

[32]正弦歯形歯車設計システム

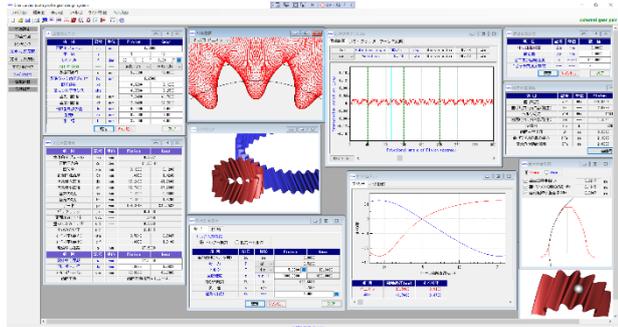


図 32.1 正弦歯形歯車設計システム

32.1 概要

古くからポンプギヤ用として提案されてきた正弦曲線で構成される歯形を基準ラックとする歯車（以下、正弦歯形歯車）は、インボリュート歯車に比べすべり率が小さいため動力損失が小さくなります。そのため、かみ合い時の摩擦発熱量が減少し、歯の温度上昇も押さえられると考えることができます。このことから、プラスチック歯車の温度上昇に伴うプラスチック材料の許容曲げ応力の低下も小さくなりプラスチック歯車の負荷容量も大きくなると期待できます。

また、正弦歯形歯車のかみ合いは、インボリュート歯車に比べ、かみ合い点における相対曲率が小さく、歯の幾何形状についても危険断面における歯厚が大きいことなどから歯面接触応力、歯元曲げ応力の低下をもたらし、負荷容量増加に有利に働くことも期待できます。以上の理由により用途によっては有効な歯形であると考えています。

32.2 歯車の種類と歯形

- (1) 歯車の種類 : 外歯車対, 内歯車対 (平歯車, はすば歯車)
- (2) 歯形 : 正弦曲線歯形 (基準ラック)
- (3) 歯数 : $z=6\sim 999$

小歯数対応オプション : $z_1=2\sim 6$

32.3 基準ラック

正弦歯形歯車の基準ラックを図 32.2 に示します。基準ラックの歯溝を切れ刃とするカウンタラック (ホブ等) が創成する歯形を歯数毎に求めることができ、このカウンタラックによって創成した正面歯形を基に成形研削も可能です。

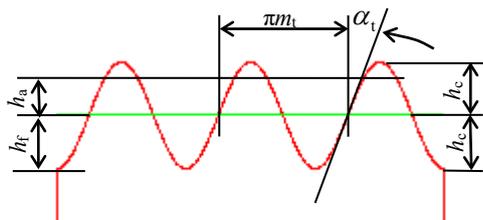


図 32.2 基準ラック (正面)

32.4 プロパティ

歯車対の組み合わせおよび歯たけ係数設定画面を図 32.3 に示します。外歯車対と内歯車対 (オプション) の歯車設計が可能です。

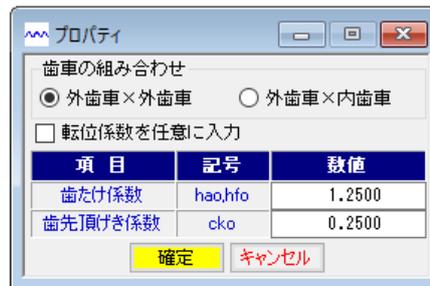


図 32.3 プロパティ

32.5 歯車諸元入力

図 32.4 に、歯車諸元の入力画面を示します。図 32.3 で [] 転位係数を任意に入力することもできますが、正弦歯形歯車の転位係数の和は常に 0 でなければ、かみ合いません。



図 32.4 歯車諸元

32.6 歯車寸法

歯車寸法、かみ合い率、すべり率の計算結果を図 32.5 に示します。正弦歯形歯車のような非インボリュート歯車は、理論中心距離でのみ正しくかみ合いますが、本ソフトウェアでは故意に中心距離を変更することもできます。また、測定ボール径も任意に設定することができます。



