

[1] involute Σ iii(spur and helical gear design system)

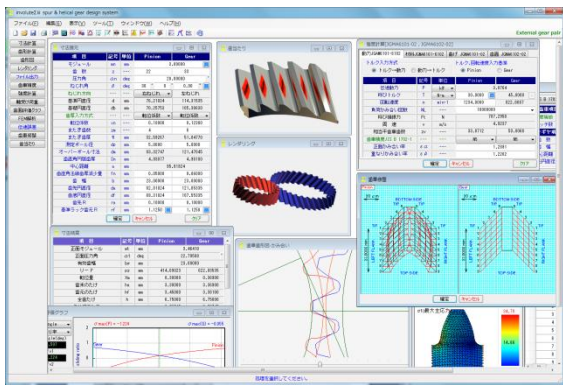


図 1.1 involute Σ iii(spur and helical)

1.1 概要

involute Σ iii(spur and helical)は、円筒歯車の寸法、強度（鋼、樹脂）、軸荷重、歯面修整、伝達誤差、歯面評価、FEM 解析、歯形データ等の機能を備えており、効率よく的確に設計することができます。

本ソフトウェアは、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。今までオプション扱いしていた機能も一部、基本ソフトウェアに含めました。図 1.1 に全体画面を示します。

1.2 ソフトウェアの構成

involute Σ iii の構成を表 1.1 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 1.1 ソフトウェアの構成

No.	項目	掲載項	構成
1	基準ラックの設定	1.3	○
2	寸法	1.4	○
3	推論	1.5	○
4	歯形創成図	1.6	○
5	かみ合い図	1.6	○
6	かみ合い回転機能	1.6	○
7	歯形レンダリング図	1.7	○
8	歯車精度	1.8	○
9	歯車強度計算（鋼）	1.9	○
10	歯車強度計算（樹脂）	1.10	○
11	金属×樹脂歯車強度	1.10	○
12	軸受け荷重	1.11	○
13	すべり率、ヘルツ応力	1.12	○
14	歯形出力（DXF, IGES）	1.17	○
15	HELP 機能	1.19	○
16	設計データ管理	1.20	○
17	FEM 歯形応力解析	1.13	◎
18	回転伝達誤差（フーリエ解析、ワウ・フラッタ、CSV 出力）	1.16	◎
19	歯面評価（歯面接触温度、油膜厚さ、すべり速度線図、PV 値）	1.12	◎
20	歯面修整（歯形、歯すじ、バイアス）	1.14	◎
21	歯当たり	1.15	◎
22	ISO6336	1.21	◎

1.3 プロパティ（基準ラック、精度、強度）

図 1.2~1.5 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 1.5 に示すように
 - ・ JGMA 401-02:1974, 402-02:1975
 - ・ JGMA 6101-02:2007, 6102-02:2009
 - ・ ISO 6336:2006

の 3 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)にも対応しています。



図 1.2 基準ラック

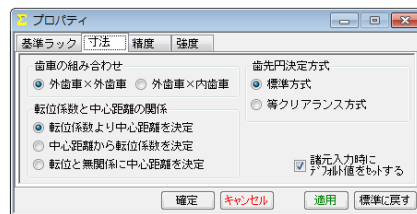


図 1.3 寸法

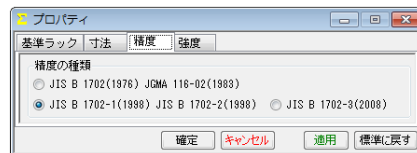


図 1.4 精度

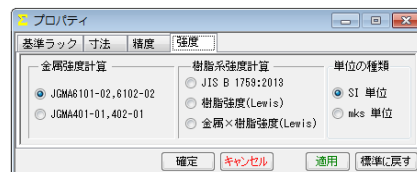


図 1.5 強度

1.4 寸法

歯車寸法は，各部寸法，かみ合い率，すべり率などを計算します。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，歯先に丸みがある場合は 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 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>オーバピン寸法を入力して転位係数を決定
- <4>円弧歯厚を入力して転位係数を決定

図 1.6 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決定することもできます。図 1.7 に寸法結果画面を示します。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
モジュール	mn	mm	3.00000	
歯数	z	---	22	33
圧力角	α_n	deg	20.00000	
ねじれ角	β	deg	30 * 0	0.00
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	左ねじれ
基準円直径	d	mm	76.21024	114.31535
基礎円直径	db	mm	70.25753	105.38630
歯厚入力方式	---	---	転位係数	転位係数
転位係数	xn	---	0.12300	---
またぎ歯数	zm	---	6	---
またぎ歯厚	w	mm	51.04770	---
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	121.47045
歯直角円弧歯厚	Sn	mm	4.93077	4.98100
中心距離	a	mm	95.91924	
歯直角法線歯厚減少量	fn	mm	0.05000	0.06000
歯幅	b	mm	23.00000	23.00000
歯先円直径	da	mm	82.81024	121.05335
歯底円直径	df	mm	83.31024	107.55335
歯先R	ra	mm	0.10000	0.10000
基準ラック歯元R	rf	mm	1.1250	1.1250

