

[29] 傾斜ウォーム&L-Niemann worm gear design system

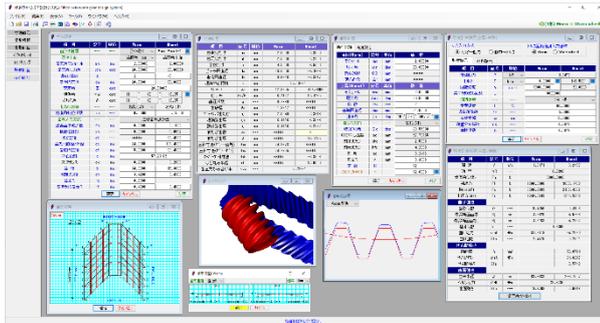


図 29.1 傾斜ウォーム&L-Niemann worm gear

29.1 概要

旧来のソフトウェアではL-Niemann ウォームをソフトウェア名としていました。しかし、ウォームギヤは直行 90° だけでなく 90° 以外のウォームも使用されるため傾斜ウォームとして A, N, K, I 形に L-Niemann ウォーム (オプション) を含めた構成としています。図 29.1 にソフトウェアの全体画面を示します。

29.2 基準ラック

図 29.2 に基準ラックの設定画面を示します。歯だけは並歯、低歯、特殊たけに対応しています。また、歯形基準は歯直角および軸断面方向基準を選択することができます。



図 29.2 初期設定

29.3 歯車諸元設定

ウォーム歯形 I 形 (4 形) として軸角 20° の例を図 29.3 に示します。最大モジュールは 25mm, ウォーム条数は $z_w=20$, 最大す

項目	記号	単位	Worm	Wheel
歯車の種類	---	---	I形(4形)	Worm Wheel-1
基準平面	---	---	歯直角平面	歯直角平面
歯直角モジュール	mn	mm	2.00000	2.00000
歯直角圧力角	α_n	deg	20.00000	20.00000
条数/歯数	z	---	2	40
基準円直径	dn	mm	20.0000	99.8633
交差角	Σ	deg	20.00000	
進み角	γ_{m1}	deg	11	32
ねじれ角	β	deg	31	32
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	右ねじれ
歯直角減位係数	x_n	---	0.00000	0.15000
歯厚入力方式	---	---	法線歯厚減少量	
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0000	0.1000
横転位係数	xh	---	0.0000	-0.0532
のど直径	dt	---	*****	98.4633
歯先円直径/外径	ds	mm	24.0000	101.4633
歯底円直径	df	mm	15.0000	89.4633
中心距離	a	mm	57.23165	
クリアランス	ck	mm	0.2000	0.2000
歯幅	b	mm	34.0000	15.3000
測定径	dp	mm	3.4200	3.4100
歯先R	ra	mm	0.2000	----
基準ラック歯元R	rf	mm	0.4000	0.4000

図 29.3 歯車諸元 (I 形ウォームの例)



すみ角 $\gamma = \pm 45^\circ$, 軸交差角は $\Sigma = \pm 45^\circ$ ですが, 諸元によって最大値で歯形が成立しない場合があります。図 29.4 に歯車寸法を示します。

項目	記号	単位	Worm	Wheel
歯末のたけ	ha	mm	2.0000	2.3000
歯元のたけ	hf	mm	2.5000	2.2000
全歯たけ	h	mm	4.5000	4.5000
ピッチ円直径	dw	mm	20.0000	94.4633
基礎円直径	db	mm	9.6316	88.9217
理論中心距離	a	mm	57.19261	
リード	pz	mm	12.8255	417.3808
ピッチ	Px/Pt	mm	6.4127	10.4495
直径係数	q	---	9.7380	*****
歯底幅	Wn	mm	1.3217	*****
キャリア歯たけ	hj	mm	2.0049	2.3218
理論弦歯厚	sjo	mm	3.1416	3.3598
設計弦歯厚	sj	mm	3.1416	3.2532
またぎ歯数	zm	---	*****	8
またぎ歯厚	W	mm	*****	46.1495
三針寸法(レ〜歯先)	dma	mm	24.3878	*****
三針寸法(レ〜歯元)	dms	mm	24.7755	*****
オグナル寸法	dnh	mm	*****	98.8503
のど丸み半径	rt	mm	*****	12.0000
歯直角かみ合い率	ε_α	---	2.72361	

