

[5] Planetary gear design system (遊星 & 不思議遊星)

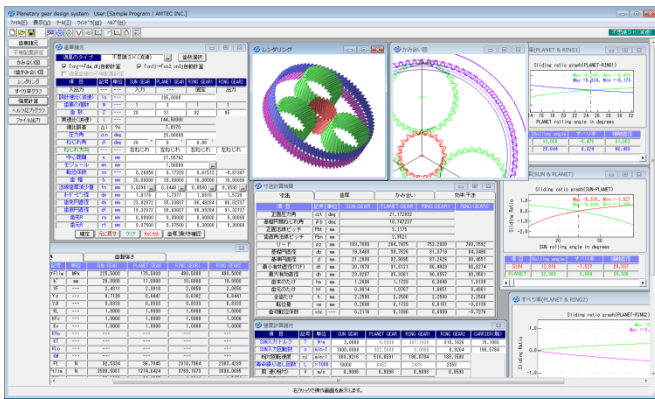


図 5.1 Planetary gear design system

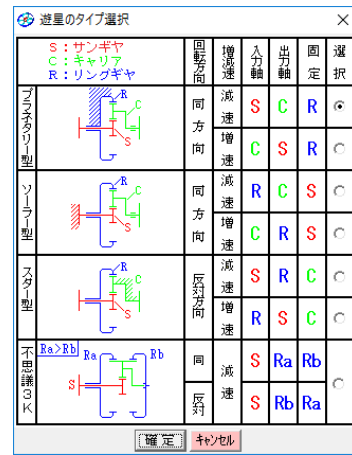


図 5.3 遊星歯車のタイプ

5.1 概要

Planetary gear and Mechanical paradox gear design system は、2016年12月に操作性や画面表示など改良した「Planetary gear design system」に変わりました。本ソフトウェアは、遊星歯車と不思議遊星を簡単に設計できるソフトで、歯数の組み合わせや中心距離などを自動決定し、歯車寸法および歯車強度を簡単に設計することができます。また、遊星歯車の干渉チェックおよび、転位係数の決定、効率計算なども簡単に計算することができます。図5.1に計算結果の全体画面を示します。

5.2 適用

- (1)型 式 : 等配置型  
: 遊星(プラネタリー, ソーラー, スター)
  - (2)歯車材料 : 金属, 樹脂 (金属と樹脂混同可能)
  - (3)歯車歯形 : インボリュート歯形
  - (4)オプション : 不思議遊星(3K), 少歯数, ダブルピニオン, 不等配置
- 上記, 遊星歯車の歯車寸法, 歯車強度, 歯形設計に適用します。

5.3 プロパティ (基準ラック)

プロパティで、歯先円直径の決定方式、基準ラック、モジュールまたは中心距離基準、歯車精度、摩擦係数の設定をします。図5.2にプロパティの画面を示します。



図 5.2 プロパティ

5.4 遊星歯車機構の選択

図5.3に示す遊星歯車タイプの選択をします(プラネタリー型, ソーラー型, スター型の増減速, 不思議3K)。



図 5.4 歯車諸元



図 5.5 歯数選択

- (1) 遊星歯車の個数は、1~21です。
- (2) 歯数は、直接入力する方式と、速比から計算した歯数一覧(図 5.5)から選択する方式があります。
- (3) 中心距離よりモジュールの計算、またはモジュールより中心距離の計算をすることができます。
- (4) 転位係数の計算は、モジュールと中心距離からバックラッシが0になるように計算します。
- (5) 法線歯厚減少量の入力。(デフォルト値として JIS バックラッシ標準中間値の 1/2 を表示します。)
- (6) 歯先円直径はプロパティで設定した基準ラックの歯たけと転位係数から標準値を計算しますが、変更が可能です。
- (7) 外歯車の歯元部の形状は、基準ラックによる創成運動によって生成する歯形です。内歯車の歯元は、入力 R 接続です。
- (8) 歯車の歯先は R で作成することができます。
- (9) 転位係数は、1 種を変更すると残りの転位係数が連動して変化しますが、歯車それぞれ個別に入力することができます。最適なクリアランス(歯たけの調整)と歯厚(転位係数の調整)の決定のため図 5.6 の歯厚、頂げき確認(補助設定)によって歯形を確認することができます。また、この画面によって、転位係数や歯先円直径を変更したときの歯形形状やクリアランス、干渉の確認をすることができます。この時点での歯形は歯面のみであり歯元形状は含まれていません。

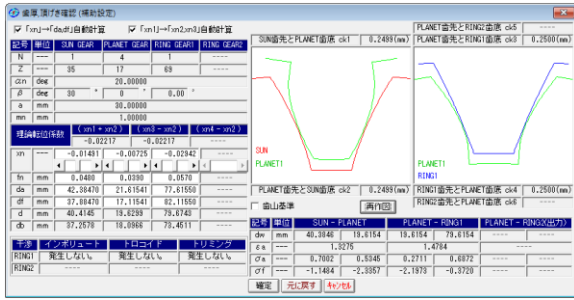


図 5.6 歯厚, 頂げき確認 (補助設定)

## 5.5 歯車寸法

歯車諸元を確定後, 各種計算結果を図 5.7~図 5.10 に示します. この画面で, 干渉, 効率, クリアランス, バックラッシの確認をすることができます.

寸法	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
正歯距	mm	22.8447	22.8447	22.8447
基礎円半径	mm	28.874211	0.3448	0.3448
正歯距ピッチ	mm	29.9816	2.9821	2.9821
リード	mm	219.9116	106.9142	439.9398
基準円直径	mm	37.2878	18.8988	78.4611
基準円厚	mm	40.4148	19.2199	79.8749
最大有効歯厚	mm	29.2659	19.2424	79.2156
最小有効歯厚	mm	42.9847	21.8154	81.7775
歯元の尖り	mm	0.8851	0.8928	1.0284
歯先の尖り	mm	1.2649	1.2972	1.2208
全歯厚	mm	2.2668	2.2668	2.2668
軸位置	mm	-0.9148	-0.8978	-0.9284
歯根径	mm	-0.8881	-0.8843	0.8839

図 5.7 結果(標準寸法)

項目	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
有効歯厚	mm	10.0000	10.0000	10.0000
クリアランス	mm	0.2489	0.2489	0.2500
かみ合い係数	mm	4.4934	4.7639	4.7639
逆歯かみ合い率	e a1	0.8359	0.7874	0.8359
速のきかみ合い率	e a2	0.8816	0.8359	0.8359
正歯かみ合い率	e a3	1.3075	1.4033	1.4033
逆歯かみ合い率	e r1	1.5815	1.2615	1.2615
速のきかみ合い率	e r2	2.9180	3.0148	3.0148
1歯(歯先側)	c r a	0.7802	0.8345	0.2711
1歯(歯元側)	c r f	-1.1484	-2.3987	-1.7248
正歯距係数	j r s	0.8991	0.8340	0.8898
最大接触長さ	d r a	42.3847	21.8154	81.3510
最小接触長さ	d r f	38.3419	18.3843	77.7884

図 5.8 結果(歯厚関係)