図 1.6 諸元設定

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	414.69023	622.03535
転位量	Xm	mm	0.30000	0.36300
歯末のたけ	ha	mm	3.30000	3.36300
歯元のたけ	hf	mm	3.45000	3.38100
全歯たけ	h	mm	6.75000	6.75000
クリアランス	c	mm	0.73745	0.73745
基礎円ねじれ角	β_b	deg	28 * 1	27.55
正面かみ合い圧力角	α_w	deg	23 * 42	41.41
かみ合いピッチ円直径	d _w	mm	76.73539	115.10309
正面法線ピッチ	p _{bt}	mm	10.03275	
歯直角法線ピッチ	p _{bn}	mm	8.86639	
かみ合い長さ	ga	mm	12.39304	
正面かみ合い率	ϵ_α	---	1.28908	
重なりかみ合い率	ϵ_β	---	1.22019	
全かみ合い率	ϵ_γ	---	2.50927	
すべり率 (歯先)	σ_a	---	0.48858	0.55044
すべり率 (歯元)	σ_b	---	-1.22439	-0.95535
設計またぎ歯厚	w	mm	32.542672	50.987699
設計オーバーボール寸法	dm	mm	83.138909	121.311318
設計歯直角円弧歯厚	sn	mm	4.877562	4.917148
正面円弧歯厚	st	mm	5.693564	5.751562
正面またぎ歯厚	wa	mm	38.865179	57.760182
キャリア歯たけ	hj	mm	3.35381	3.40869
キャリア歯厚	Sj	mm	4.87578	4.91834
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	0.13610	
法線方向バックラッシュ	jn	mm	0.10792	

図 1.7 寸法結果

1.5 推論

推論 1 は、図 1.8 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、すべり率とかみ合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 1.9 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、正面かみ合い率を緑線で示しています。図 1.9 の場合、すべり率とかみ合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、かみ合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、すべり率とかみ合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。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
歯車材料	---	---	S43C (MHR22)	
熱処理	---	---	焼きならし	
硬 度	---	---	HR220	
破れ降伏応力(曲げ)	σ_{Flim}	MPa	205.3937	205.3937
破れ降伏応力(歯面)	σ_{Hlim}	MPa	529.5591	529.5591
トルク	T	Nm	30.0000	75.0000
回転数	n	rpm	1000.0000	400.0000
モジュール	mn	mm	1.5000	
歯数	z	---	50	
圧力角	α_n	deg	20	
ねじれ角	β	deg	20 * 0	
歯幅	b	mm	41.5029	
曲げ安全率	SF	---	1.000	
呼び円周力	Ft	N	1873.3852	
許容歯元曲げ応力	σ_{FP}	MPa	307.8797	307.8797
歯元曲げ応力	σ_F	MPa	103.4921	96.3151
曲げ強さ	SFl	---	2.3749	
歯面安全率	SH	---	1.000	
呼び円周力	Fc	N	1873.3852	
許容接触応力	σ_{HP}	MPa	628.1119	628.1119
ヘルツ応力	σ_H	MPa	610.1243	610.1243
歯面強さ	Sfc	---	1.0295	

図 1.8 推論 1 (曲げ強さ)



図 1.9 推論 2 (転位係数)

1.6 歯形図

かみ合い図を図 1.10 に示します。補助フォームに示すようにズーム、距離計測 (図 1.11)、R 計測 (図 1.12) 機能および直径、修整歯形、作用線、奇数歯 Y 測定値の表示そして回転機能があります。歯形創成を図 1.13 に示します。

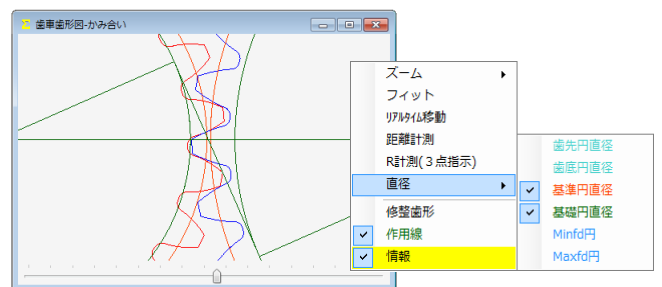


図 1.10 かみ合い図と補助フォーム

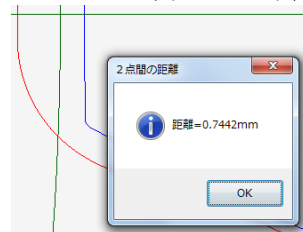


図 1.11 距離計測

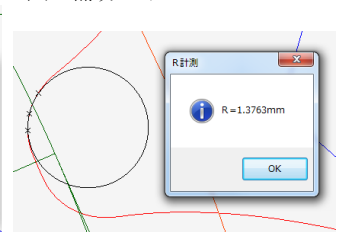


図 1.12 R 計測

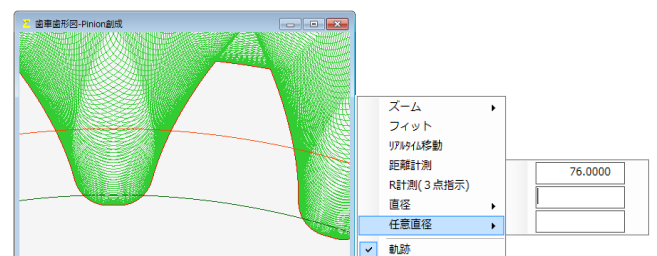


図 1.13 歯形創成 (ピニオン) と補助フォーム

1.7 歯形レンダリング

3次元歯形のかみ合いを図 1.14 のように作図することができ、かみ合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。

