

[22] CT-FEM ASM (非対称歯形歯車応力解析)

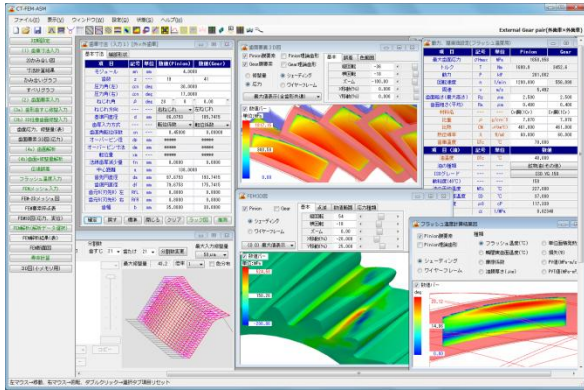


図 22.1 CT-FEM ASM

22.1 概要

非対称歯形歯車は、ギヤの大きさや材料を変更しないで歯面負荷容量を増大させることができます。高圧力角歯形は標準圧力角に比べ、ヘルツ応力は低下し、摩擦係数およびすべり率は小さく、そしてフラッシュ温度を低く抑えることができます。詳しくは【付録 H】をご覧ください。

CT-FEM ASM は、非対称歯形歯車（高強度歯車）の FEM 応力解析ソフトウェアです。CT-FEM Opera iii と同様フラッシュ温度、摩擦係数、油膜厚さ、スカuffィングや摩耗の発生確率そして寿命時間の計算ができ、また、歯面端部接触解析や最適歯面修整機能も付加しています。図 22.1 に全体画面を示します。

22.2 ソフトウェアの構成

CT-FEM ASM の構成を表 22.1 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 22.1 ソフトウェアの構成

項目	機能
<1>基準ラックの設定（非対称歯形）	○
<2>歯車寸法	○
<3>歯車かみ合い図	○
<4>歯面修整	○
<5>3D 応力分布	○
<6>歯面評価 <sup>(1)</sup> 摩擦係数、油膜厚さ、発熱量、 損失動力、PV 値、PVT 値	○
<7>スカuffィング発生確率 <sup>(1)</sup>	○
<8>摩耗発生確率 <sup>(1)</sup>	○
<9>寿命時間 <sup>(1)</sup>	○
<10>効率 <sup>(1)</sup>	○
<11>3D-FEM 歯形応力解析	○
<12>端部部当たり解析	◎
<13>回転伝達誤差解析、フーリエ解析、CSV	◎
<14>内歯車	◎
<15>最適歯面修整の生成機能	◎

(1)樹脂歯車には対応していません。

22.3 基準ラックの設定

図 22.2 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

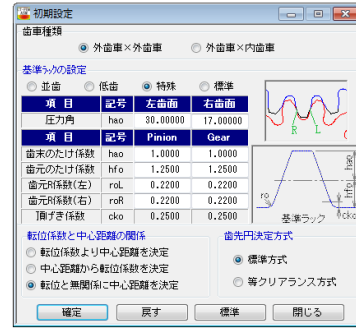


図 22.2 基準ラック

22.4 歯車寸法

歯車寸法は、各部寸法、かみ合い率、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合い率は、TIF (True Involute Form) 径を基準にかみ合い率を決定します。また、歯先に C 面や丸みがある場合は C または R を考慮したかみ合い率を算出します。

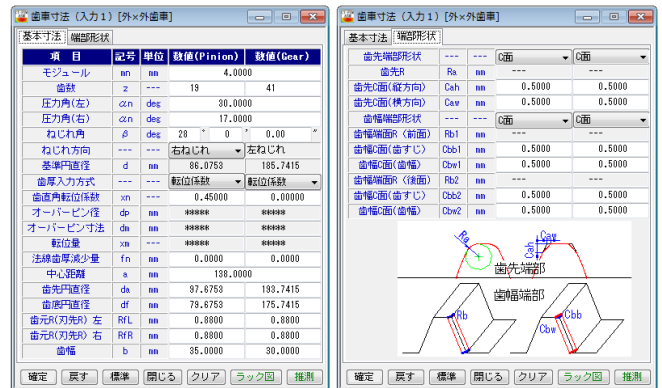
(1)中心距離と転位係数の関係は、以下の3種類です。

- <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3種類です。

- <1>転位係数を直接入力
- <2>オーバピン寸法を入力して転位係数を決定
- <3>転位量を入力して転位係数を決定

転位係数の入力は、転位係数を直接入力方法以外に、歯厚を基準にして転位係数を逆算することもできます。なお、非対称歯形歯車の「またぎ歯厚」測定はできませんので転位係数の設定方式には含まれません。図 22.3 に諸元設定画面を、図 22.4~22.6 に寸法結果を示します。図 22.7 に非対称歯形歯車のオーバボール測定位置図を示します。



(a) 歯車諸元 (b) 面取り

図 22.3 諸元設定

項目	記号	単位	値値(Pinion)	値値(Gear)
正面モジュール	mt	mm		4.5303
正面圧力角	$\alpha_t$	deg	33.1803(L) / 19.0930(R)	
基準円間ねじれ角	$\beta$	deg	23.3896(L) / 26.6768(R)	
基準円直径	da	mm	72.0410(L) / 81.3373(R)	155.4568(L) / 175.5173(R)
全歯たけ	h	mm	3.0000	3.0000
歯切転位係数	xnc	---	0.4500	0.0000
最小インボリュート直径	dt	mm	80.8964(L) / 82.2798(R)	177.1713(L) / 178.7897(R)
最大インボリュート直径	dh	mm	96.6753(L) / 96.6753(R)	192.7415(L) / 192.7415(R)
歯道角円弧歯厚	sn	mm	7.8727	6.2832
正面円弧歯厚	st	mm	8.9164	7.1161
オーバピン径	dp	mm	7.7738	6.3972
基準オーバピン寸法	da	mm	101.0832	195.6964
設計オーバピン寸法	da'	mm	101.0832	195.6964