寸法	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
正歯距	mm	22.8447	22.8447	22.8447
かみ合い係数	mm	29.9816	29.9816	29.9816
かみ合いピッチ直径	mm	40.3846	18.8154	78.8154
有効歯厚	mm	10.0000	10.0000	10.0000
クリアランス	mm	0.2489	0.2489	0.2500
かみ合い係数	mm	4.4934	4.7639	4.7639
逆歯かみ合い率	e a1	0.8359	0.7874	0.8359
速のきかみ合い率	e a2	0.8816	0.8359	0.8359
正歯かみ合い率	e a3	1.3075	1.4033	1.4033
逆歯かみ合い率	e r1	1.5815	1.2615	1.2615
速のきかみ合い率	e r2	2.9180	3.0148	3.0148
1歯(歯先側)	c r a	0.7802	0.8345	0.2711
1歯(歯元側)	c r f	-1.1484	-2.3987	-1.7248
正歯距係数	j r s	0.8991	0.8340	0.8898
最大接触長さ	d r a	42.3847	21.8154	81.3510
最小接触長さ	d r f	38.3419	18.3843	77.7884

図 5.9 結果(かみ合い)

寸法	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
効率		0.9875		
RING GEAR 干渉				
項目				
インボリュート干渉				発生しない
トロコイド干渉				発生しない
ドリミング				発生しない
クリアランス (mm)				
SUN歯先とPLANET歯元	mm	0.2489	0.2489	0.2500
PLANET歯先とSUN歯元	mm	0.2489	0.2489	0.2500
PLANET歯先とRING歯元	mm	0.2489	0.2489	0.2500
RING歯先とPLANET歯元	mm	0.2489	0.2489	0.2500
回転比				
SUN	1.0000			
PLANET	-1.0284			
RING	0.0000			
CARRIER	0.8385			

図 5.10 結果(効率, 干渉等)

## 5.6 歯形作図

### 5.6.1 かみ合い図

歯車のかみ合い図を図 5.11, 図 5.12 のように 2 次元図で表示します. 操作画面によって, 補助円や共通法線を表示することができますので歯面の接触位置の確認が容易です. 歯車の回転角度を変え, 拡大表示することができます.

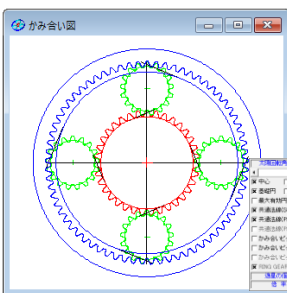


図 5.11 かみ合い図

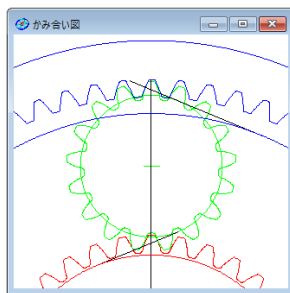


図 5.12 かみ合い拡大

### 5.6.2 1 歯かみ合い図

1 歯同士のかみ合いを図 5.13 の 2 次元図で確認することができます. この画面にて内歯車と外歯車の歯先と歯元部分の干渉をよ

り詳しく確認することができます(2D かみ合い図ではキャリヤが公転するために確認が難しいことがあります). また, 歯車の回転角度を変え, 拡大表示することができます.

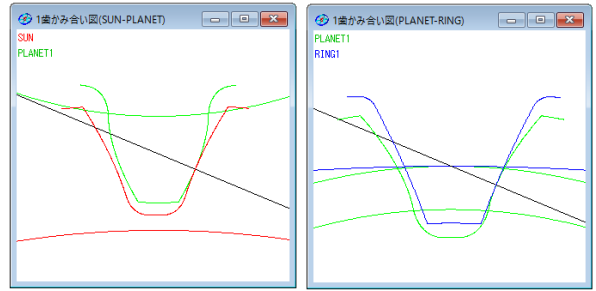


図 5.13 一歯かみ合い図

### 5.6.3 レンダリング

歯車のかみ合いを図 5.14, 図 5.15 のように 3 次元図で表示することができます. X, Y, Z 方向に回転させることができ図 5.16 に歯形レンダリングのコントロールフォームを示します.

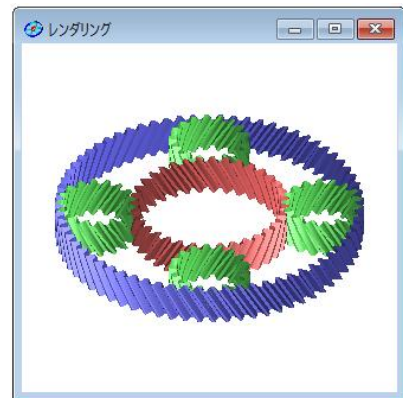


図 5.14 歯形レンダリング

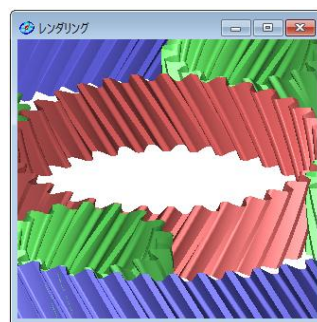


図 5.15 拡大図



図 5.16 操作画面

## 5.7 すべり率グラフ

すべり率グラフ(図 5.17, 図 5.18)に, 各ロールアングル (または直径) によるすべり率を表示します.

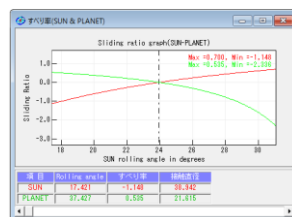


図 5.17 すべり率グラフ

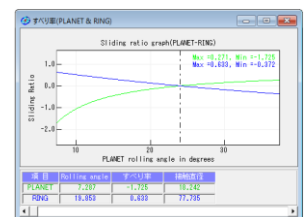


図 5.18 すべり率グラフ

## 5.8 歯車強度

### 5.8.1 強度初期設定

強度初期設定画面(図 5.19)で、金属材料と樹脂材料を選択することができます。許容応力の  $\sigma_{Flim}$  と  $\sigma_{Hlim}$  を表中(図 5.20)から選択します。または任意数値を入力することができます。

トルク単位は「N・m」「N・cm」「kgf・m」「kgf・cm」「gf・cm」から選択することができます。



図 5.19 強度初期設定

構造用合金鋼	心部硬さ HB HV	$\sigma_{Flim}$ MPa	有効浸炭深さ	歯面硬さ HV HRC	$\sigma_{Hlim}$ MPa
SCM415	220 231 333.5	480.5	5.80	5.4	1284.5
	230 242 353	480.5	6.00	5.5	1314
	240 252 372.5	480.5	6.20	5.6	1343.5
	250 263 392.5	480.5	6.40	5.7	1353.5
	260 273 402	480.5	6.60	5.8	1353.5
SCM420	270 284 417	480.5	6.80	5.9	1353.5
	280 295 431.5	480.5	7.00	6.0	1353.5
	290 305 441.5	480.5	7.20	6.1	1343.5
	300 316 451	480.5	7.40	6.2	1333.5
	310 327 461	480.5	7.60	6.3	1314
SNC420	320 337 470.5	480.5	7.80	6.3	1294.5
	330 347 480.5	480.5	8.00	6.4	1275
	340 358 490.5	480.5	8.20	6.5	1255.5
	350 368 500	480.5	8.40	6.6	1236
	360 379 510	480.5	8.60	6.7	1216.5
SNC815	370 380 510	480.5	8.80	6.8	1197