図 32.5 歯車寸法

32.7 歯形図

図 32.6~32.8 に正弦歯形歯車の基準ラック、歯形創成図、かみ合いを示します。インボリュート歯車の場合、接触線は直線です

が、正弦歯形歯車の接触線はS字線となります。そのため、図 32.9 のように、かみ合い始めの点pからかみ合い終わりの点qまでが、かみ合い角度となります。従って、インボリュート歯車の場合、相手歯車の歯数が多くなるとかみ合い率は増加しますが、正弦歯形歯車のかみ合い率は大きく増加しません。詳しくは[付録 E]をご覧ください。また、歯面上のかみ合い接触線は、図 32.10 の歯形レンダリングの歯面中央に確認することができます。

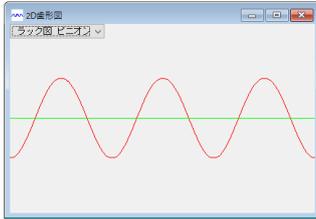


図 32.6 基準ラック歯形

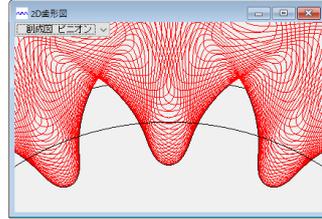


図 32.7 歯形創成

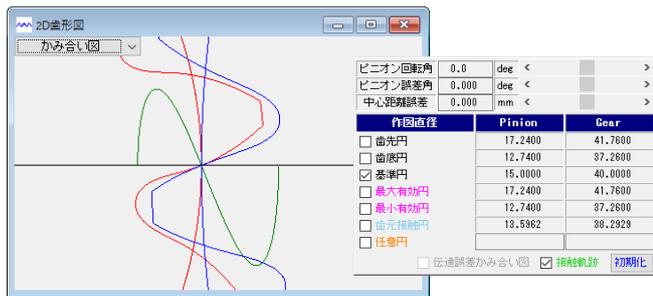


図 32.8 かみ合い図

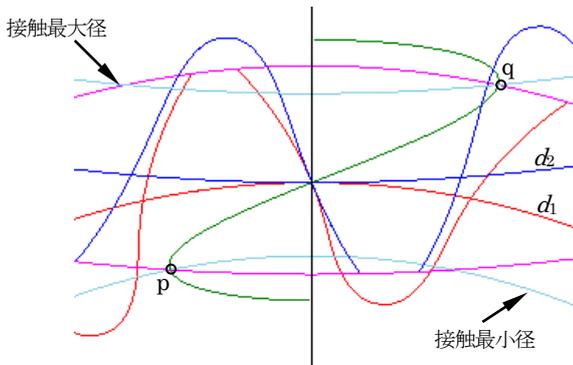


図 32.9 正弦歯形歯車のかみ合い

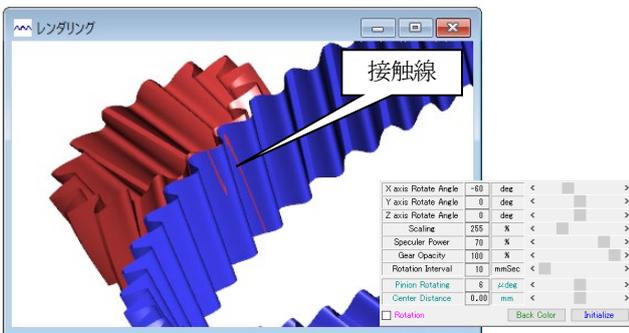


図 32.10 レンダリング (接触線)

正弦歯形歯車の歯厚は、インボリュート歯車と同様、図 32.11 および図 32.12 のようにオーバーボール寸法で管理することができます。ここで使用するピン径は、適宜変更することが可能です。

