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

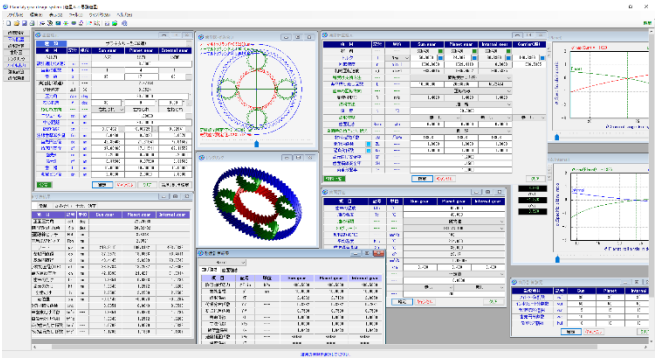


図 5.1　Planetary gear design system

5.1 概要

「**Planetary gear design system（遊星＆不思議遊星）**」を新しく開発しました. 本ソフトウェアは, 従来のソフトウェアと同様, 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.

遊星歯車機構は，歯数の組み合わせや位相，歯形偏差や歯すじ偏差，そして負荷が作用したときの端部接触による影響も起振力に影響を及ぼします．遊星歯車機構がどれ程，安定しているかを知るためには起振力を知ることが重要です．また，転位係数と効率の関係も 1 つのグラフとして表す機能を持つ**[49]遊星歯車機構の起振力解析システム**も是非，ご覧ください.

5.2 適用

(1)型 式　　：等配置型
　　：遊星(プラネタリー，ソーラ，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)，小歯数，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）

図 5.2 のようにプロパティで，遊星の種類，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.

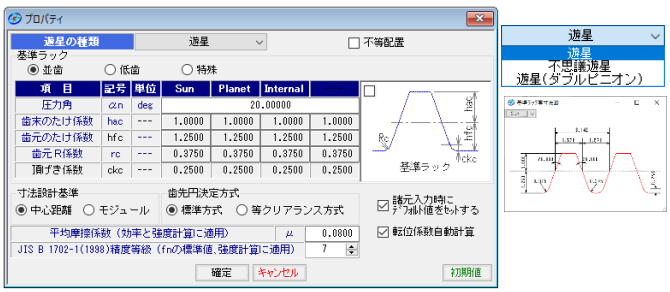


図 5.2　プロパティ

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).

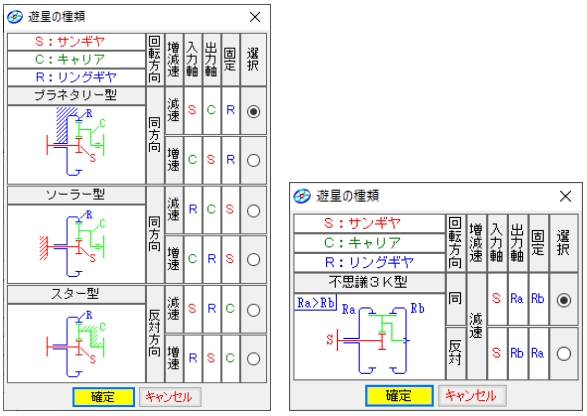


図 5.3　遊星歯車のタイプ

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，任意に変更は可能です.
(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 種を変更すると他の歯車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. 最適な転位係数決定のため図 5.4 右下の 歯厚,頂げき設定 で図 5.6 のように歯形，かみ合い率，すべり率，そして干渉発生の有無を確認することができます.

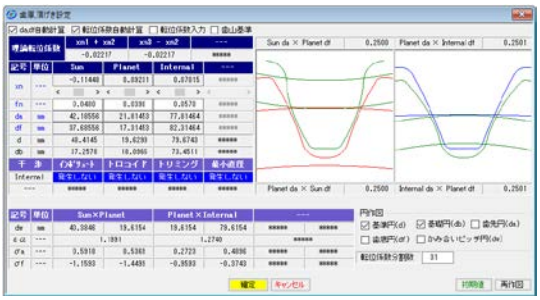
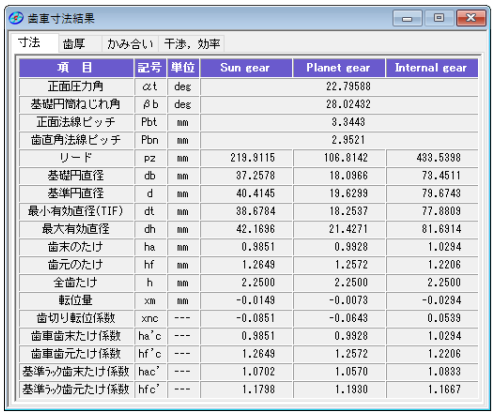


図 5.6　歯厚，頂げき確認（補助設定）

5.5 歯車寸法

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



歯車寸法結果

寸法　歯厚　かみ合い　干渉，効率

項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear	Internal gear
正面圧力角	αt	deg	22.79508		
基礎円筒ねじれ角	βb	deg	28.02432		
正面法線ピッチ	Pbt	mm	3.3443		
歯直角法線ピッチ	Pbn	mm	2.9521		
リード	pz	mm	219.9115	108.8142	433.5398
基礎円直径	db	mm	37.2578	18.0966	73.4511
基準円直径	d	mm	40.4145	19.6299	79.6743
最小有効直径(TIF)	dt	mm	38.6784	18.2537	77.8809
最大有効直径	dh	mm	42.1696	21.4271	81.6914
歯末のたけ	ha	mm	0.9851	0.9928	1.0294
歯元のたけ	hf	mm	1.2649	1.2572	1.2206
全歯たけ	h	mm	2.2500	2.2500	2.2500
転位量	xm	mm	-0.0149	-0.0073	-0.0294
歯切り転位係数	xnc	---	-0.0851	-0.0843	0.0539
歯車歯末たけ係数	ha'c	---	0.9851	0.9928	1.0294
歯車歯元たけ係数	hf'c	---	1.2649	1.2572	1.2206
基準ﾗｯｸ歯末たけ係数	hac'	---	1.0702	1.0570	1.0833
基準ﾗｯｸ歯元たけ係数	hfc'	---	1.1798	1.1930	1.1667

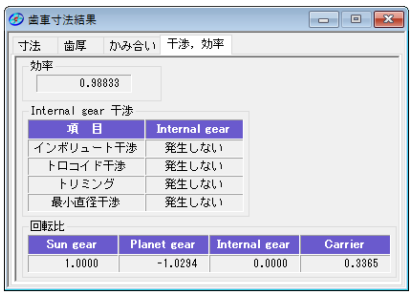
図 5.7　寸法

歯車寸法結果

寸法　歯厚　かみ合い　干渉，効率

項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear	Internal gear
歯直角円弧歯厚	sn	mm	1.5089	1.5240	1.5315
正面円弧歯厚	st	mm	1.7423	1.7598	1.7685
またぎ歯数	zm	---	6	3	12
基準またぎ歯厚	W	mm	16.9637	7.7334	35.3827
設計またぎ歯厚	W'	mm	16.9157	7.6944	35.4397
測定ピン径	dp	mm	2.0000	2.0000	2.0000
基準ｵｰﾊﾞｰﾋﾟﾝ寸法	dm	mm	43.7525	22.8483	75.9536
設計ｵｰﾊﾞｰﾋﾟﾝ寸法	dm'	mm	43.6320	22.7603	76.1442
キャリパ歯たけ	hj	mm	0.8964	1.0162	1.0253
基準キャリパ歯厚	Sj	mm	1.5597	1.5646	1.5921
設計キャリパ歯厚	Sj'	mm	1.5087	1.5233	1.5221