図 29.4 歯車寸法

29.4 歯形修整

ウォームに歯形修整を図 29.5~29.8 のように設定することができます。

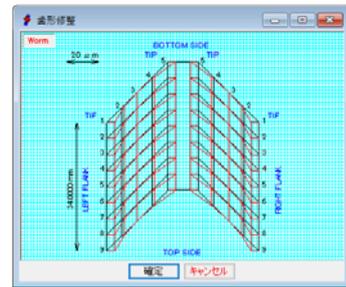


図 29.5 ウォーム歯形修整 (トポグラフ)

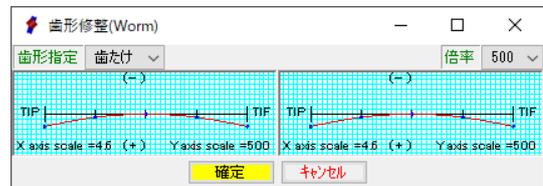


図 29.6 歯形修整補助機能 1

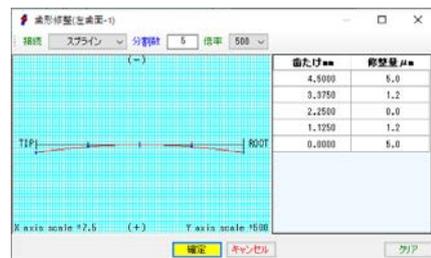


図 29.7 歯形修整補助機能 2



図 29.8 歯形修整補助機能 3

29.5 歯形計算

歯形計算諸元設定を図 29.9 および図 29.10 に示します。ウォームギヤの歯当たり調整するためホイール加工用ホブの直径を大きくすることや転位ホブを設定することができます。本例ではホブの直径を変更した例を示します。なお、転位ホブは L-Niemann ウォームで説明します。

項目(Worm)	記号	単位	数値
モジュール	mn	mm	2.00000
圧力角	α_n	deg	20.00000
砥石外径	OD	mm	*****
砥石凸R	Δr	mm	*****
工具(Wheel)	記号	単位	数値
モジュール	mnc	mm	2.00000
圧力角	α_{nc}	deg	20.00000
条数	Zw	---	2
基準円直径	dmc	mm	21.0000
進み角	γ_c	deg	10 * 58 50.07 *
ねじれ方向	---	---	右ねじれ
取付付角	Σc	deg	-20.55638
取付中心距離	ac	mm	57.73165
刃末のたけ	hkc	mm	2.5000
刃元のたけ	hfc	mm	4.2000
刃厚	sc	mm	3.2416
刃先R	r	mm	0.4000
溝数	N	---	12
のど丸み半径	rt	---	12.0000

図 29.9 歯形計算諸元設定 1

Worm表示分割精度項目	数値
歯底円分割数	30
歯元R分割数	50
歯面分割数	100
歯先R分割数	50
歯先円分割数	30
歯幅断面分割数	100
Wheel表示分割精度項目	数値
フレット分割数	50
インポート分割数	100
面取り部分分割数	30
歯先円分割数	30
歯幅断面分割数	20
演算精度項目	数値
砥石歯形演算精度	1000

図 29.10 歯形計算諸元設定 2

ウォームギヤ 2D 歯形を図 29.11 および図 29.12 に示します。図 29.11 は worm を基準とした図であり、図 29.12 は、wheel を基準としたときの歯形を示します。

3次元のかみ合いは、図 29.13 および図 29.14 に示すレンダリングのように表示することができ、回転させることで接触移動を確認することができます。

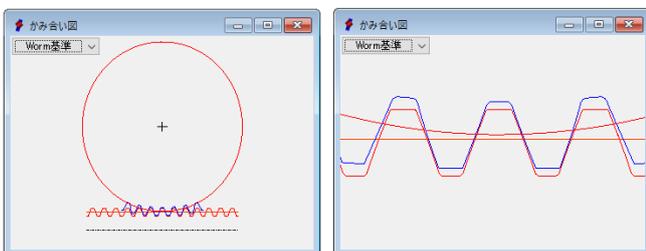


図 29.11 歯形図 1 (worm 基準図)

