

[42] involute Σ iii(Spur and Helical)

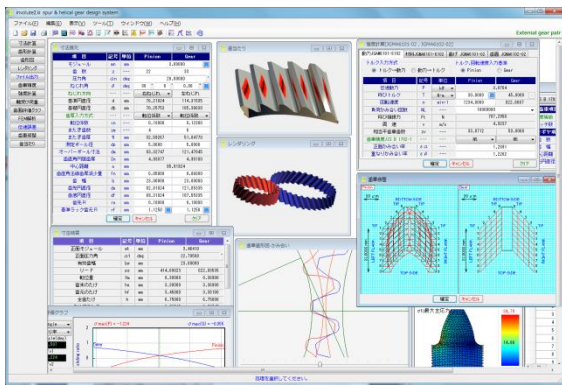


図 42.1 involute Σ iii(Spur and Helical)

42.1 概要

involute Σ (Spur and Helical)[Software No.1]をバージョンアップしたソフトウェアです。 involute Σ (Spur and Helical)ソフトウェアは, [SE], [ST], [PL], [SP]の 4 種類に分かれていましたが, involute Σ iii(Spur and Helical) ではこの区別がありません。 また, 今までオプション扱いしていた機能も基本ソフトウェアに含めました。 図 42.1 に全体画面を示します。

42.2 ソフトウェアの構成

involute Σ iii の構成を表 42.1 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。

適応歯車: インボリュート平, はすば歯車 (外歯車, 内歯車)

表 42.1 ソフトウェアの構成

項 目	機能
<1>基準ラックの設定	○
<2>歯車寸法	○
<3>推論	○
<4>歯形創成図	○
<5>歯車かみあい図	○
<6>かみあい連続回転	○
<7>歯形 DXF ファイル	○
<8>歯形レンダリング図	○
<9>歯車精度	○
<10>設計データ管理	○
<11>JGMA6101,6102, JGMA401,402	○
<12>樹脂歯車強度計算	○
<13>金属×樹脂歯車強度	○
<14>すべり率グラフ	○
<15>ヘルツ応力グラフ	○
<16>PV 値	○
<17>軸受け荷重	○
<18>IGES 歯形データ	○
<19>FEM 歯形応力解析	◎
<20>回転伝達誤差試験, フーリエ解析 ワウ・フラッタ, csv	◎
<21>フラッシュ温度	◎
<22>歯面修整(歯面, 歯すじ, バイアス)	◎
<23>歯当たり	◎

42.3 基準ラックの設定

図 42.2~42.5 に設定画面を示します。

- ・歯車の組み合わせ : 外歯車×外歯車, 外歯車×内歯車
- ・基準ラック : 並歯, 低歯, 特殊
- ・歯先円決定の方式 : 標準方式, 等クリアランス方式
- ・鋼歯車の強度計算規格は, 図 42.5 に示すように
 - ・ JGMA 401-02:1974, 402-02:1975
 - ・ JGMA 6101-02:2007, 6102-02:2009

の 2 種類があり, プラスチック歯車の強度計算規格は, JIS B 1759(2013)に対応しています。



図 42.2 基準ラック

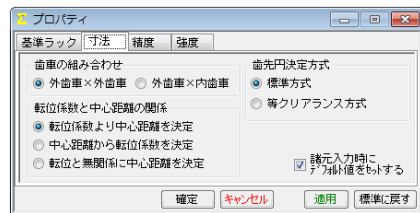


図 42.3 寸法

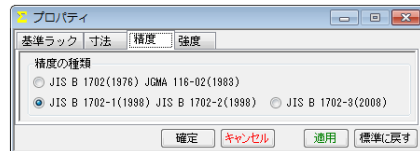


図 42.4 精度

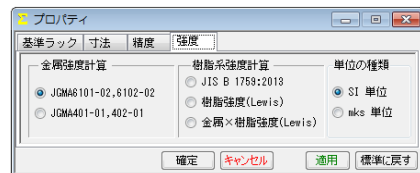


図 42.5 強度

42.4 歯車寸法

歯車寸法は, 各部寸法, かみあい率, すべり率, 歯厚などを計算します。 アンダーカットが発生している歯車のかみあい率は, TIF (True Involute Form) 径を基準にかみあい率を決定します。 また, 歯先に丸みがある場合は R を考慮したかみあい率を算出します。

(1)中心距離と転位係数の関係は, 以下の 3 種類です。

- <1>転位係数をピニオンとギヤに与え中心距離を決定
- <2>中心距離を基準として各歯車の転位係数を決定
- <3>転位係数を無視して任意に中心距離を決定

(2)転位係数の設定方式は, 以下の 4 種類です。

- <1>転位係数を直接入力
- <2>またぎ歯厚を入力して転位係数を決定
- <3>オーバーピン寸法を入力して転位係数を決定
- <4>転位量を入力して転位係数を決定

図 42.6 に諸元設定画面を示します。 また, 転位係数入力時は, 転位係数を直接入力する方法以外に, 歯厚から転位係数を入力することもできます。 図 42.7 に寸法結果画面を示します。

図 42.6 諸元設定

図 42.7 寸法結果

42.5 推論

推論 1 は、図 42.8 のように曲げ強さを基準としてモジュールと歯幅を決定します。ここで推論したモジュールと歯幅を有効にして次の設計に進むこともできます。強度を満足するモジュール、歯幅、材料の組み合わせは何通りもありますので、推論結果を基本として歯車の概略を決定する際には非常に有効な機能です。

推論 2 は、すべり率とかみあい率を基準として最適な転位係数を決定するための機能です。図 42.9 に示すグラフは、ピニオンの最大すべり率を赤線で、ギヤの最大すべり率を青線で、正面かみあい率を緑線で示しています。図 42.9 の場合、すべり率とかみあい率から判断してピニオンの転位係数 0.3 が、歯形にとって最適な値ということが出来ます。転位係数の決定理由は、アンダーカット防止や中心距離の変更、かみあい圧力角の調整などが一般的ですが、この推論機能により、すべり率とかみあい率の関係を基本とした転位係数を決定することが出来ます。アンダーカットが発生している歯形では、すべり率の値が大きくなります。

図 42.8 推論 1 (曲げ強さ)

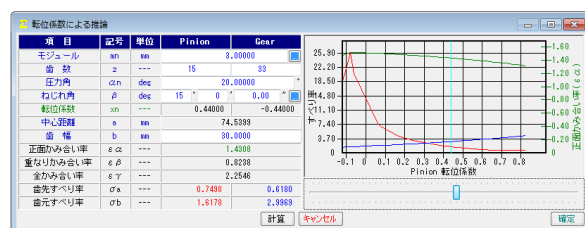


図 42.9 推論 2 (転位係数)

