

[22] CT-FEM System(Ver.4.0)

22.0 はじめに

CT-FEM Systemは、2004年09月に発売開始以来、歯車の限界設計に挑戦している専門家の方々から、バイアス修整や軸角誤差を持つ歯車の実験結果とシミュレーションが非常に良く一致した結果であると高い評価をいただいています。また、通常の歯車設計の感覚で操作することも高評価の一因です。

この度、お客様の要望にお答えして種々新機能を追加したCT-FEM System(Ver4.0)を開発しました。詳しくは下記をご覧ください。

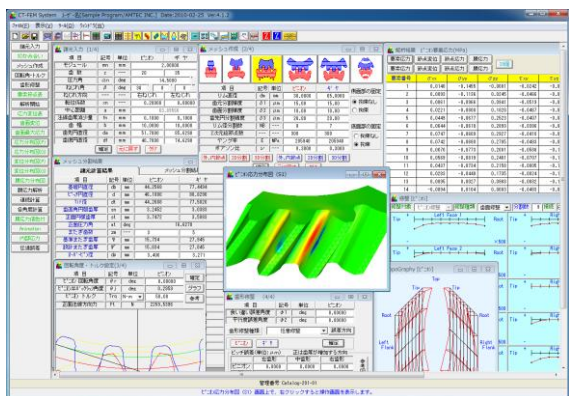


図22.1 CT-FEM System

22.1 概要

有限要素法による応力解析は剛性解析であり、扱うオーダーはmm単位です。一方、歯形のかみ合い解析は μm オーダーの寸法を扱う必要があります。さらに、一般のFEMは接触問題の解析を苦手としており、かみ合う一對の歯車の応力解析を歯面形状をも考慮して有限要素法で行うのはこれまで不可能であったといえます。

そこで、機械設計者が柔軟に使用することができるように、歯車の接触問題を考慮した FEM による歯車の応力解析ソフトを開発しました。図 22.1 に CT-FEM System の画面を示します。

22.2 初期設定

(1) 適用歯車 : インボリュート歯車

- 外歯車×外歯車
- 外歯車×内歯車

(2) 基準ラック : 並歯, 低歯, 特殊

図 22.2 に、諸元設定画面を、図 22.3 にメッシュの初期設定画面を示します。



図 22.2 歯車初期設定

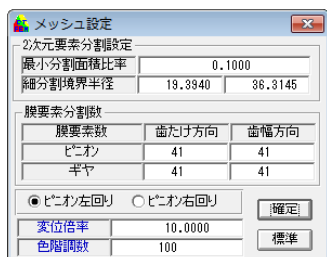


図 22.3 メッシュ設定

22.3 諸元入力(1/4)

歯車の FEM 解析例を以下に示します。歯車諸元入力は、図 22.4 に示しますようにモジュールから歯底円直径までを順次入力するだけで済みます。また、中心距離を離してバックラッシを与えることも可能です。図 22.5 と図 22.6 に、検討歯車の歯形レンダリングを示します。また、歯面膜要素だけを表示することができますので食い違い誤差や平行度誤差と歯形修整を与えたときの歯面の接触を容易に観察することができます。

項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
モジュール	mn	mm	2.00000	
歯数	z	---	20	35
圧力角	α_n	deg	14.50000	
ねじれ角	β	deg	30	0
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	左ねじれ
転位係数	xn	---	0.20000	0.00000
中心距離	a	mm	63.89566	
法線歯厚減少量	fn	mm	0.10000	0.10000
歯幅	b	mm	10.0000	10.0000
歯先円直径	da	mm	51.7880	85.6290
歯底円直径	df	mm	40.7880	74.6290

図 22.4 寸法諸元設定

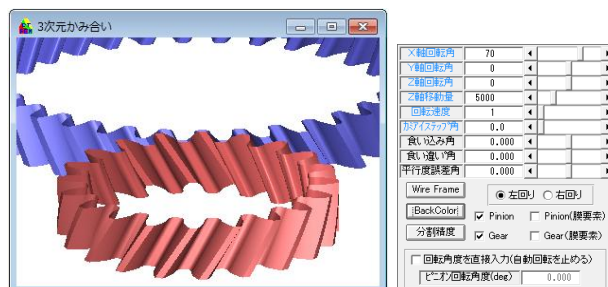


図 22.5 歯形レンダリング

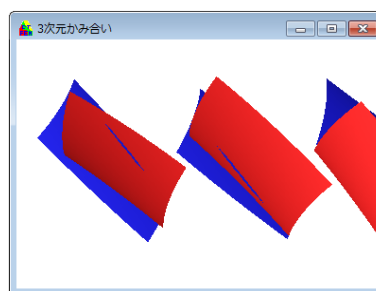


図 22.6 膜要素歯形レンダリング

22.4 メッシュ作成(2/4)

本ソフトウェアでは FEM 解析用に歯車を四面体 2 次要素(図 22.7)で自動分割することができます。生成条件は、図 22.8 に示すように歯元、歯面、歯先部分を分割精度基準として決定することができるため、応力集中部分を細かく、その他の部分を粗く設定することができます。

生成したメッシュは、図 22.9 および図 22.10 で確認することができます。もし、生成した要素分割に不満があれば、図 22.8 の分割精度および節点数を変更することによりメッシュの形態を変更することができます。

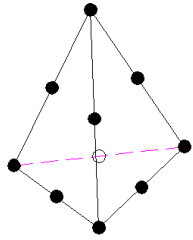


図 22.7 四面体2次要素



図 22.8 メッシュ分割条件

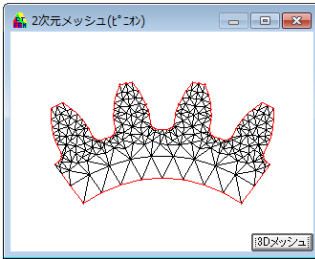


図 22.9 2次元メッシュ

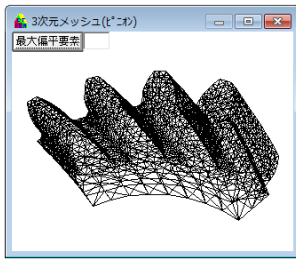


図 22.10 3次元メッシュ

図 22.8 のメッシュ条件により自動メッシュを生成した結果、メッシュ分割数は、図 22.11 に示すようにピニオンの節点数は 32634、要素数は 20770 となります。また、検討歯車の各部寸法を図 22.12 に示します。

