

### [35] K-H-V Differential gear design system

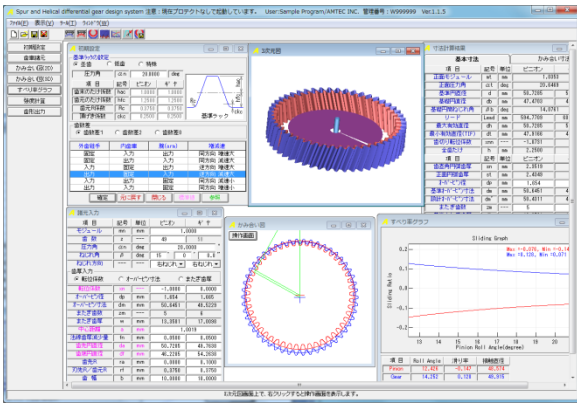


図35.1 K-H-V Differential gear design system

#### 35.1 概要

K-H-V Differential gear design system は、インボリュート歯車の差動減速（増速）機構設計（歯数差 0, 1, 2 の 3 種類）ソフトウェアであり、歯形設計、歯のかみ合い、すべり率、強度計算をすることができます。歯数差が小さい場合、転位係数 0 の標準歯車で設計するとインボリュート干渉等が発生しますが、本ソフトウェアでは、かみ合い率が 1 以上で且つ、干渉が発生しない転位係数の組み合わせの歯車を計算することができます。なお、トロコイド曲線を有する差動歯車ソフトウェアは、カタログ[34]をご覧ください。

#### 35.2 初期設定

図 35.2 に示すように、基準ラックの設定と歯数差（1 歯差、2 歯差、0 歯差）を選択し、次に、組み合わせ（腕の固定/入力/出力）を選択します（図 35.2）。歯数差が 0 の場合は、腕（arm）を固定として歯形を作図します。

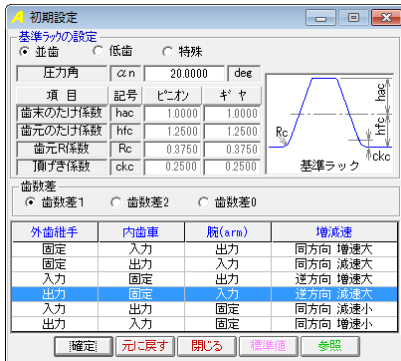


図 35.2 初期設定

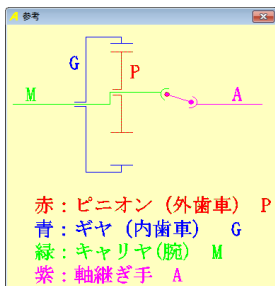


図 35.3 K-H-V 型減速機構

#### 35.3 寸法設定

図 35.4 の  $m_n$ ,  $z$ ,  $\alpha_n$ ,  $\beta$  入力後、転位係数 ( $x_n$ ) の与え方は無数に存在しますので **参考値** 補助機能を使用して、かみ合い率 1 以上で且つ、インボリュート干渉が発生しない組み合わせを図 35.5 に示します（図中の○印）。本例の場合、55 個を表示しますが、この中から No.27 の転位係数 ( $x_n = -0.6$ , 図中の●丸) を選択すると、図 35.7 ように諸元が決まります。

