

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

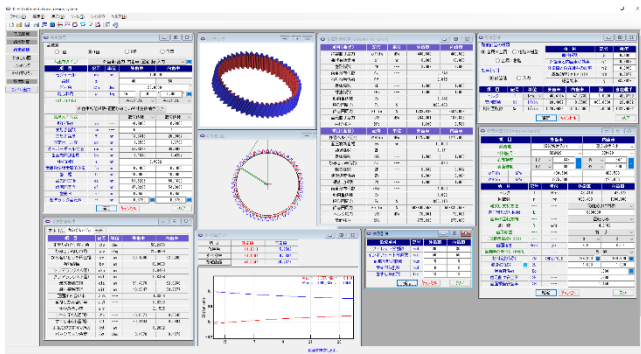


図35.1 K-H-V Differential gear design system

35.1 概要

K-H-V Differential gear design system は、図 35.2 に示す減速機構です。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、歯車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。

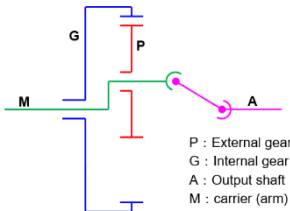


図 35.2 K-H-V 型減速機構

35.2 初期設定

図 35.3 に示すように、基準ラックの設定を行い、補助機能として設定した基準ラックの実寸法を表示します。

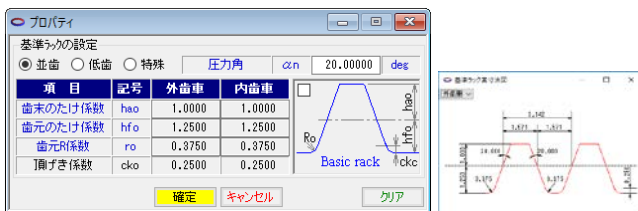


図 35.3 初期設定（基準ラック）

35.2 寸法設定

図 35.4 に示すように、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。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 35.4 で m_n , z , α_n , β 入力した後、転位係数 (x_n) を設定しますが、転位係数の与え方は無数に存在しますので図 35.3 の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決定します。本例の場合、55 個を表示し

ますので、この中から No.26 の転位係数 ($x_{n1}=0.6$, 図中の ● 丸) を選択すると図 35.7 のように諸元が決まります。なお、転位係数とかみ合い率そして歯車寸法は、図 35.6 の表で確認選択することができます。



図 35.4 諸元設定 1

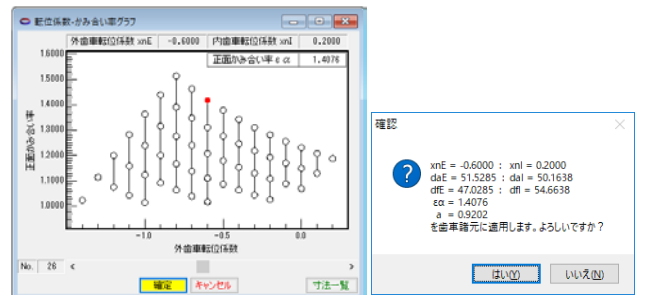


図 35.5 補助機能（転位係数とかみ合い率）

No.	転位係数 x_nE	転位係数 x_nI	正面かみ合い率 ϵ	中心距離 a	歯先円弧半径 r_a	歯底円弧半径 r_f	歯先円弧直径 d_a	歯底円弧直径 d_f	歯先円弧厚 s_n	歯底円弧厚 s_n
25	-0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
26	-0.6000	0.2000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
27	-0.0000	0.2000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
28	-0.0000	0.4000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
29	-0.0000	0.6000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
30	-0.0000	0.8000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
31	-0.0000	1.0000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
32	-0.0000	1.2000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
33	-0.0000	1.4000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
34	-0.0000	1.6000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
35	-0.0000	1.8000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
36	-0.0000	2.0000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
37	-0.0000	2.2000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
38	-0.0000	2.4000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
39	-0.0000	2.6000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
40	-0.0000	2.8000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
41	-0.0000	3.0000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
42	-0.0000	3.2000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
43	-0.0000	3.4000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
44	-0.0000	3.6000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
45	-0.0000	3.8000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
46	-0.0000	4.0000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
47	-0.0000	4.2000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
48	-0.0000	4.4000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
49	-0.0000	4.6000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
50	-0.0000	4.8000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
51	-0.0000	5.0000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
52	-0.0000	5.2000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
53	-0.0000	5.4000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
54	-0.0000	5.6000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252
55	-0.0000	5.8000	1.4978	0.9202	51.5285	47.0285	51.5285	47.0285	1.1340	1.4252