メッシュ分割結果		
諸元計算結果		メッシュ分割結果
項目	ピニオン	ギヤ
外部節点数	102	71
内部節点数	98	61
2次元1次要素節点数	282	248
2次元1次要素要素数	460	417
4面体2次要素節点数	32634	30895
4面体2次要素要素数	20770	20251
4面体最大偏平度	44.6085	52.8704
4面体平均偏平度	20.5680	20.1213

図 22.11 メッシュ分割数

メッシュ分割結果				
諸元計算結果		メッシュ分割結果		
項目	記号	ピニオン	ギヤ	
基準円直径	db	mm	44.2568	77.4494
ピッチ円直径	d	mm	46.1980	80.8290
T1径	dt	mm	44.2688	77.5820
歯面角弧歯厚	sn	mm	3.2452	3.0383
正面円弧歯厚	st	mm	3.7472	3.5083
正面圧力角	at	deg	16.6270	
またぎ歯数	zm	---	3	5
基準またぎ歯厚	W	mm	15.734	27.945
設計またぎ歯厚	W'	mm	15.634	27.845
ノドピッチ	dp	mm	3.406	3.271
基準ノドピッチ	dm	mm	51.481	84.885
設計ノドピッチ	dm'	mm	51.183	84.518
かみ合いピッチ円直径	d _w	mm	46.4636	81.3217
正面かみ合い圧力角	awt	deg	17.7625	
正面かみ合い率	e _α	---	1.7688	
重なりかみ合い率	e _β	---	0.7956	
全かみ合い率	e _γ	---	2.5545	
滑り率(歯先)	σ _a	---	0.7436	0.8830
滑り率(歯元)	σ _b	---	-7.5480	-2.8986
バックラッシュ角度	θ _j	deg	0.5918	0.3382
正面法線FL	l _{tt}	mm	0.2286	
クリアランス	c	mm	0.6872	0.6872

図 22.12 歯車寸法結果

22.5 回転角度、トルク設定(3/4)

図 22.13 および図 22.14 に示すように、ピニオンの回転角を設定することによりかみ合い位置を変更することができます。また、図 22.15 は接触直径と作用線長さをグラフで示したものであり、作用線長さが重なる部分が2点接触であり、重ならない部分が1点接触です。また、そのときの回転角度や接触直径を確認することができます。本ソフトウェアは、3点接触まで解析可能です(解析する歯面数を3枚か1枚が選択できます)。図 22.16 画面によって「ピニオン接触直径/ギヤ/接触直径/ピニオン作用線長さ/ギヤ作用線長さ/ピニオン回転角度」のいずれか1つから残りの4つの数値を確認することができます。ピニオンのピッチ円直径が接触するときの回転角度が知りたい場合は、図 22.16 画面のピニオン接触直径に数値を入力すると、図 22.13 に入力するべき回転角度が解ります。

かみ合い率が1以上2以下の場合、歯先が接触した場合は隣の歯形も接触しています(2点接触)。しかし、歯たけの真ん中部分が接触した場合は1点接触になります。したがって、どの回転角度のとき最大応力になるかは複数個の設計データをとらないと判断できません。また、歯面応力が最大になる回転角度位置と歯元応力が最大になる回転角度位置が同じになるとは限りません。ソフトで入力するピニオン回転角度は歯幅の中央位置です。2次元図では確認が困難なはず歯車の場合は、図 22.5、図 22.6 に示すように3Dかみ合い図で確認することができます。

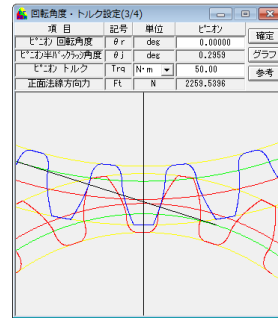


図 22.13 回転角設定 1



図 22.14 回転角設定 2

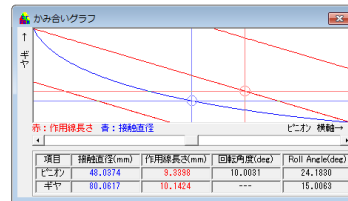


図 22.15 かみ合いグラフ

回転角度計算			
項目	単位	ピニオン	ギヤ
接触直径	mm	46.6706	81.1271
作用線長さ	mm	7.4075	12.0747
回転角度	deg	5.0000	---
Roll Angle	deg	19.1798	17.8653

図 22.16 回転角度計算

22.6 歯形修整(4/4)

22.6.1 歯形修整(定型)

歯形修整と軸の取り付け誤差設定画面を図 22.17 に示します。定型の歯形修整と歯すじ修整は、4種類あり、図 22.18 および図 22.19 に示すように作用線と修整量および歯形Rで設定することができます。図 22.20 および図 22.21 に示すようにグラフで確認することができます。また、任意の歯形修整、歯すじ修整および歯面修整は図 22.22 の[任意修整]で設定することができます。

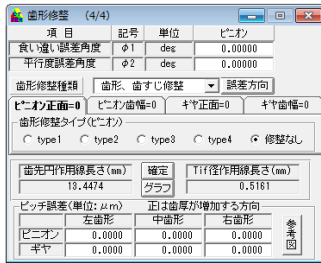


図 22.17 歯形修整および歯すじ修整設定(定型)

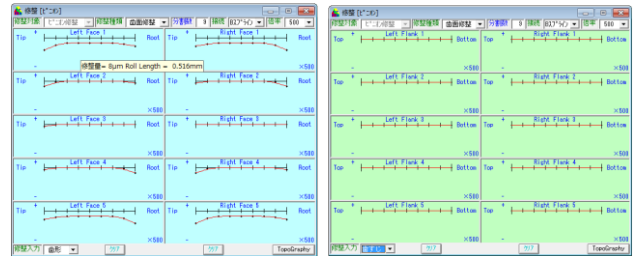


図 22.25 歯面修整(歯形)

