

[20] Specific Face gear design system iii

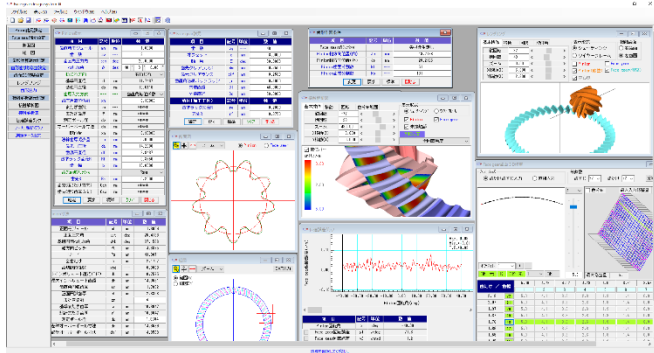


図 20.1 Face gear design system iii

20.1 概要

本ソフトウェアは、旧カタログのFace Gear Design System を新しくした製品です。今までオプション扱いしていた機能も一部、基本ソフトウェアに含めています。また、軸角は 90° 以外も計算でき、ピニオン歯数1 歯（小歯数オプション）にも対応しています。ここで**Specific Face gear** と命名した理由については20.14 項をご覧ください。

本ソフトウェアは、ピニオンの歯形（インボリュート）を基にして、それにかみ合うフェースギヤの3 次元歯形を決定し、軸角誤差を与えたときの、かみ合い時の歯当たり（接触距離）や実かみ合い率、伝達誤差、すべり速度、そして、すべり率の機能も追加しました。図 20.1 にソフトウェアの全体画面を示します。

- モジュール : $0.1 \leq m_n \leq 40$
- 歯数 : $1 \leq z_1 \leq 100, 10 \leq z_2 \leq 999$
- ねじれ角 : $0^\circ \leq \beta \leq 80^\circ$ (ピニオン)
- 軸角 : $45^\circ \sim 135^\circ$

20.2 ソフトウェアの構成

ソフトウェアの構成を表 20.1 に示します。表中の○は基本ソフトウェアに含まれ、◎はオプションです。

表 20.1 ソフトウェアの構成

No.	項 目	掲載項	構成
1	ピニオン寸法	20.3	○
2	フェースギヤ寸法	20.4	○
3	組み図	20.4	○
4	断面図	20.5	○
5	歯形計算	20.6	○
6	歯形、歯すじ修整	20.7	○
7	任意歯面修整	20.7	○
8	歯形レンダリング	20.8	○
9	接触解析	20.9	○
10	歯形出力	20.10	○
11	測定データ出力	20.11	◎
12	小歯数（ピニオン）	20.13	◎
13	設計データ管理	---	○

20.3 ピニオン寸法

図 20.2 にピニオン諸元の設定画面を示します。ピニオン歯数は6～99 入力できますが、小歯数対応機能（オプション）として1～5 歯入力することができます。小歯数の設計例は20.13 項に示します。ねじれ角は $0^\circ \sim 80^\circ$ までを設定することができ、歯厚入力方式では、転位係数、またぎ歯厚、オーバーピンそして転位量か

ら選択することができます。また、面取りはC 面と R 面で設定することができます。図 20.3 にピニオン寸法の計算結果を示します。オーバーピン径は理論値を表示しますが、使用するピン径に合わせて変更することができます。