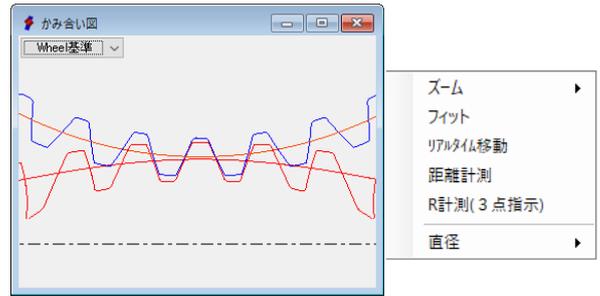


図 29.12 歯形図 2 (wheel 基準図)

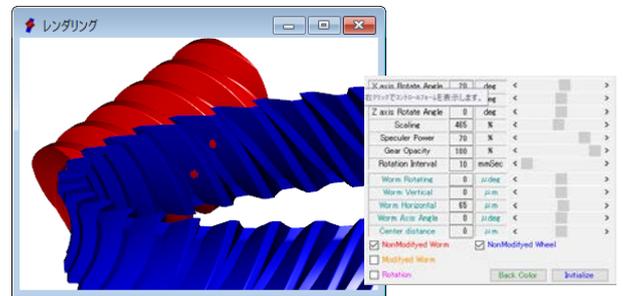


図 29.13 レンダリング (無修整歯形)

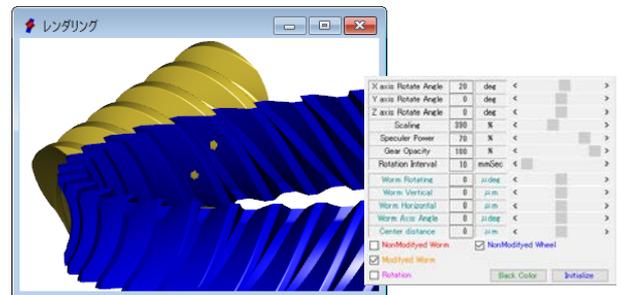


図 29.14 レンダリング (修整歯形)

29.6 強度計算

強度計算諸元設定画面の図 29.15 でトルク、回転速度などを設定し、図 29.16 で材料を設定します。そして図 29.17 に強度計算結果を示します。図 29.18 は強度計算で使用する歯形です。

項目	記号	単位	Worm	Wheel
伝達動力	P	kW		1.0472
トルク	T	N·m	10.0000	145.5891
回転速度	n	min ⁻¹	1000.0000	50.0000
寿命繰り返し回数	L	---	10000000	
潤滑状態	---	---		油槽
歯面温度	t	°C		60.0000
過負荷係数	Kv	---		1.0000
有効歯幅	bw	mm		15.3000
荷重分布係数	Yε	---		0.3872
摩擦係数	μ	---		0.0678

図 29.15 強度計算諸元設定

項目	記号	単位	Worm	Wheel
弾性率	E	MPa	205800.0000	2085.7855
ポアソン比	ν	---	0.3000	0.3500
許容曲げ応力	σ_{blim}	MPa	200.0000	23.5878
許容せん断応力	σ_{slim}	MPa	---	14.1528
許容ヘルツ応力	σ_{Hlim}	MPa	500.0000	53.4462