図 5.8　歯厚関係



歯車寸法結果

寸法　歯厚　かみ合い　干渉，効率

効率

0.98833

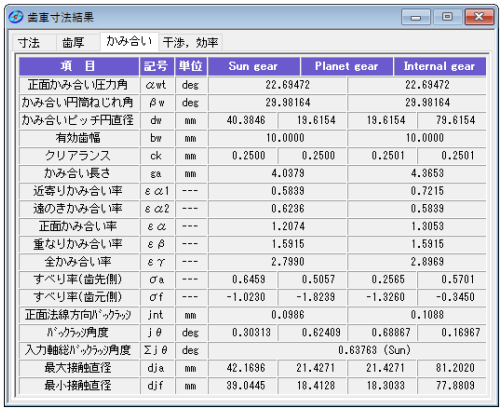
Internal gear 干渉

項　目	Internal gear
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
最小直径干渉	発生しない

回転比

Sun gear	Planet gear	Internal gear	Carrier
1.0000	-1.0294	0.0000	0.3365

図 5.9　効率，干渉等



歯車寸法結果

寸法　歯厚　かみ合い　干渉，効率

項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear	Internal gear	
正面かみ合い圧力角	αwt	deg	22.69472		22.69472	
かみ合い円筒ねじれ角	βw	deg	29.98164		29.98164	
かみ合いピッチ円直径	dw	mm	40.3846	19.6154	19.6154	79.6154
有効歯幅	bw	mm	10.0000		10.0000	
クリアランス	ck	mm	0.2500	0.2500	0.2501	0.2501
かみ合い長さ	ga	mm	4.0379		4.3653	
近寄りかみ合い率	εα1	---	0.5839		0.7215	
遠のきかみ合い率	εα2	---	0.6236		0.5839	
正面かみ合い率	εα	---	1.2074		1.3053	
重なりかみ合い率	εβ	---	1.5915		1.5915	
全かみ合い率	εγ	---	2.7990		2.8969	
すべり率(歯先側)	σa	---	0.6459	0.5057	0.2565	0.5701
すべり率(歯元側)	σf	---	-1.0230	-1.8239	-1.3260	-0.3450
正面法線方向ﾊﾞｯｸﾗｯｼ	jnt	mm	0.0986		0.1088	
ﾊﾞｯｸﾗｯｼ角度	jθ	deg	0.30313	0.62409	0.68867	0.16967
入力軸総ﾊﾞｯｸﾗｯｼ角度	Σjθ	deg	0.63763 (Sun)			
最大接触直径	dja	mm	42.1696	21.4271	21.4271	81.2020
最小接触直径	djf	mm	39.0445	18.4128	18.3033	77.8809

図 5.10　かみ合い

5.6 歯形作図

5.6.1 かみ合い図

歯車のかみ合いを図 5.11 および図 5.12 のように 2 次元図で表示します. 操作補助画面で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ることや拡大表示することができます.

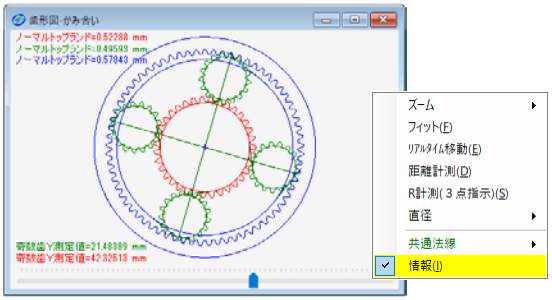


図 5.11　かみ合い図

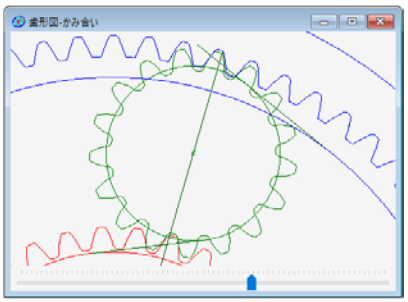


図 5.12　かみ合い拡大

5.6.2 レンダリング

歯車のかみ合いを図5.13のように3次元図で表示することができ歯車を回転させることができます.

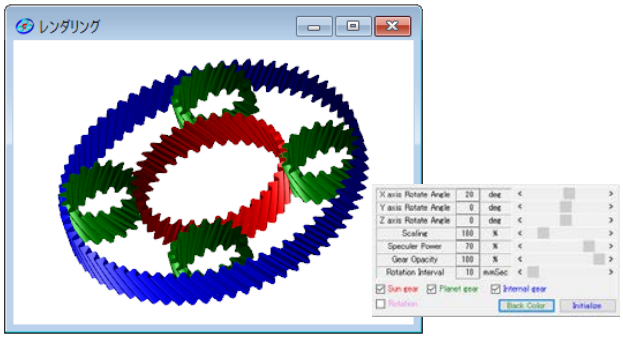


図 5.13　歯形レンダリング

5.7 寸法公差（オプション）

寸法公差を図5.14で設定することにより図5.15のように正面かみ合い率，すべり率，干渉などを計算し表示します．

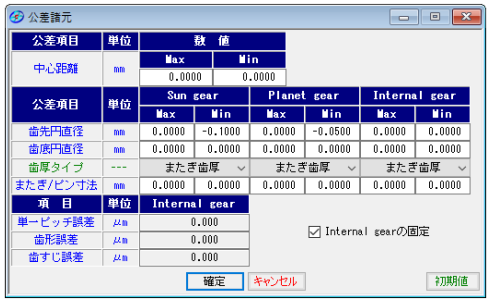


図 5.14　寸法公差設定

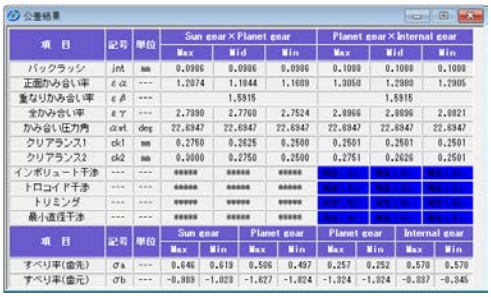


図 5.15　公差を含む寸法など

5.8 歯車強度

5.8.1 強度初期設定

図 5.16 の強度諸元設定画面と図 5.17 で，金属材料と樹脂材料を選択することができます．鋼材料の場合，図 5.18 のように許容応力の σ_{Flim} と σ_{Hlim} を表中から選択することができます．また，樹脂材料も任意材料（オプション）で設定することができます．図 5.19 に入力した材料一覧を示します．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，トルク，回転速度は入力側，出力側のどちらでも入力可能です．

図 5.16　強度諸元入力

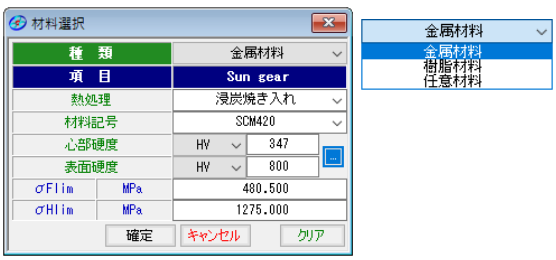


図 5.17　材料設定

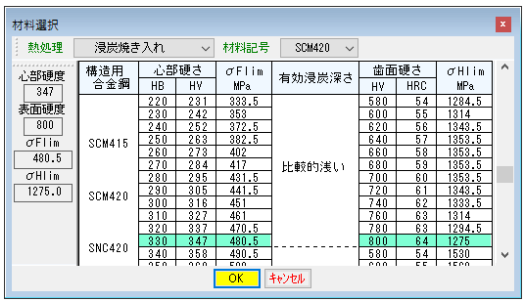


図 5.18　材料選択

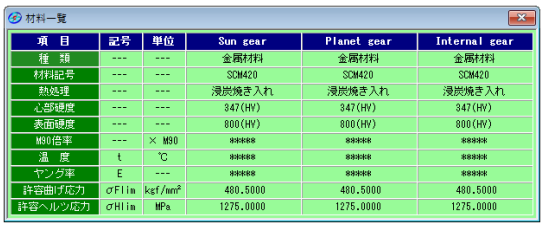


図 5.19　材料一覧

強度計算結果画面を図 5.20 および図 5.21 に示します．強度計算は効率やかみ合い率を考慮し，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．