図 5.20 鉄材料の許容値選択例

### 5.8.2 強度諸元入力

強度諸元入力画面(図 5.21)に各種数値を入力します。トルク、回転数は入力、出力のどちらでも設定可能です。

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR	CARRIER (鞍)
SUN入力トルク	T	N・m	50.0000	23.9896	96.7174	148.7174
SUN入力回転数	n	min <sup>-1</sup>	1000.0000	1029.4118	0.0000	336.5385
相対回転速度	nj	min <sup>-1</sup>	883.4615	1385.9502	336.5385	
歯車歯数	Z		10000	20588	5072	
周速(相対)	V	m/s	1.4029	1.4029	1.4029	
潤滑方法			油槽			
温度	t	°C	60.0000			
過負荷係数	Ko		1.0000	1.0000	1.0000	
歯元曲げ安全率	SF		1.2000			
歯面接触安全率	SH		1.1500			
軸受け支持方法			両軸受けに対称			
歯車回転方向			正転のみ			
歯形修整			無し			
歯面粗さ	Rmax Ra	μm	6.0000	6.0000	6.0000	
負荷時歯当り状況			良好			
潤滑油粘度	ZL		1.0000	1.0000	1.0000	
歯重分配率	Tf		1.0000			

図 5.21 強度諸元入力

### 5.8.3 強度計算結果

図 5.22 と図 5.23 に強度計算結果画面を表示します。強度計算は、効率やかみ合い率も考慮しています。金属歯車は JGMA401-01:1974, JGMA401-02:1975 に基づき強度計算を、樹脂材料の応力値は、温度、寿命などを考慮した材料の実験値を採用しています。

項目	記号	単位	歯面粗さ	歯面粗さ	歯面粗さ
許容応力	$\sigma_{Flim}$	MPa	480.5000	480.5000	480.5000
歯元曲げ係数	b	mm	10.0000	10.0000	10.0000
歯面修整係数	W		2.4000	2.7100	2.3000
歯面接触係数	Yc		0.7650	0.7650	0.7650
歯先円角係数	YFa		0.7600	0.7600	0.7600
寿命係数	YL		1.0000	1.0000	1.0000
許容応力	MPa		1.0000	1.0000	1.0000
過負荷係数	Kv		1.0400	1.0400	1.0400
歯面粗さ	Ra	μm			
材料係数	KH				
軸受け係数	FK	N	813.2416	811.4800	807.8039
許容応力	FC1	N	2007.3317	2005.2723	2007.2000
歯面粗さ	Sf		4.3350	4.0800	5.0200
歯元曲げ係数	YFa	MPa	185.3929	177.2029	82.5000

項目	記号	単位	歯面粗さ	歯面粗さ	歯面粗さ
許容せん断応力	$\sigma_{Hlim}$	MPa	1275.0001	1275.0001	1275.0001
歯面接触係数	Ic	mm	10.0000	10.0000	10.0000
歯面修整係数	ZH		2.1200	2.2100	2.2200
材料係数	ZM	(MPa) <sup>0.5</sup>	100.0000	100.0000	100.0000
歯先円角係数	ZFa		0.8870	0.8870	0.8880
寿命係数	YL		1.0000	1.0000	1.0000
過負荷係数	ZK		0.9504	0.9504	0.9504
歯面粗さ	ZV		0.9581	0.9581	0.9581
歯面粗さ	ZW		1.0000	1.0000	1.0000
歯面粗さ	Ra	μm	1.0000	1.0000	1.0000
軸受け係数	Kv		1.0404	1.0404	1.0404
歯面粗さ	Ra	μm			
軸受け係数	FK	N	810.5035	811.8471	806.8040
許容応力	FC1	N	800.5517	800.5517	1000.5040
歯面粗さ	Sf		4.0000	4.4700	0.1000
歯元曲げ係数	YFa	MPa	186.6007	186.2200	81.3400

図 5.22 強度計算結果(曲げ)

図 5.23 強度計算結果(歯面)

## 5.9 ヘルツ応力グラフ

ヘルツ応力グラフを図 5.24 および図 5.25 に示します。かみ合いが 2 点接触と 1 点接触のヘルツ応力の違いを確認することができます。



図 5.24 ヘルツ応力(太陽)

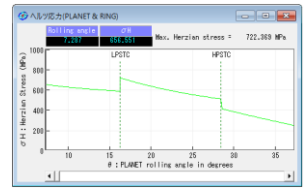


図 5.25 ヘルツ応力(遊星)

## 5.10 その他

- (1) 歯車の歯形を出力することができます。
  - DXF ファイル : 2D, 3D 全歯かみ合い状態
  - IGES ファイル : 3D(1 歯), (図 5.66 に作図例を示します)
  - TEXT ファイル : 2 次元 1 歯歯標
- (2) 寸法計算結果, 強度計算結果, 2D 図, すべり率グラフ, ヘルツ応力グラフを印刷することができます。
- (3) 設計データを保存し, 読み込みができます。

## 5.11 不思議遊星(3K 型)

太陽, 遊星, 内歯 2 個の合計 4 つを使用した場合, 減速比を大きくする機構として不思議遊星歯車機構がよく知られていますが不思議遊星歯車は計算が非常に面倒です。しかし, 本ソフトウェアを使用することにより簡単に不思議遊星歯車を設計することができます。

入力は太陽歯車, 固定は内歯車 1, 出力は内歯車 2 のタイプの 3K 形のみを対象としています。内歯車 1 と内歯車 2 の歯数の大小によって, 同方向減速と逆方向減速が決まります。以下に設計例を示します。

### 5.11.1 歯車諸元の設定

- (1) プロパティで, モジュール基準を選択します。
- (2) 図 5.3 の遊星歯車のタイプで遊星歯車機構のタイプを不思議 3K 型を選択し, 図 5.26 の不思議遊星諸元に進みます。
- (3) 設計減速比を 135, 遊星歯車の個数を 3 個と入力します。
- (4) 歯数一覧画面を表示し, 適切と思われる歯数の組み合わせを選択します。(図 5.27 参照)

このときの選択条件として

- 実速比と設計速比の誤差
- 歯数が小さすぎず, 大きすぎない
- 内歯車の歯数  $z_3, z_4$  の間に「 $z_1+2 \times z_2$ 」の関係があるなどを考慮し選択します。

ここでは例として  $z_1=20, z_2=31, z_3=82, z_4=85$  を選択します。

- (5) 次に Tab キーを押し順に  $\alpha 20, \beta 20, m1$  を入力します。モジュールを入力した時点で, 図 5.2 プロパティの基準ラックに基づいて標準の中心距離と転位係数と歯先円直径と歯底円直径が決まります。

- (6) 中心距離が 27.6686mm のために目的に応じて変更します。  
(中心距離基準入力の場合はモジュールの標準値を計算しますので, その後 JIS 規格のモジュールに後から変更することがで

きます。) 図 5.26 に諸元確定画面を示します。

- (7) 中心距離とモジュールが決定したあとは、歯たけ(クリアランスに影響)や歯厚(強度やバックラッシュに影響)の状態を確認し変更することができます。入力画面の「歯厚・頂げき確認」ボタンを押すと、図 5.28 の歯厚、頂げき確認(補助設定)を表示します。この画面で、歯形を確認しながら転位係数や歯先円直径を変更することができます。理論インボリュート歯形の接触や歯たけ、クリアランス、内歯車の干渉を確認し、問題がないためこのまま歯車寸法を確定します。