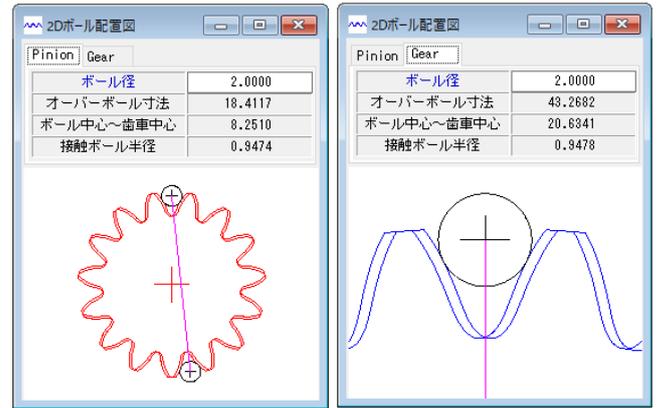


図 32.11 オーバーピン寸法 (2D)

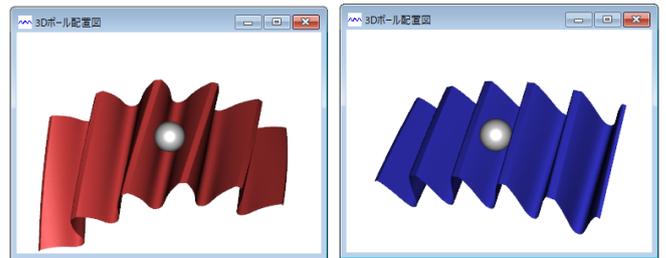


図 32.12 オーバーピン寸法 (3D)

32.8 すべり率

図 32.13 に正弦歯形歯車のすべり率を、図 32.14 インボリュート歯車のすべり率と正弦歯形歯車のすべり率を重ね合わせた図を示します。なお、インボリュート歯車の諸元は正弦歯形歯車と同じとしています。

図 32.13 より、正弦歯形歯車ピニオンのすべり面積は、表 32.1 のようにインボリュートに比べ 1/3.5 と小さく、正弦歯形歯車ギヤのすべり面積は 1/1.90 と小さいことが解ります。また、図 32.15 のすべり速度でも正弦歯形歯車のほうが小さいことが解ります。

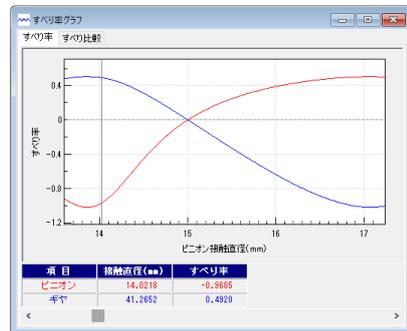


図 32.13 正弦歯形歯車のすべり率

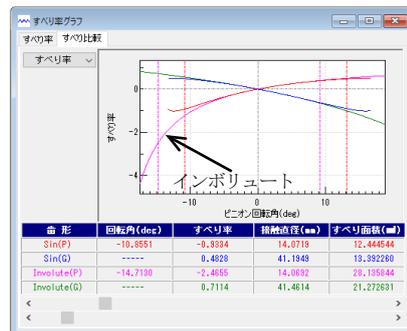


図 32.14 インボリュート歯車と正弦歯形歯車のすべり率

表 32.1 最大すべり率とすべり面積

	最大すべり率	すべり面積
正弦歯形歯車(P)	-0.918	12.4
正弦歯形歯車(G)	0.479	13.4
インボリュート歯車(P)	-10.1	43.4
インボリュート歯車(G)	0.910	25.7

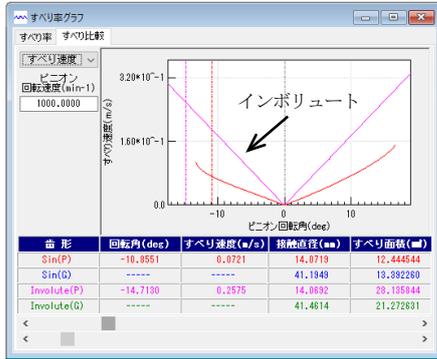


図 32.15 すべり速度比較



図 32.19 強度計算 (材料設定)