図 5.20　強度計算結果（曲げ）

図 5.21　強度計算結果（歯面）

5.9 歯面評価

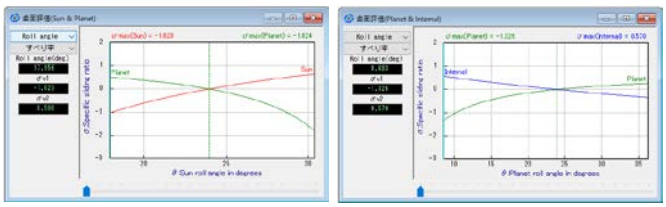
歯面評価では，すべり率，ヘルツ応力，油膜厚さ，接触温度，すべり速度，すべり速度図を表示します．これらの計算結果は，歯面修整には適応していません．また油膜厚さ，接触温度（歯車

温度+フラッシュ温度）は，AGMA2001-C95, Annex A に基づく計算結果です．そのため歯面修整量や荷重分担などを考慮した厳密な解析は**[45]CT-FEM Opera iii**をお使いください．

図 5.22 の油の種類は，鉱物油，合成油を選択でき ISO グレードも選択（任意設定可）することができます．また，摩擦係数は，一定値，ISO，AGMA 方式の中から選択することができます．

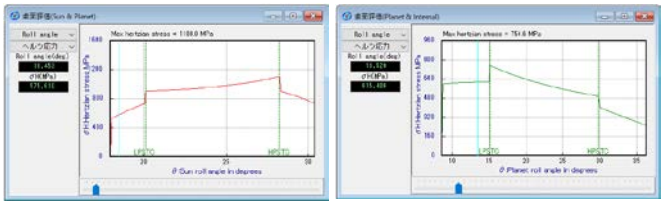
図 5.23～5.28 に，すべり率，ヘルツ応力グラフ等を示しますが，横目盛はロールアングルと作用線長さの切り換えができます．また，図 5.25 の油膜厚さから摩耗の発生確率を，図 5.26 の接触温度からスカッフィングの発生確率を計算します．

図 5.22　歯面評価（設定）



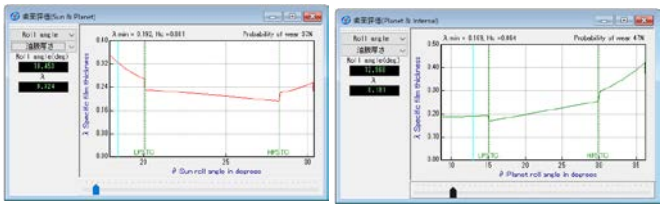
(a) sun×planet　(b) planet×ring

図 5.23　すべり率



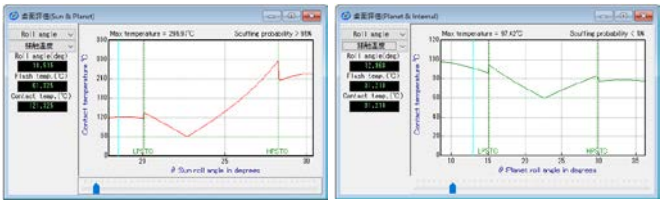
(a) sun×planet　(b) planet×ring

図 5.24　ヘルツ応力



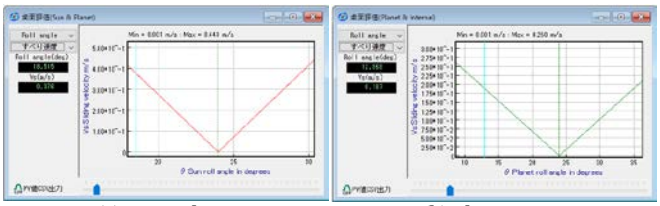
(a) sun×planet　(b) planet×ring

図 5.25　油膜厚さ



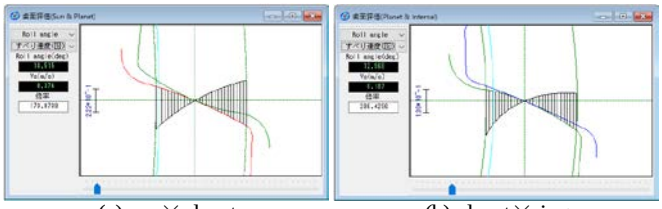
(a) sun×planet　(b) planet×ring

図 5.26　接触温度（歯車温度+フラッシュ温度）



(a) sun×planet　(b) planet×ring

図 5.27　すべり速度 1



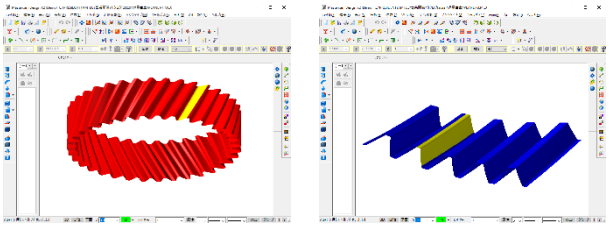
(a) sun×planet　(b) planet×ring

図 5.28　すべり速度 2

5. 10 歯形出力

生成した歯形は，図 5.29 のファイル形式で出力することができます．3D-IGES の場合，歯形を一体型と分割型を選択することができ，分割型の場合は歯元フィレット部，インボリュート歯面，歯先 R，歯先部に分割して出力します．図 5.30 および図 5.31 に CAD 作図例を示します．

図 5.29　歯形ファイル形式



(a) 太陽歯車　(b) 内歯車

図 5.30　CAD 作図例（3D-iges）

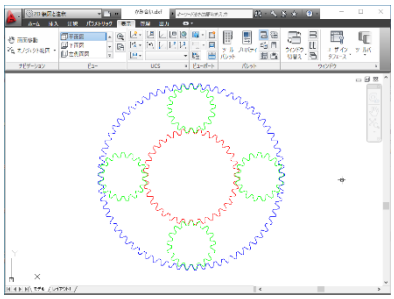


図 5.31　CAD 作図例（dxf）

5. 11 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．例えば，レンダリング表示について知りたい場合は，レンダリングフォームをアクティブにして[F1]キーを押すことにより図 5.32 のように説明画像を表示します．また，「ヘルプ」，目次，インデックスでも説明画像を表示することができます．

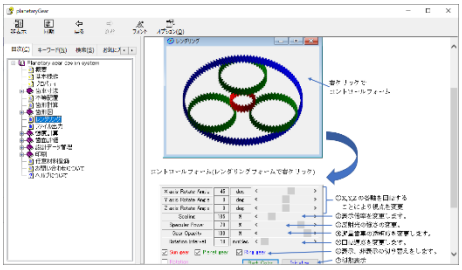


図 5.32　HELP 機能

5.12 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 型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．

5.12.1 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 5.2 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 5.33 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 5.34 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 α=20，β=20，m=1 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し，任意モジュールにも変更することができます．図 5.33 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，歯たけや歯厚の状態を確認し変更することができます．

入力画面右下の 歯厚,頂げき設定 ボタンを押すと，図 5.35 の歯厚，頂げき設定（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後，歯車寸法を確定します．

(8) 図 5.36～5.39 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 5.39 に示すように 71.5%となります．

(9) 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で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．

種　類			不思議遊星(減速)同方向			
項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear	Internal gear1	Internal gear2
入出力	---	---	入力	---	固定	出力
設計速比(減速)	io	---	135.0000			
歯車の個数	N	---	1	3	1	1
歯　数	z	---	20	31	82	85
実速比(減速)	i	---	144.50000			
速比誤差	Δi	%	7.0370			
圧力角	αn	deg	20.00000			
ねじれ角	β	deg	20 °	0 °	0.00 °	
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	左ねじれ	左ねじれ	左ねじれ
モジュール	mn	mm	1.00000			
中心距離	a	mm	27.55762			
転位係数	xn	---	0.26858	0.17328	0.61513	-0.81387
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0390	0.0440	0.0580	0.0590
歯先円直径	da	mm	23.82072	35.33607	86.49284	86.82737
歯底円直径	df	mm	19.32072	30.83607	90.99284	91.32737
歯先R	ra	mm	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
歯元R	rf	mm	0.37500	0.37500	0.30000	0.30000
歯　幅	b	mm	20.00000	20.00000	10.00000	10.00000
測定ピン径	dp	mm	1.8180	1.7370	1.6810	1.5728