図 5.26 不思議 3K 遊星諸元入力



図 5.27 歯数選択



図 5.28 歯厚、頂げき確認(補助設定)

- (8) 図 5.29~5.32 に示すように寸法計算結果画面の効率やかみ合い率やすべり率を確認します。本例の不思議遊星の効率は、

図 5.32 に示すように 73.1% となります。

- (9) また、外歯車と内歯車の干渉状態を実際に 1 歯かみ合いによってどの程度余裕があるかを確認します。
- (10) 例題の場合、モジュール 1 の寸法が決まりましたが、強度計算により大きさを変えなければならない場合があります。その場合には歯幅を変更したり、転位係数はそのままモジュールや中心距離や歯先円直径を n 倍するなどして対処します。回転比が大きくなるとトルクの比率も大きくなるために強度計算は慎重に行う必要があります。

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR1	RING GEAR2
正面圧力角	$\alpha_t$	deg		21.17282		
基礎円節ねじれ角	$\beta_b$	deg		18.747237		
正面法線ピッチ	Pbt	mm		3.1175		
歯直角法線ピッチ	Pbn	mm		2.3521		
リード	p2	mm	183.7080	284.7475	753.2030	780.7582
基礎円直径	db	mm	18.8468	30.7828	81.3719	84.3490
基準円直径	d	mm	21.2836	32.9895	87.2626	90.4551
最小有効歯径(TIF)	dt	mm	20.1670	31.6121	86.4928	86.3274
最大有効歯径	dh	mm	23.8207	35.3361	90.6557	90.9501
歯末のたけ	ha	mm	1.2896	1.1733	0.3849	1.8139
歯元のたけ	hf	mm	0.9814	1.0767	1.9551	0.4361
全歯たけ	h	mm	2.2500	2.2500	2.2500	2.2500
転位量	xm	mm	0.2688	0.1733	0.6151	-0.8139
歯切転位係数	xnc	---	0.2116	0.1090	0.6993	-0.7276

図 5.29 歯車寸法

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR1	RING GEAR2
歯直角円弧歯厚	sn	mm	1.7248	1.8501	1.0813	2.1005
正面円弧歯厚	st	mm	1.8365	1.7560	1.1294	2.2363
またぎ歯数	zm	---	4	5	12	10
基準またぎ歯厚	w	mm	10.8508	13.9215	35.7414	28.9098
設計またぎ歯厚	w'	mm	10.8116	13.8775	35.7994	28.9698
ノギヤピッチ	dp	mm	1.8178	1.7371	1.6810	1.5728
基準ノギヤピッチ	dm	mm	24.4103	35.6976	86.1984	86.7923
設計ノギヤピッチ	dm'	mm	24.3235	35.5879	86.3597	86.9394
キャリア歯たけ	Hj	mm	1.3009	1.1925	0.3835	1.8050
基準キャリア歯厚	Sj	mm	1.7647	1.6964	1.1230	2.1631
設計キャリア歯厚	Sj'	mm	1.7234	1.6496	1.0573	2.0963

図 5.30 歯厚

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR1	PLANET And RING2
正面かみ合い圧力角	$\alpha_{wt}$	deg	23.3289	23.3289		13.5287
かみ合い円節ねじれ角	$\beta_w$	deg	20.2852	20.2852		19.2493
かみ合いピッチ円直径	dw	mm	21.6138	33.5014	88.6167	31.6402
有効歯幅	bw	mm	20.0000	10.0000		10.0000
クリアランス	ck	mm	0.2282	0.2282	0.2708	0.4380
かみ合い長さ	ea	mm	4.3668	4.3463		4.8405
近寄りかみ合い率	$\epsilon_{a1}$	---	0.8608	0.3260		1.6016
遠のりかみ合い率	$\epsilon_{a2}$	---	0.7400	0.8608		-0.0490
正面かみ合い率	$\epsilon_{\alpha}$	---	1.4008	1.8688		1.5527
重なりかみ合い率	$\epsilon_{\beta}$	---	2.1774	1.8887		1.0887
全かみ合い率	$\epsilon_{\gamma}$	---	3.5781	2.6755		2.6414
滑り率(歯先側)	$\sigma_H$	---	0.5762	0.6042	0.1474	0.3240
滑り率(歯元側)	$\sigma_F$	---	-1.5268	-1.3597	-0.4792	-0.1723
正面法線方向の噛み合い角	$\lambda_{nt}$	mm	0.0876	0.1077		0.1088
アックル角	$\lambda_j$	deg	0.5661	0.3265	0.4012	0.1517
入力軸回転角の平均度	$\lambda_j$	deg			1.1341 (Sum)	
最大接触歯径	dja	mm	23.8207	35.3361	90.3275	35.3361
最小接触歯径	djf	mm	20.3372	31.8554	31.6920	86.4928

図 5.31 かみ合い

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING1	CARRIER	RING2
効率				0.7155			
インボリュート干渉			発生しない		発生しない		
トロコイド干渉			発生しない		発生しない		
トリミング			発生しない		発生しない		
クリアランス(mm)							
SUN歯先とPLANET歯厚		mm	0.2282				
PLANET歯先とSUN歯厚		mm	0.2282				
PLANET歯先とRING歯厚		mm	0.2708				
RING歯先とPLANET歯厚		mm	0.2708				
PLANET歯先とRING2歯厚		mm	0.4380				
RING2歯先とPLANET歯厚		mm	0.4380				
回転比							
SUN			1.0000				
PLANET			-0.2226				
RING1			0.0000				
CARRIER			0.1981				
RING2			0.0069				

図 5.32 干渉関係

### 5.11.2 歯車かみ合い図

図 5.33 にかみ合い図を示します。図 5.34 の拡大図で遊星歯車に 2 つの内歯車がかみ合っている様子が良く解ります。また、図 5.35 に示す歯形レンダリングで不思議遊星のかみ合い回転の様子を観察することができます。

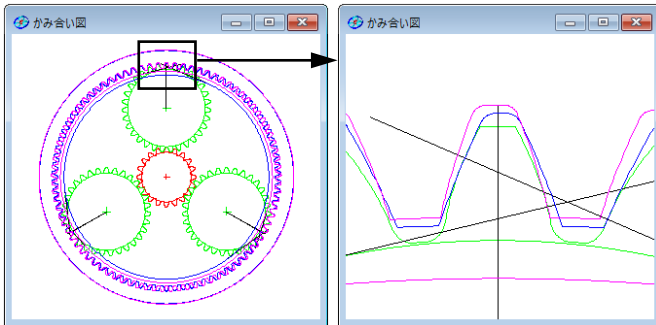


図 5.33 かみ合い図

図 5.34 部分拡大

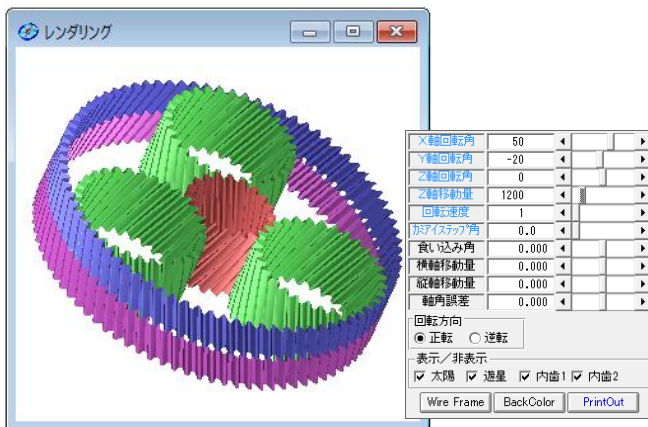


図 5.35 レンダリング(減速比 135)

