

[37] 鼓形ウォーム&ヘリカルギヤ設計システム

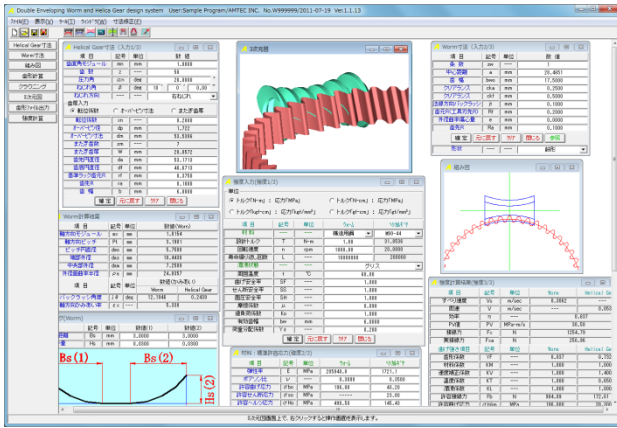


図 37.1 鼓形ウォーム&ヘリカルギヤ

37.1 概要

鼓形ウォームギヤは、ヒンドレーウォームギヤ(カタログ[36])に代表されますが、ホイール歯形の複雑さからヘリカルギヤをホイールとした鼓形ウォームギヤがあります。鼓形ウォームギヤは、円筒ウォームギヤに比して同時かみ合い歯数が多く、且つ、ホイールの歯たけ方向のかみ合い接触線を持つことから潤滑や歯面強さに対して非常に有利といえます。本ソフトウェアは、鼓形ウォーム×ヘリカルギヤを設計することができるソフトウェアです。

ウォームギヤの体系は、以下に示すように大別することができます。

- (1) 円筒ウォームギヤ
 - (1.1) 円筒ウォームギヤ, 24 頁
 - (1.2) Niemann worm gear, 99 頁
 - (1.3) ウォーム×ヘリカルギヤ, 19 頁
 - (1.4) LCCW ウォーム×ヘリカルギヤ, 119 頁
 - (1.5) 傾斜ウォームギヤ, 97 頁
- (2) 鼓形ウォームギヤ
 - (2.1) ヒンドレーウォームギヤ, 117 頁
 - (2.2) 鼓形ウォーム×ヘリカルギヤ, 119 頁
- (3) 内歯車ウォームギヤ
 - (3.1) 樽形ウォームギヤ, 127 頁

ウォームギヤと言えば、(1.1)の円筒ウォームギヤのことですが、ホイールがプラスチック歯車の場合、(1.1)円筒ウォームギヤの代用品として(1.2)の円筒ウォーム×ヘリカルギヤが大多数を占めます。しかし、この歯車は、点接触であるため負荷容量の増大を望むことができませんが、これを解決するのが(2.2)鼓形ウォーム×ヘリカルギヤであると考えています。鼓形ウォーム×ヘリカルギヤは、円筒ウォーム×ヘリカルギヤに対し、同時かみ合い歯数が多く(円筒ウォームの2~3倍)、また、歯たけ方向のかみ合い線接触であるため負荷容量は増大し、且つ、潤滑に有利です。なお、ホイールはインボリュートヘリカルギヤをそのまま用いることができ、円筒ウォームギヤの諸元や中心距離に合わせた設計が可能です。そのため、円筒ウォーム×ヘリカルギヤの中心距離を変更することなく円筒ウォームを鼓形ウォームに変更するだけで済みます。

本ソフトウェアは、上記(2.2) 鼓形ウォーム×ヘリカルギヤの歯車寸法計算、歯形計算、強度計算をすることができ、歯形はCADデータとして出力することができます。

37.2 ヘリカルギヤ諸元入力

図 37.2にヘリカルギヤの諸元入力画面を示します。入力範囲は、 $0.1 \leq m_n \leq 50, 10 \leq z_2 \leq 500, 5^\circ \leq \alpha_n \leq 30^\circ, 0^\circ < \beta \leq 20^\circ$ です。図 37.2のヘリカルギヤ諸元を確定すると、寸法を図 37.3のように表示します。