図 22.26 歯面修整(歯すじ)

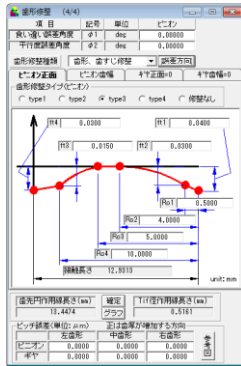


図 22.18 歯形修整(Type3)

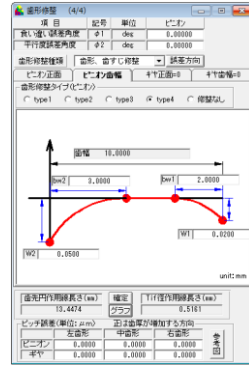


図 22.19 歯すじ修整(Type4)

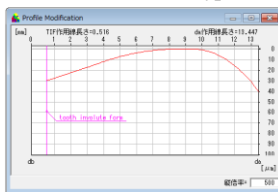


図 22.20 歯形修整

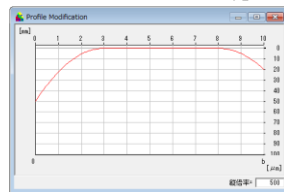


図 22.21 歯すじ修整

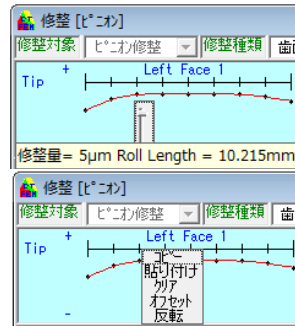


図 22.27 誤差の設定方法

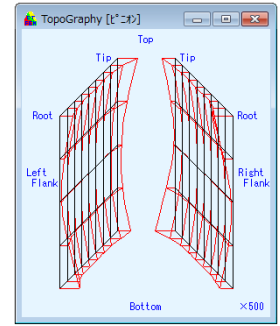


図 22.28 トポグラフ

誤差角度と修整量を与えた歯面同士の接触状況は図 22.6 画面によって確認することができます。解析開始前に数値の妥当性や入力ミスの発見をすることができます。

22.6.3 取り付け誤差角度 オプション

図 22.29 で、軸の食い違い誤差および平行度誤差を設定することができます。

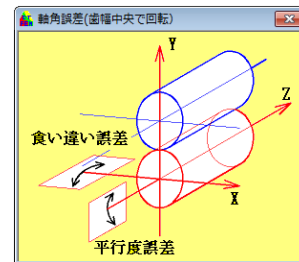


図 22.29 軸の取り付け誤差

22.6.2 歯形修整(バイアス) オプション

任意修整の与え方は、歯形修整(図 22.23)と歯すじ修整(図 22.24)そして図 22.25、図 22.26 に示すように歯面修整(歯形基準)と歯面修整(歯すじ基準)があります。歯形修整グラフは最大 20 分割することができ、誤差の設定方法は、図 22.27 のように簡単な操作で行うことができます。また、修整量の確認は、図 22.28 のようにトポグラフで確認することができます。

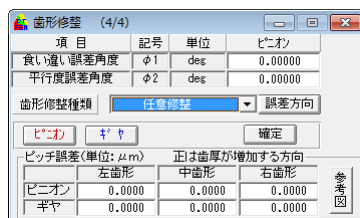


図 22.22 歯形修整および歯すじ修整設定(任意)

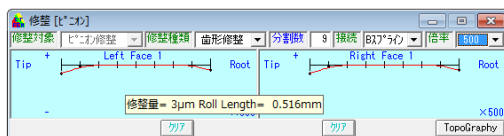


図 22.23 歯形修整

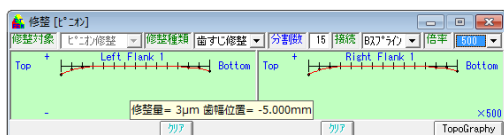


図 22.24 歯すじ修整

22.6.4 ピッチ誤差 オプション

膜要素の「左歯形」「中央歯形」「右歯形」それぞれに別々の誤差量を与えることができます。仮に「左歯形」「中央歯形」が接触する 2 点接触のときに左歯形だけに誤差量を 1μm 与えると、歯形が理論位置よりずれるためにその分「左歯形」の接触が大きくなります。

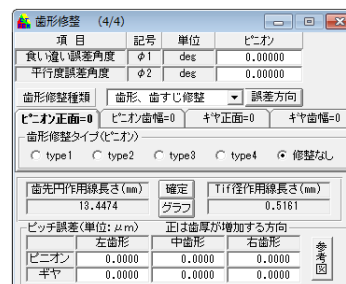
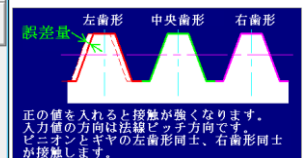


図 22.30 ピッチ誤差入力



22.7 解析

(1)諸元入力, (2)メッシュ分割, (3)回転角度・トルク, (4)歯形修整・誤差角度の入力後に解析することができます。解析前に設計データを保存することもできます。

解析は, (1)歯面応力の計算, (2)メッシュモデルの FEM 解析の順に行います。また, 複数個の解析を効率よく行うことができるオプションがありますので, 適宜ご利用ください。

解析後は, (1)要素応力, 節点変位, 節点応力, 膜応力の数値一覧表, (2)応力分布図, (3)変位分布図, (4)歯面応力分布図, (5)外面最大応力, (6)歯面変位グラフ, (7)膜要素応力色付き表(8)内部応力 で結果を確認することができます。

解析結果の応力は 6 応力成分と主応力 3 つと相当応力の合計 10 種類あります。変位は 3 軸方向の変位と総変位の合計 4 種類あります。

22.8 FEM 解析結果(数値一覧表)

数値一覧表を図 22.31 に示します。画面の 0 行目をクリックすると昇降順に表示しますので応力や変位の最大となる節点番号や要素番号を確認することができます。また, 確認後は要素と節点を図中で点滅させることができますので, 最大値の数値と場所を確認することができます。