図 35.6 助機能 (No.27 の x_n と ϵ)



図 35.7 諸元設定 2

図 35.7 の諸元を[確定すると図 35.8～図 35.10 のように寸法および干渉計算結果を表示します。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。

寸法計算結果				
基本寸法		かみ合い寸法	干渉	
項目	記号	単位	外歯車	内歯車
正面モジュール	mt	mm		1.0353
正面圧力角	αt	deg		20.8469
基準円直径	d	mm	50.7295	51.7698
基礎円直径	db	mm	47.4703	48.4391
基礎円筒ねじれ角	βb	deg		14.0761
リード	pz	mm	594.7709	606.9091
最大有効直径	dh	mm	51.4689	54.2477
最小有効直径(TIF)	dt	mm	48.2724	50.2370
歯切り転位係数	xnc	---	-0.7462	0.3462
全歯たけ	h	mm	2.2500	2.2500
設計歯直角円弧歯厚	sn'	mm	1.0276	1.8188
設計オーバーピン寸法	dm'	mm	51.2996	50.2034
設計またぎ歯厚	w'	mm	13.5318	20.1987

図 35.8 基本寸法

寸法計算結果				
基本寸法		かみ合い寸法	干渉	
項目	記号	単位	外歯車	内歯車
正面上かみ合い圧力角	αw	deg		58.2376
かみ合いねじれ角	βw	deg		25.4693
かみ合いピッチ円直径	dw	mm	90.1796	92.0200
有効歯幅	bw	mm		10.0000
クリアランス(大径)	ckh	mm		0.6474
クリアランス(小径)	ckt	mm		0.6474
最大接触直径	dja	mm	51.4679	52.9769
最小接触直径	djf	mm	48.9047	50.2977
正面上かみ合い率	$\epsilon \alpha$	---		1.3956
重なりかみ合い率	$\epsilon \beta$	---		0.8238
全かみ合い率	$\epsilon \gamma$	---		2.1595
すべり率(大径側)	σa	---	-0.0571	0.0540
すべり率(小径側)	σf	---	-0.1104	0.0994
正面上法線方向バックラッシュ	jnt	mm		0.2062
バックラッシュ角度	j σ	deg	0.4978	0.4879

図 35.9 かみ合い寸法

寸法計算結果					
基本寸法		かみ合い寸法	干渉		
項目	記号	単位	外歯車(固定)	内歯車(入力)	戻(出力)
回転比	Whi	---	0.0000	1.0000	50.0000
逆回転比(1/Whi)	Uhi	---	0.0000	1.0000	0.0200
トリミング	---	---			発生する(注意)
インボリュート干渉	---	---			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 35.10 干渉

35.4 歯形

歯車諸元(図 35.7)の歯形を図 35.11 のように作図することができます。図 34.12 に、かみ合い部(A)、(B)の拡大図を示します。また、図 34.12(b)のように距離計測も可能です。図 35.14 に歯形レンダリングを示します。

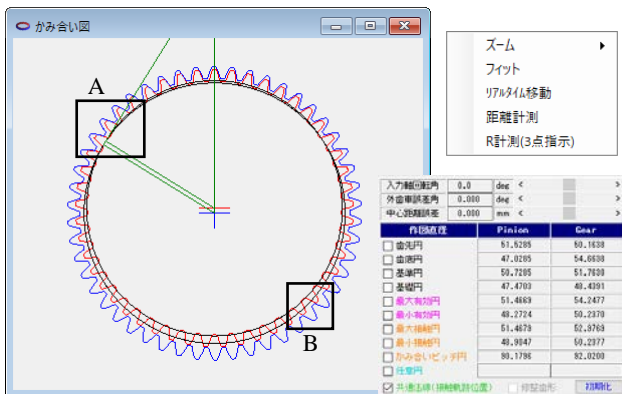
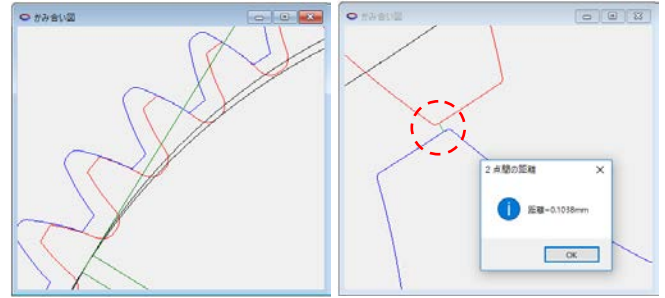