公差　確定　キャンセル　クリア　歯厚,頂げき設定

図 5.33　不思議 3K 遊星諸元入力

図 5.34　歯数選択

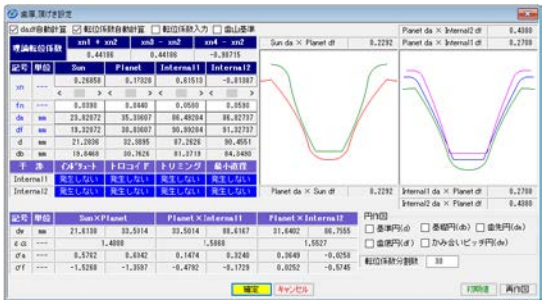
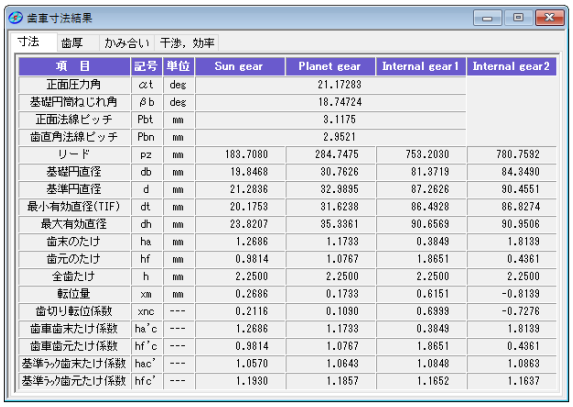


図 5.35　歯厚，頂げき設定（補助設定）



項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear	Internal gear1	Internal gear2
正面圧力角	αt	deg	21.17283			
基礎円筒ねじれ角	βb	deg	18.74724			
正面法線ピッチ	Pbt	mm	3.1175			
歯直角法線ピッチ	Pbn	mm	2.9521			
リード	pz	mm	183.7080	284.7475	753.2030	780.7592
基礎円直径	db	mm	19.8468	30.7626	81.3719	84.3490
基準円直径	d	mm	21.2836	32.9895	87.2626	90.4551
最小有効直径(TIF)	dt	mm	20.1753	31.6238	86.4928	86.8274
最大有効直径	dh	mm	23.8207	35.3361	90.6569	90.9506
歯末のたけ	ha	mm	1.2686	1.1733	0.3849	1.8139
歯元のたけ	hf	mm	0.9814	1.0767	1.8651	0.4361
全歯たけ	h	mm	2.2500	2.2500	2.2500	2.2500
転位量	xm	mm	0.2686	0.1733	0.6151	-0.8139
歯切り転位係数	xnc	---	0.2116	0.1090	0.6999	-0.7276
歯車歯末たけ係数	ha'c	---	1.2686	1.1733	0.3849	1.8139
歯車歯元たけ係数	hf'c	---	0.9814	1.0767	1.8651	0.4361
基準ラック歯末たけ係数	hac'	---	1.0570	1.0643	1.0848	1.0863
基準ラック歯元たけ係数	hfc'	---	1.1930	1.1857	1.1652	1.1637

図 5.36　歯車寸法

図 5.37　歯厚

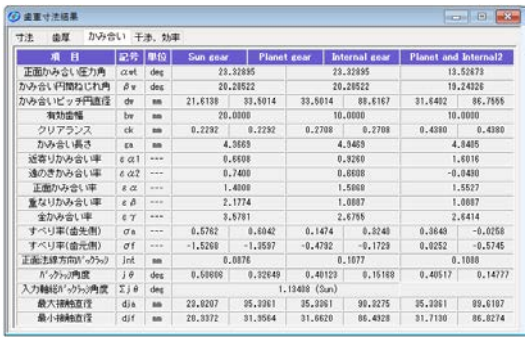


図 5.38　かみ合い

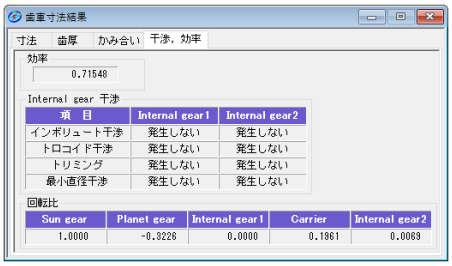


図 5.39　干渉関係

5.12.2 歯車かみ合い図

図 5.40 にかみ合い図を示します. 図 5.41 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や回転による歯のかみ合いが良く解ります．また，図 5.42 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.

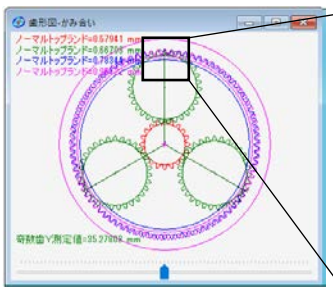


図 5.40　かみ合い図

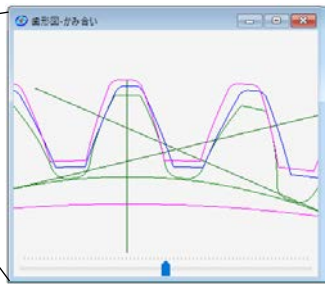


図 5.41　部分拡大

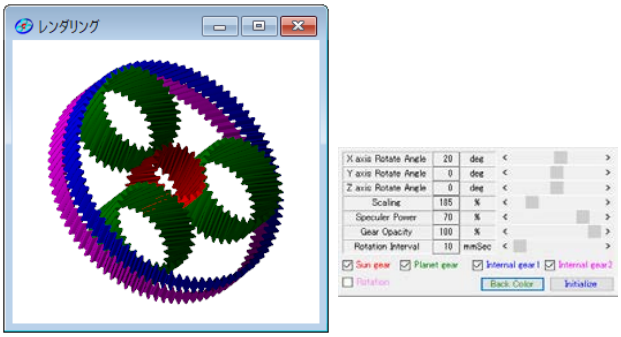
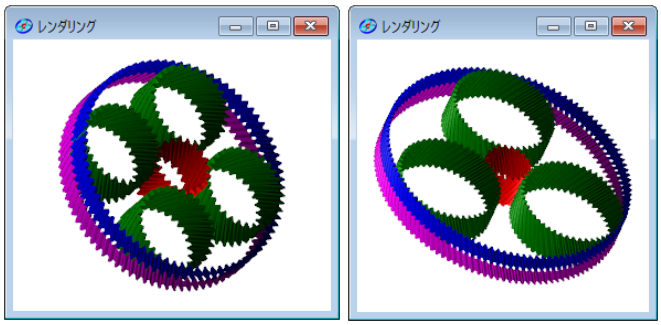


図 5.42　レンダリング(減速比 135)

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）．また，不思議遊星歯車の作図例を図 5.43 に示します.



i=105　　*i*=278

図 5.43　不思議遊星レンダリング作図例

5.13 小歯数（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．小歯数の場合は，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図 5.44 および図 5.45 に示します.

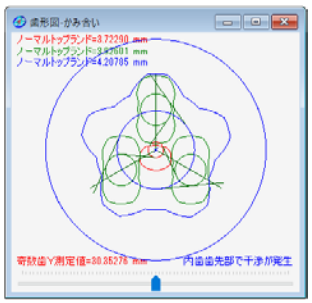


図 5.44　小歯数例(2D)

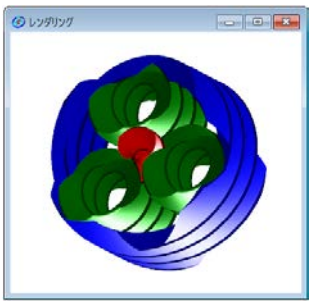


図 5.45　小歯数例(3D)

5.14 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（図 5.46～5.57 参照）.