解析結果 歯面要素応力(MPa)						
要素応力	節点変位	節点応力	膜応力			
要素番号	σ_{xx}	σ_{yy}	σ_{zz}	τ_{xy}	τ_{yz}	
1	0.0140	-0.1455	-0.0001	-0.0242	-0.03	
2	0.0093	-0.1136	0.0245	-0.0466	-0.07	
3	0.0061	-0.0966	0.0941	-0.0519	-0.08	
4	0.0221	-0.0800	0.1828	-0.0467	-0.07	

図 22.31 変位と応力一覧表(応力 10 種類)

解析結果 歯面節点変位(mm)					
要素応力	節点変位	節点応力	膜応力		
要素番号	節点変位	節点応力	膜応力		
節点番号	変位値 Δx	変位値 Δy	変位値 Δz	総変位値	
1	0.0007	0.0006	0.0000	0.0010	
2	0.0007	0.0006	-0.0001	0.0010	
3	0.0008	0.0007	-0.0001	0.0010	
4	0.0007	0.0007	0.0000	0.0010	
5	0.0007	0.0006	0.0000	0.0010	
6	0.0008	0.0006	-0.0001	0.0010	
7	0.0008	0.0007	-0.0001	0.0010	
8	0.0007	0.0006	0.0000	0.0010	
9	0.0007	0.0006	0.0000	0.0010	
10	0.0007	0.0007	-0.0001	0.0010	
11	0.0008	0.0006	-0.0001	0.0010	
12	0.0008	0.0007	-0.0001	0.0010	
13	0.0007	0.0006	0.0000	0.0010	
14	0.0007	0.0006	-0.0001	0.0010	
15	0.0008	0.0006	-0.0001	0.0010	
16	0.0008	0.0006	-0.0001	0.0010	
17	0.0007	0.0006	0.0000	0.0010	
18	0.0007	0.0006	-0.0001	0.0010	
19	0.0008	0.0006	-0.0001	0.0010	
20	0.0008	0.0006	-0.0001	0.0010	

図 22.32 変位と応力一覧表(変位 3 種類)

22.9 FEM 解析結果(応力分布図)

応力分布図は σ_x , σ_y , σ_z , σ_m と主応力 S_1 , S_2 , S_3 を表示します。例題歯車のピニオンの応力分布図を図 22.33~22.39 に示します。ギヤの表示も同様に表示します。図は拡大, 縮小, 回転させることができ, 任意の要素番号と節点番号を点滅させることができます。

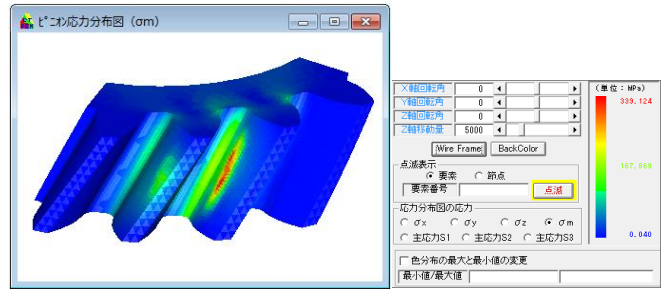


図 22.33 応力分布図(σ_m)

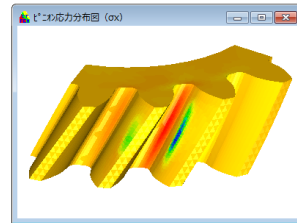


図 22.34 応力(σ_x)

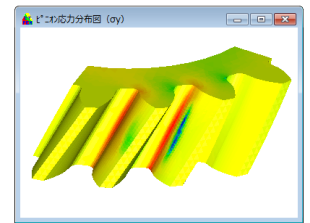


図 22.35 応力(σ_y)

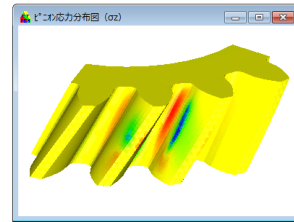


図 22.36 応力(σ_z)

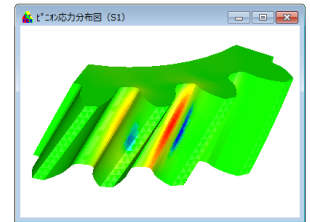


図 22.37 主応力(S_1)

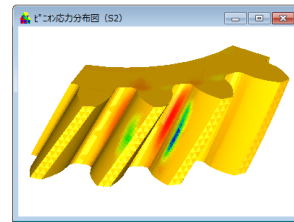


図 22.38 主応力(S_2)

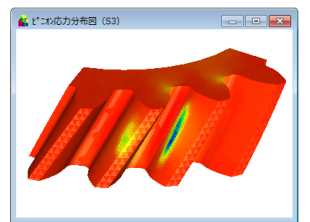


図 22.39 主応力(S_3)

22.10 FEM 解析結果(変位分布図)

変位分布図は, x, y, z 方向の変位と総変位の色分布図を表示することができます。図 22.40 に変位分布図を示します。

図は拡大, 縮小, 回転させることができます。また任意の要素番号と節点番号を点滅させることができます。

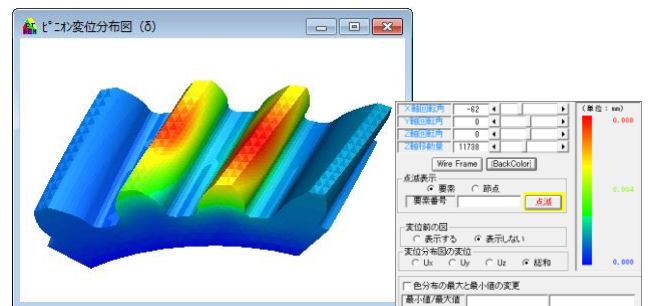


図 22.40 変位図とコントロールフォーム

22.11 FEM 解析結果 (外面最大応力)

図 22.41 に外面最大応力を示します。歯面最大圧縮応力は、FEM 解析後のメッシュモデルの外面の応力です。画面の数値から歯面最大圧縮応力、歯元最大圧縮応力、歯元最大引張り応力を持つ要素番号を確認し、応力分布図で点滅させることができます。