図 35.11 かみ合い図



(a)A部 (b)B部, 距離計測

図 35.12 かみ合い図(拡大)

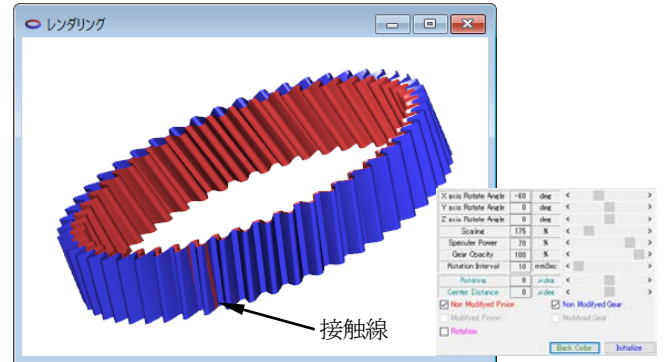


図 35.13 歯形レンダリング, 無修整歯形, 回転

35.5 歯形・歯すじ修整(オプション)

歯形修整, 歯すじ修整をする場合, 図 35.149~35.16 のように修整を与えることができます。図 35.16 では修整する指定点数(最大=50)を入力することができ, 円弧パターンで入力することもできます。そして, 修整を与えた歯形の接触を図 35.17 のように確認することができます。

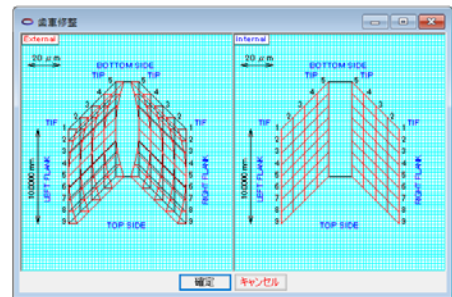


図 35.14 歯形・歯すじ修整トポグラフ

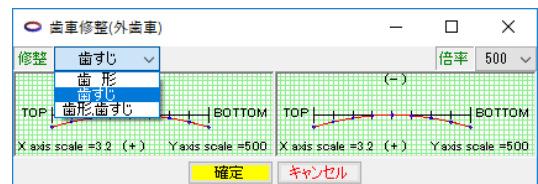


図 35.15 歯すじ入力の場合

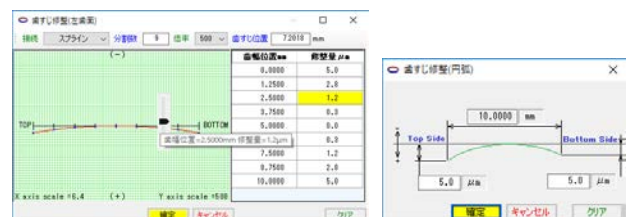


図 35.16 歯すじ修整の入力と円弧入力例

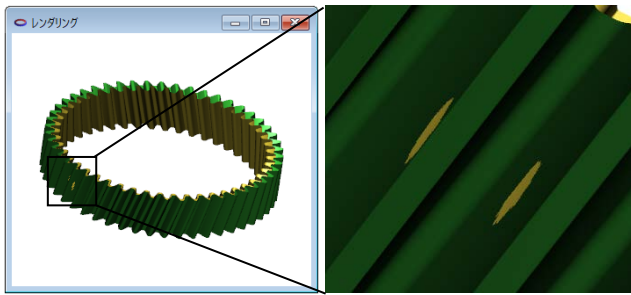


図 35.17 歯形レンダリング，修整歯形

35.6 すべり率

本例歯車のすべり率は，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 35.18 に示します。

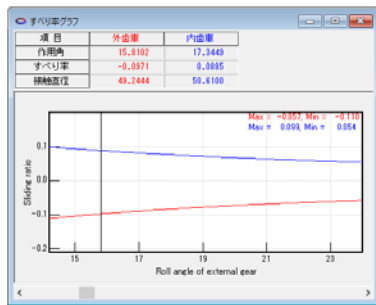


図 35.18 すべり率

35.7 強度計算

強度計算は，図 35.19 のように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 0.10，腕の入力トルクが 1(Nm)，回転速度が 1000min⁻¹ とすると [確定] ボタンによりピニオンとギヤのトルク，回転速度を表示します。