42.6 歯形図

かみあい図を図 42.10 に示します。機能は補助フォームに示すようにズーム、距離計測 (図 42.11)、R 計測 (図 42.12)、直径、修整歯形表示、作用線、奇数歯 Y 測定そして回転機能があります。歯形創成を図 42.13 に示します。

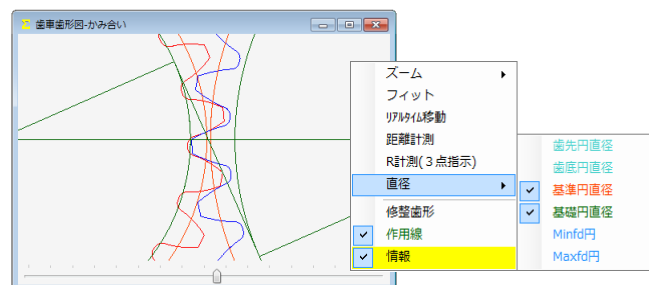


図 42.10 かみあい図と補助フォーム

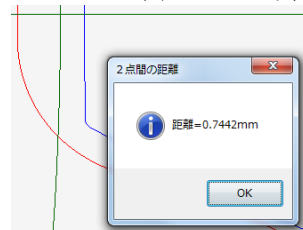


図 42.11 距離計測

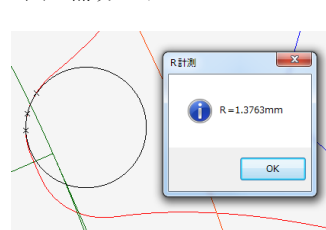


図 42.12 R 計測

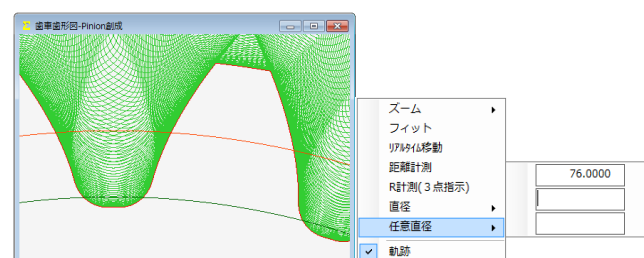


図 42.13 歯形創成 (ピニオン) と補助フォーム

42.7 歯形レンダリング

3次元歯形のかみあいを図 42.14 のように作図することができ、かみあい部分に接触線を観察することができます。コントロールフォームにより歯形の向きを自由に変えることができ、拡大、縮小が可能です。

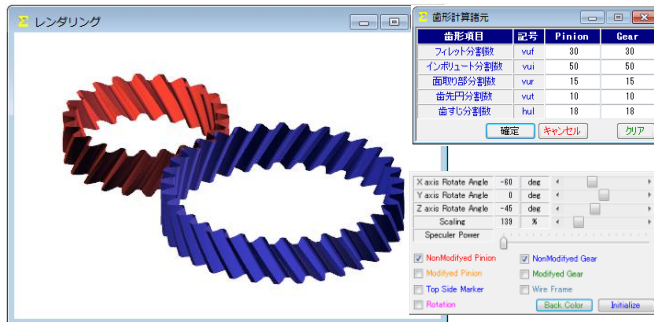


図 42.14 歯形レンダリング

42.8 歯車精度

図 42.15 と図 42.16 に新 JIS の歯車精度規格 JIS B 1702-1:1998 と JIS B 1702-2:1998 による誤差の許容値を示します。また、図 42.4 の設定により新 JIS と旧 JIS の切り替えが可能です。歯車精度規格は

- JIS B 1702-1:1998, JIS B 1702-2:1998, JIS B 1702-3:2008
- JIS B 1702:1976
- JGMA 116-02:1983

の 5 種類です。

項目 (JIS B 1702-1)	記号	単位	Pinion	Gear
歯一ピッチ誤差	Fp1	μm	6	6
部分累積ピッチ誤差	Fpk	μm	9.5	11
累積ピッチ誤差	Fp	μm	10	10
全歯形誤差	Fα	μm	8	8
全歯すじ誤差	Fβ	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ1	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ2	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ3	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ4	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ5	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ6	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ7	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ8	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ9	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ10	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ11	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ12	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ13	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ14	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ15	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ16	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ17	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ18	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ19	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ20	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ21	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ22	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ23	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ24	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ25	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ26	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ27	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ28	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ29	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ30	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ31	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ32	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ33	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ34	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ35	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ36	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ37	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ38	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ39	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ40	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ41	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ42	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ43	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ44	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ45	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ46	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ47	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ48	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ49	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ50	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ51	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ52	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ53	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ54	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ55	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ56	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ57	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ58	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ59	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ60	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ61	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ62	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ63	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ64	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ65	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ66	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ67	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ68	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ69	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ70	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ71	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ72	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ73	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ74	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ75	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ76	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ77	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ78	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ79	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ80	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ81	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ82	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ83	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ84	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ85	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ86	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ87	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ88	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ89	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ90	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ91	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ92	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ93	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ94	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ95	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ96	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ97	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ98	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ99	μm	8.5	8.5
片面歯すじ誤差	Fβ100	μm	8.5	8.5

図 42.15 JIS B 1702-1

項目 (JIS B 1702-2)	記号	単位	Pinion	Gear
片面歯すじ誤差	Fβ1	μm	25	25
片面歯すじ誤差	Fβ2	μm	10	10
片面歯すじ誤差	Fβ3	μm	15	15

図 42.16 JIS B 1702-2

42.9 歯車強度計算 (鋼)

歯車強度計算は、図 42.5 に示すように ISO6336:2006 規格に準拠した JGMA6101-02:2007 および JGMA 6102-02:2009 規格と JGMA401-01:1974, 402-01:1975 の 2 種類あり、設計単位は、SI 単位系、MKS 単位系を選択することができます。図 42.17 に強度計算の動力設定画面を示します。材料の選択は、図 42.18 に示すように「材料」と「熱処理」に適応した材料の選択フォームを表示します。また、図 42.19 に曲げに関する係数設定画面を、図 42.20 に面圧に関する係数の設定画面を示し、図 42.21 に強度計算結果を示します。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
伝達動力	P	kW	3.8764	
呼びトルク	T	N·m	30.0000	45.0000
回転速度	n	min-1	1234.0000	822.6867
負荷かみ合い回数	NL	---	10000000	
呼び接線力	Ft	N	787.2958	
周速	v	m/s	4.9287	
相当平均歯車数	zv	---	33.8712	50.8068
歯車精度 JIS B 1702-1	---	---	N5	N5
正面かみ合い率	εα	---	1.2891	
重なりかみ合い率	εβ	---	1.2202	

