

[34] Hypo-Trochoid gear design system

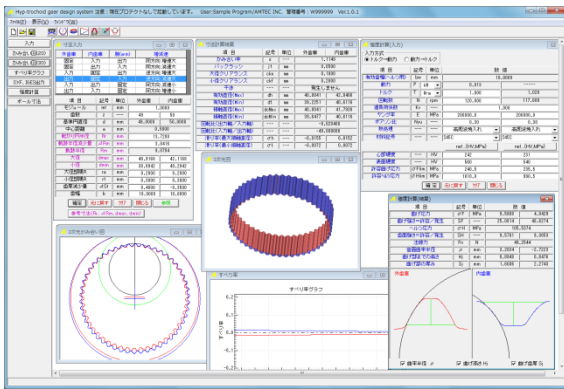


図34.1 Hypo-Trochoid gear design system

34.1 概要

Hypo-Trochoid gear design system は、トロコイド曲線歯車（外歯車×内歯車）を設計するソフトウェアです。かみ合い率はインボリュート歯形に比して数倍あり、歯形設計、歯のかみ合いを計算することができます。この歯車の歯形はトロコイド曲線であるため、すべり率はインボリュート歯形に比べて小さく、且つ、ほぼ一定であるため動力損失の低減に有効です。また、本例（図 34.3）のようにピニオンを自公転させてかみ合う歯車とすれば、1 対の歯車で高減速比（本例 $i=1/49$ ）とすることができます。

34.2 設計・歯形

内転トロコイド歯形を図 34.2 の考え方で生成します。ピッチ円半径 (R_p) に接しながら滑りなく転がり円半径 (R_r) を回転させ、運動する軌跡半径 (R_m) 上の 1 点が描く軌跡を歯形座標としています。なお、 $R_m=R_r$ とすると、内転サイクロイド曲線です。

歯数差を小さく（1~2 歯差）してピニオン（外歯車）の自公転を利用して速比を大きくすることができます。しかし、かみ合い率を 1 以上とする設計とするための数値を直接入力することは非常に困難であるため、本ソフトウェアではモジュールと歯数の入力後、かみ合い率を基準にして設計基準値を表示する機能を有しています。

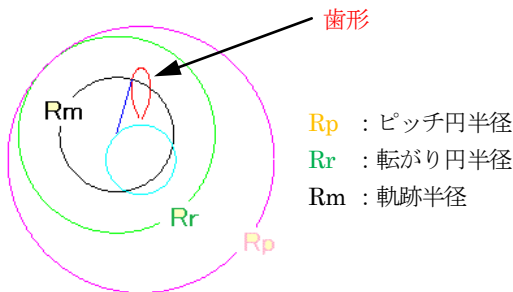


図 34.2 内転トロコイド歯形

34.3 寸法設定

本例では、ピニオンを自公転させてかみ合う歯形の生成例を示します。図 34.3 上部の青抜き枠の組み合わせ（外歯車；出力、内歯車；固定、腕；入力）として、モジュール 1、外歯車歯数 ($z_1=50$)、内歯車歯数 ($z_2=51$) としたとき、かみ合い率を満足させ、且つ、

内転トロコイド歯形の転がり円半径 (R_r) や軌跡半径 (R_m) を設定する場合、図 34.3 でモジュール、歯数入力後、

【参考寸法 (R_r , ΔR_m , d_{max} , d_{min})】

により設計基準値を決定することができます。図 34.4 は、最小かみ合い率を 3.0 としたときの組み合わせであり、この中から 11 番目の寸法を選択すると図 34.3 の紫色の項目は、図 34.5 に示す値となります。

項目	記号	単位	外歯車	内歯車
モジュール	mt	mm	1.0000	
歯数	z	---	50	51
基準円直径	d	mm	50.0000	51.0000
中心距離	a	mm	0.5000	
転がり円半径	R_r	mm		
軌跡半径減少量	ΔR_m	mm		
軌跡半径	R_m	mm		
大径	d_{max}	mm		
小径	d_{min}	mm		
大径部隅R	r_a	mm		
小径部隅R	r_f	mm		
歯厚減少量	ΔSt	mm		
歯幅	b	mm		

図 34.3 寸法設定

番号	外歯車	内歯車	腕	増減速	最小かみ合い率
1	固定	出力	入力	同方向 増速大	3.0000
2	固定	出力	入力	同方向 減速大	3.0000
3	固定	出力	入力	逆方向 増速大	3.0000
4	固定	出力	入力	逆方向 減速大	3.0000
5	固定	出力	入力	同方向 増速大	3.0000
6	固定	出力	入力	同方向 減速大	3.0000
7	固定	出力	入力	逆方向 増速大	3.0000
8	固定	出力	入力	逆方向 減速大	3.0000
9	固定	出力	入力	同方向 増速小	3.0000
10	固定	出力	入力	同方向 減速小	3.0000
11	固定	出力	入力	逆方向 増速小	3.0000
12	固定	出力	入力	逆方向 減速小	3.0000

