

[39] 内歯ウォームギヤ設計システム

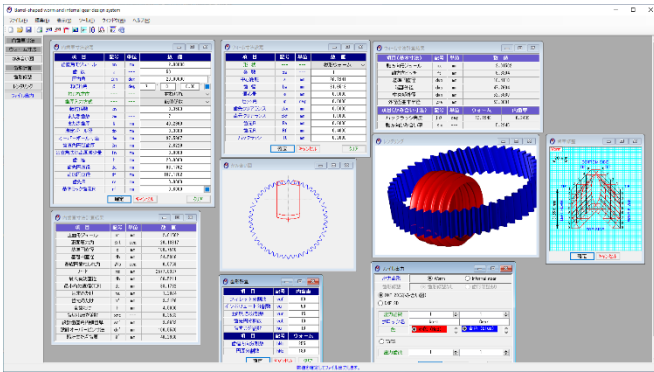


図 39.1 内歯ウォームギヤ設計システム

39.1 概要

ウォームギヤの体系は、以下に示すように分類することができます。この中で、(1)および(2)のホイールは外歯車ですが、本件のソフトウェアは、(3)の内歯車ウォームギヤです。なお、LCCW ウォームギヤは、カタログ[37]で示している「歯たけ方向に線接触を持つ円筒ウォームギヤ」のことです。

- (1) 円筒ウォームギヤ
 - (1.1) 円筒ウォームギヤ, 26 頁
 - (1.2) Niemann worm gear, 127 頁
 - (1.3) ウォーム×ヘリカルギヤ, 26 頁
 - (1.4) LCCW ウォーム×ヘリカルギヤ, 153 頁
 - (1.5) 傾斜ウォームギヤ, 127 頁
- (2) 鼓形ウォームギヤ
 - (2.1) ヒンドレーウォームギヤ, 151 頁
 - (2.2) 鼓形ウォーム×ヘリカルギヤ, 153 頁
- (3) 内歯車ウォームギヤ
 - (3.1) 樽形ウォームギヤ, 162 頁

内歯車ウォームギヤの樽形ウォームは、鼓形ウォームのように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に対して非常に有利といえます。本ソフトウェアは、(3.1)樽形ウォームギヤを設計するソフトウェアですが、バックラッシュおよびクリアランスを 0 にすればホブやねじ状砥石の歯形として使用することができます。また、内はすば歯車の軸とウォーム軸を直交させることができる歯形とすることができますので、この樽形ウォーム（ホブ、砥石）の支持軸を内はすば歯車に接触させない位置に配置させることができます（ただし、ねじれ角の制限があります）。

これらを整理しますと

- (a) 本ソフトウェアは内歯車用樽形ウォームのソフトウェアですが、バックラッシュと歯先クリアランスを 0 にすることによりホブおよびねじ状砥石の刃形を生成することができます。
- (b) ウォーム（ホブ、砥石）の取り付け角を歯車のねじれ角に合わせることなく歯（刃）形を決定することができます。
- (c) ホブの取り付け角を、歯車の軸方向に対して直角にすることもできるため、ホブ（砥石）の切削時の移動は、内歯車の形状に遮られることなく内歯車を重ね合わせて複数個同時に加工することができます。

39.2 内歯車諸元入力

図 39.2 に内歯車の諸元入力画面を示します。諸元の入力範囲は、

$0.1 \leq m_n \leq 50, 10 \leq z_2 \leq 500, 5^\circ \leq \alpha_n \leq 30^\circ, 0^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$ です。図 39.2 の内歯車諸元を確定すると、寸法を図 39.3 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	m	mm	2.0000
歯 数	z	---	50
圧力角	α_n	deg	20.0000
ねじれ角	β	deg	7 * 0 * 0.00
ねじれ方向	---	---	右ねじれ
歯厚入力方式	---	---	転位係数
転位係数	xn	---	0.3563
またぎ歯数	zm	---	7
またぎ歯厚	w	mm	40.2960
測定ボール径	dp	mm	3.3680
オーバーボール寸法	dm	mm	97.5907
歯直角円弧歯厚	sn	mm	2.6229
歯直角法線歯厚減少量	fn	mm	0.0000
歯 幅	b	mm	20.0000
歯先円直径	da	mm	98.1762
歯底円直径	df	mm	107.1762
歯先R	ra	mm	0.0000
基準ラック歯元R	rf	mm	0.6000