ピニオン			
	要素番号	主応力	σ_m
歯面最大圧縮応力	11549	-450.9155	331.0667
歯元最大圧縮応力	14998	-220.4094	193.3749
歯元最大引張り応力	10886	207.8844	179.7246

ギヤ			
	要素番号	主応力	σ_m
歯面最大圧縮応力	11805	-288.3679	207.5219
歯元最大圧縮応力	7649	-251.6325	220.0884
歯元最大引張り応力	12892	220.5136	190.2571

図 22.41 外面最大応力

22.12 FEM 解析結果 (歯面変位グラフ)

歯面変位を図 22.42 のようにグラフで表示します。

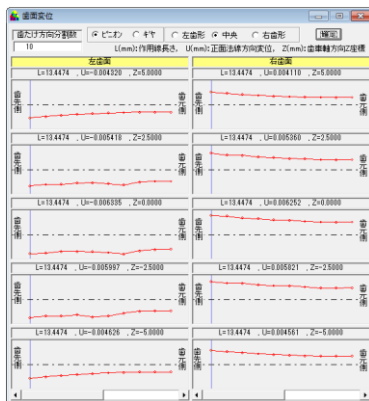


図 22.42 歯面変位グラフ

22.13 歯面応力解析結果 (歯面応力分布図)

歯面に作用する応力を図 22.43 のように表示します。ピニオンとギヤの歯面(膜要素)の表示非表示を切り替えることにより、歯車単体やかみ合った状態での歯面応力分布を確認することができます。歯面応力の値は、図 22.31 の数値一覧表や、図 22.44 の歯面応力値色付き画面で確認することができます。

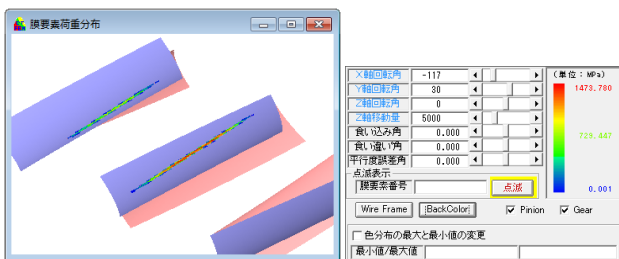


図 22.43 歯面応力分布図

22.14 歯面応力解析結果 (歯面応力値色付き)

膜要素応力値色付き表示は、図 22.43 に示すように膜要素と同様に縦横を 40 分割(膜要素分割数が 41 の場合)したセル上に数値を表示します。



図 22.44 膜応力値色付き

22.15 歯面応力分布まで解析する機能 オプション

本ソフトは、図 22.45 のようにまず歯面同士の接触を解析します。その後、歯面の応力分布をメッシュ切りしたモデルに与え FEM 解析します。この機能は、歯面応力まで解析した時点で計算を終了します。この機能により、歯面応力だけが必要な場合は FEM 解析する時間を省略できますので解析時間を短縮することができます。また、歯面応力から FEM 解析をするかどうかを判断することができますので、トルク単位や回転角度の入力ミスをこの時点で発見し、FEM 解析する時間のロスを防ぐことができます。

膜要素まで解析した時点で表示できるものは、歯面応力分布図と歯面応力の数値です。FEM 解析をしていないためメッシュモデルの結果は表示することはできません。

歯面応力まで解析後に、FEM 解析する場合は[解析開始]ボタンを押すと歯面応力の計算はしていますので FEM 解析から始めます。

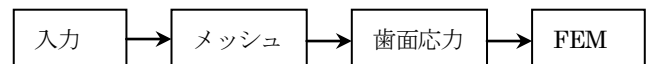


図 22.45 解析の順序

22.16 連続計算 (バッチ処理) オプション

一度クリックするだけで、複数の設計データを解析し結果を自動的に保存する機能です。

[FEM 解析(膜応力計算も含む)]か[膜応力まで解析]かを選択することができます。操作の手間を省くことができるため複数個の解析を行う場合には有効な機能です。

22.17 各角度計算 (バッチ処理) オプション

回転角度のみを変更して複数個の設計データを解析する機能です。各角度計算の入力画面を図 22.46 に示します。

項目	記号	単位	ピニオン
最小回転角度	θ_{min}	deg	-4.8365
最大回転角度	θ_{max}	deg	13.1635
データ数	Nd	---	10
管理番号	---	---	[R-Data]

計算方法

膜応力とFEM解析
 膜応力解析のみ
 設計データ作成のみ

1ピッチ角度

確定 Cancel

図 22.46 各角度計算画面

22.18 色分布図レンジ変更設定 オプション

「応力分布図」「変位分布図」「膜要素応力分布図」は最小値を青、最大値を赤で表示しています。この青と赤の値を任意に変更することができる機能です。解析するピニオン回転角度によって最大値と最小値が異なる(赤と青で示す値が異なる)ため複数の解析結果を比較する場合に有効です。

22.19 アニメーション表示 オプション

複数の設計データの「応力分布図」「変位分布図」「膜要素応力分布図」を順次表示することができます。同じ歯車諸元であり、メッシュ分割数も同じ設計データの場合にのみ動作します。

回転角度の違う複数の解析結果を表示すると、回転角度によって応力分布の変わっていく様子が確認できます。

応力分布図のアニメーション表示の場合、操作画面にデータ番号とモデル切り替え速度によって、表示する応力分布のデータを変更することができます。

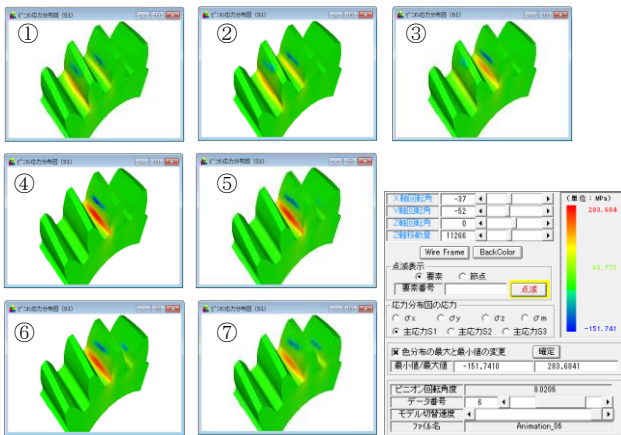


図 22.47 アニメーション画面

図 22.48 アニメーション操作

22.20 内部応力 オプション

応力分布図(メッシュモデルの外面の応力)では確認できないメッシュモデル内部の応力を確認することができます。図 22.49 に示すように任意 Z 座標(歯車軸方向)の任意直径上の応力値をグラフに表示します。また、図 22.50 および図 22.51 に任意 Z 座標(歯車軸方向)の断面図として内部応力分布図を表示します。したがって、内部の応力分布状態と任意の場所の数値を調べることができます。