図 42.17 強度計算 (動力設定)

項目	記号	単位	Pinion	Gear
分類	分類	---	Pinion	Gear
種類	種類	---	Pinion	Gear
材料記号	材料記号	---	Pinion	Gear
破れ強度応力 (曲げ)	σFlim	MPa	353.0	275.0
破れ強度応力 (面圧)	σHlim	MPa	1280.0	1070.0
内部硬度	HV	---	242	252
表面硬度	HV	---	500	500
弾率係数	E	MPa	208000.0	208000.0
ボアソン比	ν	---	0.30	0.30

図 42.18 強度計算 (材料)

項目	記号	単位	Pinion	Gear
計算歯幅	b	mm	23.000	23.000
歯形係数	YF	---	2.426	2.398
応力集中度係数	YSa	---	1.631	1.753
種合歯形係数	YFa	---	4.103	4.042
かみ合い率係数	Yε	---	0.703	
わじれ率係数	Yβ	---	0.750	
寿命係数	YN	---	0.976	0.976
寸法係数	Yz	---	1.012	1.012
使用係数	KA	---	1.000	
動力重係数	Kv	---	1.322	
動力重係数	Kv'	---	1.044	
歯すじ荷重分布係数	KHβ	---	1.000	
運転条件係数	BT	---	1.000	1.000
材料安全率	SFm	---	1.000	1.000

図 42.19 強度計算 (曲げに関する係数)

項目	記号	単位	Pinion	Gear
有効歯幅	bH	mm	23.000	
弾性係数	Zε	---	1.000	1.000
最重荷重係数	ZH	---	1.000	1.000
材料定数係数	ZE	1/MPa	189.800	
かみ合い率係数	Zε	---	0.763	
わじれ率係数	Zβ	---	1.000	
歯形係数	ZL	---	1.000	
歯形係数	Zv	---	0.974	
歯形係数	Zv'	---	1.000	
寸法係数	Zz	---	1.000	1.000
硬さ係数	Zw	---	1.000	1.000
寿命係数	ZN	---	1.293	1.293
使用係数	KA	---	1.000	
動力重係数	Kv	---	1.322	
動力重係数	Kv'	---	1.044	
歯すじ荷重分布係数	KHβ	---	1.200	
歯すじ荷重分布係数	K'Hβ	---	1.200	
正面荷重分布係数	KHα	---	1.000	
正面荷重分布係数	K'Hα	---	1.000	
材料安全率	SFm	---	1.000	

図 42.20 強度計算 (面圧に関する係数)

項目	記号	単位	Pinion	Gear
歯元曲げ応力	σF	MPa	32.632	32.146
許容歯元曲げ応力	σFP	MPa	522.394	407.431
総合安全率	SF	---	16.027	12.874
許容接線力	Ftlim	N	15878.161	12695.429
面圧応力	σH	MPa	343.249	343.249
許容接線力	σHP	MPa	1612.009	1847.539
総合安全率	SH	---	4.896	3.926
許容接線力	Fclim	N	21887.390	15365.821

図 42.21 強度結果

42.10 歯車強度計算 (樹脂)

プラスチック歯車の強度は、図 42.5 で JIS B 1759(2013)または Lewis の式を選択することができます。JIS B 1759「プラスチック円筒歯車の曲げ強さ評価方法」は、歯車の運転試験に基づいて歯車の許容曲げ応力を求める方法が規定されていて POM の許容曲げ応力は各所の実験結果から 80.0[MPa]と定まり、POM 以外の材料についても規格に基づいて独自に決定することができます。そして歯元曲げ応力と各種係数 (歯元形状係数、寿命係数、雰囲気温度係数等) を考慮した許容歯元曲げ応力とを比較して安全か否かを判断します。詳しくは規格をご覧ください。

プラスチック歯車の強度計算の例として図 42.22 に歯車諸元を、図 42.23 に強度諸元を、図 42.24 に曲げ応力に関する値を図 42.25 に相当平均歯車の値を図 42.26 に係数と安全率 SF を示します。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
モジュール	m	mm	1.00000	
歯数	z	---	16	30
圧力角	α_n	deg	20.00000	
ねじれ角	β	deg	20.00000	0.00000
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	左ねじれ
基準円直径	d	mm	17.02684	31.92533
基準円直径	db	mm	16.87745	29.77022
歯厚入力方式	---	---	転位係数	転位係数
転位係数	xn	---	0.20000	0.00000
またぎ歯数	zn	---	3	4
またぎ歯厚	y	mm	7.78486	10.83407
測定ボール径	dp	mm	2.0000	2.0000
オーバーホール寸法	dm	mm	20.58245	35.28587
歯面角内歯歯厚	Sn	mm	1.71698	1.57080
中心距離	a	mm	24.90000	
歯面角法線歯厚減少量	fn	mm	0.00000	0.00000
歯幅	b	mm	10.00000	10.00000
歯先円直径	da	mm	19.42684	33.92533
歯底円直径	df	mm	14.92684	29.42533
歯先R	ra	mm	0.10000	0.10000
基準ラック歯元R	rf	mm	0.3750	0.3750

図 42.22 歯車諸元

項目	記号	単位	Pinion	Gear
材料	---	---	POM x POM	
伝達トルク	P	W	52.9560	
トルク	T	N-m	0.5000	0.9375
回転速度	n	min-1	1000.0000	539.3939
呼び慣性力	Fwt	N	57.7309	
周速	vw	m/s	0.3070	
正面かみ合い圧力角	α_{at}	deg	29.5632	
正面かみ合い率	ϵ_{α}	---	1.15170	
かみ合い回数	N	---	10000000	5393939
リム厚さ	sr	mm	2.0000	2.0000
許容曲げ応力	σ_{Flim}	MPa	80.0180	80.0180
工具刃先丸み半径	ρ_{FPV}	mm	0.3750	0.3750
歯元形状係数	Yf	---	1.403	1.247
寿命係数	YNT	---	0.773	0.829
疲労強度係数	Y θ	---	1.000	
温度上昇係数	Y $\Delta\theta$	---	0.981	
潤滑係数	YL	---	1.190	
相手歯車係数	YM	---	0.650	
最小安全係数	SFmin	---	1.000	1.000