### 5.11.3 平歯車不思議遊星の例

- (1) 歯車強度計算やすべり率そしてヘルツ応力グラフは、遊星歯車と同様に計算することができます。(説明省略)
- (2) 平歯車の不思議遊星歯車の作図例を図 5.36 に示します。

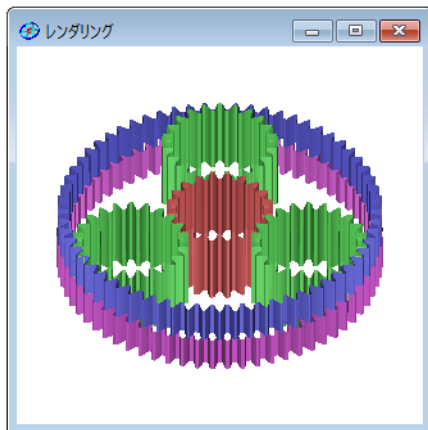


図 5.36 レンダリング(平歯車, 減速比 93.8)

### 5.12 少歯数 (オプション)

歯数が 4 歯以下の遊星歯車を設計することができます。最小歯数は 1 歯です。少歯数の場合は、正面かみ合い率が小さくなるた

め、ねじれ角を大きくする必要があります。以下に太陽歯数が 1、遊星歯数が 2、内歯車の歯数が 5 の遊星歯車の作図例を示します。

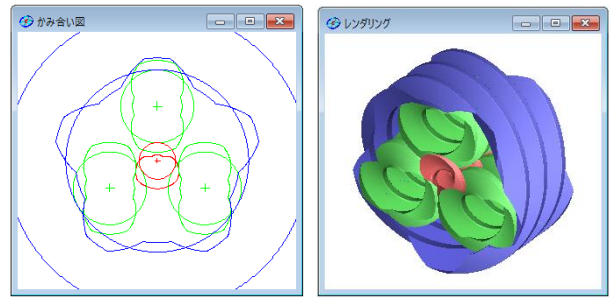


図 5.37 少歯数例(2D)

図 5.38 少歯数例(3D)

### 5.13 ダブルピニオン (オプション)

図 5.2 プロパティでダブルピニオンを設定します。以下に設計例を示します。

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
入出力	---	---	入力	出力	出力	固定
設計速比(減速)	io	---	---	---	---	---
歯車の個数	N	---	1	3	3	1
歯数	Z	---	18	12	13	51
実速比(減速)	i	---	---	-1.89393	---	---
速比誤差	$\Delta i$	%	0.0000	---	---	---
圧力角	$\alpha_n$	deg	20.0000	---	---	---
ねじれ角	$\beta$	deg	20	0	0.00	---
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	左ねじれ	右ねじれ	右ねじれ
中心距離	a	mm	20.00000	16.66667	25.33333	---
モジュール	mn	mm	---	1.25000	---	---
転位係数	xn	---	0.01505	0.02258	0.00878	0.05643
歯幅	b	mm	15.00000	15.00000	15.00000	15.00000
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0430	0.0380	0.0390	0.0560
オホーゼリ径	dp	mm	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
歯先円直径	da	mm	26.48162	18.51912	19.81484	65.80000
歯底円直径	df	mm	20.85662	12.89412	14.18984	71.10741
歯先R	ra	mm	0.10000	0.10000	0.10000	0.20000
歯底R	rf	mm	0.46875	0.46875	0.30000	0.30000

図 5.39 諸元設定

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
正面圧力角	$\alpha_t$	deg	21.172832	---	---	---
基準円歯ねじれ角	$\beta_b$	deg	18.747237	---	---	---
正面法線ピッチ	Pbt	mm	3.8963	---	---	---
歯面角法線ピッチ	Pbn	mm	3.8902	---	---	---
リード	pz	mm	206.6716	137.7810	149.2628	585.5694
基準円直径	db	mm	22.3277	14.8851	16.1255	63.2617
基準円直径	d	mm	23.9440	15.3627	17.2929	67.8413
最小有効直径(1F)	dt	mm	22.3868	14.8937	16.1289	66.0833
最大有効直径	dh	mm	26.3877	18.4384	19.7294	70.7744
歯末のたけ	ha	mm	1.2668	1.2782	1.2610	1.0207
歯元のたけ	hf	mm	1.6437	1.5343	1.5515	1.6390
全歯たけ	h	mm	2.8125	2.8125	2.8125	2.6537
転位量	xn	mm	0.0188	0.0282	0.0110	0.0705
歯切転位係数	xnc	---	-0.0352	-0.0219	-0.0368	0.1219

図 5.40 寸法

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
歯直円弧歯厚	sn	mm	1.9314	1.9436	1.9300	1.8526
正面円弧歯厚	st	mm	2.0554	2.0683	2.0538	1.9714
またぎ歯数	zm	---	3	2	2	7
基準またぎ歯厚	w	mm	9.6145	6.8054	6.8145	25.1002
設計またぎ歯厚	w'	mm	9.5715	6.7674	6.7755	25.1562
オホーゼリ径	dp	mm	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
基準オホーゼリ寸法	dm	mm	29.6053	21.4715	22.6690	0.0000
設計オホーゼリ寸法	dm'	mm	29.5215	21.4035	22.5394	60.4562
キャリア歯たけ	HJ	mm	1.3048	1.3326	1.3106	1.0137
基準キャリア歯厚	SJ	mm	1.9754	1.9801	1.9682	1.9120
設計キャリア歯厚	SJ'	mm	1.9293	1.9400	1.9270	1.8486

図 5.41 歯厚

寸法		歯厚		かみ合い		効率干渉	
項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	PLANET GEAR	PLANET And RING	
正面上かみ合い圧力角	$\alpha_{wt}$	deg	21.5154		21.5154		21.5153
かみ合い円筒間なれ角	$\beta_w$	deg	20.0431		20.0431		20.0431
かみ合いピッチ円直径	$d_w$	mm	24.0000	16.0000	16.0000	17.3333	17.3333 86.0000
有効歯幅	$b_w$	mm	15.0000		15.0000		15.0000
クリアランス	$ck$	mm	0.3121	0.3121	0.3122	0.3122	0.3130 0.4717
かみ合い長さ	$ea$	mm	5.1359		5.0102		5.4228
近寄りかみ合い率	$\epsilon_{a1}$	---	0.6428		0.6428		0.6428
遠のきかみ合い率	$\epsilon_{a2}$	---	0.6751		0.6428		0.7487
正面上かみ合い率	$\epsilon_{c2}$	---	1.3179		1.2857		1.3916
重なりかみ合い率	$\epsilon_{\beta}$	---	1.3064		1.3064		1.3064
全かみ合い率	$\epsilon_{\gamma}$	---	2.6244		2.5921		2.6900
滑り率(歯先側)	$\sigma_a$	---	0.9353	0.7676	0.8857	0.9183	0.3284 0.8929
滑り率(歯元側)	$\sigma_f$	---	-3.3033	-14.4604	-11.2336	-7.7498	-8.3337 -0.4890
正面上線方向バックラッシュ	$jnt$	mm	0.0855		0.0813		0.1003
バックラッシュ角度	$j\theta$	deg	0.4390	0.6585	0.6280	0.5778	0.7129 0.1817
入力軸回転バックラッシュ角度	$\Sigma j\theta$	deg			1.3711 (Sun)		
最大接触直径	$d_{js}$	mm	26.3877	18.4364	18.4364	19.7294	19.7294 89.3929
最小接触直径	$d_{jf}$	mm	22.6474	14.8375	14.8375	16.1617	16.1340 86.0833