図 29.16 材料設定

項目	記号	単位	Worm	Wheel
周速	v	m/s	1.0471	0.2457
効率	ηR	---	0.7280	
歯直交法線力	F_n	N	5000.0000	
接線力	F_t	N	1000.0000	3009.1758
軸方向力	F_a	N	3566.2683	2159.4282
半径方向力	F_r	N	1344.5843	1344.5843
曲げ強さ				
歯形係数	YF	---	0.4250	0.4108
最弱断面歯厚	SJ	mm	4.6920	4.6798
最弱断面歯たけ	HJ	mm	4.3163	4.2552
滑り係数	KL	---	1.6300	
曲げ応力	σ_{bt}	MPa	81.3819	84.2080
曲げ強さ	Sfb	---	2.4575	0.2801
せん断強さ				
断面積	A	mm ²	---	70.0714
せん断応力	σ_{st}	MPa	---	24.6217
せん断強さ	Sfs	---	---	0.5748
歯面強さ				
曲率半径	ρ	mm	63.8633	236.1507
ヘルツ応力	σ_{Ht}	MPa	---	25.6795
歯面強さ	Sfh	---	19.4708	2.0813

図 29.17 強度計算結果

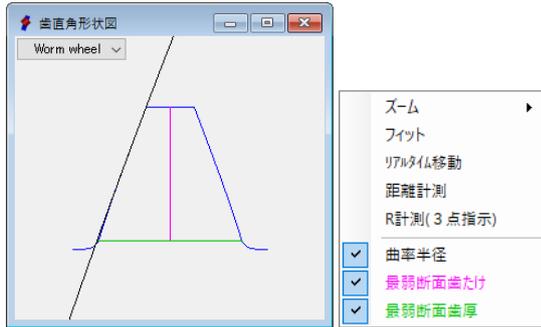


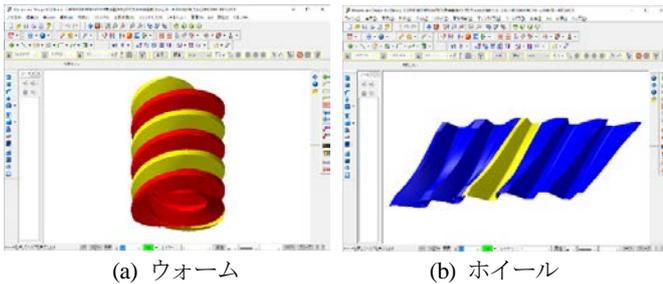
図 29.18 強度計算用歯形表示

29.7 歯形出力

ウォームギヤ歯形を(図 29.14)を(図 29.19)の画面で DXF または 3D-IGES ファイルで出力することができます。図 29.20 に CAD 作図例を示します。



図 29.19 歯形ファイル出力画面



(a) ウォーム (b) ホイール

図 29.20 CAD 作図例

多状ウォームの作図例を図 29.21 に示します。

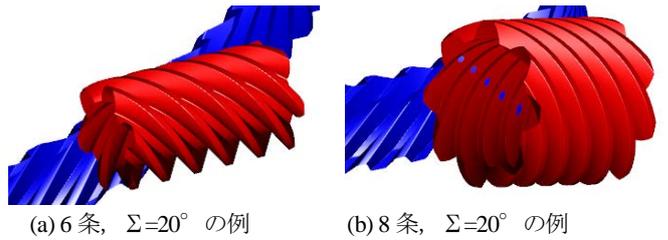


図 29.21 多状ウォームギヤの作図例

29.8 L-Niemann worm (オプション)

ウォームの歯形は、直線または凸歯形が多く使用されていますが、Niemann は凹歯形を提唱しました。そして台形ウォーム、インボリュートウォームおよび凸歯形ウォームに比較して凹円弧歯形のウォームの許容円周力はかなり大きくなることを Heyer は比較実験を行いこのことを証明しています。本ソフトウェアは、Niemann が提唱した歯形だけでなく任意に歯形半径を与えることができ、その歯形の CAD データ出力、3D 歯形かみ合い、歯車寸法を計算・表示します。