また、転位係数とかみ合い率そして歯車寸法は、図 35.6 の表からも選択することができます。



図 35.4 諸元設定 1



図 35.5 補助機能（転位係数とかみ合い率）

歯差	転位係数P	転位係数G	中心距離	歯先円直径P	歯先円直径G	歯先円直径M	歯先円直径A	正割かみ合い率
19	-0.8000	0.3000	1.420	51.1295	46.8295	50.2638	54.6638	1.1577
20	-0.8000	0.4000	1.6016	51.1295	46.8295	50.5638	55.0638	1.0551
21	-0.7000	0.1000	0.9202	51.8285	46.8295	49.9638	54.4638	1.4520
22	-0.7000	0.2000	0.9614	51.8285	46.8295	50.1638	54.6638	1.3379
23	-0.7000	0.3000	1.0019	51.8285	46.8295	50.3638	54.8638	1.2081
24	-0.7000	0.4000	1.0420	51.8285	46.8295	50.5638	55.0638	1.1270
25	-0.7000	0.5000	1.0816	51.8285	46.8295	50.7638	55.2638	1.0304
26	-0.6000	0.2000	0.9202	51.5285	47.0285	50.1638	54.8638	1.4076
27	-0.6000	0.3000	0.9614	51.5285	47.0285	50.3638	54.9638	1.3002
28	-0.6000	0.4000	1.0019	51.5285	47.0285	50.5638	55.0638	1.1884
29	-0.6000	0.5000	1.0420	51.5285	47.0285	50.7638	55.2638	1.1012
30	-0.6000	0.6000	1.0816	51.5285	47.0285	50.9638	55.4638	1.0081
31	-0.5000	0.3000	0.9202	51.7285	47.2285	50.3638	54.8638	1.2680
32	-0.5000	0.4000	0.9614	51.7285	47.2285	50.5638	55.0638	1.2696
33	-0.5000	0.5000	1.0019	51.7285	47.2285	50.7638	55.2638	1.1680
34	-0.5000	0.6000	1.0420	51.7285	47.2285	50.9638	55.4638	1.0770
35	-0.4000	0.4000	0.9202	51.8285	47.4285	50.5638	55.0638	1.3327
36	-0.4000	0.5000	0.9614	51.8285	47.4285	50.7638	55.2638	1.2383
37	-0.4000	0.6000	1.0019	51.8285	47.4285	50.9638	55.4638	1.1420

図 35.6 補助機能（No.27 の  $x_n$  と  $\epsilon$ ）

項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
モジュール	mn	mm	1.0000	
歯数	z	---	49	50
圧力角	$\alpha_n$	deg	20.0000	
ねじれ角	$\beta$	deg	15	0
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	右ねじれ
歯厚入力				
<input checked="" type="radio"/> 転位係数 <input type="radio"/> オーバーク寸法 <input type="radio"/> またぎ歯厚				
転位係数	xn	---	-0.6000	0.2000
オーバーク径	dp	mm	1.654	1.674
オーバーク寸法	dm	mm	51.6395	49.9088
またぎ歯数	zm	---	5	7
またぎ歯厚	w	mm	13.6318	20.0987
中心距離	a	mm	0.9202	
法線歯厚減少量	fn	mm	0.1000	0.0000
歯先円直径	da	mm	51.5285	50.1638
歯底円直径	df	mm	47.0285	54.6638
歯先R	ra	mm	0.0500	0.0500
刃先R/歯元R	rf	mm	0.3750	0.3750
歯幅	b	mm	10.0000	10.0000

図 35.7 諸現設定 2

図 35.7 の諸元を [確定] すると図 35.8 および図 35.9 のようになります。本例の場合、トリミングが発生していますが、かみ合いには影響がないためそのまま計算を進めます。

基本寸法			かみ合い寸法	
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
正面モジュール	mt	mm	1.0353	
正面圧力角	$\alpha_t$	deg	20.6469	
基準円直径	d	mm	50.7285	51.7638
基礎円直径	db	mm	47.4703	48.4391
基礎円筒ねじれ角	$\beta_b$	deg	14.0761	
リード	Lead	mm	594.7709	606.9091
最大有効直径	dh	mm	51.4671	54.2473
最小有効直径(TIF)	dt	mm	48.2779	50.2372
歯切り転位係数	xnn	---	-0.7462	0.2000
全歯たけ	h	mm	2.2500	2.2500
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
歯直円弧歯厚	sn	mm	2.1140	1.7164
正面円弧歯厚	st	mm	2.1886	1.7769
オーバーク径	dp	mm	1.654	1.674
基準オーバーク寸法	dm	mm	51.6395	49.9088
設計オーバーク寸法	dm'	mm	51.3014	49.9088
またぎ歯数	zm	---	5	7
基準またぎ歯厚	W	mm	13.6318	20.0987
設計またぎ歯厚	W'	mm	13.5318	20.0987

