

[39] 内歯ウォームギヤ設計システム

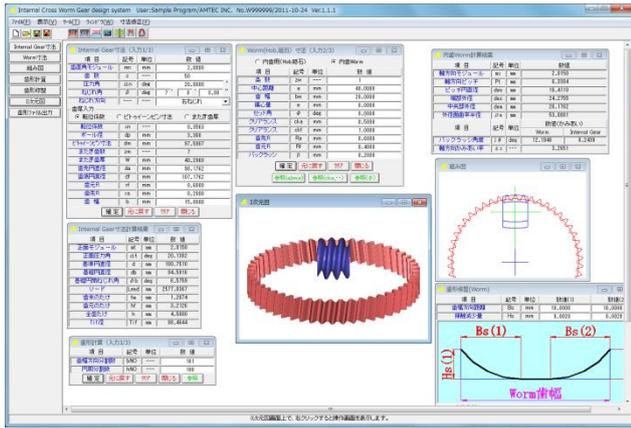


図 39.1 内歯ウォームギヤ設計システム

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、

- (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

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	mn	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			
<input checked="" type="radio"/> 転位係数 <input type="radio"/> ピトインピン寸法 <input type="radio"/> またぎ歯厚			
転位係数	xn	---	0.3563
ボール径	dp	mm	3.368
ピトインピン寸法	dm	mm	97.5907
またぎ歯数	zm	---	7
またぎ歯厚	W	mm	40.2360
歯先円直径	da	mm	98.1762
歯底円直径	df	mm	107.1762
歯元R	rf	mm	0.8000
歯先R	ra	mm	0.2000
歯幅	b	mm	15.0000

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	2.0150
正面圧力角	α_t	deg	20.1382
基準円直径	d	mm	100.7510
基礎円直径	db	mm	94.5916
基礎円筒ねじれ角	β_b	deg	6.5759
リード	Lead	mm	2577.8367
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
Tif径	Tif	mm	98.4644

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、ウォーム側面部で逃げを大きくすることができます。

項目	記号	単位	数値
条数	zw	---	1
中心距離	a	mm	40.0000
歯幅	bw	mm	20.0000
偏心量	e	mm	0.0000
セット角	ϕ	deg	0.0000
クリアランス	cka	mm	0.5000
クリアランス	ckf	mm	1.0000
歯先R	Ra	mm	0.8000
歯元R	Rf	mm	0.4000
バックラッシュ	jt	mm	0.2000

図 39.4 内歯樽形ウォーム諸元

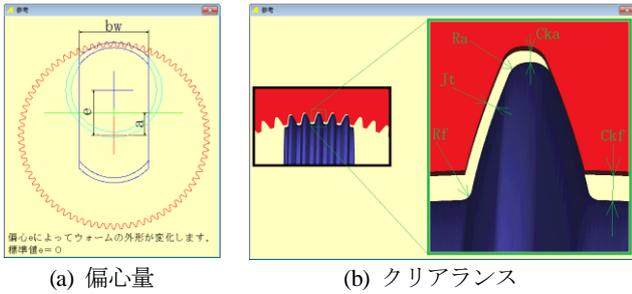


図 39.5 内歯-樽形ウォームの機能

図 39.6 に内歯-樽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、樽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。

☑ **内歯用(Hob 砥石)** の計算例は、39.6 に示します。

項目	記号	単位	数値
軸方向モジュール	m _x	mm	2.0150
軸方向ピッチ	Pt	mm	6.3304
基準円直径	d _{wo}	mm	16.4110
端部外径	d _{as}	mm	24.2755
中央部外径	d _{am}	mm	26.1762
外径面曲率半径	ρ _a	mm	53.0881
項目 記号 単位 数値(かみあい)			
Worm Internal Gear			
バックラッシュ角度	j θ	deg	12.1946 0.2439
軸方向かみあい率	ε _x	---	3.2851