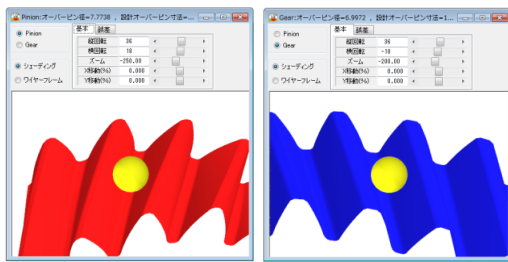
図 22.4 寸法結果 1

項目	記号	単位	数値(Pinion)	数値(Gear)
正面上かみ合い圧力角	$\alpha_{wt}$	deg	84.4857(L) / 21.4684(R)	
かみ合いねじれ角	$\beta_w$	deg	28.3843	
かみ合いピッチ円直径	$d_w$	mm	87.4000	188.6000
歯数比	$z_h$	---	2.1579	0.4634
有効歯幅	$b_w$	mm	30.0000	
クリアランス	$ck$	mm	1.2916	1.2916
正面上かみ合い率	$\epsilon_{\alpha}$	---	0.9292(L) / 1.1485(R)	
重なりかみ合い率	$\epsilon_{\beta}$	---	1.1208(L) / 1.1208(R)	
全かみ合い率	$\epsilon_{\gamma}$	---	2.0500(L) / 2.2693(R)	
すべり率	$\sigma_1$	---	-0.2474(L) / -0.7278(R)	0.1989(L) / 0.4212(R)
すべり率	$\sigma_2$	---	0.8401(L) / 0.5876(R)	-0.5154(L) / -1.3129(R)
正面上法線バックラッシ	$J_t$	mm	0.3010(L) / 0.3398(R)	
バックラッシ角度	$J_{\theta}$	deg	0.4788	0.2219
最大接触直径	$d_{ja}$	mm	98.6753(L) / 98.6753(R)	192.7415(L) / 192.7415(R)
最小接触直径	$d_{jf}$	mm	83.5572(L) / 84.0954(R)	180.5308(L) / 182.1819(R)

図 22.5 寸法結果 2

項目	記号	単位	数値(Pinion)	数値(Gear)
最大面圧(膜要素応力)	$\sigma_h$	MPa	1817.41	
要素数	---	---	40479	32301
節点数	---	---	67718	54266
最大曲げ応力( $\sigma_1$ )	$\sigma_1$	MPa	483.08	561.85
最大曲げ要素番号	---	---	21004	23668

図 22.6 計算結果 3



(a)ピニオン (b)ギヤ

図 22.7 非対称歯形歯車のオーバーボール測定位置

## 22.5 かみ合い図

図 22.8 に正面上かみ合い図(左歯面接触)を示します。補助フォームで基準円直径や作用線を作図することができます。スクロールバーで歯車を回転させることができます。また、歯形を拡大することもできます。

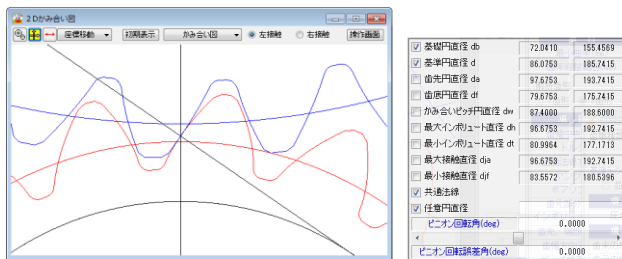
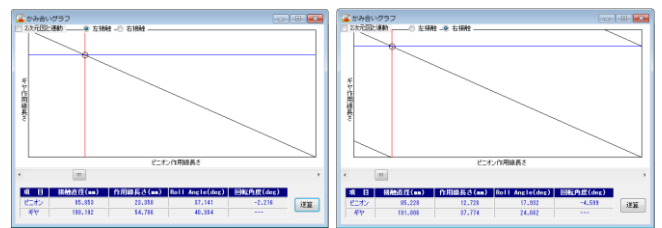


図 22.8 正面上かみ合い図

## 22.6 かみ合いグラフおよびすべり率グラフ

図 22.9 にかみ合いグラフを示します。このグラフでは横軸にピニオンの作用線長さを、縦軸にギヤの作用線長さを示していますのでかみ合いの関係が良く解ります。図 22.9(a)の場合、ピニオンの接触直径が 85.853mm のときギヤの接触直径は 190.192mm です。また、そのときのピニオンの作用線長さは 23.350mm で、ギヤは 54.786mm です。さらに、図 22.8 の正面上かみ合い図と連動させることができますので歯のかみ合いも把握することができます。

図 22.10 の回転角度計算(図 22.9 中の[逆算]ボタン)は、接触直径、作用線長さ、ロールアングルそして回転角度の関係を計算するための補助計算機能です。また、図 22.11 にすべり率グラフを示します。

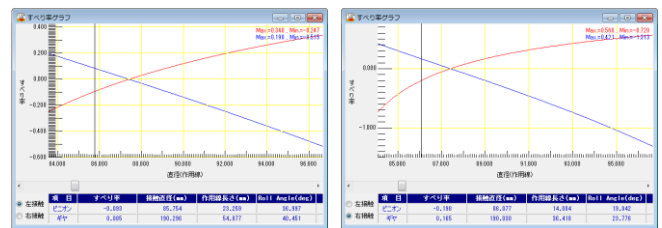


(a)左歯面 (b)右歯面

図 22.9 かみ合いグラフ

項目	記号	単位	数値(Pinion)	数値(Gear)
接触直径	$d'$	mm	87.4000	188.6000
作用線長さ	L	mm	24.7430	53.3927
ロールアングル	$\phi$	deg	39.3572	39.3572
回転角度	$\theta$	deg	0.0000	逆算結果

図 22.10 回転角度計算(左歯面)



(a)左歯面 (b)右歯面

図 22.11 すべり率グラフ

## 22.7 歯面要素(入力2)

図 22.12 に歯面要素設定画面を示します。ここではトルクとヤング率、ポアソン比そして歯形の分割数を設定します。ヤング率、ポアソン比をプラスチック材料とすることによりプラスチック歯車も解析することができます。解析歯形は 1 歯、3 歯、5 歯を選択することができますので、例題歯車のように全かみ合い率が大きい場合には 5 歯を選択します。また、ピッチ誤差を与えることができますので例題歯車では、ピニオンに 6 $\mu$ m のピッチ誤差を与える解析する例を示します。

項目	記号	単位	数値(Pinion)	数値(Gear)
歯幅中央位置	$b_m$	mm	0.0000	0.0000
トルク	T	Nm	1800.0000	3452.6316
正面上法線方向力	F	N	44419.2	
ヤング率	E	MPa	205800.0	205800.0
ポアソン比	$\nu$	---	0.3000	0.3000
歯元部分割数	Nh1	---	20	20
インポリュート部分	Nh2	---	40	40
歯先、端部分割数	Nh3	---	10	10
歯幅方向分割数	Nb	---	40	40
ピッチ誤差( $\mu$ m)			0.0	0.0

図 22.12 歯面要素設定(左歯面)

## 22.8 歯形歯すじ入力

定型の歯形修整および歯すじ修整は各々 3 種類 (Type1~3) あります。本例で与えるピニオンの歯形修整を図 22.13 に、歯すじ修整を図 22.14 に示します。ただし、ギヤは無修整とします。