図 39.2 内歯車諸元

項目	記号	単位	数 値
正面モジュール	mt	mm	2.01502
正面圧力角	α_t	deg	20.13817
基準円直径	d	mm	100.7510
基礎円直径	db	mm	94.5918
基礎円筒ねじれ角	β_b	deg	6.5759
リード	pz	mm	2577.8367
最大有効直径	dh	mm	106.5211
最小有効直径(TIF)	dt	mm	98.1762
歯末のたけ	ha	mm	1.2874
歯元のたけ	hf	mm	3.2126
全歯たけ	h	mm	4.5000
歯切り転位係数	xnc	---	0.3563
設計歯直角円弧歯厚	sn'	mm	3.6803
設計オーバーピン寸法	dm'	mm	106.5570
設計またぎ歯厚	w'	mm	40.2960

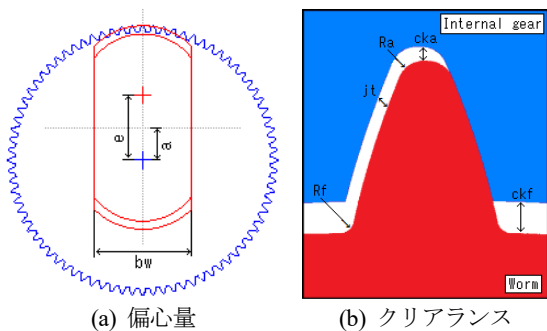
図 39.3 内歯車寸法

39.3 ウォーム諸元入力

図 39.4 に内歯ウォーム（ホブ、砥石）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、任意に設定することも可能ですのでウォームの直径を変更することができます。また、偏心量を与えると図 39.5(a)に示すようにウォームの形状が変化し、ウォーム側面面で逃げを大きくすることができます。ここでは歯車ねじれ角 $\beta=7^\circ$ ですが、セットを $\phi=0^\circ$ とした例を示します。

項目	記号	単位	数 値
形 状	---	---	樽形ウォーム
条 数	zw	---	1
中心距離	a	mm	26.7941
歯 幅	bw	mm	31.6519
偏心量	e	mm	0.0000
セット角	ϕ	deg	0.0000
歯先クリアランス	cka	mm	0.5000
歯元クリアランス	ckf	mm	1.0000
歯先R	Ra	mm	0.6000
歯元R	Rf	mm	0.4000
バックラッシュ	jt	mm	0.0000

図 39.4 内歯-樽形ウォーム諸元



(a) 偏心率 (b) クリアランス

図 39.5 内歯-櫛形ウォームの機能

図 39.6 に内歯-櫛形ウォーム寸法を示します。また、諸元設定完了後、図 39.7 に組図を作図することができますので、櫛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。なお、内歯車用加工工具の計算例は、39.6 項に示します。

ウォーム寸法計算結果				
項目(基本寸法)	記号	単位	数 値	
軸方向モジュール	mx	mm	2.01502	
軸方向ピッチ	Pt	mm	6.3304	
基準円直径	dwo	mm	16.4110	
端部外径	des	mm	47.7604	
中央部外径	dsm	mm	52.5880	
外径面曲率半径	ρa	mm	53.0881	
項目(かみ合い寸法)	記号	単位	ウォーム	内歯車
バックラッシュ角度	j θ	deg	12.1946	0.2439
軸方向かみ合い率	εx	---	5.2245	