図 35.8 寸法

基本寸法			かみ合い寸法		
項目	記号	単位	ピニオン(出力)	ギヤ(固定)	腕(入力)
正面かみ合い圧力角	$\alpha_{wt}$	deg	58.2376		
かみ合いねじれ角	$\beta_w$	deg	25.4693		
かみ合いベシヤ門直径	dw	mm	90.1796	92.0200	
有効歯幅	bw	mm	10.0000		
クリアランス(大径)	ckh	mm	0.6475		
クリアランス(小径)	ckt	mm	0.6475		
最大接触直径	dja	mm	51.4671	52.3760	
最小接触直径	djf	mm	48.3042	50.2372	
正面かみ合い率	$\epsilon_\alpha$	---	1.3956		
重なりかみ合い率	$\epsilon_\beta$	---	0.8238		
全かみ合い率	$\epsilon_\gamma$	---	2.1594		
滑り率(大径側)	$\sigma_a$	---	-0.0571	0.0540	
滑り率(小径側)	$\sigma_f$	---	-0.1104	0.0995	
正面法線方向バックラッシュ	jnt	mm	0.1031		
バックラッシュ角	$j_\theta$	deg	0.2490	0.2440	
項目	記号	単位	ピニオン(出力)	ギヤ(固定)	腕(入力)
回転比	Whi	---	-0.0204	0.0000	1.0000
逆回転比(-1/Whi)	Uhi	---	-49.0000	0.0000	1.0000
トリミング	---	---	発生する(注意)		
インベリュート干渉	---	---	発生しない(安全)		
トロコイド干渉	---	---	発生しない(安全)		
フィレット部干渉	---	---	発生しない(安全)		

図 35.9 かみ合い寸法

### 35.4 歯形

歯車諸元(図 35.7) の歯形を図 35.10 のように作図することができます。図 34.11 は、かみ合い部 (A), (B) の拡大図です。また、図 35.12 のように距離計測も可能です。歯形レンダリング(図 35.13) は、歯車の組み合わせに応じて歯車が回転します。

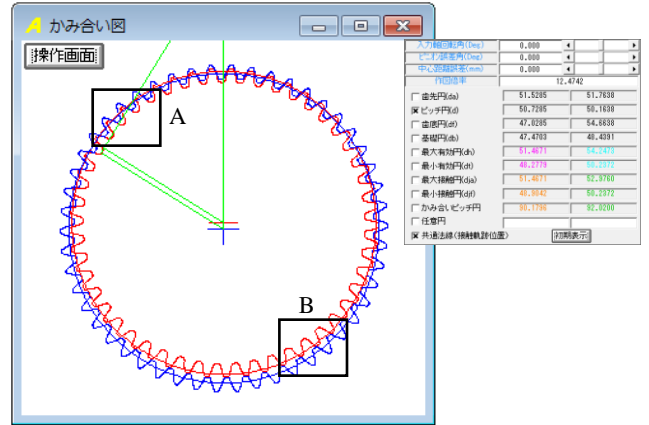


図 35.10 かみ合い図

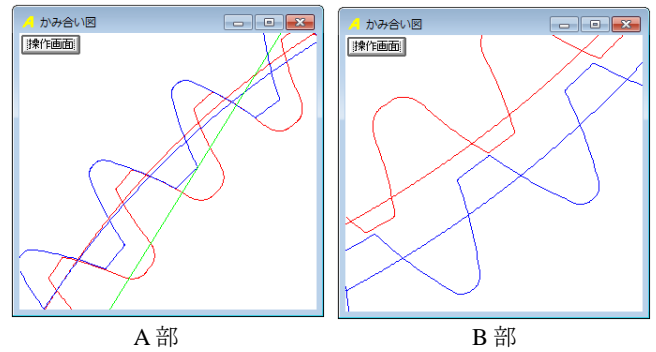


図 35.11 かみ合い図 (拡大)

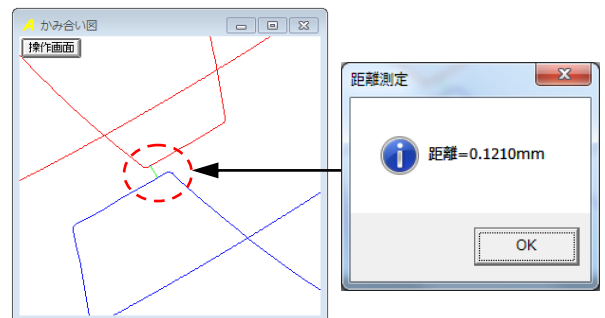


図 35.12 かみ合い図 (距離計測)