図 42.23 強度諸元

項目 (歯元曲げ)	記号	単位	Pinion	Gear
歯元曲げ応力	σ_F	MPa	26.804	23.843
歯形係数	YF	---	1.976	1.999
基準ラック歯元すみ肉半径...	E	mm	0.068	0.068
補助係数 (歯元危険断面曲率...)	G	---	-0.675	-0.875
補助係数 (歯元危険断面曲率...)	H	rad	-0.889	-0.963
ラック工具 (ピニオンカ...	θ	rad	0.814	0.901
歯元危険断面歯厚	SFn	mm	2.043	2.108
曲げモーメントの腕の長さ	hFe	mm	1.407	1.473
歯元すみ肉丸み半径	ρ_F	mm	0.504	0.534
基礎円ねじれ角	β_b	deg	18.74724	

図 42.24 歯元曲げ

項目 (相当平歯車)	記号	単位	Pinion	Gear
歯数	zn	---	18.9882	35.6929
正面かみ合い率	$\epsilon_{\alpha n}$	---	1.2844	
基準円直径	dn	mm	18.9882	35.6929
歯面角法線ピッチ	Pbn	mm	2.8521	
基準円直径	dbn	mm	17.8431	33.4558
歯先円直径	dan	mm	21.3882	37.6929
外側の点を通る円分直径 (...)	den	mm	20.5103	36.8667
外側の点の圧力角 (歯かみ...)	α_{en}	deg	29.54644	24.84055
外側の点の角度 (歯かみ...)	γ_e	deg	3.10176	1.69875
外側の点の作用角 (歯かみ...)	α_{Fen}	deg	26.44468	23.14180

図 42.25 相当平歯車

項目 (係数)	記号	単位	Pinion	Gear
応力修正係数	Ys	---	1.789	1.789
危険断面歯厚と曲げモーメ...	L	---	1.452	1.430
危険断面歯厚と歯元すみ...	qs	---	2.027	1.971
ねじれ角係数	Y β	---	0.933	
リム厚さ係数	YB	---	1.128	1.128
バックアップレシオ	BR	---	0.889	0.889
許容歯元曲げ応力	σ_{FP}	MPa	46.935	50.935
曲げ強さに対する安全係数	SF	---	1.745	2.111
安全判定	---	---	SF > SFmin	SF > SFmin

図 42.26 係数

42.11 軸受け荷重

歯車に作用する荷重と、軸受けに作用する荷重を計算します。荷重の種類は、接線力、法線力など各軸受けに作用する荷重 20 種類を計算します。図 42.27 に計算結果を示します

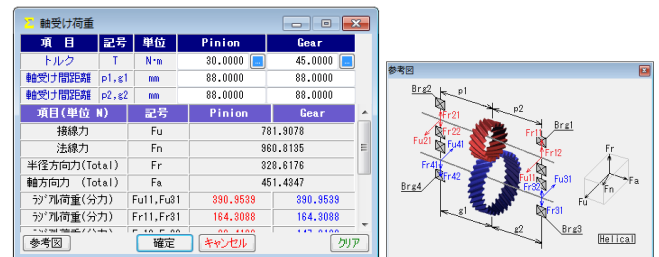


図 42.27 軸受荷重

42.12 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 による計算結果です。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[44]CT-FEM-Opera をお使いください。本ソフトウェアは 2 次元歯面の解析ですが、[44]CT-FEM-Opera は、3 次元歯面の解析をすることができます。

図 42.28 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 42.29~42.34 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の切り替えができます。

図 42.31 の油膜厚さから摩擦の発生確率を、図 42.32 の接触温度からスカuffing の発生確率を計算します。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
歯車の温度	Gtc	°C	70.000	
油の種類	Tc	°C	40.000	
ISO グレード	---	---	ISO VG 320	
平均温度	Mtc	°C	252.000	
標準偏差温度	SD	°C	41.000	
絶対粘度	μ_0	cP	59.48	
粘度圧	α	mm ² /N	0.02156	
なじみ歯面粗さ (Ra)	σ_1, σ_2	μm	0.400	0.400
摩擦係数の方式	---	---	一定値	
摩擦係数	μ_n	---	0.0600	
歯形修整	---	---	無し	
駆動歯車	---	---	Pinion	
計算ポイント数	---	---	200	

鉱物油
合成油 (MIL-L-23839)
合成油 (その他)

ISO VG 320
ISO VG 46
ISO VG 68
ISO VG 100
ISO VG 150
ISO VG 220
ISO VG 320
ISO VG 460
ISO VG 680
ISO VG 1000
ISO VG 1500
All other oil

図 42.28 歯面評価 (設定)

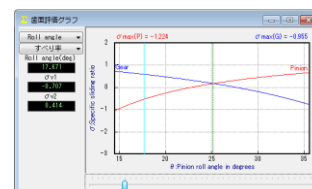


図 42.29 すべり率



図 42.30 ヘルツ応力

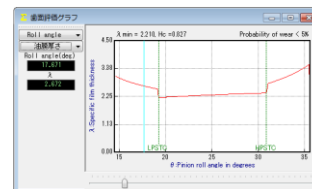


図 42.31 油膜厚さ

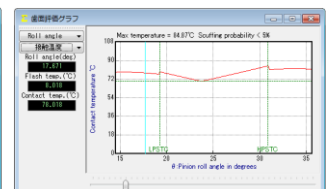


図 42.32 接触温度

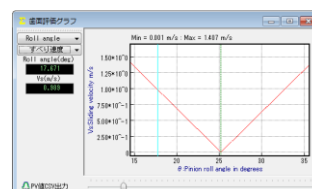


図 42.33 すべり速度

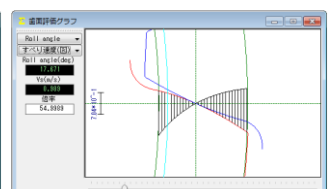
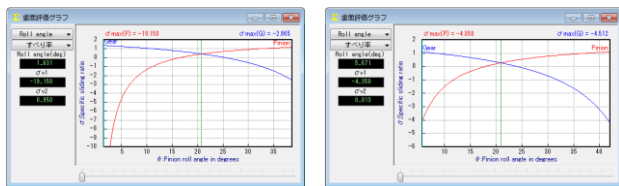