図 39.6 内歯-樽形ウォーム寸法

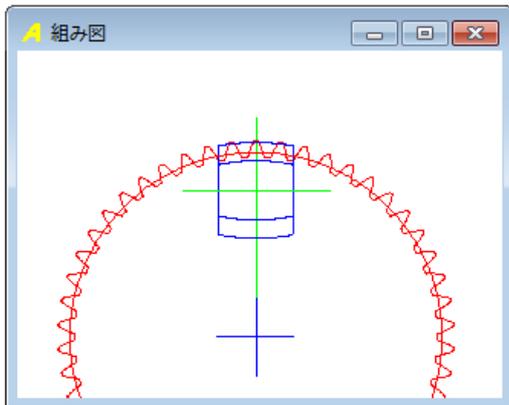


図 39.7 組図 (ウォームと内歯車)

39.4 歯形計算

樽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樽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や歯先修整を与える場合は、図 39.9 で設定することができます。

歯形計算後の樽形ウォームと内歯車の 3D かみ合いを図 39.10 および図 39.11 に示します。図 39.11 の(a)は、理論歯形のかみ合いであるため明確に 3 同時かみ合い線を確認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	---	300
円周分割数	hNO	---	300

図 39.8 樽形ウォームの歯形計算の設定

すが、図 39.11(b)は、図 39.9 でクラウニングを与えているため右端の接触線は薄く同時かみ合い接触線は 2.5 歯です。

なお、本例は、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 90° で組み立てることができるウォーム歯形ですが、内歯車のねじれ角に合わせた軸角としたウォームの歯形を生成することも可能です。

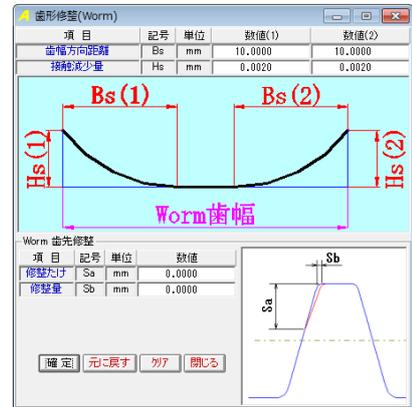


図 39.9 樽形ウォームのクラウニング

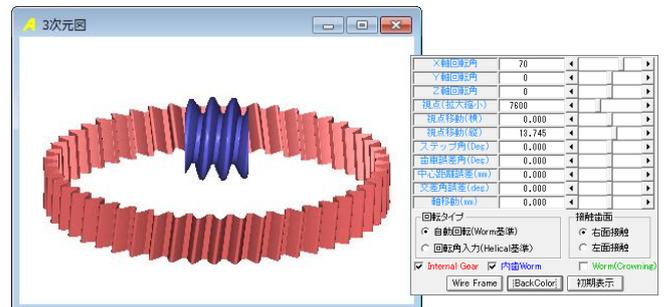
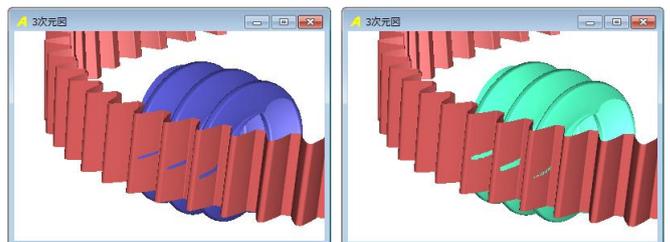


図 39.10 歯形レンダリング (理論ウォーム)



(a) 理論歯形 (b) クラウニング付ウォーム

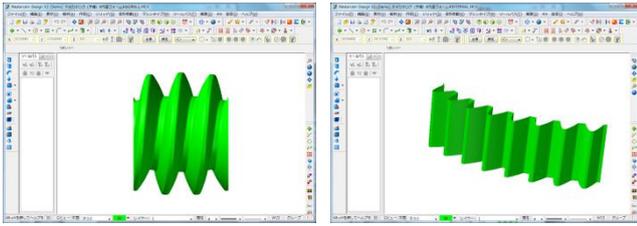
図 39.11 歯形レンダリング (接触線)

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 39.11 の歯形を図 39.12 の歯形ファイル出力により作図した例を図 39.13 に示します。