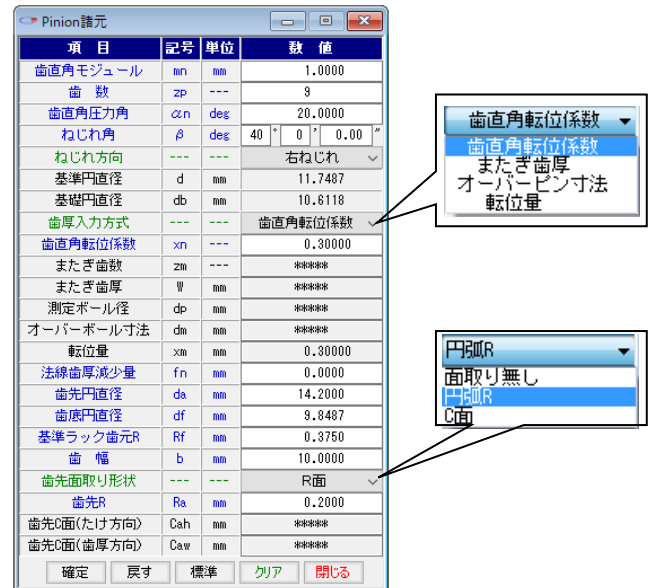


図 20.2 ピニオン諸元

項 目	記号	単位	数 値
正面モジュール	m_t	mm	1.3054
正面圧力角	α_t	deg	25.4138
基礎円筒ねじれ角	β_b	deg	37.1586
軸方向ピッチ	P_t	mm	4.8875
リード	P_z	mm	49.9871
全歯たけ	h	mm	2.1757
歯切転位係数	x_{nc}	---	0.3000
最小インボリュート直径(TIF)	d_t	mm	10.7575
最大インボリュート直径	d_h	mm	14.0591
歯直角円弧歯厚	s_n	mm	1.7892
正面円弧歯厚	s_t	mm	2.3356
またぎ歯数	z_m	---	1
基準またぎ歯厚	w	mm	10.8047
設計またぎ歯厚	w'	mm	10.8047
測定ボール径	d_p	mm	1.8694
基準オーバーボール寸法	d_m	mm	14.9539
設計オーバーボール寸法	d_m'	mm	14.8539

図 20.3 ピニオン寸法

20.4 フェースギヤ寸法

図 20.4 にフェースギヤ諸元設定画面を示します。軸角入力範囲は $45^\circ \sim 135^\circ$ です。オフセットを与えるとフェースギヤの歯形生成に強く影響を及ぼすためフェースギヤの外径側には歯先尖りが、また、内径側にはアンダーカットが生じ易くなります。そのため、入力時には注意が必要ですが、標準値および制限値を示しますので入力は容易です。なお、「刃先 R」はフェースギヤを生成するときの工具の刃先 R を示しています。また、オフセットと内径、外径の定義を図 20.5 に示し、寸法結果と組み図を図 20.6～20.7 に示します。なお、オフセットとねじれ角には制限があります。

項 目	記号	単位	数 値
歯 数	z	---	46
オフセット	e	mm	0.0000
軸 角	Σ	deg	90.0000
歯先クリアランス	c_{ka}	mm	0.2500
歯元クリアランス	c_{kf}	mm	0.2500
歯直角法線バックラッシ	j_n	mm	0.1000
内端直径	D_i	mm	46.0000
外端直径	D_o	mm	56.0000
項目(加工工具)	記号	単位	数 値
基準ラック刃先R	r_a	mm	0.2000
刃先R	r_f	mm	0.3750

図 20.4 フェースギヤ諸元

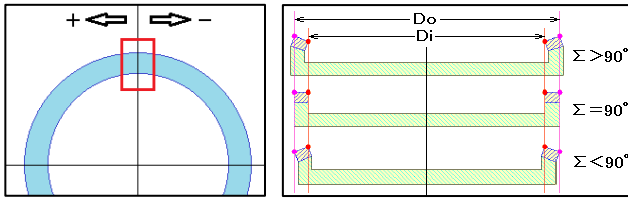


図 20.5 オフセットと内径、外径の定義

項目	記号	単位	Pinion	face gear
バックラッシュ角度	Jθ	deg	1.3550	0.2651
バックラッシュ(中心距離)	Jc	mm	0.1462	※※※※
円すい径距離	La	mm	※※※※	28.0000
円すい径距離	Lf	mm	※※※※	23.0000