図 5.42 かみ合い

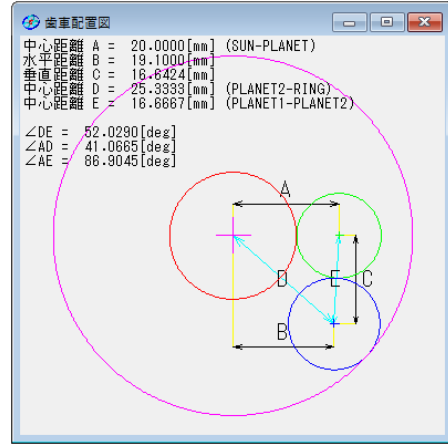


図 5.46 歯車の配置

寸法		歯厚		かみ合い		効率干渉	
効率							0.9248
RING GEAR 干渉							
項目							RING
インボリュート干渉							発生しない。
トロコイド干渉							発生しない。
トリミング							発生しない。
クリアランス (mm)							
SUN歯先とPLANET歯底			0.3121 (mm)				
PLANET歯先とSUN歯底			0.3121 (mm)				
PLANET歯先とRING歯底			0.3122 (mm)				
RING歯先とPLANET歯底			0.3122 (mm)				
PLANET歯先とRING2歯底			0.3130 (mm)				
RING2歯先とPLANET歯底			0.4717 (mm)				
回転比							
SUN			PLANET		PLANET		CARRIER
			1.0000		-2.8636		1.5944
							-0.5455
							0.0000

図 5.43 干渉&効率

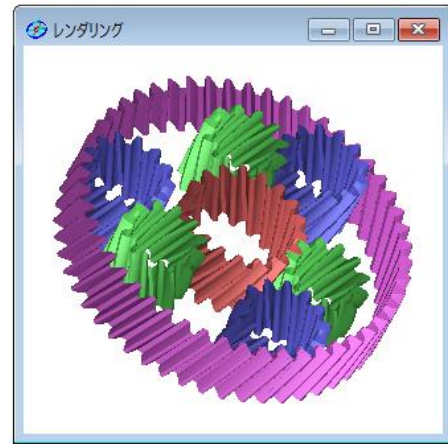


図 5.47 歯形レンダリング

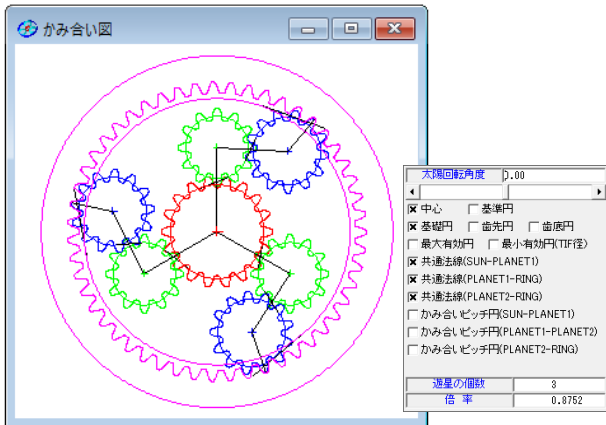


図 5.44 かみ合い 1(2D)

強度計算結果		歯面強度				
項目(曲げ強度)	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
許容曲げ応力	$\sigma_{Flim}$	MPa	480.5000	480.5000	480.5000	480.5000
曲げ有効歯幅	$b'$	mm	15.0000	15.0000	15.0000	15.0000
歯形係数	YF	---	2.8091	3.2102	3.2936	2.0650
荷重分布係数	Y $\epsilon$	---	0.7588	0.7778	0.7778	0.7186
ねじれ角係数	Y $\beta$	---	0.8333	0.8333	0.8333	0.8333
寿命係数	KL	---	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
寸法係数	KFx	---	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
動荷重係数	Kv	---	1.0942	1.0942	1.0942	1.0942
速度補正係数	KVo	---	---	---	---	---
温度係数	KT	---	---	---	---	---
潤滑係数	KLo	---	---	---	---	---
材質係数	KM	---	---	---	---	---
呼び円周力	Ft	N	1888.8880	1862.1708	1832.4988	1821.3256
許容円周力	Ftlim	N	8862.3636	3297.6611	3208.2736	5548.5157
曲げ強度	Sft	---	2.7813	2.4209	2.4077	4.1392
歯元曲げ応力	$\sigma_F$	MPa	172.7568	196.4810	199.5672	114.4264

図 5.48 強度結果(曲げ)

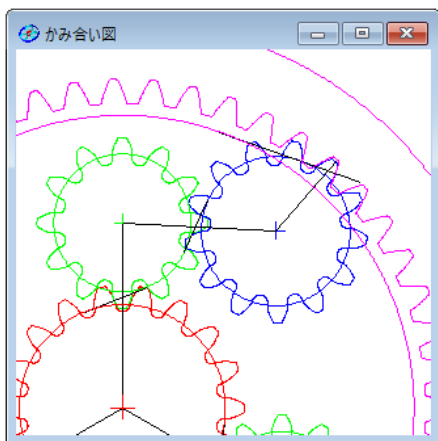


図 5.45 かみ合い 2(2D 拡大)

強度計算結果		歯面強度				
項目(歯面強度)	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
許容ヘルツ応力	$\sigma_{Hlim}$	MPa	1275.0001	1275.0001	1275.0001	1275.0001
歯面有効歯幅	$b_w$	mm	15.0000	15.0000	15.0000	15.0000
接触係数	ZH	---	2.3505	2.3505	2.3505	2.3505
材料定数係数	ZM (MPa) <sup>0.5</sup>	---	189.8000	189.8000	189.8000	189.8000
かみ合い率係数	Z $\epsilon$	---	0.8711	0.8819	0.8819	0.8477
寿命係数	NHL	---	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
粗さ係数	ZR	---	0.9109	0.9067	0.9067	0.9165
潤滑係数	ZV	---	0.9649	0.9649	0.9649	0.9649
螺旋比係数	Z $\beta$	---	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
荷重分布係数	KH $\beta$	---	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
動荷重係数	Kv	---	1.0938	1.0938	1.0938	1.0938
弾性係数	E	---	---	---	---	---
呼び円周力	Fc	N	1892.1371	1865.3566	1835.8165	1824.4158
許容円周力	Fclim	N	825.3408	691.8104	691.8104	2139.0299
歯面強度	sfc	---	0.5933	0.5087	0.5100	1.6151
ヘルツ応力	$\sigma_H$	MPa	1855.3000	1781.1822	1771.5669	1003.2611