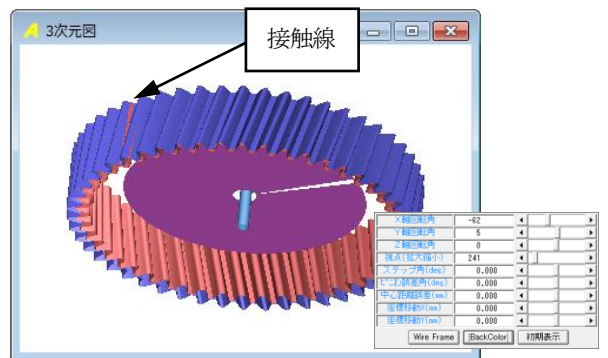


図 35.13 歯形レンダリング

### 35.5 すべり率

本例のすべり率は、図 35.9 の寸法計算結果に示していますが、歯形位置 (Roll angle) におけるすべり率の変化を図 35.14 で知ることができます。

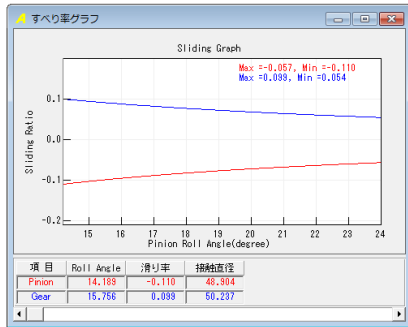


図 35.14 すべり率

### 35.6 強度計算

強度計算は、図 35.15 に示す強度設定画面で摩擦係数、トルク、回転速度を入力します。本例の場合、摩擦係数を 0.08、腕の入力トルクが 1(Nm)、回転速度が 1000min<sup>-1</sup> とすると [確定] ボタンによりピニオンとギヤのトルク、回転速度を計算し表示します。そして、図 35.16 の強度諸元 (材料、係数) 画面を表示します。材料選択は、図 35.17 の表から選択することもできますが、 $\sigma_{Flim}$ 、 $\sigma_{Hlim}$  を直接入力することもできます。図 35.18 に強度結果を示します。



図 35.15 強度計算 (動力設定)

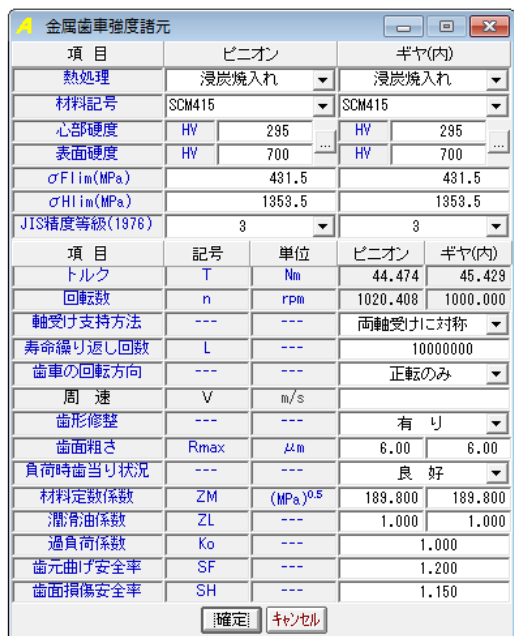


図 35.16 強度計算 (強度諸元)

構造用 合金鋼	心部硬さ		$\sigma_{Flim}$ MPa	有効炭素深さ	歯面硬さ		
	HB	HV			HV	HRc	$\sigma_{Hlim}$ MPa
SCM415	220	231	333.5	比較的浅い	580	54	1284.5
	230	242	353		600	55	1314
	240	252	372.5		620	56	1343.5
	250	263	392.5		640	57	1353.5
	260	273	402		660	58	1353.5
	270	284	417		680	59	1353.5
SCM420	290	305	441.5	720	61	1343.5	
	300	316	451	740	62	1333.5	
	310	327	461	760	63	1314	
SNC420	320	337	470.5	780	63	1294.5	
	330	347	480.5	800	64	1275	
	340	358	490.5	820	64	1250	