図 34.4 寸法一覧

項目	記号	単位	外歯車	内歯車
モジュール	mt	mm	1.0000	
歯数	z	---	50	51
基準円直径	d	mm	50.0000	51.0000
中心距離	a	mm	0.5000	
転がり円半径	R_r	mm	21.5000	
軌跡半径減少量	ΔR_m	mm	7.7400	
軌跡半径	R_m	mm	13.7600	
大径	d_{max}	mm	34.1200	35.3200
小径	d_{min}	mm	32.0306	33.4306
大径部隅R	r_a	mm	0.1000	0.2000
小径部隅R	r_f	mm	0.3000	0.2000
歯厚減少量	ΔSt	mm	0.2000	-0.1800
歯幅	b	mm	10.0000	10.0000

図 34.5 寸法設定

図 34.5 の大径部丸み半径 (r_a) や小径部の丸み半径 (r_f) そして歯厚減少量 (ΔSt) を与えることにより歯形や各部寸法が決まります。その結果を図 34.6 に示しますが、歯先 R を与えることにより、かみ合い率は $\epsilon=2.425$ に低下します。また、外歯車の歯厚を小さ

く (0.20mm) し、内歯車の歯厚を大きく (0.18mm) してバックラッシュ $j=0.02\text{mm}$ を与えています。回転比 (本例の場合 1/50) やクリアランス、干渉発生の有無を表示します。

寸法計算結果				
項目	記号	単位	外歯車	内歯車
かみ合い率	ε	---	---	2.4246
バックラッシュ	jt	mm	---	0.0200
大径クリアランス	cka	mm	---	0.1000
小径クリアランス	ckf	mm	---	0.2000
干渉	---	---	発生しません	
有効直径(Max)	dh	mm	34.0433	35.2191
有効直径(Min)	dt	mm	32.5267	33.7301
接触直径(Max)	dcMax	mm	34.0433	34.9902
接触直径(Min)	dcMin	mm	32.9116	33.7301
回転比(出力軸/入力軸)	---	---	-0.020000	
回転比(入力軸/出力軸)	---	---	-50.000000	
滑り率(最大接触直径)	σ_h	---	-0.0635	0.0650
滑り率(最小接触直径)	σ_t	---	-0.0192	0.0188

図 34.6 寸法計算結果

図 34.11 および図 34.12 に歯形レンダリングを示します。この図では図 34.3 で設定した歯車の組み合わせに応じて歯車が回転します。また、図 34.12 に示すように接触線を観察することができます。

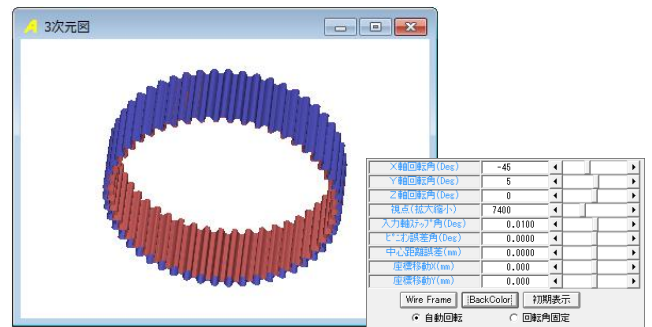


図 34.11 歯形レンダリング 1

34.4 歯形図

図 34.5 で設定した歯車諸元に基づき内転トロコイド歯形を生成し図 34.7 のように作図します。図 34.8 は、図 34.7 のかみ合い部 A の拡大図 (図中○の3歯が同時接触) であり、図 34.9 は同じく B の拡大図です。かみ合い図(2D)では、図 34.10 のように距離計測 (歯先間距離が 0.096mm) をすることができます。

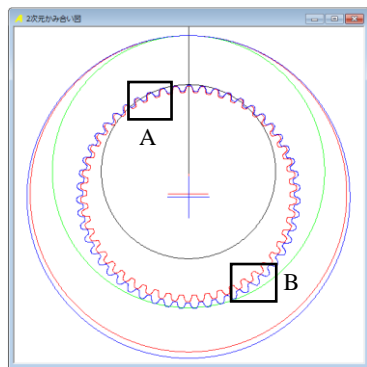


図 34.7 かみ合い (2D)