図 39.6 内歯-櫛形ウォーム寸法

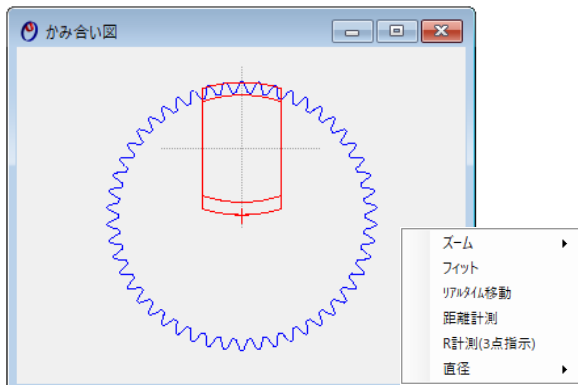


図 39.7 組図 (ウォームと内歯車)

39.4 歯形計算、歯形修整

櫛形ウォームの歯形分割数を図 39.8 で設定します。ここで設定する分割数で生成する櫛形ウォームの歯形の細かさが決まります。また、ウォームにクラウンングや歯先修整を与える場合は、図 39.9 および図 39.10 で設定することができます。

歯形計算		
項 目	記号	内歯車
フィレット分割数	vuf	30
インボリュート分割数	vui	50
面取り部分分割数	vur	15
歯先円分割数	vut	10
歯すじ分割数	hul	18
項 目	記号	ウォーム
歯幅方向分割数	bNo	255
円周分割数	hNo	180
確定 キャンセル クリア		

図 39.8 櫛形ウォームの歯形計算の設定

図 39.10 では画面上部のコンボボックスで「歯形」、「歯すじ」、「歯形・歯すじ」を選択することができ、左右歯面が同じ修整であれば反対歯面に修整歯形をコピーすれば左右歯面同じ修整歯形となります。また、歯形修整の倍率は最大 1000 倍で設定することができます。

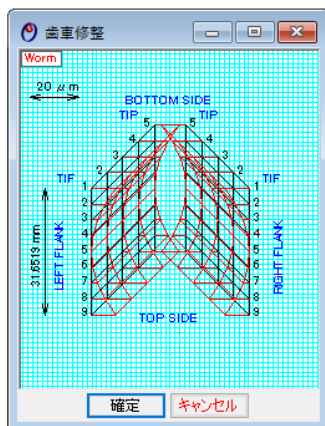


図 39.9 トポグラフ (ウォームの歯すじ修整の例)

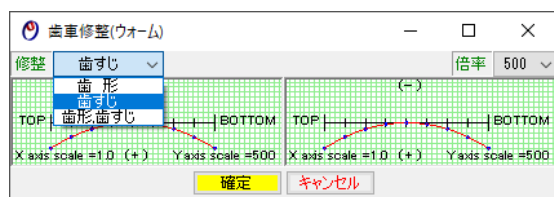


図 39.9a ウォームの歯すじ修整の例

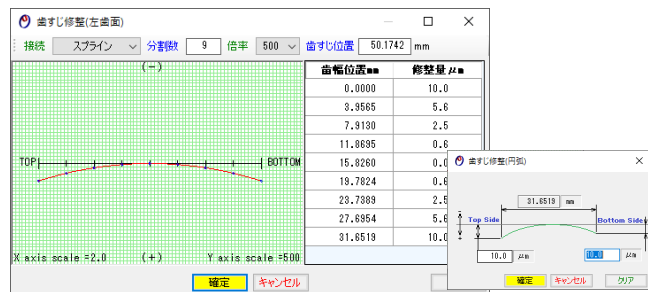


図 39.10 歯すじ修整の設定

歯形計算後の櫛形ウォームと内歯車の 3D かみ合いを図 39.11 および図 39.12 に示します。図 39.12(a)のかみ合いでは 4 歯同時かみ合いを確認することができますが、図 39.12(b)ではクラウンングを与えているため同時かみ合いは 3 歯です。なお、本例では内歯車とウォームの軸角は図 39.4 でセット角 $\phi=0^\circ$ としていますので軸角を 90° で組み立てることができるウォーム歯形です。しかし、内歯車のねじれ角に合わせた軸角 (任意角度) としたウォームの歯形を生成することもできます。