図 20.6 ギヤ寸法

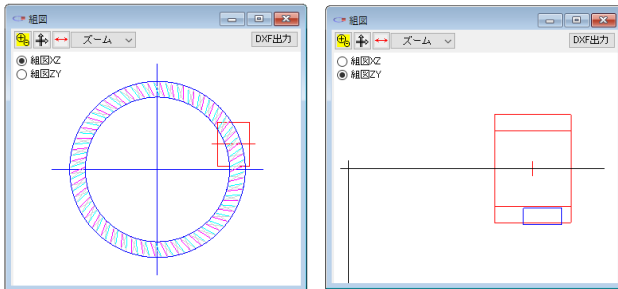


図 20.7 組み図

20.5 断面図

図 20.8 にピニオン歯形を示します。ただし、ピニオンの赤線の歯形は図 20.2 で設定したピニオン諸元に基づいた歯形で、緑線はギヤを加工する工具の刃形です。

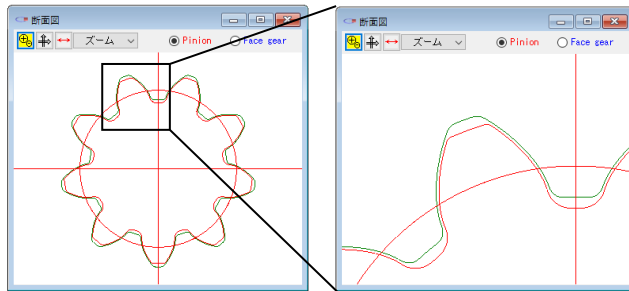


図 20.8 ピニオン歯形

20.6 歯形計算

ギヤの歯形を計算する際、歯形分割数 (図 20.9 参照) と歯幅分割数 (図 20.11 参照) を設定します。このとき、図 20.9 に刃先とがりに発生の有無を表示します。刃先尖りが生じる場合は、フェースギヤの歯形を正しく生成することができません。

項目	記号	単位	Face gear
歯面分割数	Nf	---	51
歯幅分割数	Nb	---	51
刃先尖りの発生			無し

図 20.9 設定 (フェースギヤ歯形)

歯形計算終了後、図 20.10 を表示します。ピニオンとギヤの位置 (Js, Je) の定義を図 20.12 に示し、ギヤの歯形 (断面) の例を図 20.13 に示します。

項目	記号	単位	数値
Face gear 歯先形状	---	---	尖り発生無し
Pinion 軸方向位置 (内)	Js	mm	19.2126
Pinion 軸方向位置 (外)	Je	mm	29.2126
Pinion 歯面分割数	Nf	---	51
Pinion 歯幅分割数	Nb	---	101

図 20.10 歯形計算結果

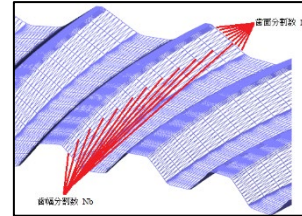


図 20.11 歯形分割

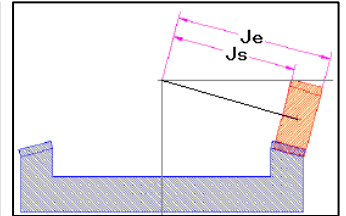
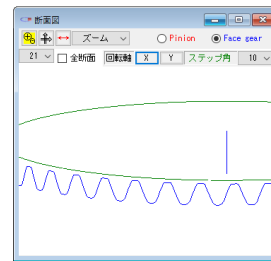
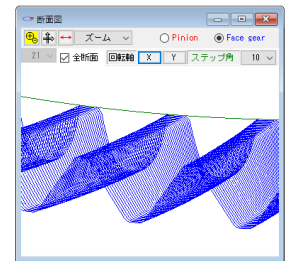


図 20.12 ピニオンの位置



(a) 断面 No.21 の歯形



(b) 全断面歯形

図 20.13 ギヤ歯形 (断面)

20.7 歯形・歯すじ修整

歯形および歯すじ修整は図 20.14~20.16 のように定型で与えることができ、設定した修整を図 20.16 のように表示することができます。また、定型で設定した修整は図 20.17 のように任意修整にデータを引き継ぐことができます。

項目	記号	単位	数値
歯先修整量1	f11	μm	
歯先修整量2	f12	μm	
歯たけ1	H1	mm	
歯たけ2	H2	mm	

図 20.14 歯形修整 (定型)

項目	記号	単位	数値
修整量1(外側)	f11	μm	
修整量2(内側)	f12	μm	
歯幅方向距離1	B1	mm	
歯幅方向距離2	B2	mm	
歯幅方向距離3	B3	mm	
歯幅方向距離4	B4	mm	

図 20.15 歯すじ修整 (定型)

項目	記号	単位	数値
修整量1(外側)	f11	μm	5,000
修整量2(内側)	f12	μm	5,000

図 20.16 歯すじ修整の例

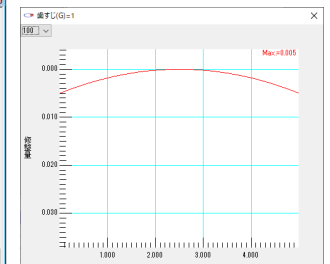


図 20.17 の任意修整では、歯面の分割や各位置でのデータの変更が容易であり修整を色分布で表すことができます。本例では、図 20.17 のようにピニオンは無修整とし、ギヤに歯面修整を与え

るものとし、ここで設定した歯面修整は、CSV ファイルとして出力することができますし、他で作成した図 30.17(b)の CSV ファイルを読み込むこともできます。