図 29.22 に L-Niemann worm 諸元設定を、図 29.23 に寸法結果を示します。

項目	記号	単位	Worm	Wheel
歯形の種類	---	---	L-Niemann	Worm Wheel-1
基準平面	---	---	歯直交平面	歯直交平面
歯直交モジュール	m_n	mm	2.00000	2.00000
歯直交圧力角	α_n	deg	22.50000	22.50000
条数/歯数	z	---	1	40
基準円直径	d_m	mm	20.0000	80.4030
交差角	Σ	deg	0.00000	
進み角	γ_{m1}	deg	5	44
ねじれ角	β	deg	5	44
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	右ねじれ
歯直交転位係数	x_n	---	0.00000	0.00000
歯厚入力方式	---	---	法線歯厚減少量	
法線歯厚減少量	f_n	mm	0.0000	0.0000
横転位係数	x_h	---	0.0000	0.0000
のど直径	d_t	---	*****	84.4030
歯先円直径/外径	d_a	mm	24.0000	87.4030
歯底円直径	d_f	mm	15.0000	75.4030
中心距離	a	mm	50.20150	
クリアランス	ck	mm	0.5000	0.5000
歯幅	b	mm	33.5000	15.2000
測定ピン径	d_p	mm	3.4200	3.4580
歯先R	r_a	mm	0.2000	----
基準ラック歯元R	r_f	mm	0.4000	0.4000
凹R	R_m	mm	20.0000	----

図 29.22 L-Niemann worm 諸元設定

項目	記号	単位	Worm	Wheel
歯末のたけ	ha	mm	2.0000	2.0000
歯元のたけ	hf	mm	2.5000	2.5000
全歯たけ	h	mm	4.5000	4.5000
ピッチ円直径	d_w	mm	20.0000	80.4030
基準円直径	d_b	mm	*****	74.2278
理論中心距離	a	mm	50.20150	
リード	pz	mm	6.3148	2513.2746
ピッチ	Px/Pt	mm	6.3148	62.8319
直径係数	q	---	9.9493	*****
歯底幅	W_n	mm	0.1879	*****
キャリア歯たけ	hj	mm	2.0000	2.0000
理論弦歯厚	s_{j0}	mm	3.1416	3.1416
設計弦歯厚	s_j	mm	3.1416	3.1416
またぎ歯数	zm	---	*****	6
またぎ歯厚	w	mm	*****	33.5398
三針寸法(ピッチ)	d_{m3}	mm	24.3862	*****
三針寸法(ピッチ)	d_{w3}	mm	24.7725	*****
オグ-ギ-ギ寸法	d_{mH}	mm	*****	85.3121
のど丸み半径	rt	mm	*****	8.0000
歯直交かみ合い率	$\varepsilon \alpha$	---	2.47587	

図 29.23 寸法結果

ウォームギヤの歯当たり調整は、ホイールを加工するホブの直径を大きくする方法や、転位ホブを採用する方法があります。ここでは図 29.24 のようにホブ直径はウォームと同じく $d_{mc}=20\text{mm}$ とし、ホブのモジュールを $m_{nc}=1.99$ として計算し、歯形を図 29.25~29.27 に示します。

条件設定		精度設定	
項目 (Worm)	記号	単位	数値
モジュール	mn	mm	2.00000
圧力角	α_n	deg	22.50000
砥石外径	OD	mm	*****
砥石凸R	Δr	mm	20.0000
工具 (Wheel)	記号	単位	数値
モジュール	mnc	mm	1.99000
圧力角	α_{nc}	deg	21.79440
条数	Zw	---	1
基準円直径	dmc	mm	20.0000
進み角	γ_c	deg	5 * 42 * 37.36
ねじれ方向	---	---	右ねじれ
取り付け角	Σc	deg	0.00000
取付中心距離	ac	mm	50.20464
刃末のたけ	hkc	mm	2.5031
刃元のたけ	hfc	mm	4.1962
刃厚	sc	mm	3.1259
刃先R	r	mm	0.3980
溝数	N	---	12
のど丸み半径	rt	---	8.0000