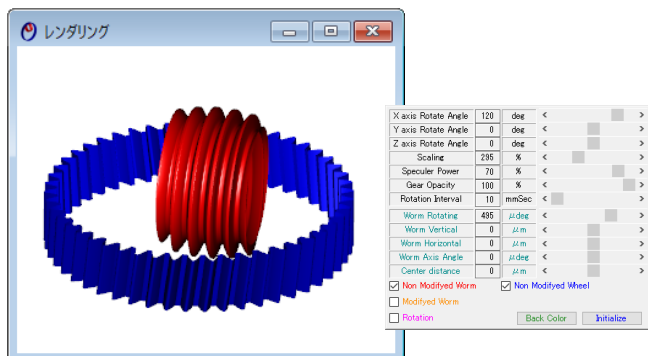
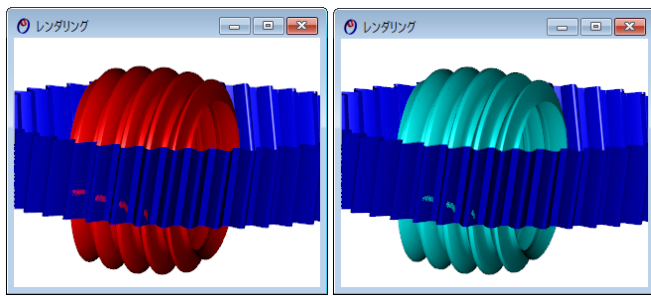


図 39.11 歯形レンダリング



(a) 無修整歯形 (b) クラウニング付ウォーム

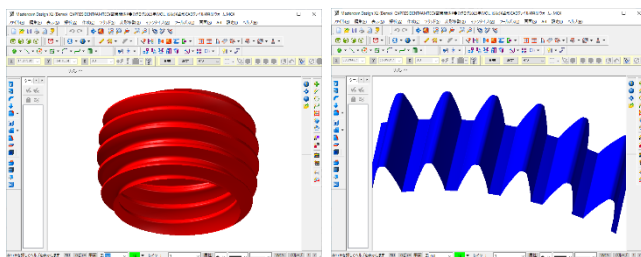
図 39.12 歯形レンダリング (接触線)

39.5 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 39.13 の歯形ファイル出力により作図した例を図 39.14 に示します。



図 39.13 歯形ファイル出力



(a) 樽形ウォーム (b) 内歯車

図 39.14 CAD 作図例 (3D-IGES)

39.6 ホブ (ねじ状砥石)

図 39.2 の内歯車を加工する内歯用ホブ (砥石) の諸元入力画面を図 39.15 に示します。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、任意に設定することも可能です。ホブの直径を変更することができます。ウォームの場合はクリアランスおよびバックラッシュを与えることができますが、ホブの場合は設定できません。

図 39.16 に内歯-樽形ホブ寸法法を示します。また、諸元設定完了

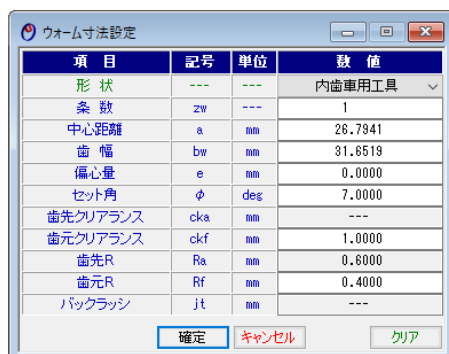


図 39.15 内歯-樽形ホブ諸元

後、図 39.17 に組図を作図することができますので、樽形ホブ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(基本寸法)	記号	単位	数 値
軸方向モジュール	m_{ax}	mm	2.01502
軸方向ピッチ	P_t	mm	6.3804
基準円直径	d_{wo}	mm	18.4110
端部外径	d_{as}	mm	49.4853
中央部外径	d_{am}	mm	53.5880
外径面曲率半径	ρ_a	mm	53.5881