項目	記号	単位	数値
歯直角モジュール	mn	mm	1.0000
歯数	z	---	50
圧力角	α_n	deg	20.0000
ねじれ角	β	deg	10° 0' 0.00"
ねじれ方向	---	---	右ねじれ
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	---	0.2000
オーバピッチ径	dp	mm	1.722
オーバピッチ法	dm	mm	53.5388
またぎ歯数	zm	---	7
またぎ歯厚	W	mm	20.0572
歯先円直径	da	mm	53.1713
歯底円直径	df	mm	48.6713
基準ラック歯元R	rf	mm	0.3750
歯先R	ra	mm	0.1000
歯幅	b	mm	8.0000

図 37.2 ヘリカルギヤ諸元

項目	記号	単位	数値
正面モジュール	mt	mm	1.0154
正面圧力角	α_t	deg	20.2836
基準円直径	d	mm	50.7713
かみ合いピッチ円直径	dw	mm	51.1713
正面かみ合い圧力角	α_{wt}	deg	21.4626
基礎円直径	db	mm	47.6229
基礎円筒ねじれ角	β_b	deg	9.3913
リード	Lead	mm	904.5856
歯末のたけ	ha	mm	1.2000
歯元のたけ	hf	mm	1.0500
全歯たけ	h	mm	2.2500
Tif径	Tif	mm	49.3566

図 37.3 ヘリカルギヤ寸法

37.3 ウォーム諸元入力

図 37.4に鼓形ウォームの諸元入力画面を示します。条数の入力範囲は、 $1 \leq z_w \leq 3$ です。中心距離は、理論値の他に、円筒ウォーム×ヘリカルギヤで設計した中心距離を設定することも可能ですので軸間距離を変えることなく鼓形ウォーム×ヘリカルギヤに変更することができます。

項目	記号	単位	数値
形状	---	---	鼓形
条数	zw	---	1
中心距離	a	mm	28.4651
歯幅	bwo	mm	17.5000
クリアランス	cka	mm	0.2500
クリアランス	ckf	mm	0.5000
法線方向バックラッシュ	jt	mm	0.1000
歯元R(工具刃先R)	Rf	mm	0.2000
外径曲率偏心率	e	mm	0.0000
歯先R	Ra	mm	0.1000

図 37.4 鼓形ウォーム諸元

図 37.5 に鼓形ウォーム寸法を示します。円筒ウォーム×ヘリカルギヤのかみ合い率 $\varepsilon = 1.71$ に対し、本例の鼓形ウォーム×ヘリカルギヤでは $\varepsilon = 5.34$ となり約 3 倍に増加します。また、諸元設定完了後、図 37.6 に組図を作図することができますので、鼓形ウォームの歯幅や全体のバランスを確認することができます。

項目	記号	単位	数値(Worm)	
軸方向モジュール	m_x	mm	1.0154	
軸方向ピッチ	Pt	mm	3.1901	
基準円直径	dwo	mm	5.7588	
端部外径	das	mm	10.4438	
中央部外径	dam	mm	7.2589	
外径面曲率半径	ρ_a	mm	24.8357	
項目	記号	単位	数値(かみあい)	
バックラッシュ角度	$j \theta$	deg	12.1946	0.2439
軸方向かみあい率	ε_x	---	5.338	

図 37.5 鼓形ウォーム寸法

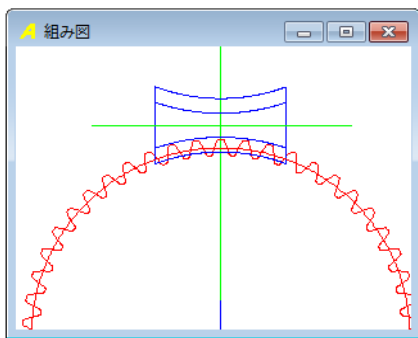


図 37.6 組み図

37.4 歯形計算

鼓形ウォームの歯形分割数を図 37.7 で設定します。ここで設定する分割数で生成する鼓形ウォームの歯形の細かさが決まります。また、ウォームにクラウニングおよびウォーム歯先修整を与える場合は、図 37.8 で設定することができます。