図 32.20 強度計算結果

32.9 伝達誤差

伝達誤差解析結果を図 32.16 および図 32.17 に示します。



図 32.16 伝達誤差設定

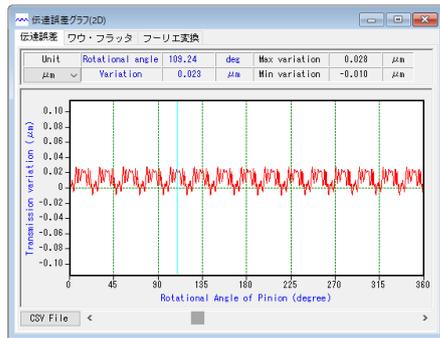


図 32.17 伝達誤差解析結果

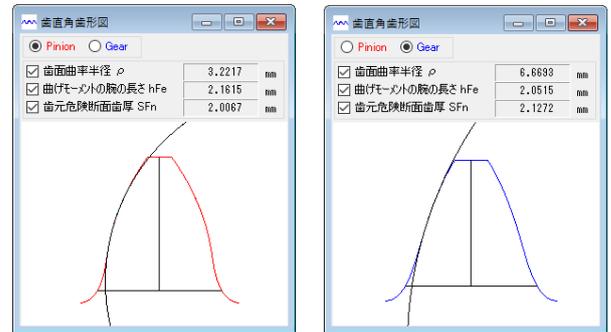


図 32.21 歯形 (強度計算)

32.11 ファイル出力

生成した歯形は、図 32.22 で歯形データの種類を選択し図 32.23 のように出力することができます。



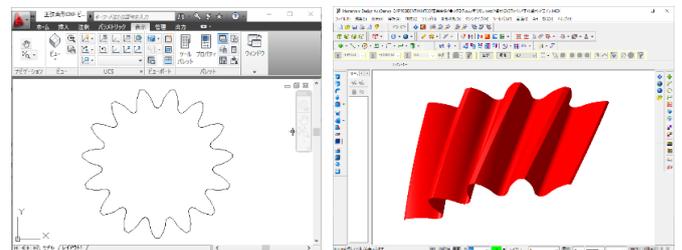
図 32.22 CAD データ出力画面

32.10 強度計算

強度計算結果を図 32.18~32.21 に示します。



図 32.18 強度計算 (動力設定)



(a) 2D-DXF

(b) 3D-IGES

図 32.23 CAD 作図例

32.12 かみ合い率の変化

インボリュート歯車 (図 32.24) と正弦歯形歯車 (図 32.25) の小歯車の歯数を 18 に固定してギヤの歯数を 18, 25, 30, 50, 100 と変化させたときのかみ合い率を図 32.26 および表 32.2 に示します。このように、インボリュート歯車は、大歯車の歯数が増加するとともにかみ合い率も大きくなりますが、正弦歯形歯車は、ほとんど変化がありません。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
モジュール	mn	mm	1.00000	
歯数	z	---	18	18
圧力角	α_n	deg	20.00000	
ねじれ角	β	deg	0	0.00
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	右ねじれ
基準円直径	d	mm	18.00000	18.00000
基準円直径	db	mm	18.31447	18.31447
歯厚入力方式	---	---	転位係数	転位係数
転位係数	xn	---	0.00000	0.00000
またぎ歯数	zm	---	3	3
またぎ歯厚	ll	mm	7.69243	7.69243
測定ボール径	dp	mm	1.7310	1.7310
オーバークール寸法	dm	mm	20.38409	20.38409
歯角内円弧歯厚	Sn	mm	1.57080	1.57080
中心距離	a	mm	18.00000	
歯角法線歯厚減少量	fn	mm	0.00000	0.00000
歯幅	b	mm	8.00000	8.00000
歯先円直径	da	mm	20.00000	20.00000
歯底円直径	df	mm	15.50000	15.50000
歯先R	ra	mm	0.00000	0.00000
基準ラック歯元R	rf	mm	0.3750	0.3750