図 39.16 内歯-樽形ホブ寸法

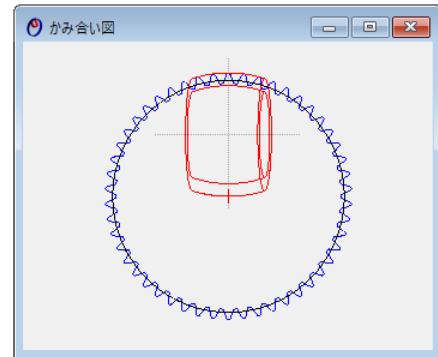


図 39.17 組図 (ホブと内歯車)

39.7 歯形計算

樽形ホブの歯形分割数を図 39.17 で設定します。ここで設定する分割数で生成する樽形ホブの歯形の細かさが決まります。また、ウォームにはクラウニングを与えることができますが、ホブにはクラウニングを与えることができません。

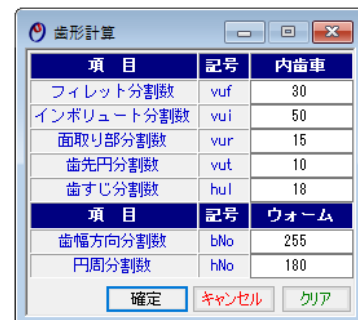


図 39.17 樽形ホブの歯形計算の設定

図 39.18 に樽形ホブと内歯車およびコントロールフォームを示します。また、図 39.19 に示す拡大図では内歯車の歯面と歯先にホブの刃形接触線を確認することができます。

内歯車とホブの軸角は図 39.14 でセット角 $\phi=0^\circ$ としていますので歯車とホブの軸角を 90° で加工することができるホブの刃形です。

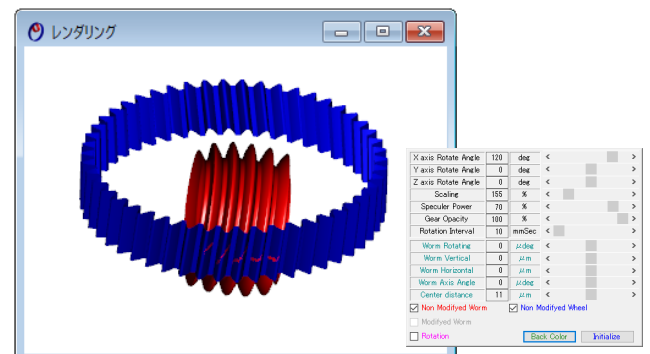


図 39.18 樽形ホブと内歯車

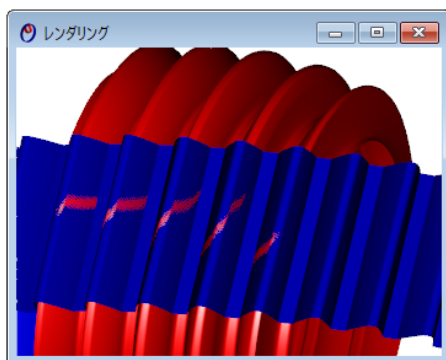


図 39.19 樽形ホブと内歯車 (拡大図)

図 39.10 は、ウォームセット角を $\phi=0^\circ$ としていますが、内歯車のねじれ角 ($\beta=15^\circ$) に合わせた作図例 ($\phi=15^\circ$) を図 39.20 ~ 図 39.25 に示します。ただし、なお、ねじれ角とセット角は同じとする必要はありません。ウォームの歯形が成立する範囲であれば ϕ を自由に決めることができます。

項目	記号	単位	数 値
歯直角モジュール	m_n	mm	2.00000
歯 数	z	---	50
圧力角	α_n	deg	20.00000
ねじれ角	β	deg	25 * 0 0.00 *
ねじれ方向	---	---	右ねじれ
歯厚入力方式	---	---	転位係数
転位係数	x_n	---	0.3000
またぎ歯数	z_m	---	8
またぎ歯厚	l	mm	46.5450
測定ボール径	d_p	mm	3.3578
オーバーボール寸法	d_m	mm	106.9940
歯直角円弧歯厚	S_n	mm	2.7048
歯直角法線歯厚減少量	f_n	mm	0.0000
歯 幅	b	mm	20.0000
歯先円直径	d_a	mm	107.5378
歯底円直径	d_f	mm	116.5378
歯先R	r_a	mm	0.0000
基準ラック歯元R	r_f	mm	0.6000