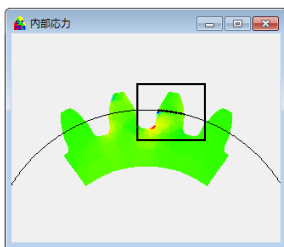


図 22.50 内部応力分布図

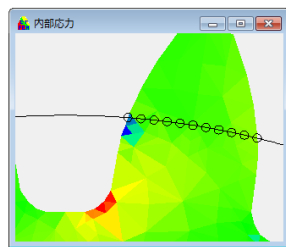


図 22.51 内部応力分布図拡大

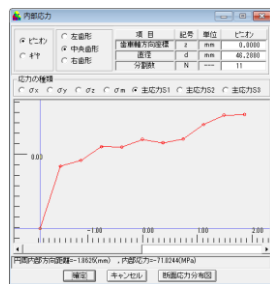


図 22.49 内部応力グラフ

22.21 リム、ハブ付きメッシュモデル オプション

リムからハブ付のメッシュモデルを作成することができます。リム厚さと歯元応力の関係を調べる場合には有効な機能です。ある程度以上のリム厚さにするとそれ以上リム厚さを大きくしても歯元応力に大きな変化は発生しません。



図 22.52 メッシュ作成画面

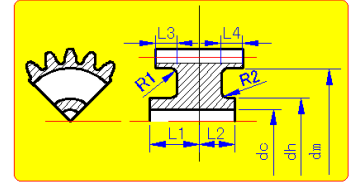


図 22.53 記号説明図

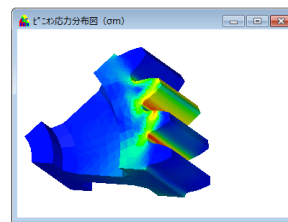


図 22.54 応力分布図(σ_m)

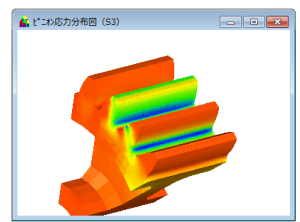


図 22.55 応力分布図(σ_s)

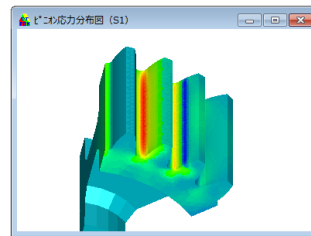


図 22.56 応力分布図, pinion (σ₁=20.8MPa)

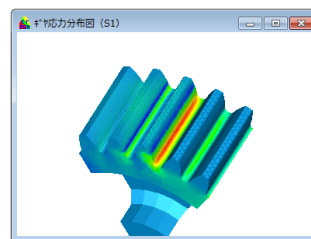


図 22.57 応力分布図, gear (σ₁=20.7MPa)

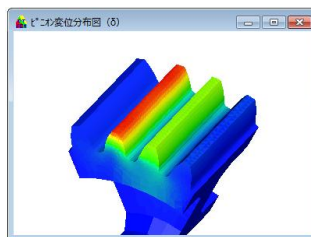
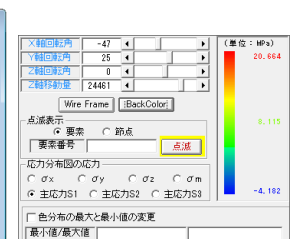
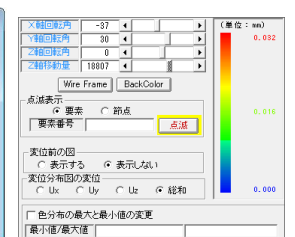


図 22.58 変位図, Pinion (δ_{max}=0.032mm)



22.22 内歯車の計算例 オプション

内歯車の FEM 解析例を下記に示します。歯車諸元入力は、外歯車と同様にモジュールから歯底円直径までを順次入力するだけで済みます。例題歯車諸元を、図 22.59 に示します。

項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ(内歯車)
モジュール	mm	mm		2.00000
歯数	z	---	20	55
圧力角	α_n	deg		20.00000
ねじれ角	β	deg	20	0
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	右ねじれ
転位係数	xn	---	0.00000	0.50000
中心距離	a	mm		38.17460
法線歯厚減少量	fn	mm	0.1000	0.1000
歯幅	b	mm	10.0000	10.0000
歯先円直径	da	mm	47.3671	115.0586
歯底円直径	df	mm	36.3671	124.0586
内歯歯先C面	c	mm	---	0.0000

図 22.59 諸元入力(内歯車)

歯車の解析条件を図 22.60 および図 22.61 に示します。また、ピニオンには、食い違い誤差 0.05 度を与え、図 22.62 のように 20 μ m のクラウニングを与えて解析しています。解析結果を図 22.63~22.67 に示します。