項目	記号	単位	数値	
歯幅方向分割数	bNO	---	280	
円周分割数	hNO	---	180	

図 37.7 鼓形ウォームの歯形計算の設定

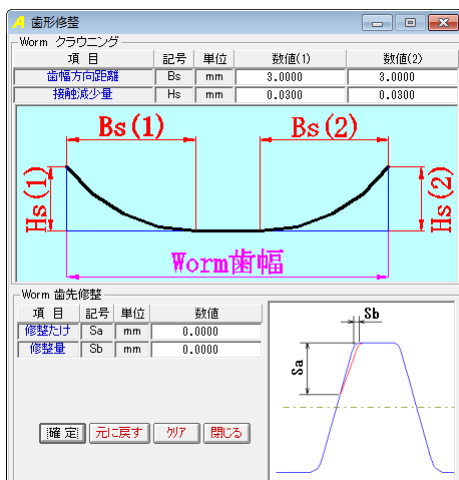


図 37.8 鼓形ウォームのクラウニングと歯先修整

歯形計算後の鼓形ウォームとヘリカルギヤの 3D かみ合いを図 37.9 および図 37.10 に示します。図 37.9 は、クラウニングを与えていないかみ合いのためウォームの両端部で接触線を観察することができます。一方、図 37.10 は、ウォームにクラウニング（解り易くするため大きなクラウニング）を与えているため 4 歯の接触線となっています。

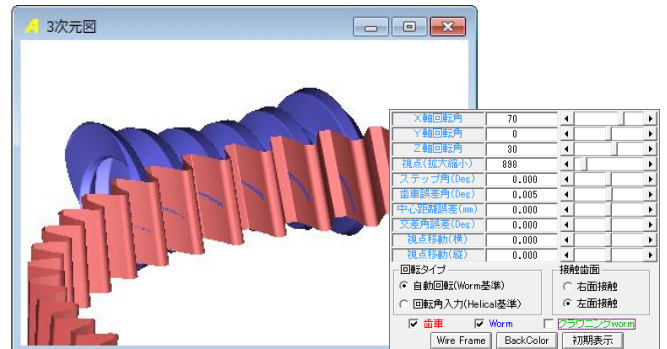


図 37.9 歯形レンダリング（理論ウォーム）

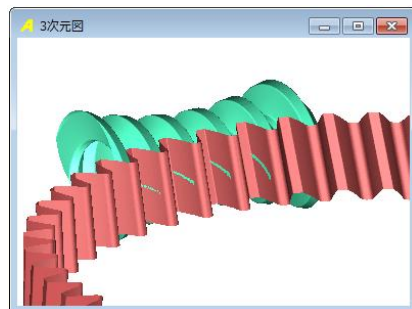


図 37.10 歯形レンダリング（クラウニング）

37.5 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 37.11 で出力した歯形の作図例を図 3.7.12 に示します。

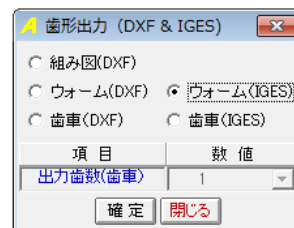
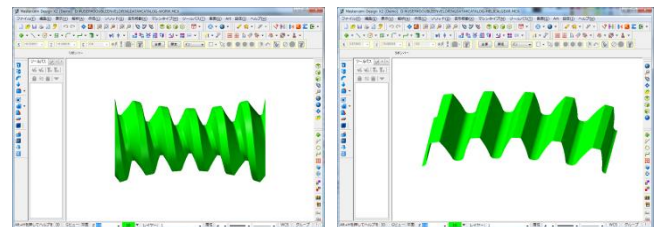