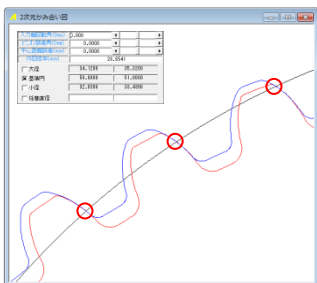


図 34.8 かみ合い(A)

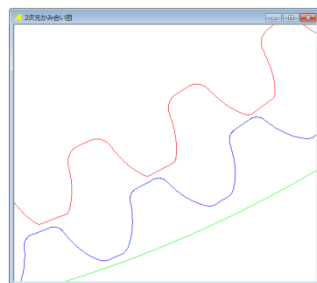


図 34.9 かみ合い(B)

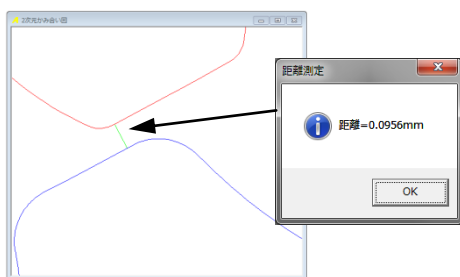


図 34.10 かみ合い (距離計測)

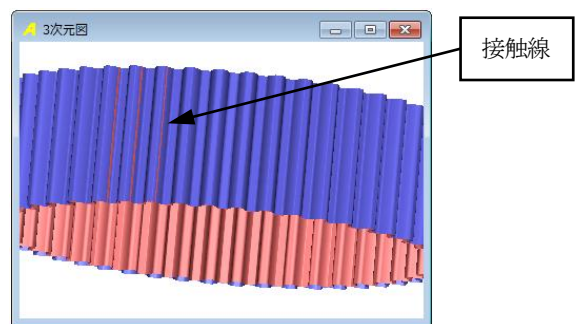


図 34.12 歯形レンダリング 2

34.5 オーバーボール寸法

生成した歯形の管理のためオーバーボール (ビットイン) 寸法を図 34.13 および図 34.14 のように計算することができます。

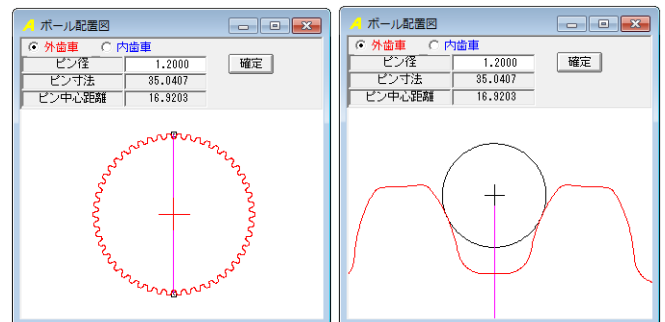


図 34.13 オーバーボール寸法 (外歯車)

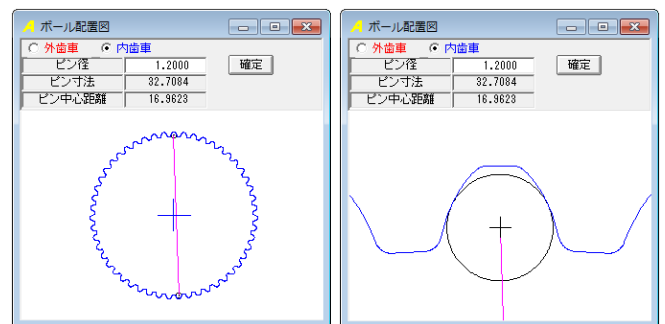


図 34.14 ボール寸法 (内歯車)

34.6 すべり率

本例の内転トロコイド歯形のすべり率は、図 34.6 の寸法計算

結果に示すように最大接触直径では $\sigma_h=0.0695$ であり、最小接触直径では $\sigma_c=0.0192$ で、歯形位置（直径）におけるすべり率の変化は、図 34.15 で知ることができます。この図から本例の内転トロコイド歯形のすべり率は、ほぼ一定であることが解ります。

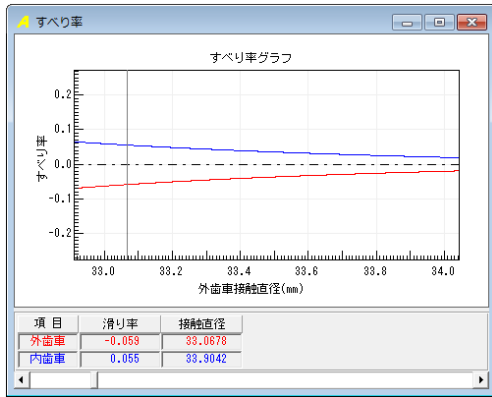


図 34.15 すべり率

34.7 強度計算

強度計算は、図 34.16 に示す強度設定画面でトルク、回転速度、過負荷係数等を入力します。材料の許容応力は、直接入力するか、または、図 34.16 の材料選択表を用いて設定することができます。