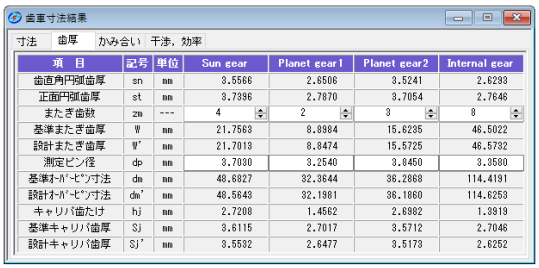
図 5.46　諸元設定

歯車寸法結果

寸法　歯厚　かみ合い　干渉，効率

項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear1	Planet gear2	Internal gear
正面圧力角	αt	deg	20.94100			
基礎円捩ねじれ角	βb	deg	18.88077			
正面法線ピッチ	Pbt	mm	6.1701			
歯直角法線ピッチ	Pbn	mm	5.9043			
リード	pz	mm	406.6563	284.6584	284.6584	1138.6376
基礎円直径	db	mm	39.2802	27.4962	27.4962	109.9847
基準円直径	d	mm	42.0595	29.4409	29.4409	117.7638
最小有効直径(TIF)	df	mm	38.8803	27.5555	27.6180	115.3798
最大有効直径	dh	mm	47.0090	31.9425	34.3970	123.1323
歯末のたけ	ha	mm	2.8505	1.4000	2.6000	1.4000
歯元のたけ	hf	mm	1.8495	3.1000	1.9000	3.1000
全歯たけ	h	mm	4.5000	4.5000	4.5000	4.5000
転位量	xm	mm	0.8505	-0.6000	0.6000	0.6000
歯切り転位係数	xnc	---	0.2851	-0.3373	0.2627	0.3519
歯車歯末たけ係数	ha'c	---	1.3253	0.7000	1.3000	0.7000
歯車歯元たけ係数	hf'c	---	0.9247	1.5500	0.9500	1.5500
基準ﾗｯｸ歯末たけ係数	hac'	---	1.0402	1.0373	1.0373	1.0519
基準ﾗｯｸ歯元たけ係数	hfc'	---	1.2088	1.2127	1.2127	1.1881

図 5.47　寸法

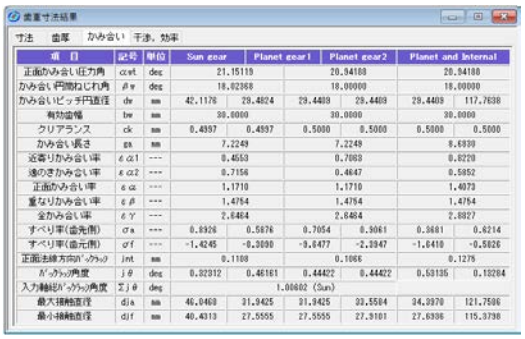


歯車寸法結果

寸法　歯厚　かみ合い　干渉，効率

項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear1	Planet gear2	Internal gear
歯直角円弧歯厚	sn	mm	3.5566	2.6506	3.5241	2.6293
正面円弧歯厚	st	mm	3.7396	2.7870	3.7054	2.7646
またぎ歯数	zm	---	4	2	3	8
基準またぎ歯厚	W	mm	21.7563	8.8984	15.6235	46.5022
設計またぎ歯厚	W'	mm	21.7013	8.8474	15.5725	46.5732
測定ピン径	dp	mm	3.7030	3.2540	3.8450	3.3580
基準ｵｰﾊﾞｰﾋﾟﾝ寸法	dm	mm	48.6827	32.3644	36.2868	114.4191
設計ｵｰﾊﾞｰﾋﾟﾝ寸法	dm'	mm	48.5643	32.1981	36.1860	114.6253
キャリパ歯たけ	hj	mm	2.7208	1.4562	2.6982	1.3919
基準キャリパ歯厚	Sj	mm	3.6115	2.7017	3.5712	2.7046
設計キャリパ歯厚	Sj'	mm	3.5532	2.6477	3.5173	2.6252

図 5.48　歯厚

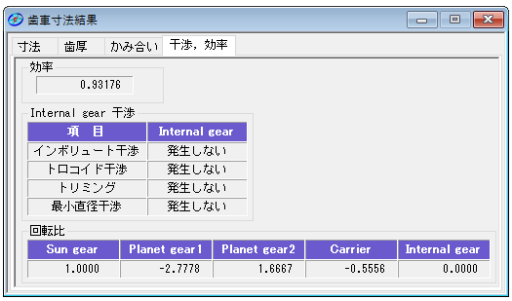


歯車寸法結果

寸法　歯厚　かみ合い　干渉，効率

項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear1	Planet gear2	Planet and Internal
正面かみ合い圧力角	αwt	deg	21.15119	20.94188	20.94188	20.94188
かみ合い円筒ねじれ角	βw	deg	18.02368	18.00000	18.00000	18.00000
かみ合いピッチ円直径	dw	mm	42.1178 / 29.4824	29.4409 / 29.4409	29.4409 / 29.4409	117.7638
有効歯幅	bw	mm	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000
クリアランス	ck	mm	0.4997 / 0.4997	0.5000 / 0.5000	0.5000 / 0.5000	
かみ合い長さ	ga	mm	7.2249	7.2249	9.6939	
近寄りかみ合い率	εα1	---	0.4653	0.7063	0.8220	
遠のきかみ合い率	εα2	---	0.7156	0.4647	0.5852	
正面かみ合い率	εα	---	1.1710	1.1710	1.4073	
重なりかみ合い率	εβ	---	1.4754	1.4754	1.4754	
全かみ合い率	εγ	---	2.6464	2.6464	2.8827	
すべり率(歯先側)	σa	---	0.8926 / 0.5876	0.7054 / 0.9061	0.9681 / 0.6214	
すべり率(歯元側)	σf	---	-1.4245 / -0.9090	-0.8477 / -2.3947	-1.6410 / -0.5826	
正面法線方向ﾊﾞｯｸﾗｯｼｭ	jnt	mm	0.1188	0.1066	0.1275	
ﾊﾞｯｸﾗｯｼｭ角度	jθ	deg	0.82312 / 0.46161	0.44422 / 0.44422	0.53135 / 0.13264	
入力軸ﾊﾞｯｸﾗｯｼｭ角度	Σjθ	deg	1.06602 (Sun)			
最大接触直径	dja	mm	46.0468 / 31.9425	31.9425 / 33.5584	34.3970 / 121.7596	
最小接触直径	djf	mm	40.4313 / 27.5555	27.5555 / 27.9101	27.6396 / 115.3798	

図 5.49　かみ合い



歯車寸法結果

寸法　歯厚　かみ合い　干渉，効率

効率

0.93176

Internal gear 干渉

項　目	Internal gear
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
最小直径干渉	発生しない

回転比

Sun gear	Planet gear1	Planet gear2	Carrier	Internal gear
1.0000	-2.7778	1.6667	-0.5556	0.0000

図 5.50　干渉&効率

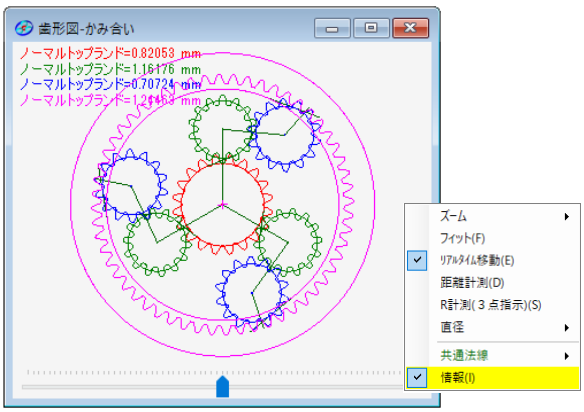


図 5.51　かみ合い 1(2D)