図 37.11 歯形出力



(a) Catalog-Worm.IGS (b) Catalog-HelicalGear.IGS
図 37.12 CAD 作図例(3D-IGES)

37.6 強度計算

鼓形ウォームとヘリカルギヤの強度計算画面を図 37.13~37.15 に示します。歯車材料は、図 37.13a に示すようにウォーム、ヘリカルギヤ共に 8 種類から選択することができます。且つ、任意材料記号を設定することができます。また、図 37.14 では任意の許容応力値を設定することができます。

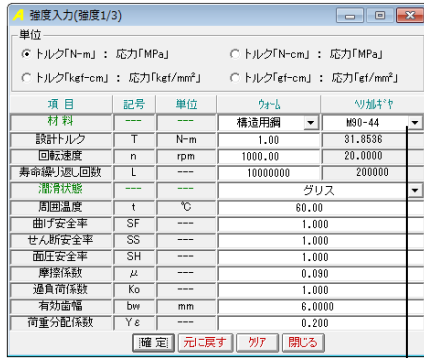


図 37.13 強度計算入力



図 37.13a 強度計算 (材料)

項目	記号	単位	Worm	Helical Gear
弾性率	E	MPa	205340.0	1721.1
ポアソン比	ν	---	0.3000	0.3500
許容曲げ応力	σ_{bo}	MPa	196.00	49.20
許容せん断応力	σ_{so}	MPa	---	23.80
許容ヘルン応力	σ_{Ho}	MPa	490.50	145.43

図 37.14 許容応力の設定

項目	記号	単位	Worm	Helical Gear
すべり速度	Vs	m/sec	0.3062	---
周速	V	m/sec	---	0.0592
効率	η	---	---	0.837
PV値	PV	MPa·m/s	30.58	---
接線力	Fx	N	1254.79	---
実接線力	Fxa	N	250.96	---
曲げ強さ項目	記号	単位	Worm	Helical Gear
歯形係数	YF	---	0.837	0.732
材料係数	KM	---	1.000	1.000
速度補正係数	KV	---	1.000	1.400
温度係数	KT	---	1.000	0.850
潤滑係数	KL	---	1.000	1.000
許容接線力	Fb	N	984.89	172.61
許容曲げ応力	σ_{blim}	MPa	196.000	39.300
発生曲げ応力	σ_b	MPa	49.942	57.140
曲げ強さ	Sft	---	3.925	0.688
せん断強さ項目	記号	単位	Worm	Helical Gear
せん断円弧歯厚	So	mm	---	2.039
円弧歯幅	Sb	mm	---	7.063
断面積	Sab	mm ²	---	6.599
許容接線力	Fs	N	---	228.447
許容せん断応力	σ_{slim}	MPa	---	23.800
発生せん断応力	σ_s	MPa	---	26.145
せん断強さ	Sfs	---	---	0.910
歯面強さ項目	記号	単位	Worm	Helical Gear
積載係数	ZH	---	---	2.388
材料定数係数	ZM	MPa	---	24.879
接触歯たけ	hm	mm	---	1.750
許容接線力	Fh	N	6054.316	532.225
許容ヘルン応力	σ_{Hlim}	MPa	490.500	145.430
発生ヘルン応力	σ_H	MPa	99.869	99.869
歯面強さ	Sfh	---	24.125	2.121

図 37.15 強度結果

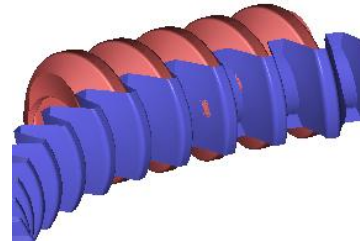
37.7 円筒ウォーム×ヘリカルギヤとの比較

図 37.16 の円筒ウォームギヤおよび図 37.17 の円筒ウォーム×ヘリカルギヤの歯当たり接触は 2 歯のかみ合いに留まっていますが、鼓形ウォーム×ヘリカルギヤの接触線は、図 37.10 および図 37.18 に示すように歯たけ方向に 4 歯（クラウニングを与えている）接触しています。このことから、鼓形ウォーム×ヘリカルギヤの歯の負荷容量は、接触線および接触歯数から考えて円筒ウォームギヤや円筒ウォーム×ヘリカルギヤより大きいと言えます。そのためウォームの歯幅を図 37.18 のように 12.5mm と小さくしても 3