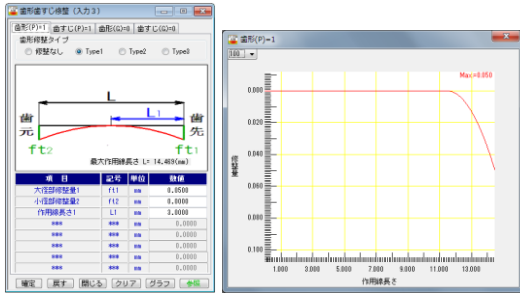


図 22.13 歯形修整とグラフ

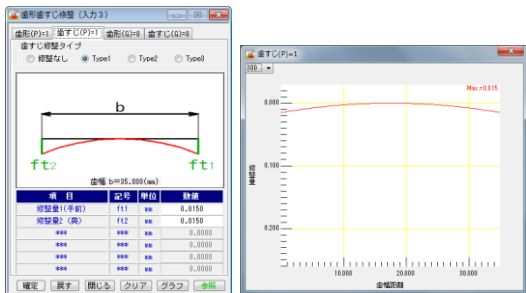
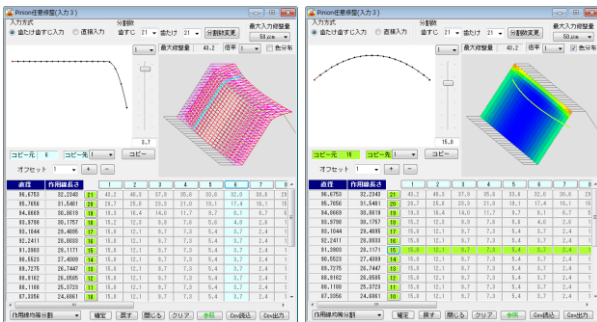


図 22.14 歯すじ修整とグラフ

## 22.9 3D 任意歯面修整

3D 歯面修整は図 22.15 のように直接入力することもできますし、図 22.13 および図 22.14 で設定した修整を引き継ぐこともできます。図 22.15 は、図 22.13 と図 22.14 で設定した修整を 3D 表示したものです（ギヤは無修整のため省略）。また、この歯形を CSV ファイルで出力することも、歯車検査結果データ（CSV ファイル）を読み込むこともできます。

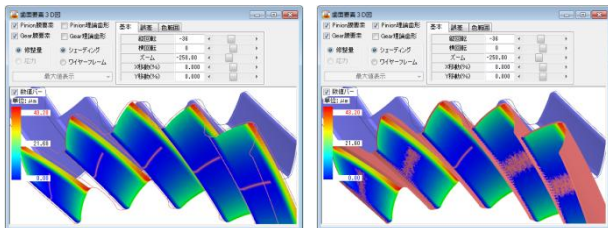


(a) 歯形修整表示 (b) 歯すじ修整表示+色分布

図 22.15 歯面修整（ピニオン）

## 22.10 歯面要素 3D 図

図 22.15 で設定した歯形を 3D 図で確認することができます。補助フォームでは歯車を回転、ズームさせることができ、中心距離誤差や組み立て誤差角度を設定し、歯当たりを確認することができます。図 22.16(a) は歯面修整を持つ歯形を表示したもので、(b) は、それに理論歯形（ピニオン赤色とギヤ青色）を重ねた合わせた図です。また、図 22.17 に歯面要素メッシュモデルを示します。



(a) 歯面修整 (b) 歯面修整+理論歯形

図 22.16 歯面要素

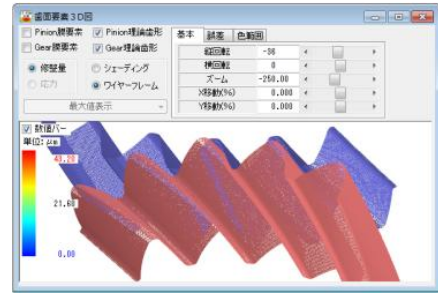


図 22.17 歯面要素メッシュモデル

## 22.11 歯面解析

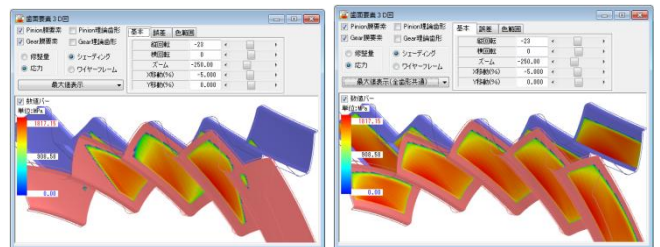
歯車諸元やトルクそして歯面修整を与えたときの歯面応力を解析します。解析角度は、1 ピッチ角度と最大接触角度の 2 種類あります。ここでは例題として図 22.18 のように最大接触角 ( $\theta_{max}=64.68^\circ$ ) を 60 分割し、食い違い角誤差を  $\phi_1=0.01^\circ$ 、平行度誤差を  $\phi_2=-0.001^\circ$  として計算します。この軸角誤差は、負荷により軸受や歯車箱が歪んだときの誤差角であり、この原因により歯当たりが変化し応力分布に変化を生じさせます。



図 22.18 歯面解析設定画面と参照図

## 22.12 歯面応力解析結果

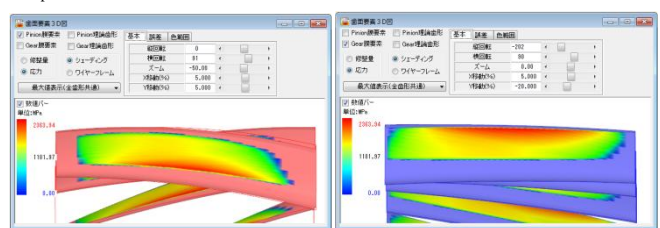
歯面応力解析結果を図 22.19 に示します。解析の結果、図 22.19(a) はピッチ誤差を与えているため同じ歯面応力分布となっていないことが解ります。同じく (b) は、最大応力を全歯に示したものです。



(a) ピッチ誤差考慮 (b) 全歯共通

図 22.19 歯面応力 ( $\sigma_{Hmax}=1817MPa$ )

歯面全体応力分布を図 22.20 に示します。図 22.21 は、歯面応力の最大と最小を示したものであり、最大歯面応力はピニオン回転角  $\theta_p=14.247^\circ$  時であることが解ります。



(a) ピニオン (b) ギヤ

図 22.20 歯面応力 ( $\sigma_{Hmax}=2364MPa$ )