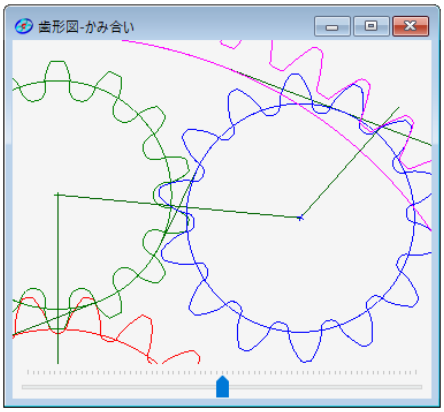


図 5.52　かみ合い 2(2D 拡大)

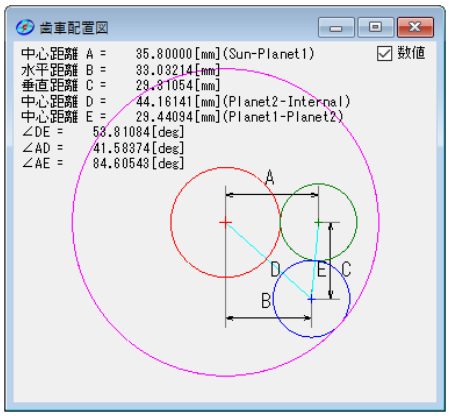


図 5.53　歯車の配置

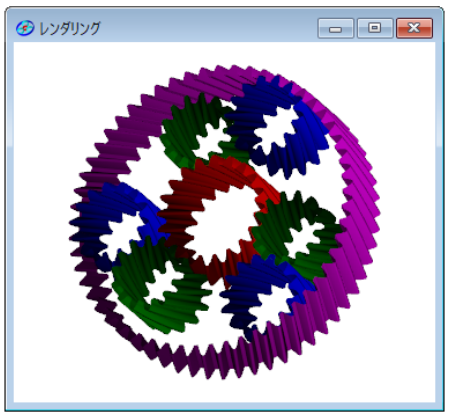
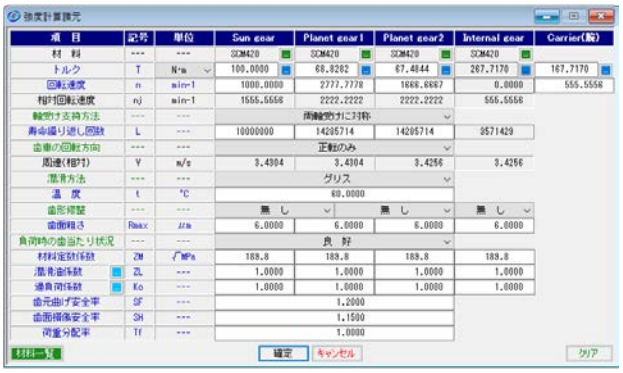


図 5.54　歯形レンダリング



強度計算諸元

項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear1	Planet gear2	Internal gear	Carrier(腕)
材　料	---	---	SCM420	SCM420	SCM420	SCM420	
トルク	T	N·m	100.0000	68.0262	67.4844	267.7170	167.7170
回転速度	n	min-1	1000.0000	2777.7778	1666.6667	0.0000	555.5556
相対回転速度	nj	min-1	1555.5556	2222.2222	2222.2222	555.5556	
軸受け支持方法	---	---	両軸受けに対称				
寿命繰り返し回数	L	---	10000000	14205714	14205714	9571429	
歯車の回転方向	---	---	正転のみ				
周速(相対)	V	m/s	3.4904	3.4304	3.4256	3.4256	
潤滑方法	---	---	グリス				
温　度	t	℃	60.0000				
歯形研磨	---	---	無　し	無　し	無　し		
歯面粗さ	Rmax	μm	6.0000	6.0000	6.0000	6.0000	
負荷時の歯当たり状況	---	---	良　好				
材料定数係数	ZM	√MPa	189.8	189.8	189.8	189.8	
潤滑油係数	ZL	---	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
過負荷係数	Ko	---	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
歯元曲げ安全率	SF	---	1.2000				
歯面損傷安全率	SH	---	1.1500				
荷重分配率	Tf	---	1.0000				

材料一覧　確定　キャンセル　クリア

図 5.55　強度諸元入力

強度計算結果

Result

曲げ強さ　歯面強さ

項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear1	Planet gear2	Internal gear
許容曲げ応力	σFlim	MPa	480.5000	480.5000	480.5000	480.5000
有効歯幅	b'	mm	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000
歯形係数	YF	---	2.3589	4.0101	2.5297	2.0650
荷重分布係数	Yε	---	0.8540	0.8540	0.8540	0.7106
ねじれ角係数	Yβ	---	0.8500	0.8500	0.8500	0.8500
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	---	1.2215	1.2215	1.2213	1.2213
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	1582.8678	1558.5609	1528.1301	1515.5597
許容円周力	Ftlim	N	11486.0936	6756.5721	10716.8675	15771.9698
曲げ強さ	Sft	---	7.2565	4.3351	7.0131	10.4067
歯元曲げ応力	σF	MPa	66.2164	110.8385	68.5150	46.1722

図 5.56　強度結果（曲げ強さ）

強度計算結果

Result

曲げ強さ　歯面強さ

項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear1	Planet gear2	Internal gear
許容ヘルツ応力	σHlim	MPa	1275.0000	1275.0000	1275.0000	1275.0000
有効歯幅	bw	mm	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000
領域係数	ZH	---	2.3814	2.3944	2.3944	2.3944
材料定数係数	ZM	√MPa	189.8000	189.8000	189.8000	189.8000
かみ合い率係数	Zε	---	0.9241	0.9241	0.9241	0.8430
寿命係数	KHL	---	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
粗さ係数	ZR	---	0.9246	0.9200	0.9200	0.9296
潤滑速度係数	ZV	---	0.9770	0.9770	0.9770	0.9770
硬さ比係数	ZW	---	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
荷重分布係数	KHβ	---	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
動荷重係数	Kv	---	1.2213	1.2213	1.2213	1.2213
弾性係数	E	MPa	*****	*****	*****	*****
呼び円周力	Fc	N	1585.0942	1558.5608	1528.1300	1515.5595
許容円周力	Fclim	N	2445.9039	2035.9725	2035.9725	6661.9609
歯面強さ	Sfc	---	1.5431	1.3063	1.3323	4.3957
ヘルツ応力	σH	MPa	1026.4033	1115.5425	1104.5983	608.1289

図 5.57　強度結果（歯面強さ）

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．

5.15 不等配置遊星歯車（オプション）

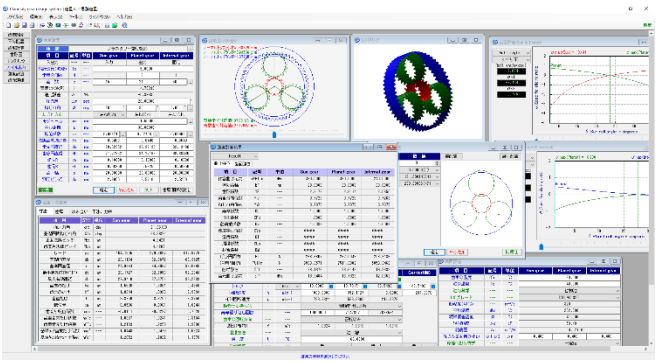


図 5.58　不等配置遊星設計例

5.15.1　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．

5.15.2　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 5.59 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 5.2 の不等配置の設定を ☑ 不等配置 とすることで計算可能となります．

内歯車の歯数を 56 に変更した場合の入力画面を図 5.60 に示します．モジュールは図 5.59 と同じく m_n1.5 にしていますので内歯車の転位係数が大きくなっています．例題では，はすば歯車について示していますが平歯車も設計することができます．

また，歯厚,頂げき設定 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．また，図 5.61～5.64 に寸法結果等を示します．