～4 歯がかみ合いますのでコンパクトな設計が可能です。

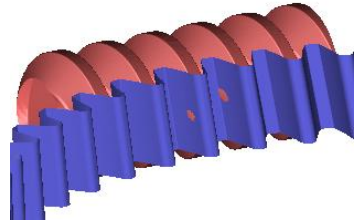
また、ウォームギヤは滑りを伴う運動のため歯面間の潤滑油膜の形成が重要です。円筒ウォームギヤの場合、歯当たりは、ホイールの歯すじ方向に伸びるため歯当たりの回転方向の出口側の潤滑が危険な場合がありますが、鼓形ウォーム×ヘリカルギヤの接触線は歯面の滑り方向に対して、ほぼ直角です。そのため、潤滑油膜の保持に非常に有利です。

鼓形ウォームの歯形は複雑であるため円筒ウォームに比して加工が容易ではありませんが、本ソフトウェアから生成する CAD データを用いてマシニングセンタで容易に加工することができます。



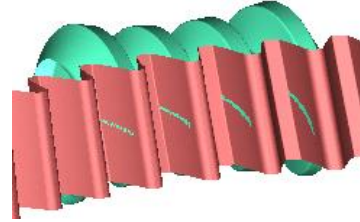
$$m_n=1, z_1=1, z_2=50, \alpha=20^\circ, d_1=5.76, \gamma=10^\circ, b_1=17.5$$

図 37.16 円筒ウォームギヤ



$$m_n=1, z_1=1, z_2=50, \alpha=20^\circ, d_1=5.76, \gamma=10^\circ, b_1=17.5$$

図 37.17 円筒ウォーム×ヘリカルギヤ

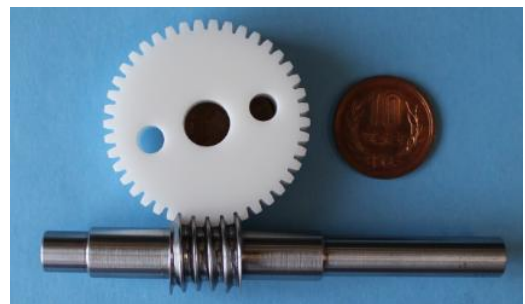


$$m_n=1, z_1=1, z_2=50, \alpha=20^\circ, d_1=5.76, \gamma=10^\circ, b_1=12.5$$

図 37.18 鼓形ウォーム×ヘリカルギヤ

37.8 鼓形ウォームの製作例

図 37.19 に示す鼓形ウォーム品は、インポリユートヘリカルギヤに合わせて設計し、マシニングセンタにより鼓形ウォームの歯形を加工したものです。なお、ヘリカルギヤは、プラスチック材料 (POM) のため歯厚を大きくしています。



$$m_n=1, z_1=1, z_2=42, \alpha_n=14.5^\circ, \beta=4.13^\circ$$

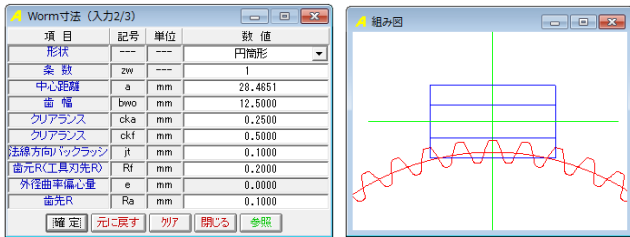
図 37.19 鼓形ウォーム×ヘリカルギヤ

37.9 歯たけ方向に線接触を持つ円筒ウォーム(オプション)