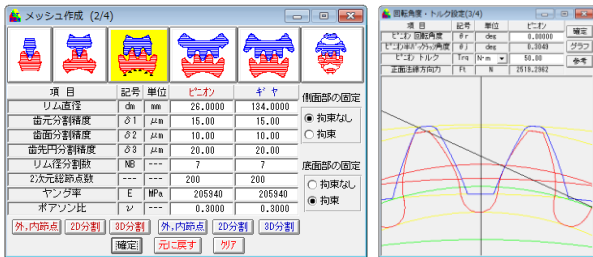


図 22.60 メッシュ作成

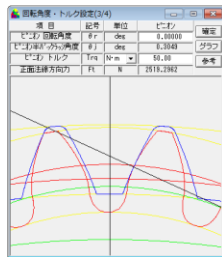


図 22.61 回転角設定

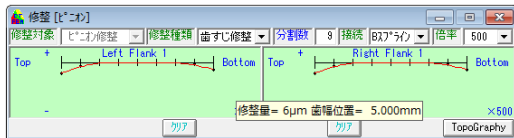


図 22.62 歯すじ修整

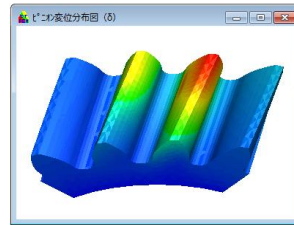


図 22.66 変位図(P)

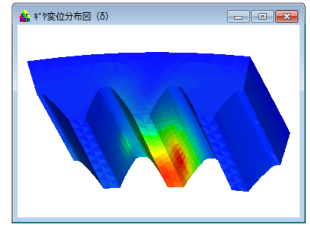


図 22.67 変位図(G)

22.23 強度計算式との比較(解析例)

図 22.4 の歯車に図 22.68 のようにピニオンに歯すじ修整を与え FEM 解析した結果(図 22.69~22.71)と歯車強度計算結果(図 22.73~22.76)の比較を以下に示します。

強度計算結果は JGMA401-01, 402-01 および AGMA2001-C95 の 2 種類について計算し、これらの計算結果をまとめると表 22.1 となり FEM 解析結果と強度計算結果はほぼ一致していることが解ります。

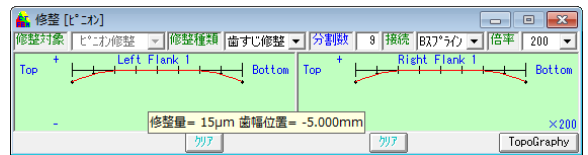


図 22.68 歯すじ修整(端面 20 μ m)

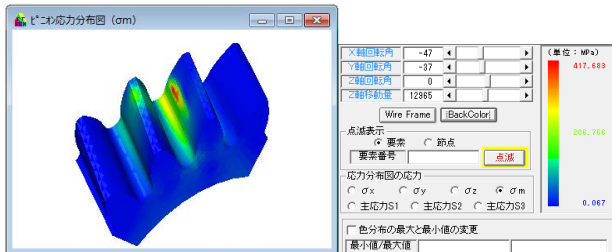


図 22.63 応力分布図(σ_m)

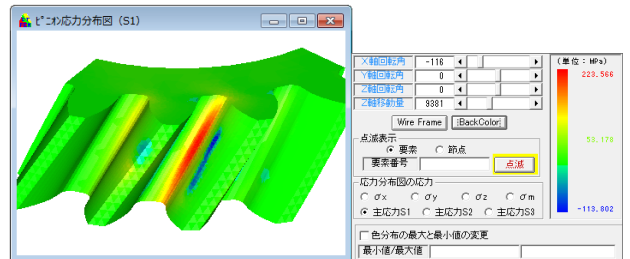


図 22.69 応力分布図(σ_1)ピニオン

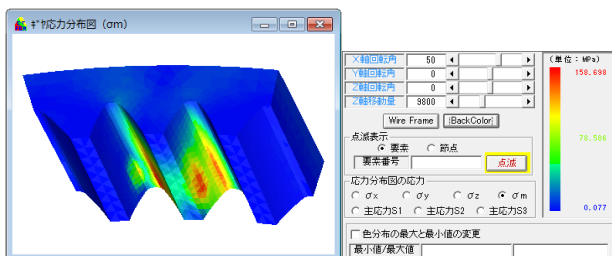


図 22.64 応力分布図(σ_m)