図 5.49 強度結果(歯面)

歯形データファイル出力や、すべり率グラフなどは基本ソフトウェアと同じです。

## 5.14 不等配置遊星歯車 (オプション)

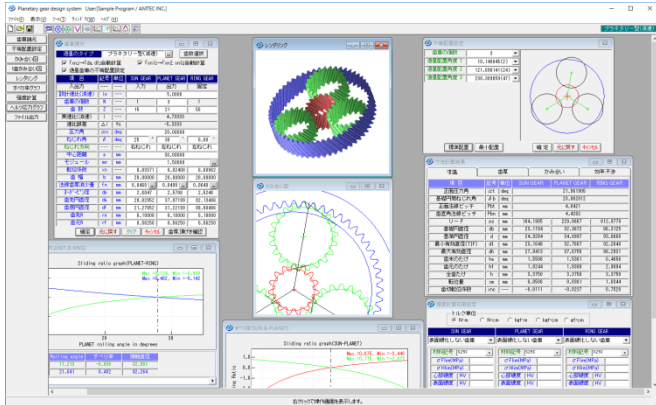


図 5.50 不等配置遊星設計例

### 5.14.1 不等配置遊星歯車の概要

Planetary gear design systemのオプションとして「不等配置遊星歯車」を設けました。

### 5.14.2 不等配置遊星歯車の設計例

プラネタリー型(減速)の不等配置の設計例を以下に示します。

図 5.51 の場合、等配置の条件では太陽歯数 15、遊星歯数 21、内歯車歯数 57 となりますが、ここで内歯車歯数を 56 とする場合は、図 5.51 の不等配置の設定を  遊星歯車の不等配置設定 とすることで計算可能となります。

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
入出力	---	---	入力	出力	固定
設計速比(減速)	io	---		5.0000	
歯車の個数	N	---	1	3	1
歯数	Z	---	15	21	57
実速比(減速)	i	---		4.80000	
速比誤差	$\Delta i$	%		-4.0000	
圧力角	$\alpha_n$	deg		20.00000	
ねじれ角	$\beta$	deg	25	30	0.00
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	左ねじれ	左ねじれ
中心距離	a	mm		30.00000	
モジュール	m <sub>n</sub>	mm		1.50000	
転位係数	x <sub>n</sub>	---	0.03371	0.02408	0.08187
歯幅	b	mm	20.00000	20.00000	20.00000
法線歯厚減少量	f <sub>n</sub>	mm	0.0460	0.0490	0.0640
オグーベシ径	dp	mm	2.6047	2.5708	2.5246
歯先円直径	da	mm	28.02952	37.97199	91.97350
歯根円直径	df	mm	21.27952	31.22199	98.72350
歯先R	ra	mm	0.10000	0.10000	0.10000
歯元R	rf	mm	0.56250	0.56250	0.56250

図 5.51 等配置遊星歯車の諸元

内歯車の歯数を 56 に変更した入力画面を図 5.52 に示します。モジュールは図 5.51 と同じく  $m_n 1.5$  にしていますので内歯車の転位係数が少し大きくなっています。例題では、はずば歯車について示していますが平衡車も設計することができます。

また、[歯厚・頂げき確認]の機能も使用可能ですが、ここでは説明を省略します。詳しくは図 5.6 をご覧ください。図 5.53~5.55 に寸法結果等を示します。

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
入出力	---	---	入力	出力	固定
設計速比(減速)	io	---		5.0000	
歯車の個数	N	---	1	3	1
歯数	Z	---	15	21	56
実速比(減速)	i	---		4.73333	
速比誤差	$\Delta i$	%		-5.3333	
圧力角	$\alpha_n$	deg		20.00000	
ねじれ角	$\beta$	deg	25	30	0.00
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	左ねじれ	左ねじれ
中心距離	a	mm		30.00000	
モジュール	m <sub>n</sub>	mm		1.50000	
転位係数	x <sub>n</sub>	---	0.03371	0.02408	0.08962
歯幅	b	mm	20.00000	20.00000	20.00000
法線歯厚減少量	f <sub>n</sub>	mm	0.0460	0.0490	0.0640
オグーベシ径	dp	mm	2.6047	2.5708	2.5246
歯先円直径	da	mm	28.02952	37.97199	92.13486
歯根円直径	df	mm	21.27952	31.22199	98.88486
歯先R	ra	mm	0.10000	0.10000	0.10000
歯元R	rf	mm	0.56250	0.56250	0.56250

図 5.52 不等配置遊星歯車の諸元

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
正面圧力角	$\alpha_t$	deg		21.961905	
基礎円間ねじれ角	$\beta_b$	deg		23.862012	
正面法線ピッチ	Pbt	mm		4.8421	
歯面角法線ピッチ	Pbn	mm		4.4282	
リード	pz	mm	164.1905	229.8667	612.9779
基礎円直径	db	mm	23.1194	32.3672	88.3125
基準円直径	d	mm	24.9284	34.8997	93.0660
最小有効歯径(TIF)	dt	mm	23.1648	32.7667	92.2840
最大有効歯径	dh	mm	27.9413	37.8755	98.2931
歯元のたけ	ha	mm	1.5506	1.5361	0.4656
歯元のたけ	hf	mm	1.8244	1.8389	2.3094
全歯たけ	h	mm	3.3750	3.3750	3.3750
転位量	x <sub>m</sub>	mm	0.0506	0.0361	1.0344
歯根転位係数	x <sub>nc</sub>	---	-0.0111	-0.0237	0.7520

図 5.53 寸法結果[不等配置]

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
正面かみ合い圧力角	$\alpha_{wt}$	deg	22.3654		25.9615
かみ合い円間ねじれ角	$\beta_w$	deg	25.5639		26.1978
かみ合いピッチ円直径	dw	mm	25.0000	35.0000	36.0000
有効歯幅	b <sub>w</sub>	mm	20.0000		20.0000
クリアランス	ck	mm	0.3742	0.3742	0.4564
かみ合い長さ	ea	mm	6.2653		6.6678
近寄りかみ合い率	$\epsilon_{a1}$	---	0.6559		0.9732
遠のきかみ合い率	$\epsilon_{a2}$	---	0.6380		0.4038
正面かみ合い率	$\epsilon_{\alpha}$	---	1.2939		1.3770
重なりかみ合い率	$\epsilon_{\beta}$	---	1.8271		1.8271
全かみ合い率	$\epsilon_{\gamma}$	---	3.1211		3.2042
滑り率(歯先側)	$\sigma_a$	---	0.6750	0.7751	0.1243
滑り率(歯元側)	$\sigma_f$	---	-3.4456	-2.0769	-0.3293
正面法線方向バックラッシュ	j <sub>nt</sub>	mm	0.1039		0.1236
バックラッシュ角度	j $\theta$	deg	0.5149	0.3678	0.4374
入力軸回転バックラッシュ角度	$\Sigma j\theta$	deg		1.1273 (Sun)	
最大接触直径	d <sub>ja</sub>	mm	27.9413	37.8755	37.8755
最小接触直径	d <sub>jf</sub>	mm	23.3344	33.1452	32.9812