図 42.34 すべり速度図

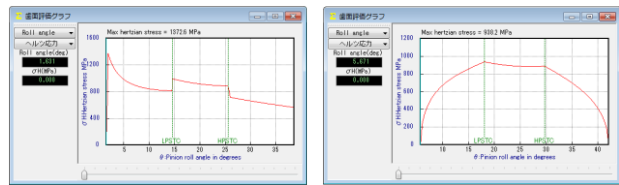
42. 12a すべり率とヘルツ応力グラフ

インボリュート歯形の特徴としてかみあいピッチ円ではころがり運動となりますが、これ以外ではすべりを伴う運動となります。例題歯車 ($m_n=2, z_1=15, z_2=24, \alpha=20^\circ$ の標準平歯車) のすべり率とヘルツ応力、歯面接触温度 (歯車温度+フラッシュ温度) および油膜厚さグラフは、図 42.35 (左列) となり、ピニオンの歯元のすべり率が大きいので、かみあい始めに急激なヘルツ応力変化を示しています。このような場合、精度を良くしても問題解決にはなりません。かみあい率だけでなく、すべり率およびヘルツ応力の変化を考慮して設計する必要があります。ヘルツ応力の変化を滑らかにするには、転位を調整するだけで簡単に解決する場合があります。また、樹脂歯車は、すべりによる熱の影響が大きいので十分注意して設計する必要があります。

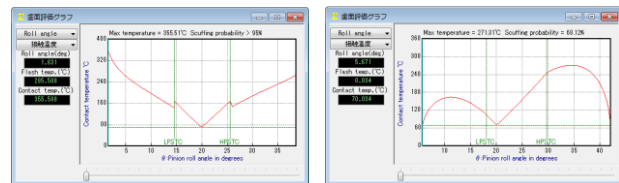
中心距離を変化させないで、転位係数を $x_{n1}=0.24, x_{n2}=0.24$ とし歯形修整 (スムースメッシング) を施した場合のすべり率とヘルツ応力そして歯面接触温度の変化を、図 42.36 に示します。この結果、図 42.35(c) のスカッシング発生確率 90% から図 42.36(c) では 68% に低下し、摩耗の発生確率も 30% から 26% に低下していることが解ります。



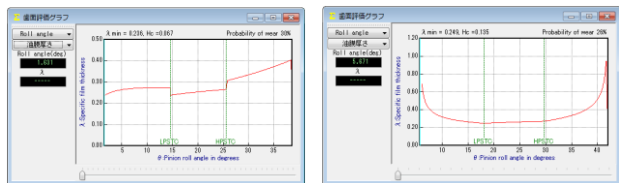
(a)すべり率



(b)ヘルツ応力



(c)歯面接触温度 (歯車温度+フラッシュ温度)



(d)油膜厚さ

図 42.35 標準歯車

図 42.36 転位+歯形修整

42. 12b O級歯車

歯車歯形のインボリュート面は重要ですが、これと同様に歯元形状も重要です。図 42.37 のグラフは、歯元曲線を任意Rで接続した歯形の試験結果 (両歯面かみあい) であり、図 42.38 のグラフは、理論トロコイド曲線歯形の試験結果を示しています。創成運動を基本に考えますと歯元の形状は①圧力角、②基準ラック歯元のたけ、③基準ラック歯元R、④転位量、⑤歯数によって決定される準トロコイド曲線となります。involuteΣiiiは、理論歯形曲

線を出力します。また、歯元形状に対する応力の影響はカタログ (vol.15)付録Dをご覧ください。

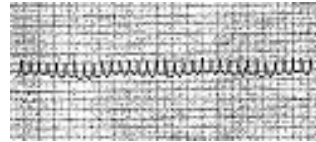


図 42.37 歯車試験結果(任意歯形)

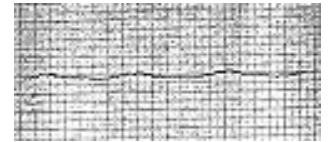


図 42.38 歯車試験結果(理論歯形)

42. 13 FEM 歯形応力解析ソフトウェア

強度計算終了後、[FEM]アイコンをクリックするだけで簡単に応力解析を行うことができます。図 42.39 に、FEM 解析の設定画面を示します。縦弾性係数、ポアソン比、分割数および荷重点位置そして荷重 (変更可能) を与えることで応力を解析 (σ_x, σ_y , せん断応力 τ , 主応力 σ_1, σ_2) します。歯車強度計算と歯に作用する実応力を評価する事により歯車強度の信頼性を高めることができます。図 42.40 にピニオンの最大主応力 σ_1 の応力分布図を示します。また、歯形の変位 (色分布表示も可能) と歯形修整量を図 42.41 に示します。

歯形修整は、歯車の運転性能を上げるための有用な方法であり精度の良い歯車であってもかみあい時の歯のたわみにより駆動歯車と被動歯車の歯に法線ピッチの差が発生します。この法線ピッチの差によるかみ合いのずれが、[振動]や、[音]の原因となります。歯形修整はこれを解決する一つの方法です。弾性率が小さい樹脂材料は変位も大きくなりますので歯形修整の効果は大きいといえます。図 42.41 のように 2D-FEM により歯のたわみから歯先修整を決定する際の歯のたわみ量を知ることができますが、3 次元歯面修整の決定は、[44]CT-FEM-Opera をお使いください。

FEM解析設定				
項目	記号	単位	Pinion	Gear
解析方式	---	---	2D-FEM 歯形応力解析	
材料記号	---	---	SCM415H	SMn443H
縦弾性係数	E	MPa	206000.0	206000.0
ポアソン比	ν	---	0.30	0.30
縦分割数(歯面部)	mNO	---	21	21
横分割数	wNO	---	21	21
荷重点位置	NF	---	2	2
荷重	F	N		787.2958
確定 キャンセル クリア				

図 42.39 FEM 設定 (2D)

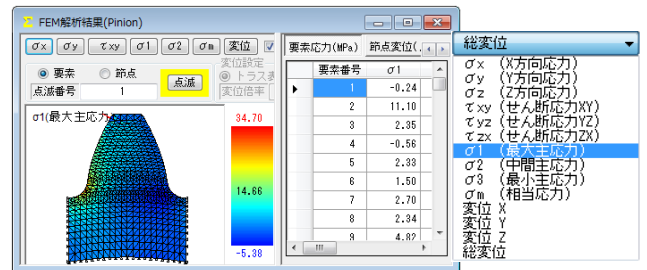


図 42.40 最大主応力 σ_1 (ピニオン)