歯車諸元

種　類			プラネタリー型(減速)		
項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear	Internal 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	Δi	%	-4.0000		
圧力角	αn	deg	20.00000		
ねじれ角	β	deg	26 °	30 '	0.00 "
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	左ねじれ	左ねじれ
モジュール	mn	mm	1.50000		
中心距離	a	mm	30.16981		
転位係数	xn	---	0.00000	0.00000	0.00000
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0460	0.0500	0.0640
歯先円直径	da	mm	28.14151	38.19811	92.53773
歯底円直径	df	mm	21.39151	31.44811	99.28773
歯先R	ra	mm	0.10000	0.10000	0.10000
歯元R	rf	mm	0.56250	0.56250	0.56250
歯　幅	b	mm	20.00000	20.00000	20.00000
測定ピン径	dp	mm	2.5830	2.5600	2.4900

公差　確定　キャンセル　クリア　歯厚,頂げき設定

図 5.59　等配置遊星歯車の諸元

歯車諸元

種　類			プラネタリー型(減速)		
項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear	Internal 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	Δi	%	-5.3333		
圧力角	αn	deg	20.00000		
ねじれ角	β	deg	26 °	30 '	0.00 "
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	左ねじれ	左ねじれ
モジュール	mn	mm	1.50000		
中心距離	a	mm	30.00000		
転位係数	xn	---	0.03371	0.02408	0.68962
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0460	0.0490	0.0640
歯先円直径	da	mm	28.02952	37.97199	92.13486
歯底円直径	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
歯　幅	b	mm	20.00000	20.00000	20.00000
測定ピン径	dp	mm	2.6050	2.5710	2.5250

公差　確定　キャンセル　クリア　歯厚,頂げき設定

図 5.60　不等配置遊星歯車の諸元

歯車寸法結果

寸法　歯厚　かみ合い　干渉，効率

項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear	Internal gear
正面圧力角	αt	deg	21.96190		
基礎円筒ねじれ角	βb	deg	23.86281		
正面法線ピッチ	Pbt	mm	4.8421		
歯直角法線ピッチ	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	86.3125
基準円直径	d	mm	24.9284	34.8997	93.0660
最小有効直径(TIF)	dt	mm	23.1727	32.7856	92.2644
最大有効直径	dh	mm	27.9416	37.8751	98.2939
歯末のたけ	ha	mm	1.5506	1.5361	0.4656
歯元のたけ	hf	mm	1.8244	1.8389	2.9094
全歯たけ	h	mm	3.3750	3.3750	3.3750
転位量	xm	mm	0.0506	0.0361	1.0344
歯切り転位係数	xnc	---	-0.0111	-0.0237	0.7520
歯車歯末たけ係数	ha'c	---	1.0337	1.0241	0.3104
歯車歯元たけ係数	hf'c	---	1.2163	1.2259	1.9396
基準ﾗｯｸ歯末たけ係数	hac'	---	1.0448	1.0478	1.0624
基準ﾗｯｸ歯元たけ係数	hfc'	---	1.2052	1.2022	1.1876

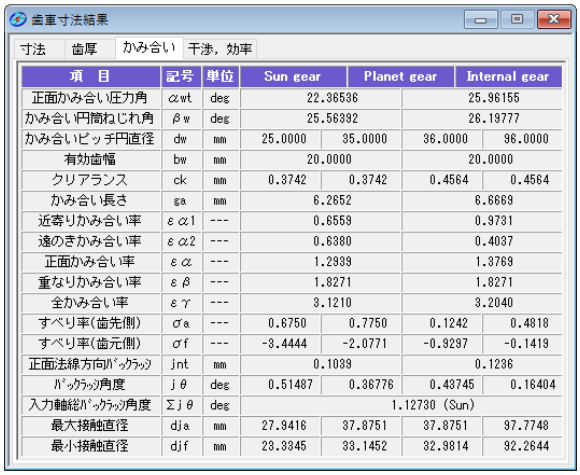
図 5.61　寸法[不等配置]

歯車寸法結果

寸法 | 歯厚 | かみ合い | 干渉，効率

項　目	記号	単位	Sun gear	Planet gear	Internal gear
歯直角円弧歯厚	sn	mm	2.3441	2.3303	1.5351
正面円弧歯厚	st	mm	2.5970	2.5819	1.7008
またぎ歯数	zm	---	3	4	10
基準またぎ歯厚	W	mm	11.5268	16.1138	44.3498
設計またぎ歯厚	W'	mm	11.4808	16.0648	44.4138
測定ピン径	dp	mm	2.6050	2.5710	2.5250
基準ｵｰﾊﾞｰﾋﾟﾝ寸法	dm	mm	28.5001	38.4000	91.6608
設計ｵｰﾊﾞｰﾋﾟﾝ寸法	dm'	mm	28.3905	38.2760	91.8349
キャリパ歯たけ	hj	mm	1.5973	1.5692	0.4635
基準キャリパ歯厚	Sj	mm	2.3906	2.3813	1.6031
設計キャリパ歯厚	Sj'	mm	2.3419	2.3293	1.5277

図 5.62　歯厚[不等配置]

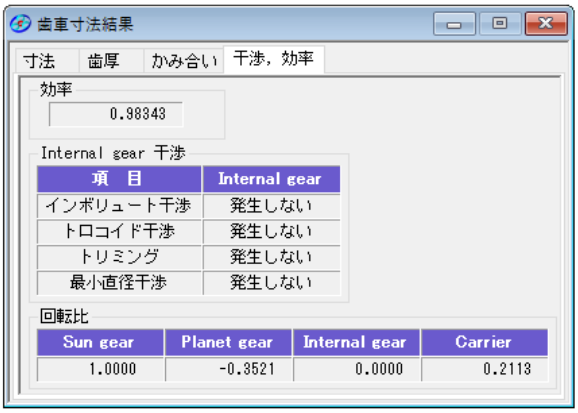


歯車寸法結果

寸法 | 歯厚 | かみ合い | 干渉，効率

項　目	記号	単位	Sun gear		Planet gear		Internal gear	
正面かみ合い圧力角	αwt	deg	22.36536				25.96155	
かみ合い円筒ねじれ角	βw	deg	25.56392				26.19777	
かみ合いピッチ円直径	dw	mm	25.0000		35.0000		36.0000	96.0000
有効歯幅	bw	mm	20.0000				20.0000	
クリアランス	ck	mm	0.3742		0.3742		0.4564	0.4564
かみ合い長さ	ga	mm	6.2652				6.6669	
近寄りかみ合い率	εα1	---	0.6559				0.9731	
遠のきかみ合い率	εα2	---	0.6380				0.4037	
正面かみ合い率	εα	---	1.2939				1.3769	
重なりかみ合い率	εβ	---	1.8271				1.8271	
全かみ合い率	εγ	---	3.1210				3.2040	
すべり率(歯先側)	σa	---	0.6750		0.7750		0.1242	0.4818
すべり率(歯元側)	σf	---	-3.4444		-2.0771		-0.9297	-0.1419
正面法線方向ﾊﾞｯｸﾗｯｼ	jnt	mm	0.1039				0.1236	
ﾊﾞｯｸﾗｯｼ角度	jθ	deg	0.51487		0.36776		0.43745	0.16404
入力軸総ﾊﾞｯｸﾗｯｼ角度	Σjθ	deg	1.12730 (Sun)					
最大接触直径	dja	mm	27.9416		37.8751		37.8751	97.7748
最小接触直径	djf	mm	23.3345		33.1452		32.9814	92.2644

図 5.63　かみ合い[不等配置]



歯車寸法結果

寸法 | 歯厚 | かみ合い | 干渉，効率

効率

0.98343

Internal gear 干渉

項　目	Internal gear
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
最小直径干渉	発生しない

回転比

Sun gear	Planet gear	Internal gear	Carrier
1.0000	-0.3521	0.0000	0.2113

図 5.64　干渉効率[不等配置]

ツールバーの 不等配置 をクリックすることで図5.65を表示します．不等配置の表示は，図 5.65 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せんので図 5.66 に示す角度表の中から選択します．図 5.68 では，不等配置 1 とした場合の歯形かみ合いを示します．