一般の円筒ウォーム(図 37.16 及び図 37.17)と以下に示す歯たけ方向に線接触を持つ円筒ウォームは、どちらも外径は円筒形状ですのでこれを区別するため、歯たけ方向に線接触を持つ円筒ウォームギヤを、**LCCW (Line Contact Cylindrical Worm Gear)** と名付けます。

上述した鼓形ウォームは両側面部でも接触するため同時かみ合い歯数は多くなりますが、同時かみ合い歯数が3以上あれば良いということであれば、外径を鼓形にする必要はなく円筒でも十分であると考えることができます。

そこで、図 37.4 の「形状」設定で、ウォームの形状を図 37.20 で円筒形として設定し、計算した結果を以下に示します。その結果、図 37.21 のようにウォームの外径は、円筒となり、歯当りは鼓形とほぼ同様に同時4歯接触していることが解ります。また、図 37.22 に示す円筒ウォームの CAD 作図例のように外径が円筒形であることから転造による製造が容易であると考えられます。



(a)ウォーム諸元 (b)組図
図 37.20 LCCW (線接触円筒ウォームギヤ)

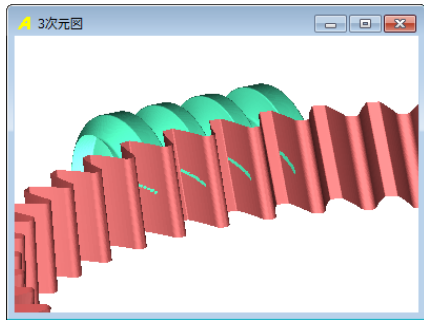


図 37.21 LCCW 歯形レンダリング

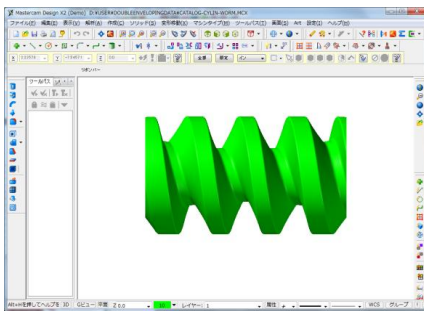


図 37.22 円筒ウォームの CAD 作図例

37.10 ホイールが平歯車の場合

ホイールを平歯車とした場合の計算例を図 37.23~37.25 に示します。ホイールがヘリカルギヤの場合、ホイールの歯幅中央に接触線を確認することができますが、ホイールが平歯車の場合には、接触線はホイール歯幅の下方に寄っていることが解ります。



図 37.23 平歯車諸元



図 37.24 ウォーム諸元

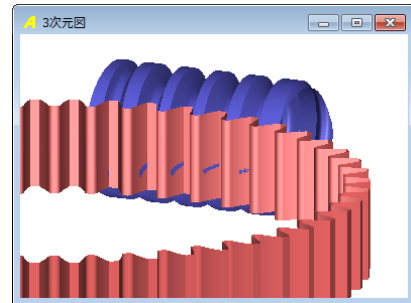


図 37.25 LCCW (ホイールが平歯車)

37.11 オプション

(1)LCCW, (2)歯当たり(予定)

37.12 LCCW に期待するもの

大型のウォームギヤも LCCW として製作できるものと考えていますが、小型でホイールがプラスチック歯車として使用される用途に期待しています。現在、図 37.17 に示す円筒ウォームとプラスチックヘリカルギヤは、自動車用の補機や小型モータ減速用として数多く使用されていますが、円筒ウォームとプラスチックヘリカルギヤは、点接触であるため大きな負荷容量を望むことができません。この円筒ウォームとプラスチックヘリカルギヤの負荷容量を大きくするために切削や射出成形によるプラスチックウォームホイール(図 37.16)が実用化されていることもありますが、ウォームホイールを射出成型で製造するためにはホイールの金型精度や多額のコストを要します。

そこで、インボリュートヘリカルギヤの諸元を変えずにそのまま用い、円筒ウォームを LCCW とすることにより歯車箱の大きさを変更することなく負荷容量の増大を望むことができます。