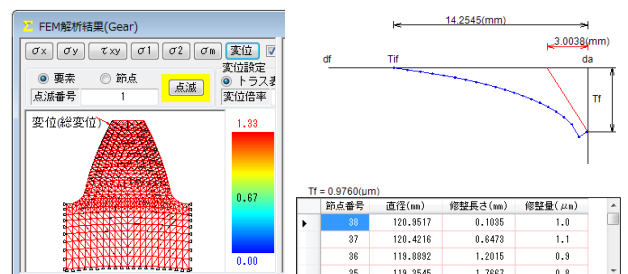


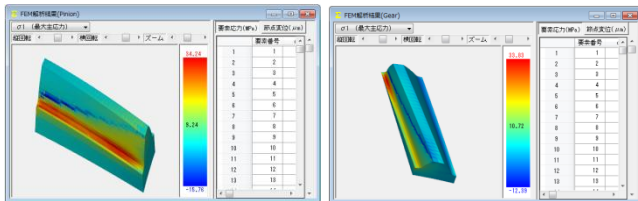
図 42.41 歯の変位とグラフ (ギヤ)

図 42.42 に 3D-FEM 解析条件設定画面を示します。図 42.43 にピニオンとギヤの応力分布図を、図 42.44 にピニオンとギヤの変位図を示します。また、図 42.43 および図 42.44 の画面上部のスクロールバーで縦回転、横回転機能で観察角度を変えることができ、ズーム機能で図の拡大、縮小ができます。

本ソフトウェアでは 1 歯に荷重が作用したときの歯の応力および変位を計算しますが、同時かみ合い歯に負荷が作用したときの応力、歯の変位、軸角誤差、歯形誤差、ピッチ誤差そして歯面修整などに対応した解析をしたい場合は[44]CT-FEM-Opera をお使いください。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
解析方式	---	---	3D-FEM	歯形応力解析
材料記号	---	---	SCM415H	SM443H
縦弾性係数	E	MPa	206000.0	206000.0
ポアソン比	ν	---	0.30	0.30
咬分割数(歯面部)	nNO	---	11	11
横分割数	wNO	---	11	11
荷重点位置	NF	---	2	2
荷重	F	N		787.2958

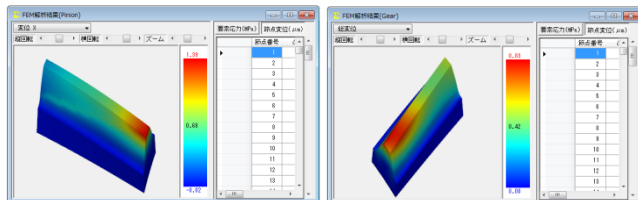
図 42.42 FEM 設定 (3D)



(a)ピニオン

(b)ギヤ

図 42.43 最大主応力 σ_1



(a)ピニオン

(b)ギヤ

図 42.44 歯の変位

42.14 歯車修整 (歯形, 歯すじ, 歯面修整)

図 42.45 に歯面修整を与えた例を示します。この歯形を得るためには図 42.46 の歯形修整を数値入力で与えることもできますが、右側の図のようにパターン化した歯形に数値を入力して与えることもできます。同様に、歯すじ修整も図 42.47 のように設定することができます。この歯形修整と歯すじ修整の 2 つを図 42.48 のように表し、反対歯面にコピーすれば左右歯面同じ修整歯形となり、それを合成すると図 42.45 として表示することができます。

また、図 42.48 の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ます。歯形修整を作用線または直径の区別をすることができます。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。

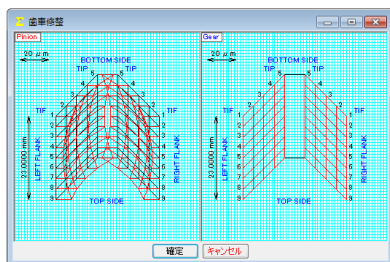


図 42.45 歯面修整 (トポグラフ)

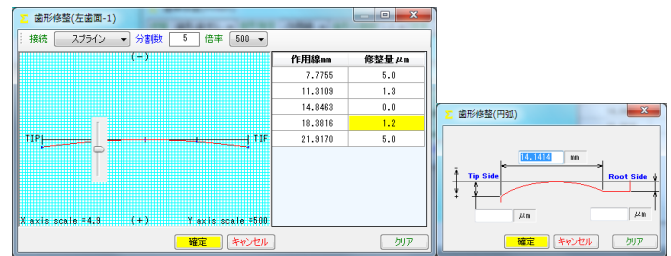


図 42.46 歯形修整

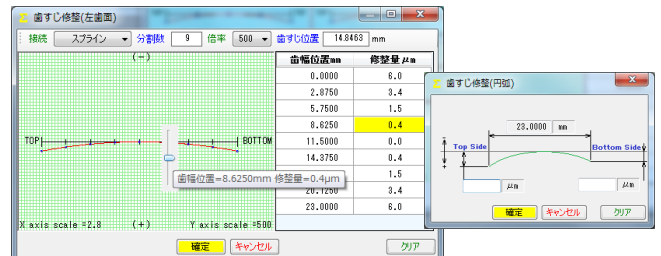


図 42.47 歯すじ修整

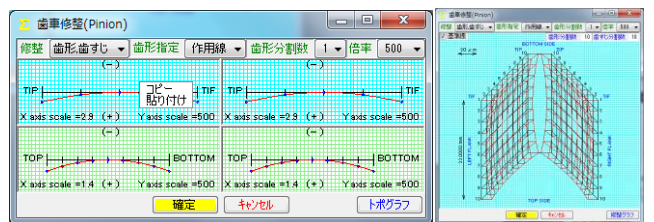


図 42.48 歯形修整&歯すじ修整とトポグラフ

歯面修整を与えた歯形は、図 42.49 の歯形計算諸元で設定することができます。ここで設定した歯形計算条件は、図 42.10~42.14 に示す歯形に有効で、図 42.14 の歯形レンダリングに重ね合わせることができるため図 42.50 のように表示することができます。ここでは、ピニオンに歯面修整を与えているため図中の赤色歯面の中に黄色歯面が表れています (ギヤは無修整)。

歯形項目	記号	Pinion	Gear
フィレット分割数	vuf	30	30
インボリュート分割数	vui	50	50
面取り部分分割数	vur	15	15
歯先円分割数	vut	10	10
歯すじ分割数	hul	31	31