図 32.24 インボリュート歯車諸元

項目	記号	単位	Pinion	Gear
正面モジュール	mt	mm	1.0000	
歯数	z	---	18	18
ねじれ角	β	deg	20	0
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	左ねじれ
基準円直径	d	mm	18.00000	18.00000
基準ラック歯元のたけ	hc	mm	1.2500	
転位係数	xt	---	0.0000	0.0000
歯先クリアランス	cka	---	0.2500	0.2500
歯先円直径	da	mm	20.0000	20.0000
歯底円直径	df	mm	15.5000	15.5000
円弧歯厚減少量	fr	mm	0.0000	0.0000
歯先R	ra	mm	0.0000	0.0000
歯幅	b	mm	8.0000	8.0000

図 32.25 正弦歯形歯車諸元

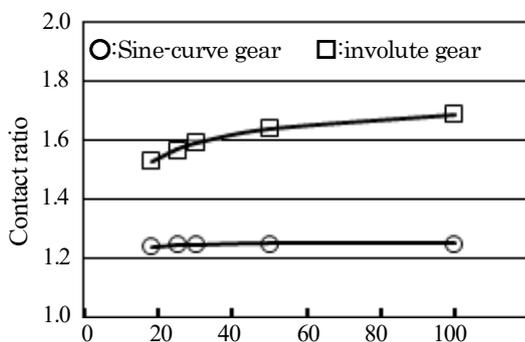


図 32.26 かみ合い率の変化

表 32.2 かみ合い率

z ₁	z ₂	a	$\mathcal{E}_{\alpha}(\text{Involute})$	$\mathcal{E}_{\alpha}(\text{Sine})$
18	18	18.000	1.5298	1.2422
18	25	21.500	1.5707	1.2473
18	30	24.000	1.5916	1.2487
18	50	34.000	1.6422	1.2498
18	100	59.000	1.6911	1.2498

32.13 内歯車

内歯車対の計算例を以下に示します。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
正面モジュール	mt	mm	2.0000	
歯数	z	---	19	55
ねじれ角	β	deg	25	0
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	右ねじれ
基準円直径	d	mm	38.0000	110.0000
基準ラック歯元のたけ	hc	mm	2.5000	
転位係数	xt	---	0.0000	0.0000
歯先クリアランス	cka	---	0.5000	0.5000
歯先円直径	da	mm	42.0000	106.0000
歯底円直径	df	mm	33.0000	115.0000
円弧歯厚減少量	fr	mm	0.0000	0.0000
歯先R	ra	mm	0.0000	0.0000
歯幅	b	mm	20.0000	20.0000

図 32.27 歯車諸元 (内歯車)

項目	記号	単位	Pinion	Gear
歯角内円弧歯厚減少量	fn	mm	1.8126	
正面圧力角	α	deg	21.80141	
転位量	xm	mm	0.0000	0.0000
正面円弧歯厚	St	mm	3.1415	3.1415
有効最大直径	dh	mm	42.0000	115.0000
有効最小直径	dt	mm	33.0000	106.0000
歯末のたけ	ha	mm	2.0000	2.0000
歯元のたけ	hf	mm	2.5000	2.5000
リード	pz	mm	256.0124	741.0884
バックラッシ	jn	mm	0.0000	
正面かみ合い率	ϵ_{α}	---	1.2510	
重なりかみ合い率	ϵ_{β}	---	1.4843	
全かみ合い率	ϵ_{γ}	---	2.7353	
すべり率(最大)	σ_a	---	0.1855	0.2988
すべり率(最小)	σ_f	---	-0.4282	-0.2277
理論中心距離	a	mm	36.0000	
設計中心距離	aJ	mm	36.0000	
測定ボール径	dp	mm	3.6094	3.6094
オーバークール寸法	dm	mm	43.8187	103.3929
歯面干渉	---	---	歯面干渉は発生しません。	