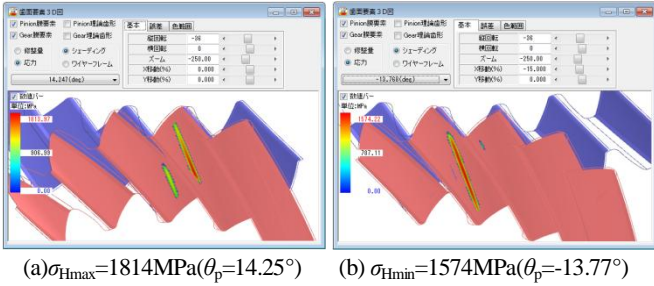
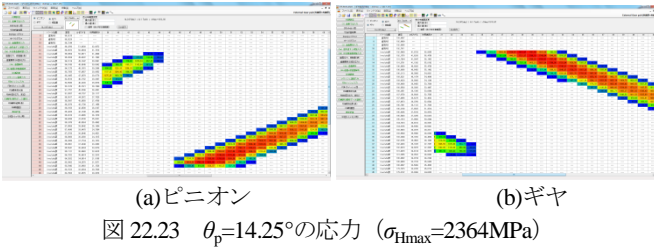
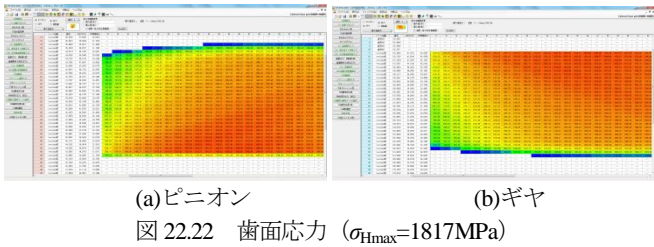


図 22.21 歯面応力の最大と最小

歯面全体の応力分布（セル表示）を図 22.22 に示します。例題の場合、歯幅方向に 98 個（歯幅面取り部含む）、歯たけ方向に 70 個（歯先面取り部含む）の領域の応力を表示しますので歯面位置における応力値が解ります。また、ここに表示している応力値は CSV ファイルで出力することができます。

各々の回転角時の応力は、図 22.23 のようにピニオン回転角に応じた応力分布を連続して表示することができますので応力変化と接触位置を把握することができます。



### 22.13 フラッシュ温度、摩擦係数、油膜厚さ 他

フラッシュ温度を計算するときの設定画面を図 22.24 に示します。ここでは、回転速度、歯面粗さの他に材料（熱伝導率）を選択します（図 22.25）。潤滑油の種類は鉱物油、合成油を選択することができますが、規格外の場合は、任意に動粘度や油の平均温度などを設定することができます。フラッシュ温度、摩擦係数、油膜厚さの計算結果を図 22.26～22.33 に示します。また、スカuffing発生確率、摩耗の発生確率を図 22.34 に示します。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
最大歯面応力	$\sigma_{Hmax}$	MPa	1658.358	3452.6
トルク	T	Nm	1600.0	3452.6
動力	P	kW	201.082	556.098
回転速度	n	1/min	1200.000	556.098
周速	v	m/s	5.492	5.492
歯面粗さ(最大高さ)	Rz	$\mu\text{m}$	2.500	2.500
歯面粗さ(平均)	Ra	$\mu\text{m}$	0.400	0.400
材料名	---	---	---	---
比重	$\rho$	$\text{g/cm}^3$	7.870	7.870
比熱	Cm	J/(g $\cdot$ °C)	461.000	461.000
熱伝導率	$\lambda$	W/mK	60.000	60.000
歯車温度	GTC	°C	70.000	70.000
項目(油)	記号	単位	数値	
油温度	OilT	°C	70.000	
油の種類	---	---	鉱物油(その他)	
ISOグレード	---	---	ISO VG 150	
動粘度(40°C)	---	---	150	
油の平均温度	MTC	°C	227.000	
油の標準偏差温度	SD	°C	87.000	
絶対粘度	$\mu_0$	cP	27.779	
粘度圧	$\alpha$	1/MPa	0.01940	

図 22.24 フラッシュ温度設定画面

材料	熱伝導率	比重	比熱	動粘度	粘度圧	材料名
鋼	45	7.85	460	100	0.019	鋼
鋁	170	2.7	880	100	0.019	鋁
銅	400	8.9	380	100	0.019	銅
鉄	45	7.85	460	100	0.019	鉄
ステンレス	16	7.9	460	100	0.019	ステンレス
チタン	17	4.5	520	100	0.019	チタン
炭素鋼	45	7.85	460	100	0.019	炭素鋼
合金鋼	45	7.85	460	100	0.019	合金鋼
銅合金	400	8.9	380	100	0.019	銅合金
鋁合金	170	2.7	880	100	0.019	鋁合金
チタン合金	17	4.5	520	100	0.019	チタン合金
セラミックス	15	3.9	3800	100	0.019	セラミックス
ガラス	1	2.5	2500	100	0.019	ガラス
樹脂	0.2	1.2	1200	100	0.019	樹脂
その他	---	---	---	---	---	その他

図 22.25 材料と潤滑油

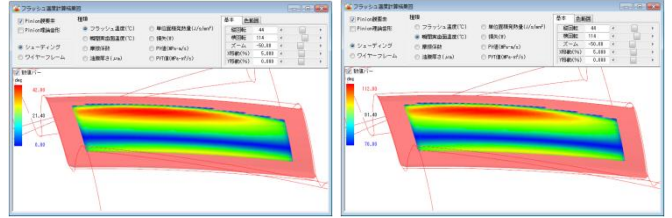


図 22.26 フラッシュ温度

図 22.27 瞬間実歯面温度

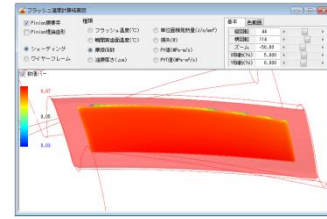


図 22.28 摩擦係数

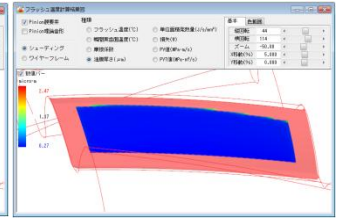


図 22.29 油膜厚さ

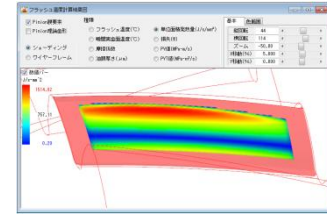


図 22.30 発熱量

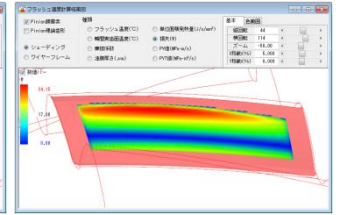


図 22.31 損失動力

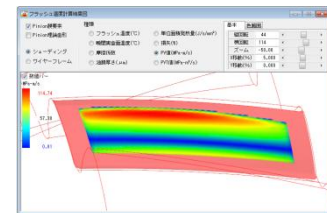


図 22.32 PV 値

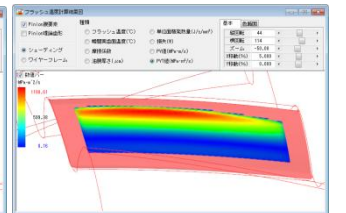


図 22.33 PVT 値

損傷確率 & 効率				
項目	記号	単位	Pinion	Gear
スカuffing発生確率	$\eta_s$	%	<5	
摩耗の発生確率	$\eta_f$	%	5.00	
動力損失	$\eta_e$	%	0.74	