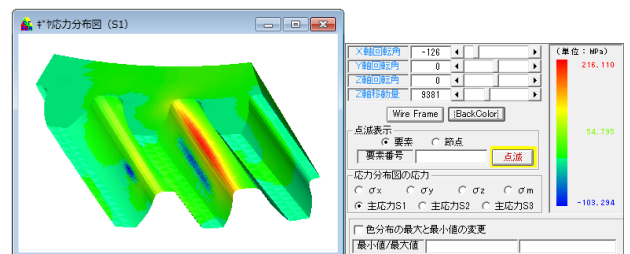


図 22.70 応力分布図(σ_1)ギヤ

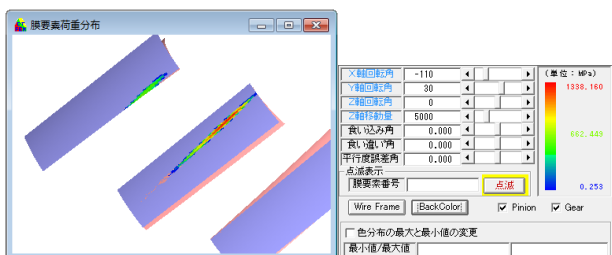


図 22.65 歯面応力分布図

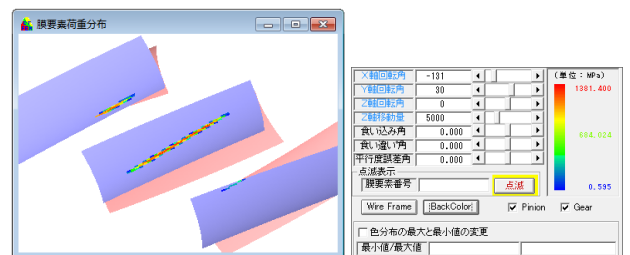


図 22.71 歯面応力分布図

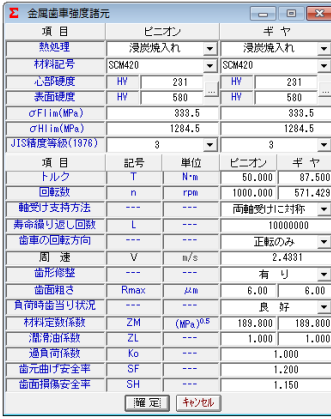


図 22.72 JGMA 強度諸元設定

項目(曲げ)	記号	単位	ピニオン	ギヤ
許容曲げ応力	σ_{Flim}	MPa	333.500	333.500
曲げ有効係数	Y_F	---	10.000	10.000
歯形係数	Y_H	---	0.490	0.325
歯重係数	Y_B	---	0.563	---
ねじれ係数	Y_D	---	0.750	---
寿命係数	K_L	---	1.000	1.000
寸法係数	K_V	---	1.000	1.000
動的係数	K_H	---	1.072	---
許容曲げ応力	σ_{FHlim}	N	3395.448	3460.366
曲げ強度	SFC	---	1.538	1.003
曲げ曲げ応力	σ_F	MPa	217.115	207.388
歯面曲げ応力	σ_{Hlim}	MPa	1284.500	1284.500
歯面有効係数	Z_H	mm	10.000	---
歯重係数	Z_B	---	1.000	1.000
ねじれ係数	Z_D	---	0.810	---
粗さ係数	Z_R	---	0.938	0.888
潤滑係数	Z_V	---	0.870	0.870
歯面強度	SFC	---	1.000	1.000
歯重係数	K_L	---	1.000	1.000
寸法係数	K_V	---	1.071	---
動的係数	K_H	N	2165.063	---
許容曲げ応力	σ_{FHlim}	N	2018.315	2018.315
曲げ強度	SFC	---	0.830	0.830
ヘルツ応力	σ_H	MPa	1932.028	1932.028

図 22.73 JGMA 強度結果



図 22.74 AGMA 強度諸元設定

項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
有効応力	σ	MPa	10.000	---
歯重係数	Y_F	---	10.000	---
歯形係数	Y_H	---	0.490	---
歯重係数	Y_B	---	0.563	---
ねじれ係数	Y_D	---	0.750	---
寿命係数	K_L	---	1.000	---
寸法係数	K_V	---	1.000	---
動的係数	K_H	---	1.071	---
許容曲げ応力	σ_{FHlim}	N	3395.448	3460.366
曲げ強度	SFC	---	1.538	1.003
曲げ曲げ応力	σ_F	MPa	217.115	207.388
歯面曲げ応力	σ_{Hlim}	MPa	1284.500	1284.500
歯面有効係数	Z_H	mm	10.000	---
歯重係数	Z_B	---	1.000	1.000
ねじれ係数	Z_D	---	0.810	---
粗さ係数	Z_R	---	0.938	0.888
潤滑係数	Z_V	---	0.870	0.870
歯面強度	SFC	---	1.000	1.000
歯重係数	K_L	---	1.000	1.000
寸法係数	K_V	---	1.071	---
動的係数	K_H	N	2165.063	---
許容曲げ応力	σ_{FHlim}	N	2018.315	2018.315
曲げ強度	SFC	---	0.830	0.830
ヘルツ応力	σ_H	MPa	1932.028	1932.028

図 22.75 AGMA 強度結果

表 22.1 FEM 解析結果と強度計算の比較

	歯元曲げ応力(MPa)	
	ピニオン	ギヤ
CT-FEM	223.6	216.1
JGMA401-01	217.1	208.0
AGMA2001-C95	349.4	343.4

	歯面応力(MPa)	
	膜応力	接触応力
CT-FEM(膜応力)	1381	---
JGMA401-02	1332	---
AGMA2001-C95	1030	---

22.24 歯形測定データを使用した応力解析

Zeiss 社の 3 次元測定器で測定した歯形データおよび大阪精密機械社の歯車測定機で測定した歯形データ ([25]:involute gamma で生成した 3 次元歯面データを使用) を基にして応力解析することができます。図 22.76 に involute gamma の読み込み画面を、図 22.77 に実歯形を示します。

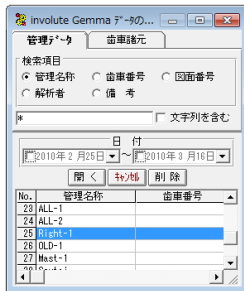


図 22.76 involute gamma

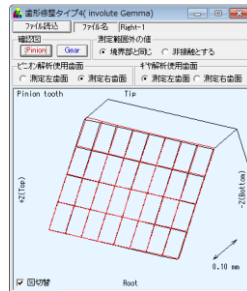


図 22.77 実歯形

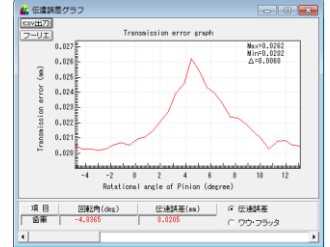
22.25 回転伝達誤差解析

CT-FEM は、図 22.78 に示すように 1 ピッチを細かく分割 (最大 40) して歯形の変位計算を行い回転伝達誤差解析 (外, 内歯車にも対応) を行います。

図 22.79 は、1 ピッチ間を 30 分割したときの回転伝達誤差であり図 22.80 は、偏心量 $3\mu m$ を与えて 1 回転のグラフとして表示したものです。また、図 22.81 にフーリエ解析グラフを示します。

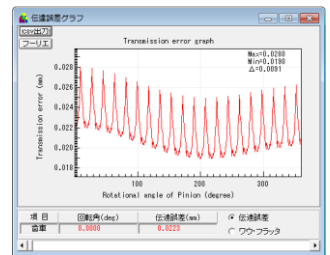


図 22.78 伝達誤差



(任意角度)

図 22.79 伝達誤差グラフ



(1 回転+偏心)

図 22.80 伝達誤差グラフ

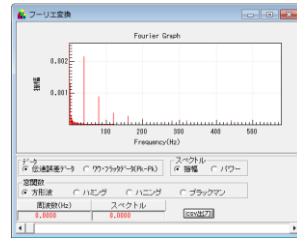


図 22.81 フーリエ解析

22.26 その他機能

- (1) 設計データの保存, 読み込み
- (2) 印刷(歯車諸元, メッシュ結果, かみ合い図)
- (3) 応力, 変位の一覧出力(txt, csv)
- (4) 節点座標と要素の一覧出力(txt, csv)

※解析結果と実験値を比較したレポート[付録:A]および単一 R とフィレット形状の歯元応力解析例[付録:D]をご覧ください。