項目	記号	単位	外歯車	内歯車	腕	自在歯手
トルク	T	N·m	48.4194	47.3780	1.0000	48.3780
実回転数	Nj	1/min	-20.4082	0.0000	1000.0000	-20.4082
相対回転数	Ns	1/min	1020.4082	1000.0000	0.0000	1020.4082

図 35.19 強度計算諸元設定

強度諸元 (材料，係数) の入力画面を図 35.21 に示します。材料選択は，図 35.20 の表から選択することもできますが，σF_{lim}，σH_{lim} を直接入力することもできます。図 35.22 に強度結果を示します。

項目	記号	単位	外歯車	内歯車	腕	自在歯手
トルク	T	N·m	48.4194	47.3780	1.0000	48.3780
実回転数	Nj	1/min	-20.4082	0.0000	1000.0000	-20.4082
相対回転数	Ns	1/min	1020.4082	1000.0000	0.0000	1020.4082

図 35.20 材料選択

項目	記号	単位	外歯車	内歯車
トルク	T	N·m	48.419	47.373
回転数	n	rpm	1020.408	1000.000
歯車の回転方向	---	---	両軸受けに対称	
寿命繰り返し回数	L	---	1000000	
歯車の回転方向	---	---	正転のみ	
周速	V	m/s	4.8182	
歯形修整	---	---	有り	
JIS精度等級(1976)	---	---	3	3
歯面粗さ	Ra _{max}	μm	6.00	6.00
負荷時の歯当たり状況	---	---	良 好	
材料定数係数	ZM (MPa) ^{0.5}	---	189.800	189.800
潤滑油係数	ZL	---	1.000	1.000
過負荷係数	Ko	---	1.000	
歯元曲げ安全率	SF	---	1.200	
歯面損傷安全率	SH	---	1.150	

図 35.21 強度計算 (強度諸元)

項目(曲げ)	記号	単位	外歯車	内歯車
許容曲げ応力	σF _{lim}	MPa	480.500	480.500
曲げ有効歯幅	b'	mm	10.000	10.000
歯形係数	YF	---	3.067	2.065
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	1029.488	
許容円周力	Ft _{lim}	N	1739.948	2584.003
歯元曲げ応力	σF	MPa	284.301	187.606
曲げ強さ	Sft	---	1.680	2.561

図 35.22 強度結果

35.8 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 35.23 の歯形出力機能により出力した CAD データの作図例を図 35.24 および図 35.25 に示します。

図 35.23 歯形出力

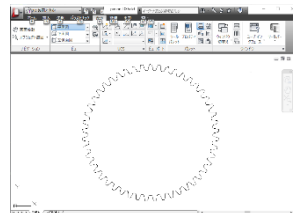


図 35.24 CAD 作図例 (2D)

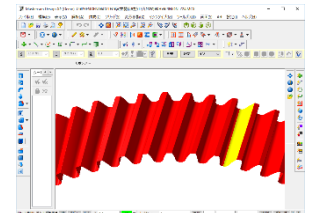


図 35.25 CAD 作図例 (3D)

35.9 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 35.26 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 35.26 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。

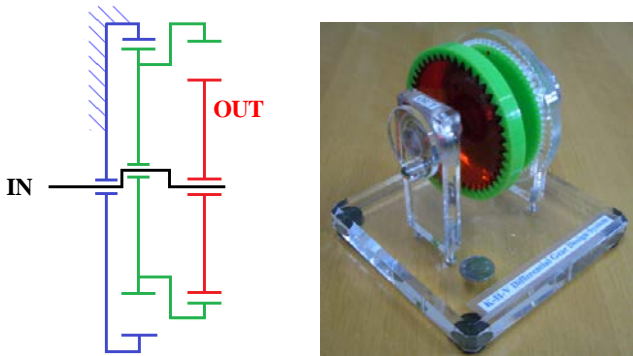


図 35.26 機構 (1 段目差動, 2 段目 0 歯差) と模型

図 35.27 で, 歯数差 0 を選択し, モジュール, 歯数, 圧力角, ねじれ角を設定します。次に補助機能 (図 35.28) で適合する 25 個の中から No.25 を選択します。この歯車の寸法を図 35.29 に歯



