	ΔZ	mm	0.0000
創成刃表示個数	N	---	31
歯車回転角誤差	$\Delta\theta$	deg	0.0000
設計交差角	$\phi C'$	deg	-20.0000
設計テーパ角	$\phi T'$	deg	3.0000

図 42.39 歯形創成図設定

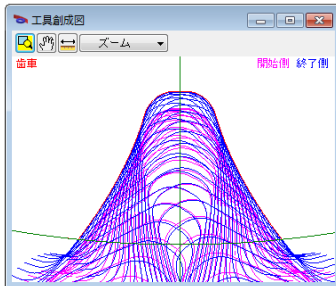
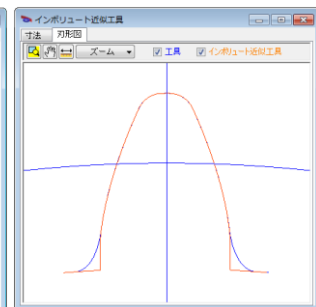


図 42.40 歯形創成

項目	記号	単位	数値(左歯面)	数値(右歯面)
歯車モジュール	m	mm	3.0000	
歯数	Z	---	39	
歯面圧力角	α_n	deg	20.3157	
歯面圧力角	α_t	deg	20.4557	
ねじれ角	β	deg	0° 0' 0.00"	7° 0' 0.00"
ねじれ方向	---	---	左巻き	右巻き
基準分度径	d	mm	117.1508	117.4798
基準分度径	db	mm	110.1223	110.4455
分度径	Ra	mm	1.1250	
分度歯厚	da	mm	129.4562	
分度歯厚	df	mm	109.2574	
全分度径	h	mm	7.5400	
交差角	ϕc	deg	-20.0000	
テーパ角	ϕt	deg	3.0000	
すくい角	θs	deg	0.0000	
歯面圧力角	θf	deg	5.3000	
中心距離	a	mm	100.0197	

図 42.41 involute 近似刃形



項目	記号	単位	数値
歯車軸方向送り	Vz	mm/rev	0.0500
回転角度分度数	N	---	51
交差角	$\phi c'$	deg	-20.0000
設計テーパ角	$\phi t'$	deg	3.0000
設計切込量	h	mm	6.7500

計算結果		
軸方向送り(mm)	歯車回転角(deg)	工具回転角(deg)
0.050000	-360.032298	230.789231
-0.048396	360.000000	-230.748537
0.078000	-561.650368	360.000000

図 42.42 加工条件

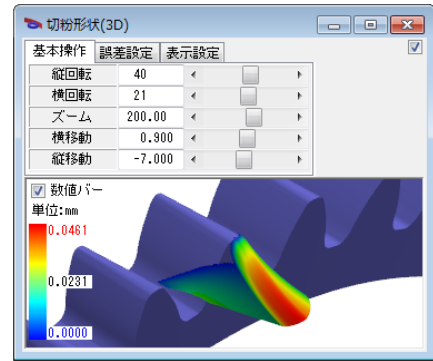


図 42.43 歯車と切り屑形状 (外歯車)

42.15 面取り C, R (オプション)

歯車の歯先面取りが必要な場合は、工具に面取り形状を与えることができます。図 42.2 の歯車諸元の面取り設定は、図 42.44 のように C 面、R 面を選択することができます。

項目	記号	単位	数値
歯先面取り	---	---	C面
歯先R	Ra	mm	無し
たけ方向	Cah	mm	R面
歯厚方向	Caw	mm	C面
			0.5000

図 42.44 面取り設定

42.16 HELP 機能

操作方法を知りたい場合は[HELP]機能を使うことができます。図 42.45 で目次を選択することもできますし、図 42.46 のように不明な内容がある場合、その画面をアクティブとして[F1]を押すことで図 42.46 の説明画面を表示します。

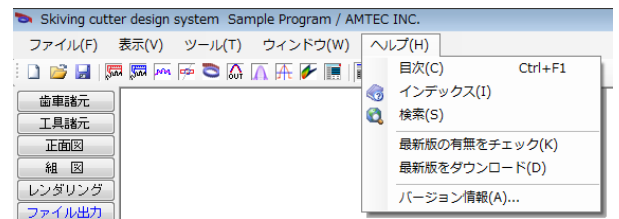


図 42.45 ヘルプ

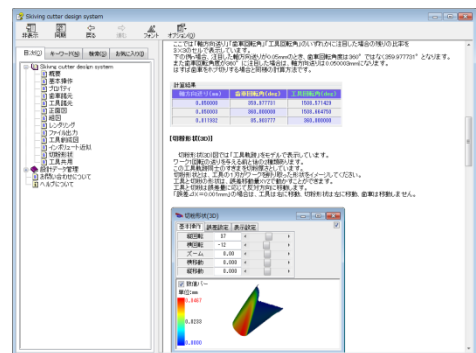


図 42.46 説明 (切り屑)