図 35.17 材料選択

項目(曲げ)	記号	単位	ピニオン	ギヤ(内)
許容曲げ応力	$\sigma_{Flim}$	MPa	431.500	431.500
曲げ有効歯幅	b*	mm	10.000	10.000
歯形係数	YF	---	3.067	2.085
荷重分布係数	Yε	---	---	0.749
ねじれ角係数	Yβ	---	---	0.875
寿命係数	KL	---	1.000	1.000
寸法係数	KFx	---	1.000	1.000
動荷重係数	Kv	---	---	1.145
呼び円周力	Ft	N	986.349	---
許容円周力	Ftlim	N	1562.482	2320.439
曲げ強さ	Sft	---	1.584	2.350
歯元曲げ応力	$\sigma_F$	MPa	272.392	189.608
項目(面圧)	記号	単位	ピニオン	ギヤ(内)
許容ヘルツ応力	$\sigma_{Hlim}$	MPa	1353.500	1353.500
面圧有効歯幅	bw	mm	---	10.000
領域係数	ZH	---	---	1.171
寿命係数	KHL	---	1.000	1.000
かみあい率係数	Zε	---	---	0.830
粗さ係数	ZR	---	0.842	0.842
滑動速度係数	ZV	---	0.984	0.984
硬さ係数	ZW	---	1.000	1.000
荷重分布係数	KHβ	---	---	1.000
動荷重係数	Kv	---	---	1.086
呼び円周力	Fc	N	1753.412	---
許容円周力	Fclim	N	567217.747	578793.578
歯面強さ	Sfc	---	323.494	329.751
ヘルツ応力	$\sigma_H$	MPa	75.253	74.536

図 35.18 強度結果

### 35.7 歯形出力

生成した歯形を、CAD データとして出力することができます。図 35.19 の歯形出力機能により出力した CAD データの作図例を図 35.20 および図 35.21 に示します。

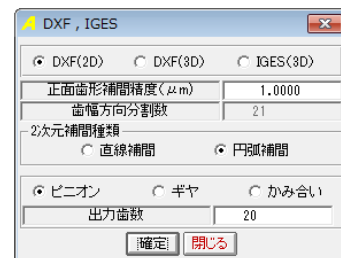


図 35.19 歯形出力

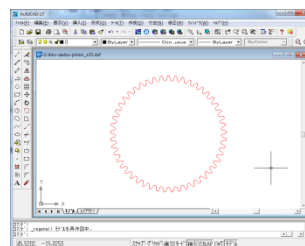


図 35.20 CAD 作図例 (2D)

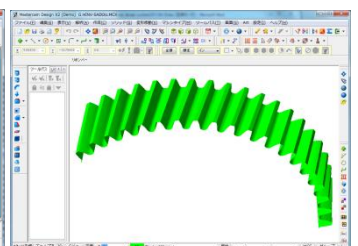


図 35.21 CAD 作図例 (3D)

### 35.8 歯数差 0 の設計例

2 段連結した歯車機構例 (K-H-V+0) を図 35.22 に示します。1 段目は 1 歯差の外・内歯車です (内歯固定, 外歯出力, 腕入力)。2 段目 (従動側) は 0 歯差の外・内歯車です。1 段目の外歯車と 2 段目の内歯車を連結すると, 入力軸と同じ軸上で出力することができます。

図 35.22 では 2 段目の 0 歯差の外歯車, 内歯車, 腕のいずれも固定していません。緑の従動側 (差動の外歯車+0 歯差の内歯車) と赤の外歯車 (出力) の回転比は同じです。従って, 差動歯車の減速比を同軸上で取り出すことができます。以下に 0 歯差歯車の設計例を示します。

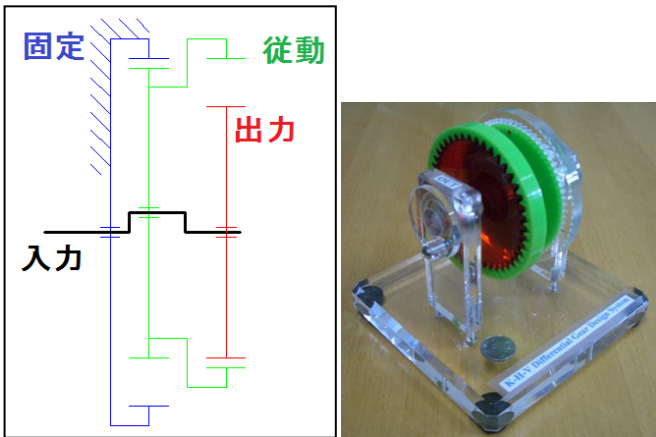


図 35.22 機構例 (1 段目差動, 2 段目 0 歯差)

図 35.2 の初期設定で, 歯数差 0 を選択します。次に, 図 35.23 の諸元設定でモジュール, 歯数, 圧力角, んじれ角を設定し,

【参考値】により図 35.24 を表示します。そして適合する 25 個の中から No.25 を選択し, 図 35.23 の諸元を確定すると図 35.25 の歯形を得ることができます。図 35.25 のかみ合い部 C と反対側を拡大した歯形拡大図を図 35.26 に示します。また, 歯形レンダリングを図 35.27 に示します。