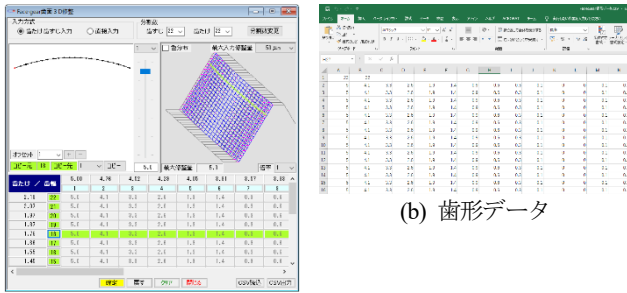


図 20.17 歯面 3D 修整設定, ギヤの例

20.8 歯形レンダリング

生成した歯形を図 20.18 のように表示することができます。歯の接触を確認するため自動回転機能や回転補正、そして軸角に誤差を与え歯の接触を確認することができます。

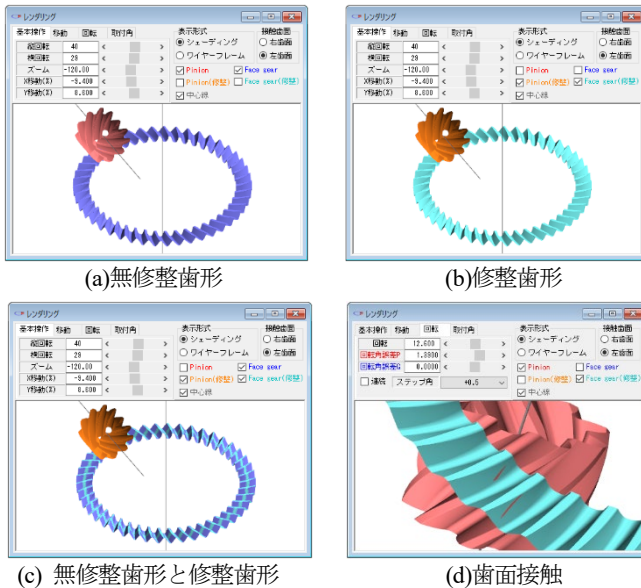


図 20.18 歯形レンダリング

20.9 接触解析

図 20.19 で接触解析の設定を行い[確定]すると生成した歯形の伝達誤差解析、歯当たり（接触距離）や、すべり速度を計算します。

図 20.19 接触解析設定

項目	記号	単位	数 値
角度分割数	N	---	101
軸角誤差	$\Delta \Sigma$	deg	0.0000
セット角誤差	$\Delta \beta$	deg	0.0000
誤差X	Δx	mm	0.0000
誤差Y	Δy	mm	0.0000
誤差Z	Δz	mm	0.0000
Pinion回転数	n	min-1	600.000
最大接触距離	L	μm	5.00
全かみ合い率	$\varepsilon \gamma$	---	2.48

図 20.19 接触解析設定

そして、歯面修整を考慮し、かみ合い接触を基にして全かみ合い率(本例では $\varepsilon \gamma=2.48$)を計算します。伝達誤差解析結果を図 20.20 に、フーリエ解析結果を図 20.21 に示します。

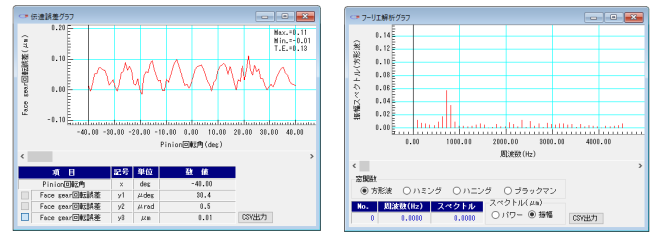


図 20.20 伝達誤差(TE=0.13 μm)

図 20.21 フーリエ解析

歯当たり解析（接触距離）とすべり速度、そして、すべり率を図 20.22～20.24 に示します。本例では、図 20.17 でギヤに歯面修整を与えていることから図 20.22 では歯面両端部で接触が弱くなっていることが解ります。また、フェースギヤは、ギヤの外側と内側で、すべりの差が大きくなることから図 20.23 や図 20.25 で、すべり速度を確認することができます。なお、伝達誤差や、すべり速度（率）は、軸の取り付け誤差を与えても解析することができます。これらは両歯面について解析可能です。