図 39.12 歯形ファイル出力



(a) Worm.IGS (b) Internal Gear.IGS
図 39.13 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 39.14 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ので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 39.15 に内歯-樽形ホブ寸法を示します。また、諸元設定完了後、図 39.16 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。

Worm(Hob,砥石) 寸法 (入力2/3)			
内歯用(Hob,砥石)		内歯Worm	
項目	記号	単位	数値
条数	zw	---	1
中心距離	a	mm	40.0000
歯幅	bw	mm	20.0000
偏心量	e	mm	0.0000
セット角	ϕ	deg	0.0000
クリアランス	cka	mm	---
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	---

図 39.14 内歯-樽形ホブ諸元

内歯用(Hob,砥石) 計算結果			
項目	記号	単位	数値
軸方向モジュール	m _x	mm	2.0150
軸方向ピッチ	PT	mm	6.3304
基準円直径	dwo	mm	16.4110
端部外径	das	mm	25.2938
中央部外径	d _{am}	mm	27.1762
外径面曲率半径	ρ_a	mm	53.5881

図 39.15 内歯-樽形ホブ寸法

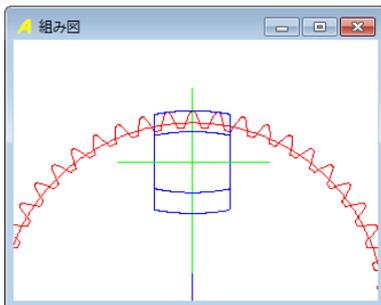


図 39.16 組図 (ホブと内歯車)

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。

歯形計算 (入力3/3)			
項目	記号	単位	数値
歯幅方向分割数	bNO	---	300
円周分割数	hNO	---	300

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。

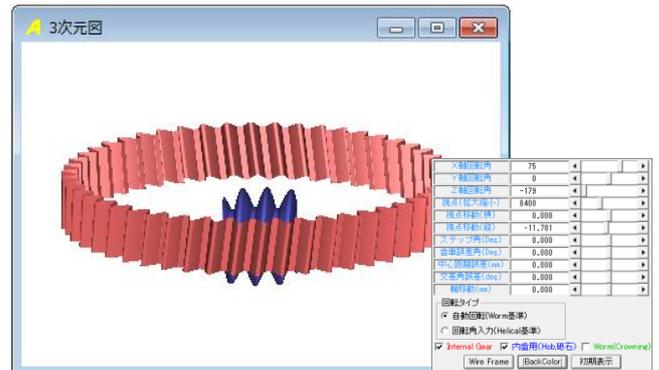


図 39.18 樽形ホブと内歯車

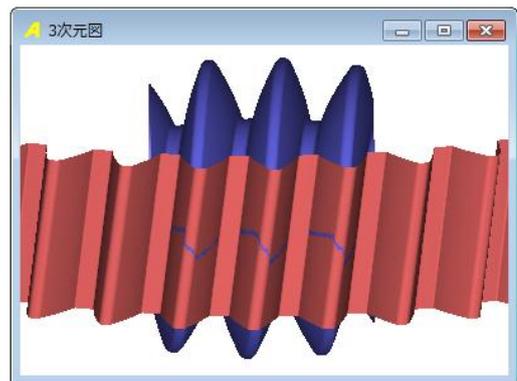


図 39.19 樽形ホブと内歯車 (拡大図)

図 39.10 は、ウォームセット角を $\phi=0^\circ$ としています。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 に示します。ただし、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。

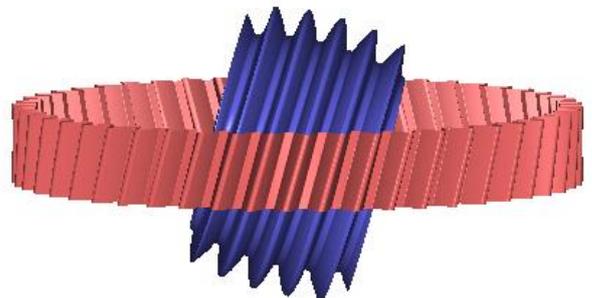


図 39.20 セット角 $\phi=15^\circ$ の例