図 5.54 かみ合い数値[不等配置]

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR	CARRIER
効率			0.9834			
RING GEAR 干渉						
インボリュート干渉			発生しない。			
トロコイド干渉			発生しない。			
トリミング			発生しない。			
クリアランス (mm)						
SUN歯先とPLANET歯底			0.3742 (mm)			
PLANET歯先とSUN歯底			0.3742 (mm)			
PLANET歯先とRING歯底			0.4564 (mm)			
RING歯先とPLANET歯底			0.4564 (mm)			
回転比						
SUN			1.0000			
PLANET				-0.3521		
RING					0.0000	
CARRIER						0.2113

図 5.55 干渉効率[不等配置]

ツールバーの **不等配置設定** をクリックすることで図 5.56 を表示します。不等配置の表示は、図 5.56 の[A1]歯車が基準歯車となります。また、不等配置角度は任意に入力することができますので図 5.57 の[B]に示す角度表の中から選択します。遊星歯車の配置角度は、例題の場合、71 種類存在します。

図 5.56 の[最小配置]をクリックすると[A2]歯車と[A3]歯車の歯先円が接することがないように配置した図を図 5.58 に示します。

今、図 5.57 の[B]の角度の中から 2 番目の 10.1408 度を選択した場合の歯形かみ合いを図 5.59 に、[C]の拡大図を図 5.60 に、また、歯形レンダリングを図 5.61 に示します。

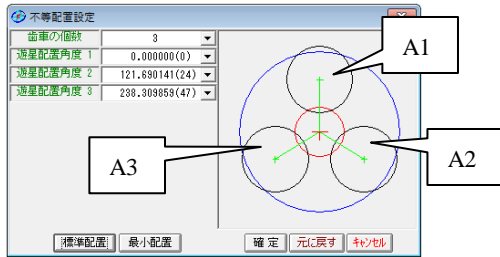


図 5.56 不等配置 1

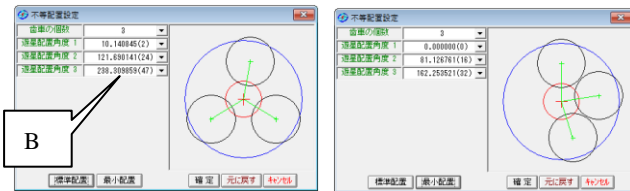


図 5.57 不等配置 2

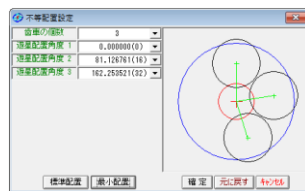


図 5.58 不等配置 3

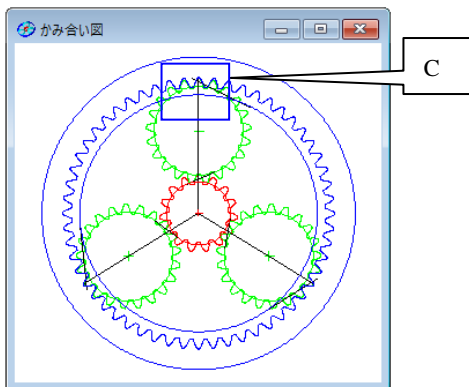


図 5.59 不等配置かみ合い

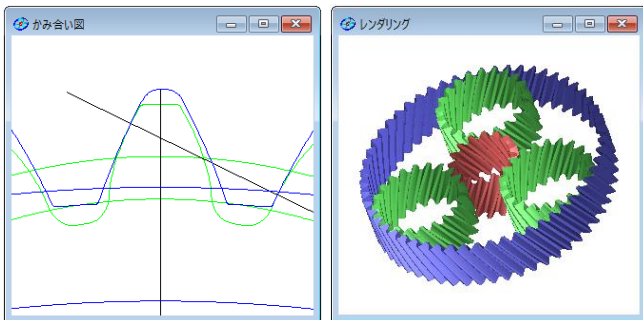


図 5.60 かみ合い[C]部

図 5.61 レンダリング

その他、強度計算、歯形データファイル出力などは基本ソフトウェアと同じです。遊星の個数を 5 としたときの計算例を図 5.62 ~ 5.64 に示します。

項目	記号	単位	SUN GEAR	PLANET GEAR	RING GEAR
入出力	---	---	入力	出力	固定
設計速比(減速)	io	---	---	5.0000	---
歯車の個数	N	---	1	5	1
歯数	Z	---	18	14	45
実速比(減速)	i	---	---	3.81250	---
速比誤差	$\Delta i$	%	---	-23.7500	---
圧力角	$\alpha_n$	deg	---	20.00000	---
ねじれ角	$\beta$	deg	20	30	0.00
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	左ねじれ	左ねじれ
中心距離	a	mm	---	30.00000	---
モジュール	mn	mm	---	1.80000	---
転位係数	xn	---	0.34113	0.38987	0.51135
歯幅	b	mm	20.00000	20.00000	20.00000
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0480	0.0490	0.0640
外口径	do	mm	2.8047	2.5708	2.5246
歯先円直径	da	mm	35.57522	31.90729	84.71722
歯頂円直径	df	mm	27.47522	23.80729	92.81722
歯先R	ra	mm	0.10000	0.10000	0.10000
歯元R	rf	mm	0.58250	0.58250	0.58250

図 5.62 不等配置設計例 2

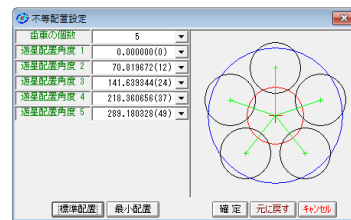


図 5.63 不等配置角度

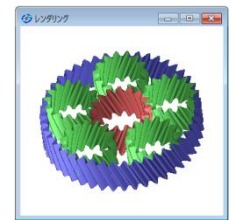


図 5.64 歯形レンダリング

### 5.15 歯形データファイル出力

生成した歯車の歯形は図 5.65 でファイル出力することができます。図 5.66 および図 5.67 に CAD 作図例を示します。



図 5.65 ファイル出力 (歯形データ)

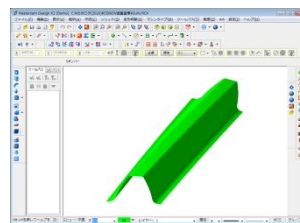


図 5.66 CAD 作図例 (太陽)

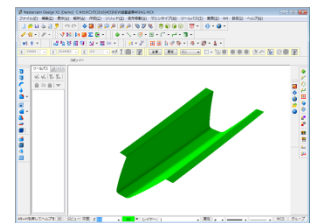


図 5.67 CAD 作図例 (内歯)

### 5.16 HELP 機能

操作方法を知りたい場合は[HELP]機能を使うことができます。

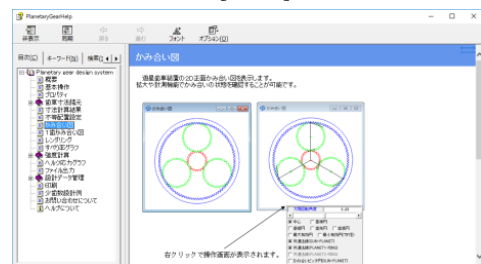


図 5.68 HELP 機能