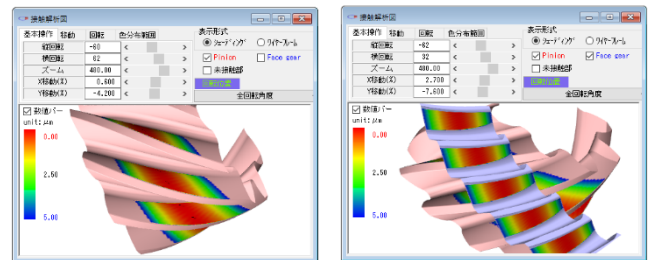


図 20.22 歯当たり解析（接触距離）

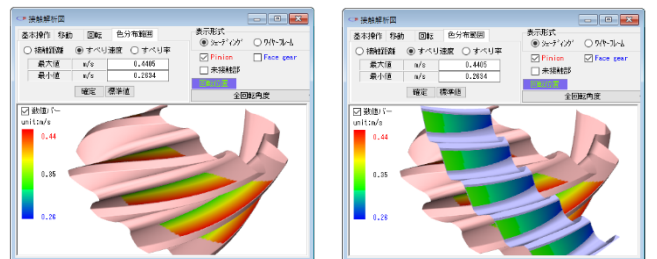


図 20.23 すべり速度

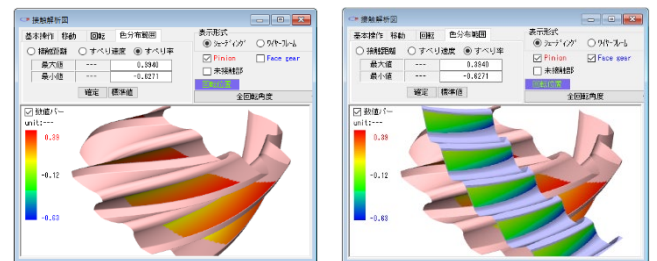


図 20.24 すべり率

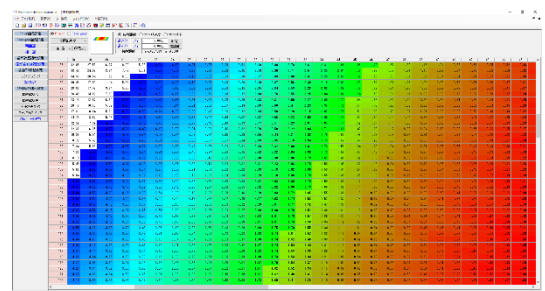


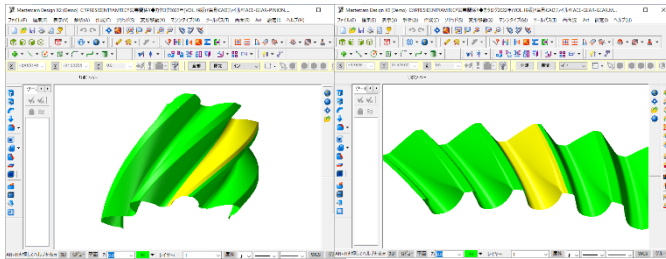
図 20.25 歯当たり解析（接触距離）のセル表示

20.10 歯形出力

生成した歯形を図 20.26 で出力することができます。図 20.18 の歯形を 3D-IGES で出力し、CAD で作図した例を図 20.27 に示します。



図 20.26 歯形出力



(a)ピニオン (b)フェースギヤ
図 20.27 CAD 作図例

20.11 測定データ出力

生成した歯形は Carl Zeiss 三次元測定機用の測定データとして出力することができます。測定データ生成の設定画面を図 20.28 に、測定データファイル(.TXT)を図 20.29 に示します。

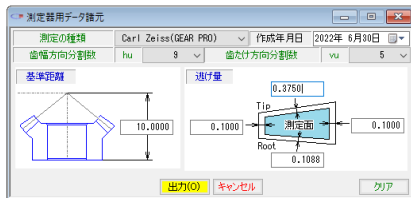


図 20.28 測定データ生成の設定画面

```

* DRAWING-NO. : NO. OF TEETH % Z : 46 *
* PART-NO. : *
* TOOTH THICKNESS % DED1 : 0.0000 [DEG] * (J,1) ! (5,3) *
* NO. OF COLUMNS % NSPG : 9 ; NO. OF LINES % NZLG ! 5 *
* DATE : 06.30.2022 TIME : 10:01:41 *
=====
* C I XP YP ZP NX NY NZ R *
=====
1 23.100892 -0.857269 -0.29212 0.82345 0.46842
1 2 23.106274 -0.856180 -0.594319 -0.35346 0.90742 0.27228
1 3 23.108892 -0.859704 -0.168775 -0.38602 0.92026 0.06408
1 4 23.108815 -0.890448 -0.261670 -0.40563 0.91294 -0.04487
1 5 23.089705 -0.972345 -0.691089 -0.31993 0.94642 0.04402
2 1 23.847601 -0.443840 -0.957269 -0.32141 0.83496 0.44671
2 2 23.855318 -0.844001 -0.577589 -0.38058 0.90538 0.18826
2 3 23.859357 -0.729401 -0.158719 -0.41080 0.91115 0.03250
2 4 23.857876 -0.745292 -0.288045 -0.37400 0.92370 0.08903
2 5 23.847897 -0.787340 -0.691089 -0.28729 0.95379 0.08805
3 1 24.191619 -0.234427 -0.957269 -0.35100 0.84443 0.40464
  