図 22.34 損傷確率

### 22.14 端部解析 (オプション)

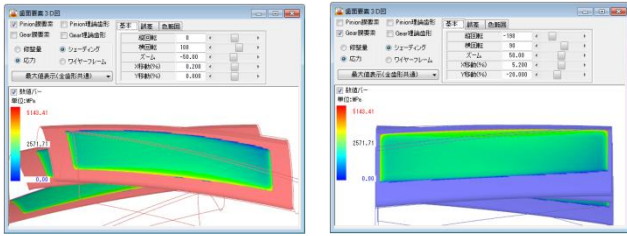
22.11～22.13 項ではインボリュート歯面について解析しましたが、ここでは歯先や側面部の端部解析（図 22.35）をした結果を示します。

解析の結果、図 22.36 のようにピニオン歯元とギヤ歯先に  $\sigma_{Hmax} = 4204\text{MPa}$  もの大きな応力が発生します。フラッシュ温度はインボリュート歯面の解析では図 22.26 のように歯先部で  $42.8^\circ\text{C}$  だったものが端部解析では図 22.37 のようにピニオン歯元で  $172^\circ\text{C}$  に大きく上昇していることが解ります。

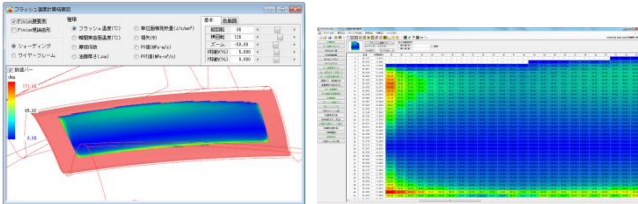
端部解析設定				
項目	数値(Pinion)	数値(Gear)	未対応(歯車変更なし)	
最小歯元半径	1.0000	1.0000		
歯車修形範囲(mm)	1.0000	1.0000		
解析歯形	計量歯形			
1歯形	<input checked="" type="radio"/>			
5歯形	<input type="radio"/>			
歯元+歯面+歯先	<input checked="" type="radio"/>			
歯面のみ	<input type="radio"/>			
項目	記号	単位	数値(Pinion)	数値(Gear)
歯幅中央位置	bn	mm	0.0000	0.0000
トルク	T	Nm	1600.0000	3452.6916
正面法線方向力	F	N	44419.2	
ヤング率	E	MPa	205800.0	205800.0
歯元部分割数	Nh	---	0.3000	0.3000
インボリュート部分	Nb2	---	20	20
歯先_端部分割数	Nb3	---	40	40
歯幅方向分割数	Nb4	---	10	10
ピッチ誤差(μm)	Nb5	---	40	40
正一接触数	解析歯面			
Pinion	0.0	6.0	0.0	0.0
Gear	0.0	0.0	0.0	0.0

図 22.35 歯面設定(端部解析)

図 22.35 歯面設定(端部解析)



(a)ピニオン (b)ギヤ  
図 22.36 歯面応力 (端部解析,  $\sigma_{Hmax}=5143MPa$ )



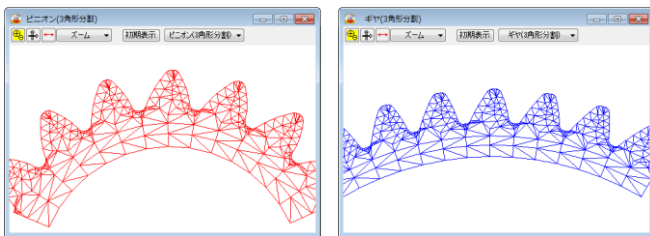
(a)歯形上表示 (b)セル表示  
図 22.37 フラッシュ温度,  $T_f=172(^\circ C)$

### 22.15 FEM 解析

FEM 解析するため図 22.38 でメッシュモデルを作成します。ここでは標準モデルでメッシュを作成しますが、設定の方法は歯形を精度で決める方法と歯形を分割数で決める方法の 2 通りがあります。メッシュ分割した歯形は、図 22.39 のように 2D メッシュモデルや図 22.40 の 3D メッシュモデルで確認することができます。また、3D-FEM メッシュ要素は座標と節点を図 22.41 のように表示することができます。



図 22.38 メッシュモデル設定



(a)ピニオン (b)ギヤ  
図 22.39 2D メッシュモデル

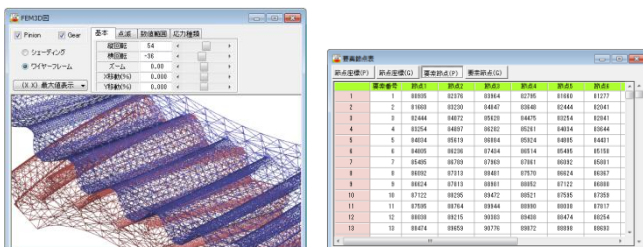


図 22.40 3D メッシュモデル 図 22.41 FEM メッシュ要素

メッシュモデルは図 22.42 のようにリム・ハブモデルとして生成することができますのでプラスチック歯車のような弾性率が小さい歯車には有効です。

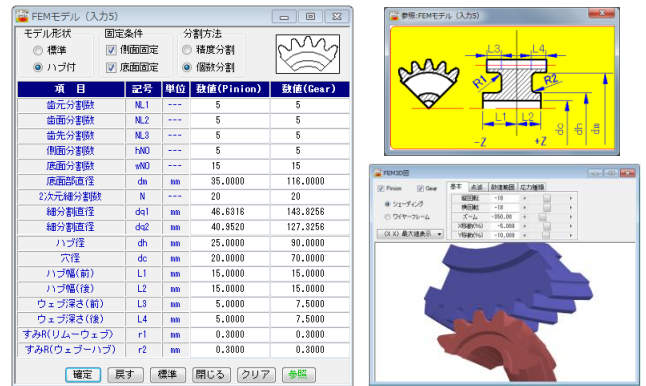


図 22.42 リム・ハブモデル

次に、図 22.38 で設定したメッシュモデルで FEM 解析をする例を以下に説明します。

図 22.18 の歯面解析設定で設定した角度 (-28.578°~36.102°) を 60 分割していますので歯面応力が最も大きい  $\theta_p=14.247^\circ$  (図 22.21) の角度を選択し FEM 解析します。かみ合い角度内での曲げ応力の変化を知りたい場合は図 22.43 の□を全てチェックすれば 60 組の曲げ応力を計算することができます (解析数が多いため必要なかみ合い角度のみ選択し計算することが有効)。