図 29.24 L-Niemann worm の歯形計算諸元

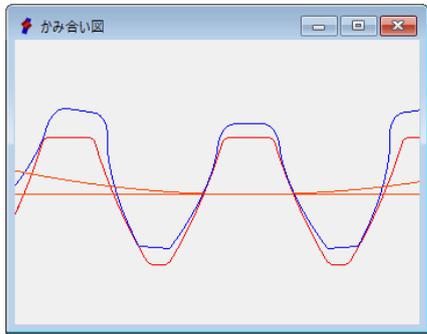


図 29.25 L-Niemann worm 歯形

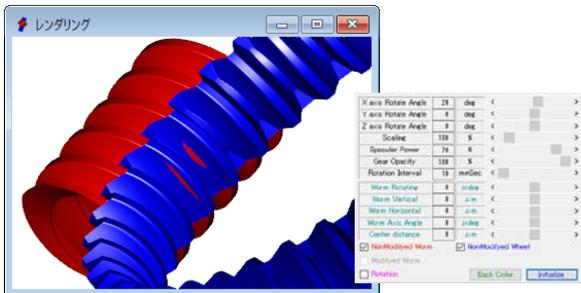
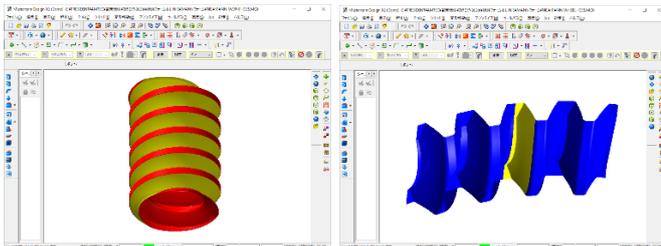


図 29.26 レンダリング



(a) ウォーム (b) ホイール

図 29.27 L-Niemann worm CAD 作図例

軸角 $\Sigma=20^\circ$ の L-Niemann worm の計算例を図 29.28 および図 29.29 に示します。なお、L-Niemann worm の強度計算はできません。

項目	記号	単位	Worm	Wheel
歯形の種類	---	---	L-Niemann	Worm Wheel-1
基準平面	---	---	歯直角平面	歯直角平面
歯直角モジュール	mn	mm	2.00000	2.00000
歯直角圧力角	α_n	deg	22.50000	22.50000
条数/歯数	z	---	1	40
基準円直径	dm	mm	20.0000	88.8119
交差角	Σ	deg	20.00000	
進み角	γ_{a1}	deg	5 * 44 * 21.01	
ねじれ角	β	deg	25 * 44 * 21.01	
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	右ねじれ
歯直角転位係数	xn	---	0.00000	0.00000
歯厚入力方式	---	---	法線歯厚減少量	
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0000	0.0000
横転位係数	xh	---	0.0000	0.0000
のど直径	dt	---	*****	92.8119
歯先円直径/外径	da	mm	24.0000	95.8119
歯底円直径	df	mm	15.0000	83.8119
中心距離	a	mm	54.40595	
クリアランス	ck	mm	0.5000	0.5000
歯幅	b	mm	33.5000	15.2000
測定ピッチ	dp	mm	3.4200	3.4420
歯先R	ra	mm	0.2000	----
基準ラック歯元R	rf	mm	0.4000	0.4000
凹R	Rm	mm	20.0000	----

図 29.28 L-Niemann worm, $\Sigma=20^\circ$ の諸元

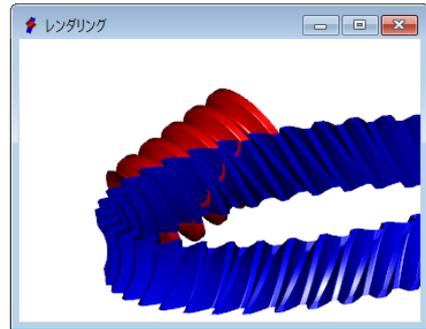


図 29.29 レンダリング ($\Sigma=20^\circ$)

L-Niemann worm の歯研削について

Niemann 歯形の一般的な研削は、砥石に凸面を与える加工方法ですが、ここでは砥石形状および研削時の 3 次元干渉に影響を受けるウォーム歯形となってしまいます。本来、円筒歯車と同様、設計歯形を得るための砥石形状を決める必要があります。

本ソフトウェアは、傾斜ウォーム (含む L-Niemann ウォーム) の設計用ソフトウェアですが、研削時の 3 次元干渉を考慮した砥石形状の決定は[48]ウォーム加工用成形砥石歯形設計システムをご覧ください。