項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
モジュール	mn	mm	1.5000	
歯数	z	---	30	30
圧力角	$\alpha_n$	deg	20.0000	
ねじれ角	$\beta$	deg	0	0
ねじれ方向	---	---	---	---
歯厚入力				
<input checked="" type="radio"/> 転位係数 <input type="radio"/> オーバピッチ法 <input type="radio"/> またぎ歯厚				
転位係数	xn	---	-0.3000	1.4937
オーバピッチ径	dp	mm	1.854	1.674
オーバピッチ法	dm	mm	0.0000	47.9930
またぎ歯数	zm	---	5	7
またぎ歯厚	w	mm	20.2493	30.9462
中心距離	a	mm	0.9202	
法線歯厚減少量	fn	mm	0.1000	0.0000
歯先円直径	da	mm	48.2570	44.0974
歯底円直径	df	mm	41.5070	50.8474
歯先R	ra	mm	0.0500	0.0500
刃先R/歯元R	rf	mm	0.5625	0.3750
歯幅	b	mm	10.0000	10.0000

図 35.23 諸元設定

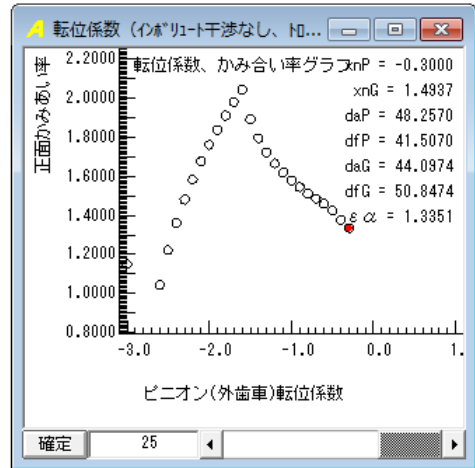


図 35.24 補助機能 (転位係数とかみ合い率)

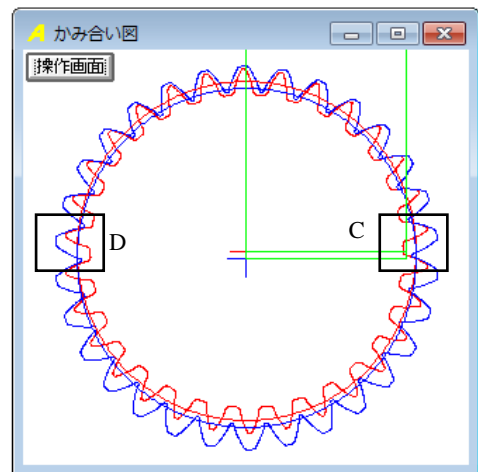


図 35.25 かみ合い図 (歯数差 0)

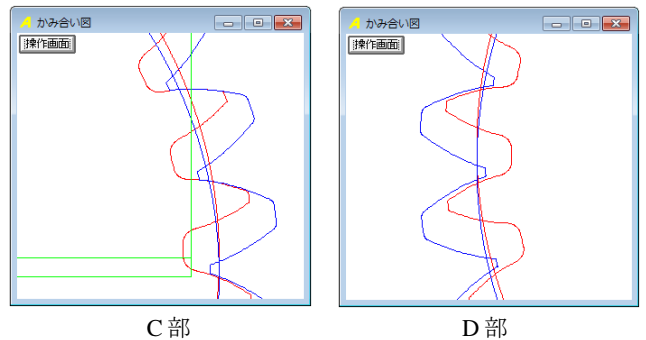


図 35.26 かみ合い図 (拡大)

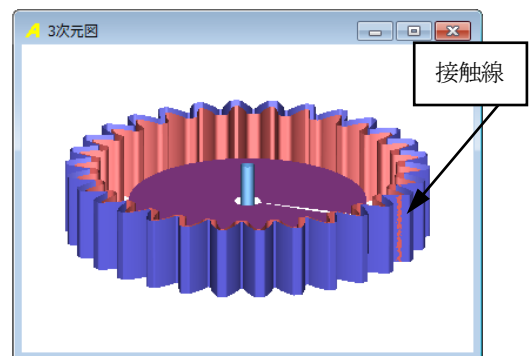


図 35.27 歯形レンダリング