解析する項目は、図 22.45 に示す応力、変位そしてひずみの 3 種類です。FEM 解析結果を図 22.45~22.48 に示します。



図 22.43 FEM 解析角度の設定

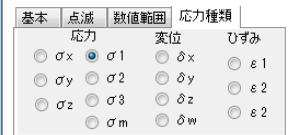
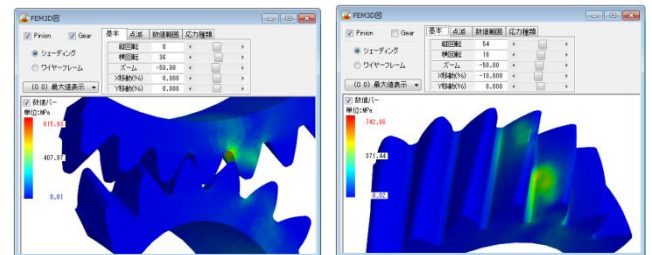
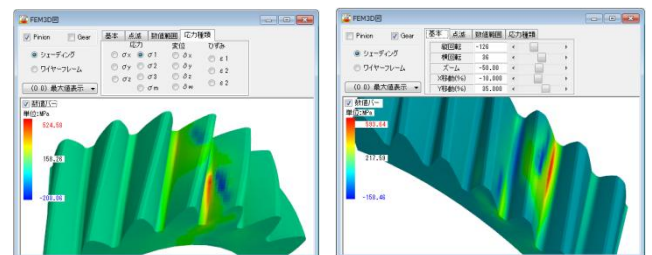


図 22.44 解析の種類



(a) 1 対歯車 (b)ピニオン  $\sigma_{nmax}=743MPa$   
図 22.45  $\sigma_m$  (ミーゼス応力)



(a)ピニオン  $\sigma_{1max}=525MPa$  (b)ギヤ  $\sigma_{1max}=594MPa$   
図 22.46 最大主応力



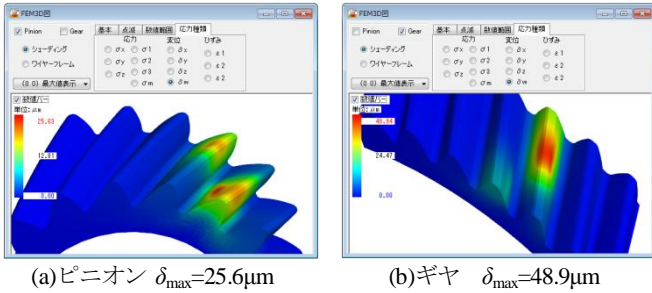


図 22.47 変位

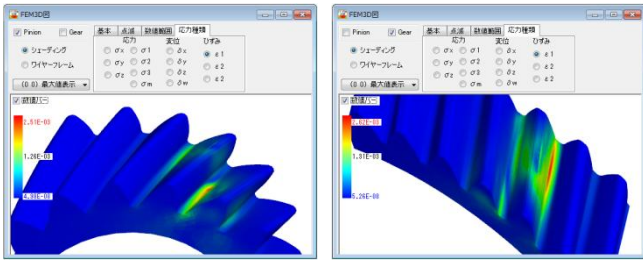


図 22.48 ひずみ

図 22.49 の解析結果一覧表でピニオンの最大主応力の最大値  $\sigma_{1max} = 525\text{MPa}$  の要素番号は 31695 ということが解りますので、この番号を図 22.50 の「点滅」に入力すると応力分布図 (○印中で ▲ が点滅します) で確認することができます。

FEM 解析結果後、図 22.51 のように歯幅方向の任意の位置での応力を表示することができます。図 22.51 は歯幅中央位置 (zd=-3mm)における応力を示しています。

要素番号	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	主ひずみ1	主ひずみ2	主ひずみ3
1	423.97	139.86	91.59	139.24	-13.84	-7.91
2	31794	444.13	105.83	91.89	-29.84	-18.89
3	31894	495.83	145.92	78.15	292.54	-9.15
4	31420	472.88	51.19	101.32	73.88	-15.89
5	31795	413.87	98.89	78.01	169.31	-14.81
6	31421	485.25	45.38	102.85	73.72	-9.87
7	31897	375.50	142.17	82.83	187.85	-8.57
8	31898	388.35	125.82	68.82	189.13	-5.16
9	31793	412.72	98.48	82.17	163.41	-8.37
10	31419	484.85	46.81	109.87	81.09	-18.49
11	31796	405.88	97.89	75.81	188.24	-18.89
12	31899	379.38	119.26	81.39	195.29	-10.89

図 22.49 解析結果一覧

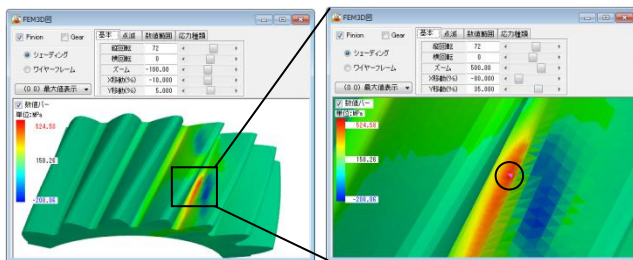
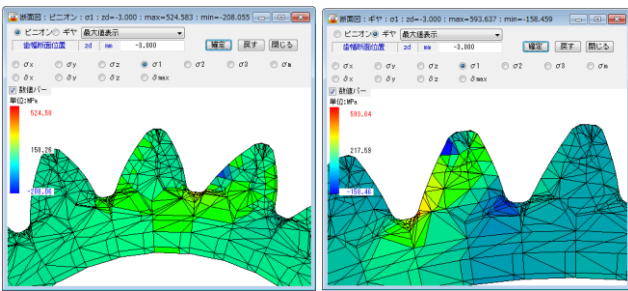


図 22.50 ピニオンの  $\sigma_{1max}$  の位置



(a) ピニオン (b) ギヤ

図 22.51 FEM 断面図

## 22.16 寿命時間

歯面応力解析および FEM 解析後に寿命時間を計算します。ここでは材料の歯面強さに対する許容応力値  $\sigma_{Hlim} = 2000\text{MPa}$  とした寿命時間を図 22.52 に示します。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
歯面最大応力	$\sigma_{Hmax}$	MPa	1815.988	1817.158
最大曲げ応力 ( $\sigma_1$ )	$\sigma_1$	MPa	524.583	593.637
回転速度	n	1/min	1200.000	556.088
許容ヘルツ応力	$\sigma_{Hlim}$	MPa	2000.000	2000.000
許容曲げ応力	$\sigma_{Flim}$	MPa	400.000	400.000
過負荷の回数	Ne	---	1	1
硬化材料の有無	---	---	非硬化材料	---
使用状態	---	---	一般	---