図5.65の 最小配置 をクリックすると 3 個の遊星歯車の歯先円が接することがないように配置したかみ合いを図5.67に示します．

遊星歯車と内歯車のかみ合い部[B]の拡大図を図 5.69 に，また，歯形レンダリングを図 5.70 に示します．

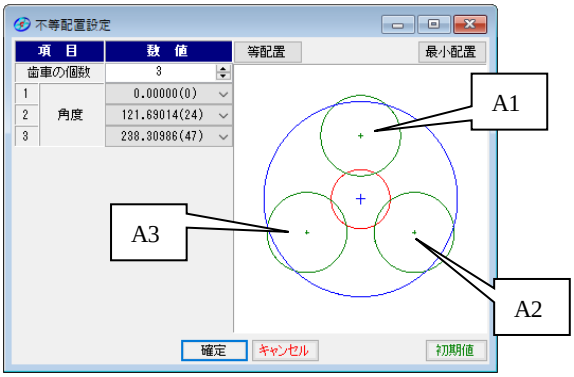


図 5.65　不等配置 1

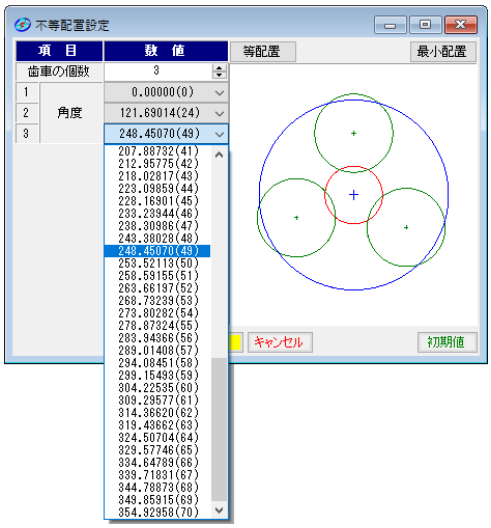


図 5.66 不等配置 2

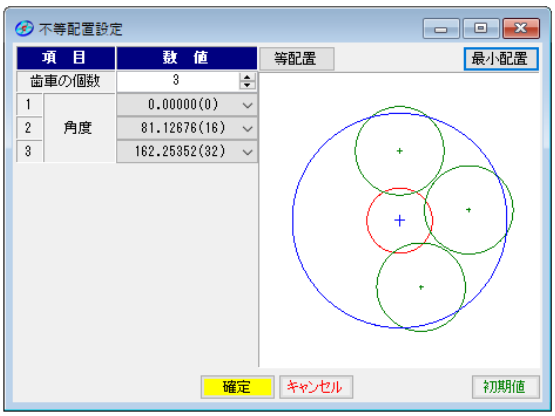


図 5.67　不等配置 3

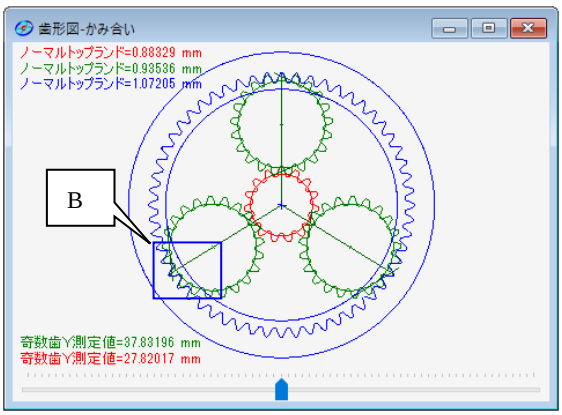


図 5.68　不等配置かみ合い（不等配置 1）

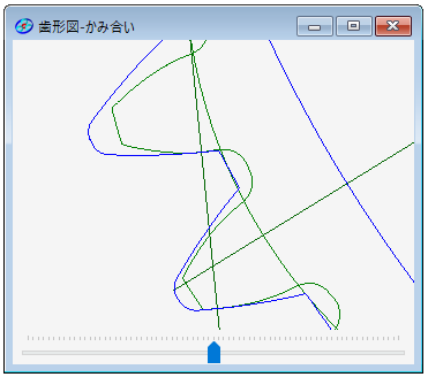


図 5.69　かみ合い([B]部)　[不等配置 1]

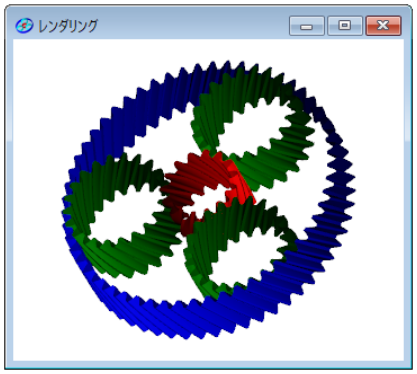


図 5.70　レンダリング[不等配置]

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．遊星歯車を 5 個としたときの計算例を図 5.71 ～5.76 に示します．

図 5.71　不等配置設計例 2

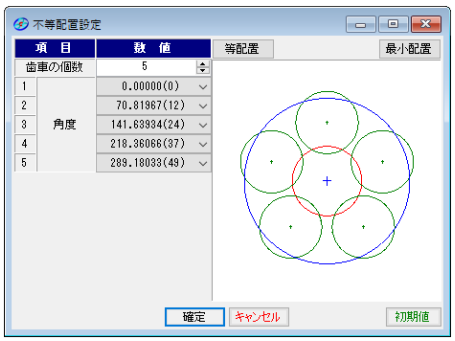


図 5.72　不等配置 2

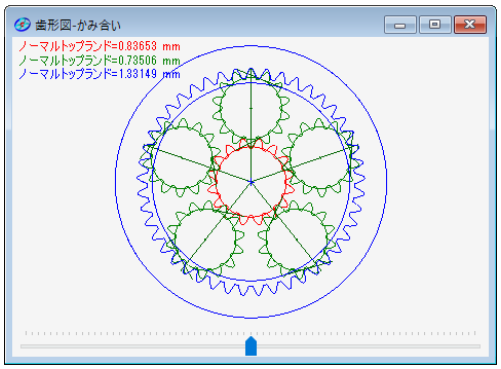


図 5.73　歯形かみ合い[不等配置 2]

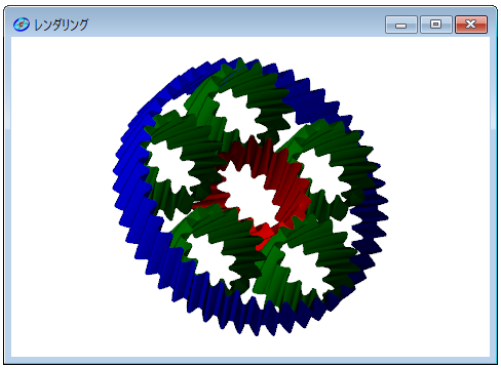


図 5.74　レンダリング[不等配置 2]

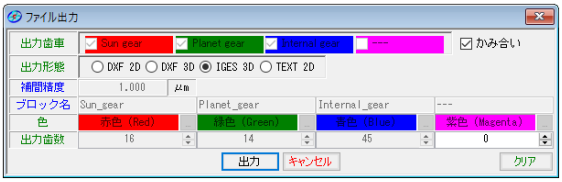


図 5.75　歯形ファイル形式（全歯車出力）

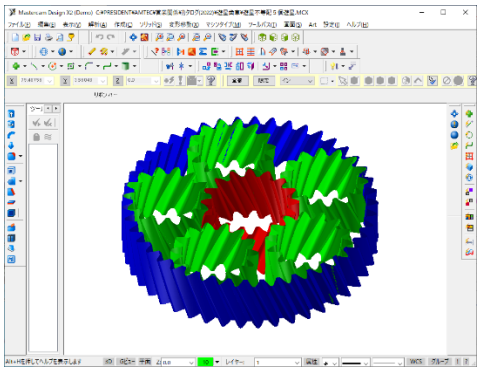


図 5.76　CAD 作図例（全歯車出力）

※ 遊星歯車の起振力を解析する場合は，[49]遊星歯車機構の起振力解析システムをお使いください．