図 42.49 歯形計算諸元

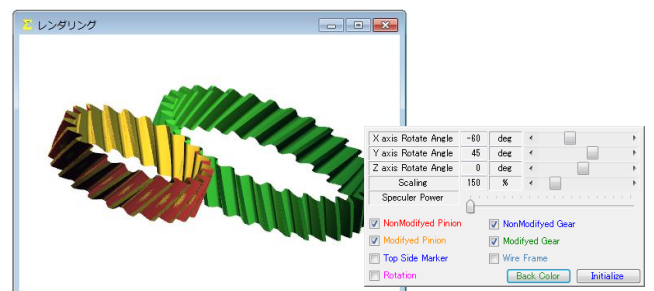


図 42.50 歯形レンダリング (歯面修整)

42.15 歯当たり

歯面修整 (図 42.45) を与えた歯車に図 42.51 で歯当たり条件を設定し歯当たりを確認することができます。ここでは、平行度誤差および食い違い誤差を 0 とし、接触最大クリアランスを $2.0 \mu\text{m}$ としたときの歯当りを図 42.52 および図 42.53 に示します。



図 42.51 歯当たり設定

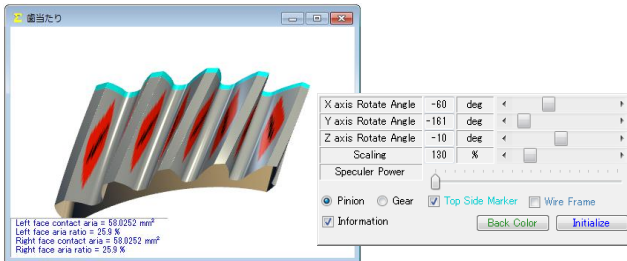


図 42.52 歯当たり (ピニオン)

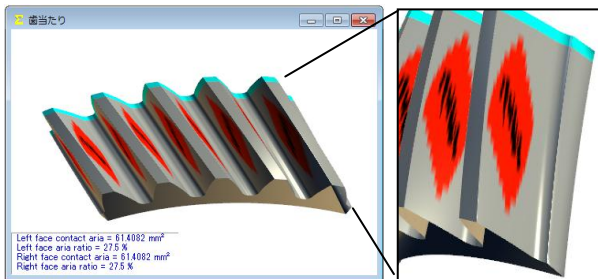
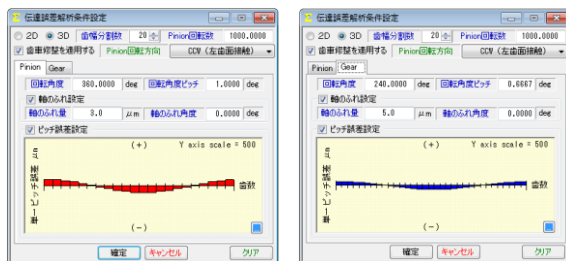


図 42.53 歯当たり (ギヤ) & 拡大

42.16 伝達誤差試験

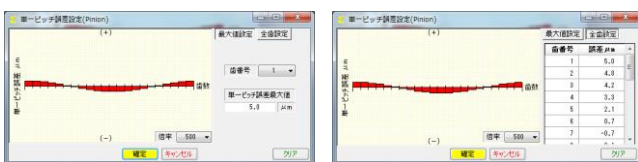
伝達誤差試験では、無修整歯形または図 42.45 で与えた歯形で無負荷時の回転伝達誤差試験をすることができます。図 42.54 に伝達誤差設定を示しますが、ここでは 2D 解析または 3D 解析の選択をすることができ、軸の振れ、回転速度を設定することができます。また、ピッチ誤差は図 42.55 のように最大値の設定または全歯のピッチ誤差を設定することができます。

伝達誤差解析、ワウ・フラッタ (回転むら) そしてフーリエ解析結果を図 42.56~42.58 に示します。図 42.57 の **Sound** **うなり除去** で **[音]** を聞くことができます。



(a)ピニオン (b)ギヤ

図 42.54 伝達誤差設定



(a)最大値の設定 (b)全歯設定

図 42.55 ピッチ誤差設定

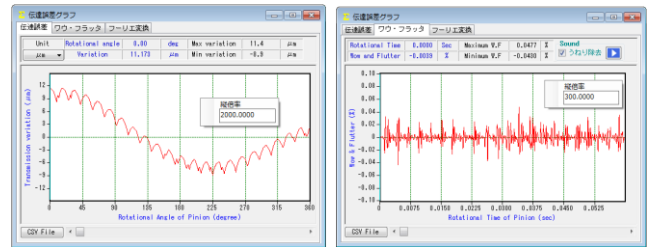


図 42.56 伝達誤差解析結果

図 42.57 ワウ・フラッタ

伝達誤差解析、ワウ・フラッタ、フーリエ解析結果は、図 42.56~42.58 の左下にある **CSV File** で図 42.59 のように csv ファイル (本例の場合 361 個のデータ) に出力することができます。

本ソフトウェアは無負荷での伝達誤差解析試験です。負荷や軸角誤差に対応した伝達誤差解析は[44]CT-FEM-Opera をお使いください。

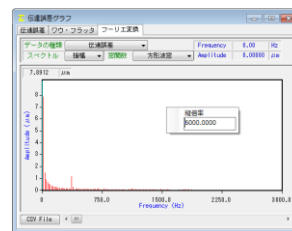


図 42.58 フーリエ解析

F3		
	A	B
1	0	11.17325
2	1	11.4156
3	2	11.17309
4	3	11.04796
5	4	10.86674
6	5	10.55849
7	6	10.1466
8	7	9.554466
9	8	8.887885

図 42.59 csv ファイル例

42.17 歯形出力

生成した歯形は、図 42.60 の歯形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ます。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、歯先部に分割して図 42.61 のように出力します。

図 42.62 に示す座標補正設定では、金型用に使用することを考慮し、モジュール収縮率や圧力角補正、ねじれ角補正そして放電ギャップを含んだ歯形を出力することができます。例として図 42.63 にモジュール収縮率 20/1000 を考慮した歯形図(2D)を示します。また、歯形座標値を図 42.64 のように txt ファイルで出力することができます。