項目(歯面)	記号	単位	Pinion	Gear
予想応力繰返し係数	ZN	---	0.308	0.309
予想寿命荷回数	Nc	---	6.85E+08	6.47E+08
予想寿命時間	Lc	hrs	9.23E+03	1.94E+04

項目(歯げ)	記号	単位	Pinion	Gear
予想応力繰返し係数	ZN	---	1.311	1.484
予想寿命荷回数	Nc	---	4.28E+05	1.52E+05
予想寿命時間	Lc	hrs	5.94E+00	4.54E+00

図 22.52 寿命時間

## 22.17 回転伝達誤差 (オプション)

図 22.18 の歯面解析設定画面で与えた回転角度内での回転伝達誤差を図 22.53 に、フーリエ解析結果を図 22.54 に示します。

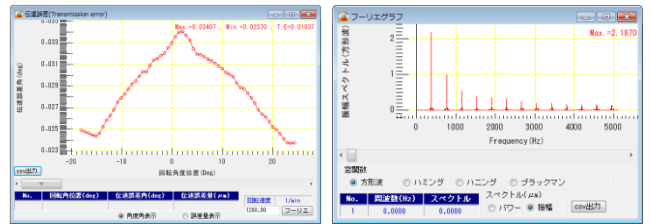


図 22.53 回転伝達誤差

図 22.54 フーリエ解析

## 22.18 内歯車の解析 (オプション)

「外歯車×内歯車」の解析結果を図 22.55~22.66 に示します。ピニオンの歯面修整 (図 22.14) もトルクも「外歯車×外歯車」の例 (図 22.12) と同じにしています。

項目	記号	左歯車	右歯車
圧力角	h $\alpha$	39.00000	17.0000
歯面のたけ係数	M $\alpha$	1.0000	1.0000
歯元傾斜(左)	ro $l$	0.2200	0.2200
歯元傾斜(右)	ro $r$	0.2200	0.2200
歯元傾斜	co $\alpha$	0.2200	0.2200

図 22.55 基準ラック

項目	記号	単位	値値(Pinion)	値値(Gear)
モジュール	m	mm	4.0000	---
歯数	z	---	19	55
圧力角(左)	$\alpha_n$	deg	30.0000	---
圧力角(右)	$\alpha_n$	deg	17.0000	---
ねじれ角	$\beta$	deg	28	0
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	右ねじれ
基準円直径	d	mm	86.0753	249.1654
歯面入力方式	---	---	転位係数	---
歯面入力方式	---	---	0.45000	0.30000
歯面転位係数	xn	---	0.45000	0.30000
オーバーピン径	dp	mm	*****	*****
オーバーピン径	dm	mm	*****	*****
転位量	xm	---	*****	*****
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0000	0.0000
中心距離	a	mm	80.5000	---
歯先円直径	da	mm	97.8753	249.5654
歯底円直径	df	mm	79.8753	261.5654
歯元円直径(左)	R $fl$	mm	0.8900	0.8900
歯元円直径(右)	R $fr$	mm	0.8900	0.8900
歯幅	b	mm	35.0000	30.0000

図 22.56 歯車諸元

項目	記号	単位	値値(Pinion)	値値(Gear)
正面モジュール	mt	mm	4.5000	---
正面圧力角	$\alpha_t$	deg	39.1803(L) / 19.0990(R)	---
基準円歯ねじれ角	$\beta_b$	deg	23.8898(L) / 26.8768(R)	---
基準円直径	db	mm	72.0410(L) / 81.3973(R)	208.5397(L) / 235.4500(R)
全歯たけ	h	mm	9.0000	9.0000
歯切歯係数	xnc	---	0.45000	0.30000
最小インボリュート直径	dt	mm	80.9884(L) / 82.2788(R)	244.5554(L) / 244.5554(R)
最大インボリュート直径	dh	mm	96.6753(L) / 96.6753(R)	260.8589(L) / 260.5543(R)
歯面角円歯厚	sn	mm	7.8727	5.2235
正面歯厚	st	mm	8.9164	5.9180
オーバーピン径	dp	mm	7.0159	6.9239
基準オーバーピン径	dm	mm	88.8378	241.4933
設計オーバーピン径	dm'	mm	88.8378	241.4933

図 22.57 寸法結果 1

項目	記号	単位	数値(Pinion)	数値(Gear)
正面かみ合い圧力角	$\alpha_n$	deg	32.0240(L) / 18.8193(R)	
かみ合いねじれ角	$\beta_n$	deg	27.8948	
かみ合いピッチ円直径	$d_w$	mm	84.9722	245.3722
歯数比	$z_h$	mm	2.8947	0.3455
有効歯幅	$b_w$	mm	30.0000	
クリアランス	$ck$	mm	1.4451	1.4451
正面かみ合い率	$\epsilon_\alpha$	---	0.3269(L) / 1.2164(R)	
重なりかみ合い率	$\epsilon_\beta$	---	1.1208(L) / 1.1208(R)	
全かみ合い率	$\epsilon_\gamma$	---	2.0477(L) / 2.3382(R)	
すべり率	$\sigma_1$	---	-0.0418(L) / -0.1882(R)	0.0386(L) / 0.1439(R)
すべり率	$\sigma_2$	---	0.1871(L) / 0.3486(R)	-0.2454(L) / -0.5304(R)
正面法線バックラッシュ	$j_t$	mm	0.3467(L) / 0.3915(R)	
バックラッシュ角度	$j_\theta$	deg	0.5515	0.1805
最大接触曲径	$d_{ca}$	mm	86.6753(L) / 96.6753(R)	256.7823(L) / 255.8544(R)
最小接触曲径	$d_{ca}$	mm	83.5858(L) / 83.8565(R)	244.5654(L) / 244.5654(R)
インボリュート干渉	---	---	発生しません	Left/発生しません, right
ドリミング	---	---	発生しません	Left/発生しません, right
トロコイド干渉	---	---	発生しません	Left/発生しません, right
フィレット(歯元部)干渉	---	---	発生しません	Left/発生しません, right