図 34.15 強度設定

S43C	高周波焼き入れ歯車		240	5.4	280
			560	5.8	317
		580	5.4	321.5	
		600up	5.5	341.5	
	200	210	225.5	5.0	49
	210	221	230.5	5.20	51
	220	231	235.5	5.40	52
	230	242	240.5	5.60	53
	240	252	245	5.80	54
	250	263	245	6.00	55
			820	5.6	1054
			840	5.7	1064
			860	5.8	1069
			880up	5.9	1074

構造用合金鋼	高周波焼き入れ前の熱処理条件		心部硬さ		σ_{Flim}		歯面硬さ		σ_{Hlim}	
	HB	HV	MPa	HV	HRc	MPa	HV	HRc	MPa	
SCM440	230	242	265	5.00	49	1069				
	240	252	274.5	5.20	51	1098.5				
	250	263	284.5	5.40	52	1129				
SMn443	260	273	294	5.60	53	1147.5				
	270	284	304	5.80	54	1167				

図 34.16 材料選択

歯の曲げ強さは、歯たけ中央位置における歯形の曲率半径を基本とします。また、最弱断面歯厚は 30 度接線法（内歯は 60 度接線法）により決定し、歯先に荷重が作用するものとして歯元が発生する応力を計算します。さらに、曲率半径、曲げ高さそして最弱断面歯厚は、図 34.17 の歯形図で確認することができます。

歯面強さも曲げ強さと同様に歯たけの中央位置における歯形の曲率半径を基本とし、発生ヘルツ応力を計算します。曲げ強さおよび歯面強さは、材料の許容応力と発生する応力の比としていま

す。図 34.17 に強度計算結果例を示します。

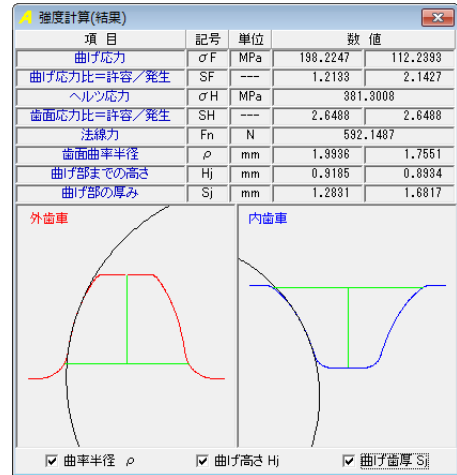


図 34.17 強度計算結果

34.8 歯形出力

生成した歯形は、図 34.18 の歯形出力機能により CAD ファイルとして出力することができます。作図例を図 34.19~34.20 に示します。

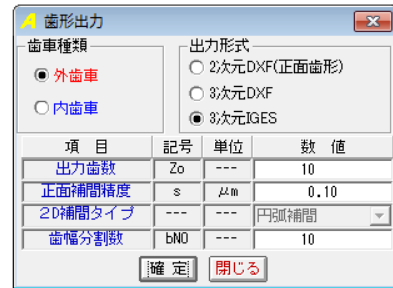
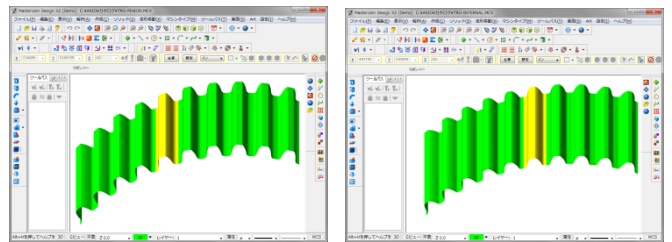
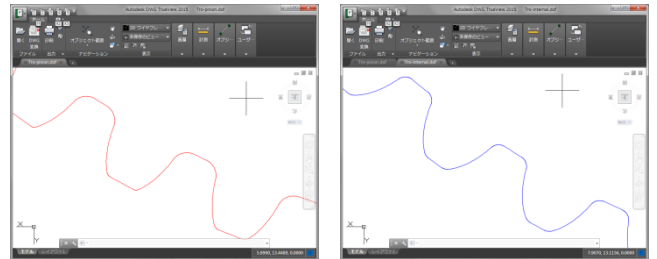


図 34.18 歯形出力



(a) 外歯車 (b) 内歯車

図 34.19 CAD 作図例(3D)



(a) 外歯車 (b) 内歯車

図 34.20 CAD 作図例(2D)