図 39.20 歯車諸元

項目	記号	単位	数 値
形 状	---	---	内歯車用工具
条 数	z_w	---	1
中心距離	a	mm	26.7941
歯 幅	b_w	mm	31.6519
偏心率	e	mm	0.0000
セット角	ϕ	deg	25.0000
歯先クリアランス	cka	mm	---
歯元クリアランス	ckf	mm	1.0000
歯先R	R_a	mm	0.6000
歯元R	R_f	mm	0.4000
バックラッシュ	j_t	mm	---

図 39.21 内歯-樽形ホブ諸元

項目(基本寸法)	記号	単位	数 値
軸方向モジュール	m_x	mm	2.20676
軸方向ピッチ	P_t	mm	6.9327
基準円直径	d_{wo}	mm	4.7824
端部外径	d_{as}	mm	65.1138
中央部外径	d_{am}	mm	62.9496
外径面曲率半径	ρ_a	mm	58.2689

図 39.22 内歯-樽形ホブ寸法

図 39.12 では軸角を 0° としていて軸支持方法に課題がのこりますが、ここでのホブをそのままウォームとすれば軸支持も可能です。

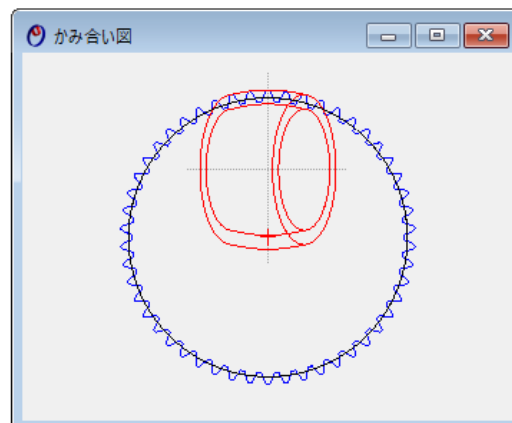


図 39.23 組図 (ホブと内歯車)

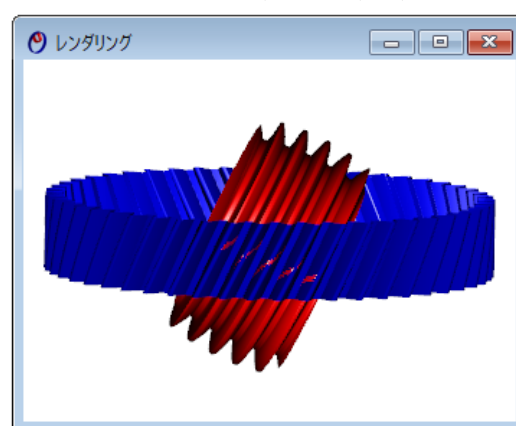


図 39.24 セット角 $\phi=25^\circ$ の例 1

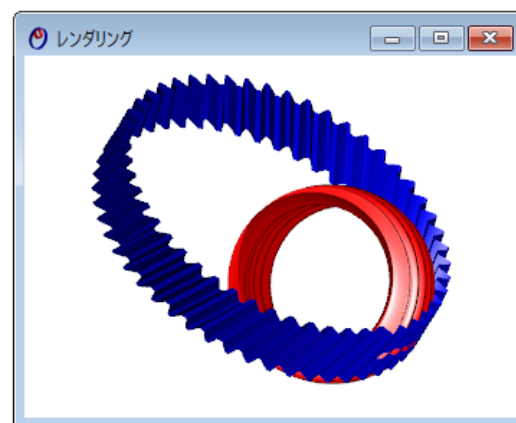


図 39.25 セット角 $\phi=25^\circ$ の例 2