図 35.27 諸元設定

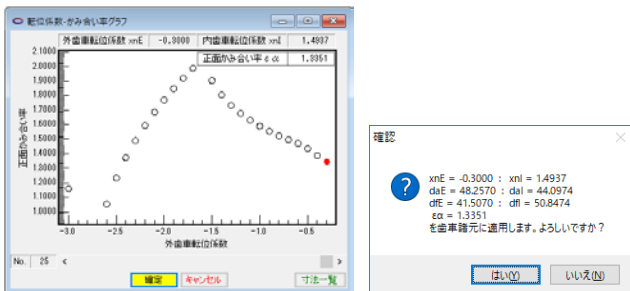


図 35.28 補助機能 (転位係数とかみ合い率)

形を図 35.30 に示します。また, 図 35.30 のかみ合い部 C および D の拡大図を図 35.31 に示します。また, 歯形レンダリングを図 35.32 に示します。

寸法計算結果

項目	記号	単位	外歯車	内歯車
正面かみ合い圧力角	α_w	deg	90.0000	
かみ合いねじれ角	β_w	deg	---	---
かみ合いピッチ円直径	dw	mm	---	---
有効歯幅	bw	mm	15.0000	
クリアランス(大径)	ckh	mm	0.3750	
クリアランス(小径)	ckt	mm	0.3750	
最大接触直径	djs	mm	48.2048	49.1149
最小接触直径	djf	mm	43.6726	44.1686
正面かみ合い率	ϵ_α	---	1.2972	
重なりかみ合い率	ϵ_β	---	0.0000	
全かみ合い率	ϵ_γ	---	1.2972	
ずべり率(大径側)	σ_a	---	-0.0795	0.0737
ずべり率(小径側)	σ_f	---	-0.1686	0.1443
正面法線方向バックラッシュ	jnt	mm	0.1000	
バックラッシュ角度	jσ	deg	0.2711	0.2711

図 35.29 かみ合い寸法

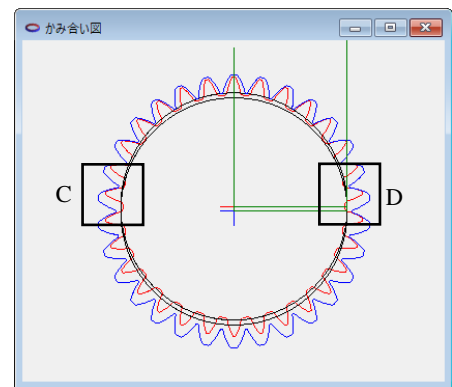
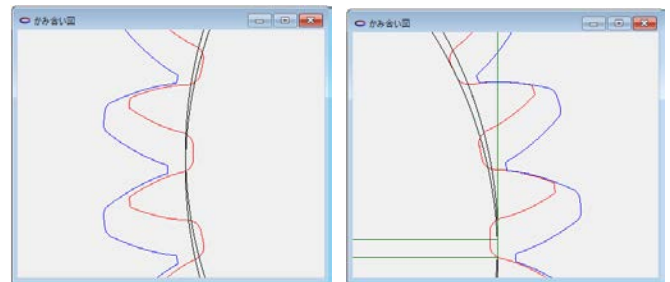


図 35.30 かみ合い図 (歯数差 0)



(a) C 部 (b) D 部

図 35.31 かみ合い図 (拡大)

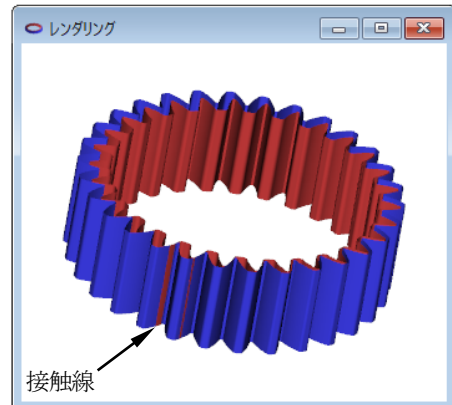


図 35.32 歯形レンダリング