図 32.28 歯車寸法

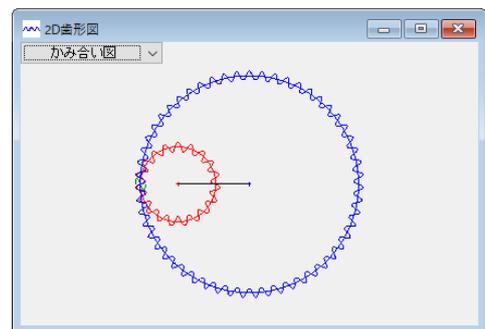


図 32.29 かみ合い図

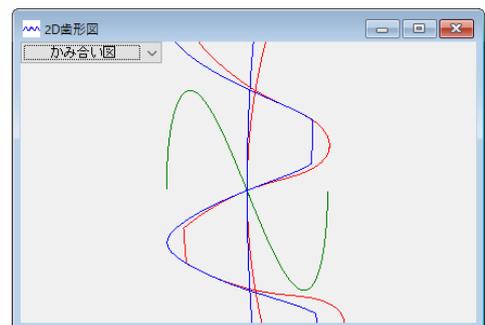


図 32.30 かみ合い図 (接触線)

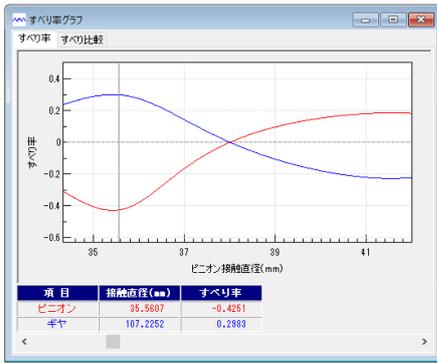


図 32.31 すべり率



図 32.32 インボリュート歯車と正弦歯形歯車のすべり率

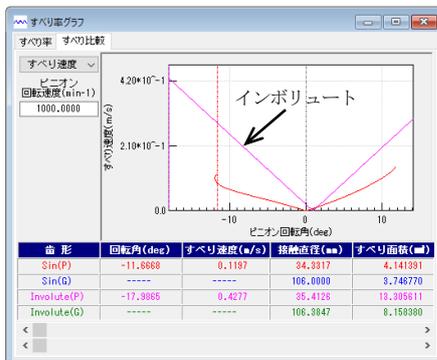


図 32.33 すべり速度比較

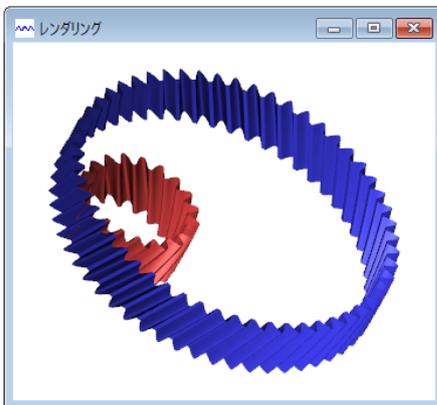


図 32.34 レンダリング (接触線)



図 32.35 強度計算 (動力設定)



図 32.36 強度計算 (材料設定)



図 32.37 強度計算結果

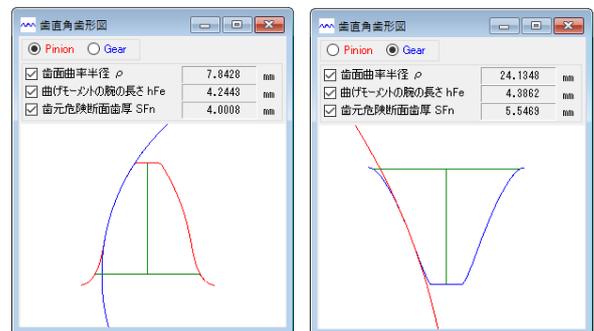


図 32.37 歯形 (強度計算)

32.14 さいごに

正弦曲線歯車のすべり率はインボリュート歯車より小さいため発熱量の低下と効率向上が期待できます。

◆プラスチック歯車 ($m_1, z=48$) の実験例では同諸元のインボリュート歯車に比して効率が向上しています。詳細は、付録[E]をご覧ください。