図 22.58 寸法結果 2

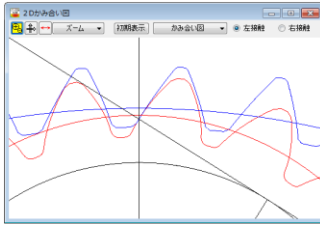


図 22.59 正面かみ合い図

項目	記号	単位	数値(Pinion)	数値(Gear)
歯幅中央位置	$b_n$	mm	0.0000	0.0000
トルク	$T$	Nm	1800.0000	4631.5789
正面法線方向力	$F$	N	44419.2	
接線力	$E$	MPa	205800.0	205800.0
ボアソン比	$\nu$	---	0.3000	0.3000
歯元部分割数	$Nh1$	---	20	10
インボリュート部分	$Nh2$	---	40	40
歯先 歯部分割数	$Nh3$	---	10	20
歯幅方向分割数	$Nb$	---	40	40
ピッチ誤差 ( $\mu m$ )	正一接触線			
Pinion		0.0	0.0	0.0
Gear		0.0	0.0	0.0

図 22.60 歯面要素設定

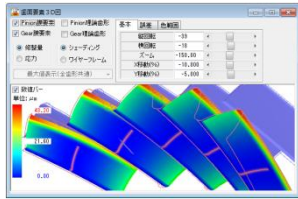


図 22.61 歯面要素 (修整)

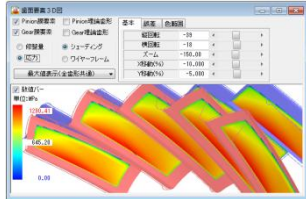
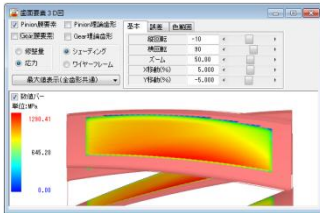
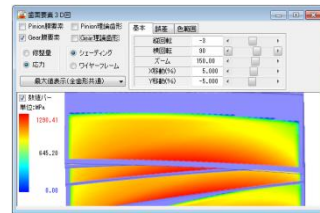


図 22.62  $\sigma_{Hmax}=1290MPa$



(a) ピニオン



(b) ギヤ

図 22.63 歯面応力 ( $\sigma_{Hmax}=1290MPa$ )

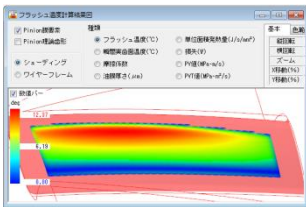


図 22.64  $T_f=12.4(^{\circ}C)$  フラッシュ温度

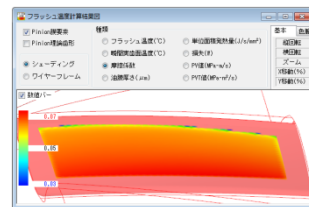
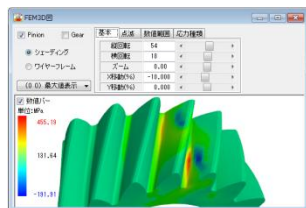
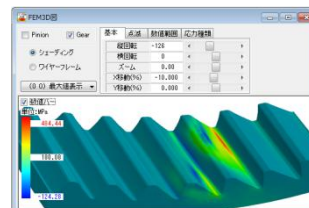


図 22.65  $\mu_{max}=0.070$  摩擦係数



(a) ピニオン  $\sigma_1=455MPa$



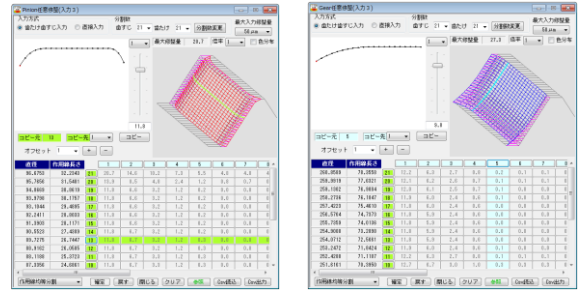
(b) ギヤ  $\sigma_1=484MPa$

図 22.66 最大主応力

## 22.19 最適歯面修整量解析 (オプション)

図 22.14 のように歯面修整を一律に決めるのではなくトルク、ピッチ誤差そして軸角誤差を考慮したとき歯面応力が最小となる修整量を決めることができる機能です。設計条件下での負荷容量を大きくすることができます。

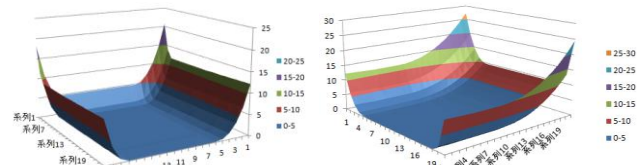
例として、図 22.3 歯車で図 22.11 のトルクとピッチ誤差、図 22.18 の軸角誤差の条件で計算 (4b)歯面+修整量解析 した最適歯面修整を図 22.67 および図 22.68 に示します。



(a) ピニオン

(b) ギヤ

図 22.67 最適歯面修整

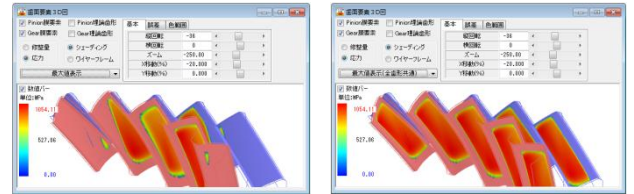


(a) ピニオン

(b) ギヤ

図 22.68 最適歯面修整 (Excel 表示例)

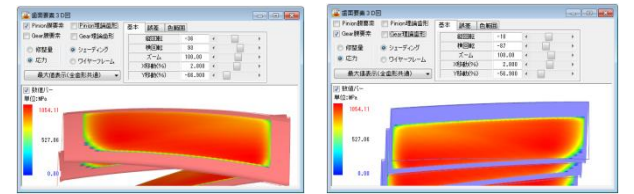
次に、図 22.67 の歯形で解析した歯面応力の図 22.69 および図 22.70 は、図 22.20 の  $\sigma_{Hmax}=2364MPa$  に比べ 28%低下し、図 22.71 のフラッシュ温度も図 22.26 に比べ  $3.6^{\circ}C$ 低下しています。



(a) ピッチ誤差考慮

(b) 全歯共通

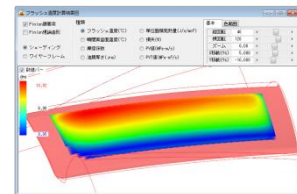
図 22.69 歯面応力 ( $\sigma_{Hmax}=1054MPa$ )



(a) ピニオン

(b) ギヤ

図 22.70 歯面応力 ( $\sigma_{Hmax}=1054MPa$ )



$T_f=13.9(^{\circ}C)$

図 22.71 フラッシュ温度

※非対称歯形歯車の付録[H]および資料(Web)をご覧ください。