```

図 20.29 測定データファイル(.TXT)

20.12 軸角 $\Sigma=120^\circ$ および $\Sigma=70^\circ$ の例

ピニオンおよびギヤの諸元を同じとして図 20.30 のように軸角を $\Sigma=120^\circ$ としたときの計算例を図 20.31~20.33 に示します。

項目	記号	単位	数値
歯数	zs	---	48
オフセット	e	mm	8.0000
軸角	Σ	deg	120.0000
歯先クリアランス	cka	mm	0.3000
歯元クリアランス	ckf	mm	0.3000
歯直角法線バックラッシュ	dl	mm	0.1000
内歯直径	Di	mm	48.0000
外歯直径	Do	mm	58.0000
項目(加工工具)	記号	単位	数値
基準ラック刃先R	ra	mm	0.2000
刃先r	rf	mm	0.2500

図 20.30 ギヤ諸元

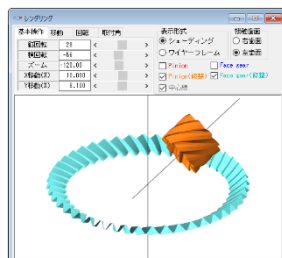


図 20.31 歯形レンダリング

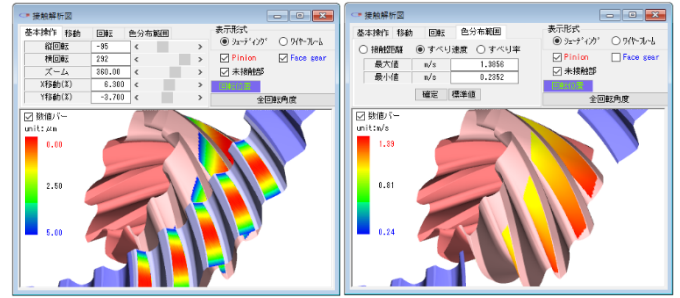


図 20.32 接触距離

図 20.33 すべり速度

また、ピニオンおよびギヤの諸元を同じとして図 20.34 のように軸角を $\Sigma=70^\circ$ としたときの計算例を以下に示します。

項目	記号	単位	数値
歯数	zs	---	48
オフセット	e	mm	8.0000
軸角	Σ	deg	70.0000
歯先クリアランス	cka	mm	0.3000
歯元クリアランス	ckf	mm	0.3000
歯直角法線バックラッシュ	dl	mm	0.1000
内歯直径	Di	mm	48.0000
外歯直径	Do	mm	58.0000
項目(加工工具)	記号	単位	数値
基準ラック刃先R	ra	mm	0.2000
刃先r	rf	mm	0.2500

図 20.34 ギヤ諸元

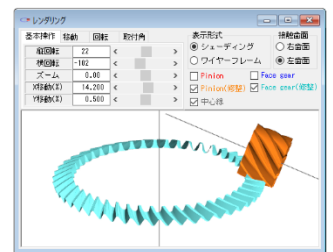


図 20.35 歯形レンダリング

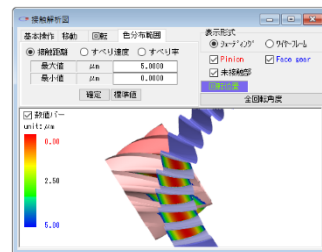


図 20.36 接触距離

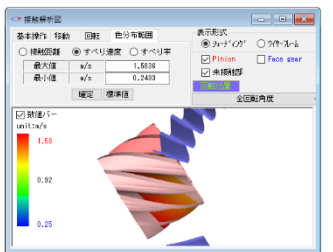


図 20.37 すべり速度

20.13 小歯数(オプション)