図 42.60 歯形ファイル形式

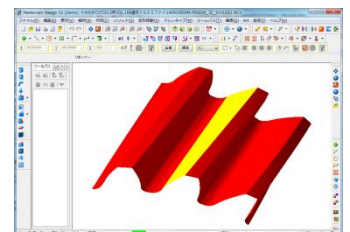


図 42.61 CAD 作図例



図 42.62 座標補正設定

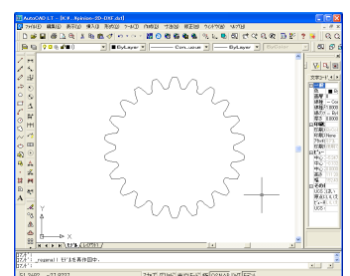


図 42.63 CAD 作図例

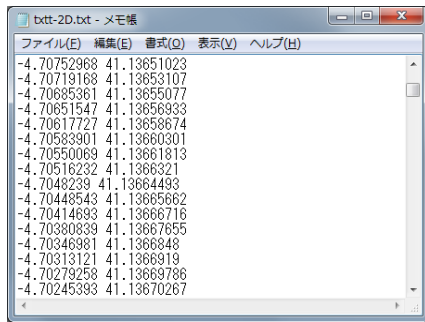


図 42.64 txt ファイル

42.18 内歯車の計算例

内歯車は図 42.3 で「外歯車×内歯車」を選択することで外歯車と同様に計算することができます。図 42.65 に歯車諸元を図 42.66 に寸法を示します。図 42.67 に歯形レンダリングを図 42.68 に歯当たりを示します。なお、図 42.68 のギヤにかみ合うピニオンは、図 42.45 と同じ歯面修整を与えています。また、強度計算、伝達誤差解析、FEM 解析そして歯形出力などは「外歯車×外歯車」と同様です。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
モジュール	m	mm	3.00000	
歯数	z	---	22	85
圧力角	α_n	deg	20.00000	
ねじれ角	β	deg	30	0
ねじれ方向			右ねじれ	右ねじれ
基準円直径	d	mm	76.21024	225.16680
基準円歯距	db	mm	70.25753	207.57907
歯厚入力方式			転位係数	転位係数
転位係数	xn	---	0.10000	0.12300
またぎ歯数	zm	---	4	11
またぎ歯厚	w	mm	32.53267	97.35180
測定ボール径	dp	mm	5.0000	5.0000
オーバーボール寸法	dm	mm	83.32747	219.15593
歯面円弧歯厚	Sn	mm	4.93077	4.44378
中心距離	a	mm	74.54701	
歯面円弧歯厚減少量	fn	mm	0.05000	0.06000
歯幅	b	mm	23.00000	23.00000
歯先円直径	da	mm	82.81024	219.90480
歯面円直径	df	mm	69.31024	239.40480
歯先 R	ra	mm	0.10000	0.10000
基準ラック歯元 R	rf	mm	1.1250	1.1250

図 42.65 諸元 (内歯車)

項目	記号	単位	Pinion	Gear
正面モジュール	mt	mm	3.46410	
正面圧力角	α_t	deg	22.79588	
有効歯幅	bw	mm	23.00000	
リード	pz	mm	414.68023	1225.22113
転位量	Xa	mm	0.30000	0.36900
歯末のたけ	ha	mm	3.30000	2.63100
歯元のたけ	hf	mm	3.45000	4.11900
全歯たけ	h	mm	6.75000	6.75000
クリアランス	c	mm	0.75017	0.75017
基準円歯ねじれ角	β_b	deg	20	1
正面歯み合い圧力角	α_w	deg	22	55
かみ合いピッチ円直径	dw	mm	76.28068	225.37488
正面法線ピッチ	pbt	mm	10.03275	
歯面円弧歯厚	pbn	mm	8.85639	
かみ合い長さ	ga	mm	14.05211	
正面かみ合い率	ε_α	---	1.40062	
重なりかみ合い率	ε_β	---	1.22019	
全かみ合い率	ε_γ	---	2.62081	
すべり率 (歯先)	σ_a	---	0.21134	0.37589
すべり率 (歯元)	σ_b	---	-0.60227	-0.26787
設計またぎ歯厚	w	mm	32.542672	97.411604
設計オーバーボール寸法	dm	mm	83.198909	219.395224
設計歯面円弧歯厚	sn	mm	4.877562	4.379826
正面円弧歯厚	st	mm	5.693564	5.191234
正面またぎ歯厚	wa	mm	36.865179	110.350381
キャリア歯たけ	hj	mm	3.85981	2.62037
キャリア歯厚	Sj	mm	4.87578	4.36991
基準ラック歯末のたけ係数	hac	---	1.00000	1.00000
基準ラック歯元のたけ係数	hfc	---	1.25000	1.25000
バックラッシュ	jt	mm	0.18529	
法線方向バックラッシュ	jn	mm	0.10791	

図 42.66 寸法 (内歯車)

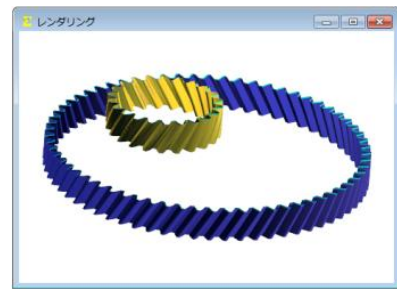


図 42.67 レンダリング

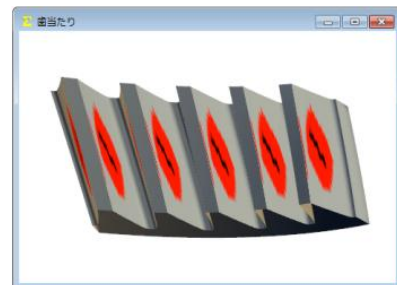


図 42.68 歯当たり (ギヤ)

42.19 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、歯車精度について知りたい場合は、「精度」をアクティブにして[F1]を押すことにより図 42.69 のように精度についての説明を表示します。

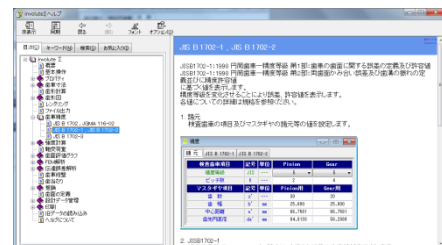


図 42.69 HELP 機能

42.20 設計データ保存・読み込み

設計データは図 42.70 のように保存することができ、図 42.71 のようにデータを読み込むことができます。データ読み込みは、管理番号やタイトルの他に歯車諸元 (モジュール、歯数、圧力角、ねじれ角) からも検索することができます。

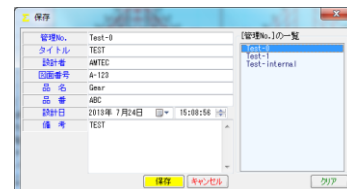


図 42.70 データ保存



図 42.71 読み込み