高減速比を得るためピニオン歯数 $z_1=1$ を設定することができます。ここでは $z_1=2$ とし、ギヤ歯数を $z_2=51$ とした例を以下に示します。また、小歯数の場合でも図 20.30 のように軸角を 90° 以外で設計することができます。

項目	記号	単位	数値
歯直角モジュール	mn	mm	1.0000
歯数	zp	---	2
歯直角圧力角	α_n	deg	20.0000
ねじれ方向	---	---	右ねじれ
基準円直径	d	mm	4.0000
基準円厚	db	mm	3.2339
歯厚入力方式	---	---	歯直角転位係数
歯直角転位係数	xn	---	0.50000
またぎ歯数	zn	---	※※※※※
またぎ歯厚	v	mm	※※※※※
測定ボール径	dp	mm	※※※※※
オーバーボール寸法	dm	mm	※※※※※
転位量	xm	mm	0.50000
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0000
歯先円直径	da	mm	7.0000
歯底円直径	df	mm	2.5000
基準ラック歯元R	Rf	mm	0.9750
歯幅	b	mm	20.0000
歯先面取り形状	---	---	無し
歯先R	Ra	mm	※※※※※
歯先面(たけ方向)	Cah	mm	※※※※※
歯先面(歯厚方向)	Caw	mm	※※※※※

図 20.38 ピニオン諸元と寸法

項目	記号	単位	数値
正面モジュール	mt	mm	2.0000
正面圧力角	α_t	deg	39.5514
基準円ねじれ角	β_b	deg	54.4687
軸方向ピッチ	pt	mm	3.6276
リード	Pz	mm	7.2552
全歯たけ	h	mm	2.2500
歯切転位係数	xnc	---	0.5000
最小インボリュート直径(TIF)	dt	mm	3.2974
最大インボリュート直径	dtb	mm	7.0000
歯直角歯底歯厚	sn	mm	1.9448
正面歯底歯厚	st	mm	3.6895
またぎ歯数	zn	---	---
基準またぎ歯厚	v	mm	---
設計またぎ歯厚	v'	mm	0.0000
基準オーバーボール寸法	dm	mm	---
設計オーバーボール寸法	dm'	mm	---
測定ピン径	dp	mm	1.9670
三針寸法(ピン歯先)	dwa	mm	7.5957
三針寸法(ピン歯底)	dwb	mm	0.6715

項目	記号	単位	数 値
歯 数	Z	---	51
オフセット	e	mm	20.0000
軸 角	Σ	deg	90.0000
歯先クリアランス	cka	mm	0.2500
歯元クリアランス	ckf	mm	0.2500
歯直角法線バックラッシ	j _n	mm	0.1000
内歯直径	D _i	mm	85.0000
外歯直径	D _o	mm	105.0000
項目(加工工具)	記号	単位	数 値
基準ラック刃元R	r _a	mm	0.2000
刃先R	r _f	mm	0.3750

図 20.39 ギヤ諸元

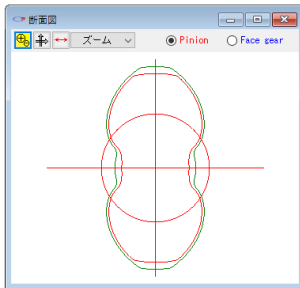


図 20.40 ピニオン歯形

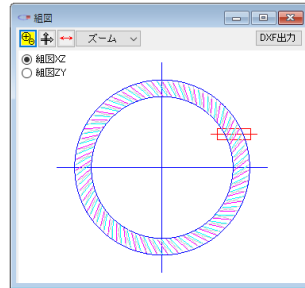


図 20.41 組み図

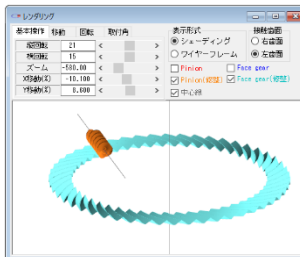


図 20.42 歯形レンダリング

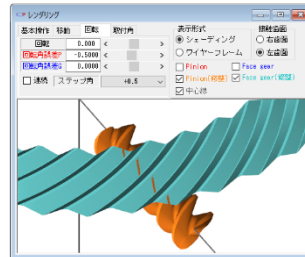
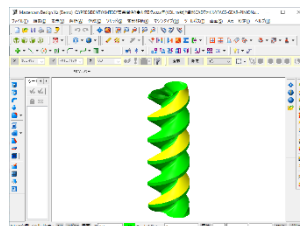
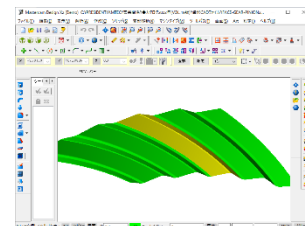


図 20.43 接触



(a)ピニオン



(b)フェースギヤ

図 20.44 CAD 作図例

項目	記号	単位	数 値
角度分割数	N	---	101
軸角誤差	$\Delta \Sigma$	deg	0.0000
セッ角誤差	$\Delta \beta$	deg	0.0000
誤差X	Δx	mm	0.0000
誤差Y	Δy	mm	0.0000
誤差Z	Δz	mm	0.0000
Pinion回転数	n	min-1	600.000
最大接触距離	L	μm	10.00
全かみ合い率	$\varepsilon \gamma$	---	3.58

図 20.45 接触解析設定

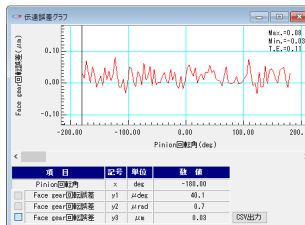


図 20.46 伝達誤差

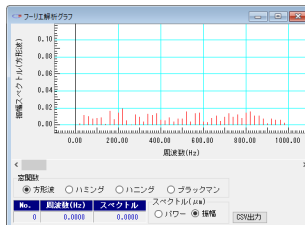


図 20.47 フーリエ解析

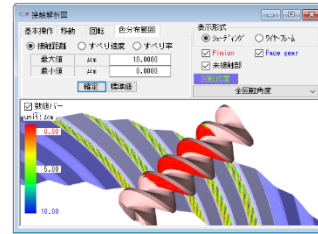


図 20.48 接触距離

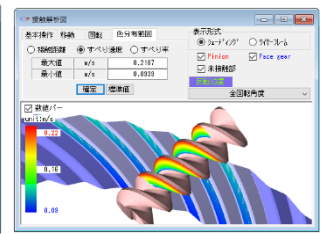


図 20.49 すべり速度

歯数が少ない場合でも軸角は 90° 以外にも対応しています (計算例省略)。

20.14 フェースギヤについて

フェースギヤの幾何形状に関する定義は、ISO 1122-1:1998 に基づいて制定された JIS B 0102-1:2013 があり、ここには

4.1.6.2 フェースギヤ (face gear, contrate gear)

歯先及び歯底円すい角が 90° のかさ歯車

4.2.1.4 フェースギヤ対 (face gear pair, contrate gear pair)

フェースギヤとそれとかみ合う小歯車からなる軸角 90° の交差軸歯車対。注記：食い違い軸歯車対として用いられる場合もある。と規定している。

また、機械工学事典⁽¹⁾には「contrate gear, 傘歯車で、歯先円すいと歯元円すい角がともに 90° の歯車、したがって、歯だけは半径に依存しないで一定となる。これにかみ合うのは平歯車やはずば歯車で、二つの軸のなす角は 90° であるが、交差せずにねじれている場合もある。」としている。さらに、機械工学便覧⁽²⁾では「face gear, 円筒歯車と円盤状歯車がかみ合う歯車対、食い違い軸歯車の場合もある」としている。

上記のようにフェースギヤは、軸角が 90° のみとして規定、定義されているため軸角が 90° 以外の歯車ではフェースギヤと呼べないことになる。例えば、円筒歯車でねじれ角が 0° の歯車を「平歯車」と呼び、ねじれ角を持つ歯車を「はずば歯車」と呼ぶが、フェースギヤの場合、規格や便覧の定義から軸角が 90° 以外のフェースギヤには名前が無いになっている。

一方、歯車の機能面から言えば、「かさ歯車で小歯車 (平、はずば歯車) の軸方向変位が性能に何ら影響を及ぼさない歯車対」と考えれば軸角は 90° 以外もフェースギヤと呼ぶことができる。その一例として、Litvin は Gear Geometry and Applied Theory⁽³⁾に軸角 70° 程度のフェースギヤ (Figure 18.1.1: Face-gear drive in 3D-space) を掲載している。この機能面の考え方から以前のカタログでは軸角が 90° 以外でもフェースギヤとしていたが、本カタログからは規格を尊重し、**Specific Face gear** と命名している。

引用文献

- (1) 機械工学事典, 社団法人日本機械学会, p.1126, (1997), 丸善
- (2) 機械工学便覧 デザイン編 β 4, 社団法人日本機械学会, p.72, (2005), 丸善
- (3) Faydor L. Litvin, Gear Geometry and Applied Theory second Edition, p.509, (2004)