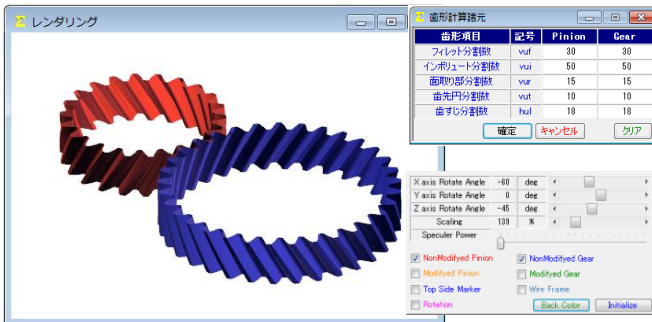


図 1.14 歯形レンダリング

1.8 歯車精度

図 1.15 と図 1.16 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 1.4 の設定により新 JIS と旧 JIS の切り換えが可能です。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-ピッチ誤差	Fp	μm	6	8
部分歯ピッチ誤差	Fpk	μm	9.5	11
累積ピッチ誤差	Fp	μm	19	18
全歯形誤差	Fα	μm	8	8
全歯すじ誤差	Fβ	μm	0.5	0.5
片面歯にかみ合い誤差	F'i	μm	9.5	9.5
片面歯かみ合い誤差	F'i	μm	29	29
歯形形状誤差	Ffα	μm	6	6
歯形こう配誤差	Ffαc	μm	6	6
歯すじ形状誤差	Ffβ	μm	6	6
歯すじ材料誤差	Ffβp	μm	6	6

図 1.15 JIS B 1702-1

項目 (JIS B 1702-2)	記号	単位	Pinion	Gear
片面歯かみ合い誤差	F'i	μm	25	25
両歯面にかみ合い誤差	F'i'	μm	10	10
歯溝の傾きの許容値	Fr	μm	16	16

図 1.16 JIS B 1702-2

1.9 歯車強度計算 (鋼)

歯車強度計算は、図 1.5 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 1.17 に強度計算の動力設定画面を示します。材料の選択は、図 1.18 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 1.19 に曲げに関する係数設定画面を、図 1.20 に面圧に関する係数の設定画面を示し、図 1.21 に強度計算結果を示します。

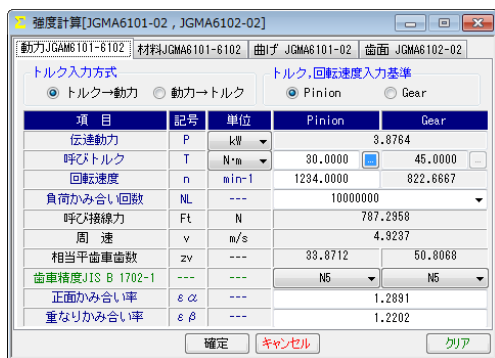


図 1.17 強度計算 (動力設定)



図 1.18 強度計算 (材料)



図 1.19 強度計算 (曲げに関する係数)



図 1.20 強度計算 (面圧に関する係数)

項目 (JGMA6101-02 曲げ)	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	522.894	407.481
総合安全率	SF	---	16.027	12.874
許容接触力	Ftlim	N	15878.161	12695.429

項目 (JGMA6102-02 面圧)	記号	単位	Pinion	Gear
面圧応力	σH	MPa	345.249	343.248
許容接触応力	σHP	MPa	1612.009	1847.538
総合安全率	SH	---	4.696	3.926
許容接触力	Fclim	N	21987.990	15685.821

図 1.21 強度結果

1.10 歯車強度計算 (樹脂)

プラスチック歯車の強度は、図 1.5 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 1.22 に歯車諸元を、図 1.23 に強度諸元を、図 1.24 に曲げ応力に関する値を図 1.25 に相当歯車の値を図 1.26 に係数と安全率 SF を示します。

寸法諸元				
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	0	0.00
ねじれ方向	---	---	右	左
基準円直径	d	mm	17.02694	31.92593
基準円直径	db	mm	15.87745	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	zm	---	3	4
またぎ歯厚	w	mm	7.78466	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
歯面角円弧歯厚	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	33.92593
歯底円直径	df	mm	14.92684	29.42593
歯先R	ra	mm	0.10000	0.10000
基準ラック歯元R	rf	mm	0.3750	0.3750

図 1.22 歯車諸元

プラスチック円筒歯車の曲げ強さ評価結果 JIS B 1759:2013				
トルク入力方式		トルク、回転速度入力基準		
項目	記号	単位	Pinion	Gear
材料	---	---	POM x POM	
伝達効力	P	W	52.9560	
トルク	T	N-m	0.5000	0.9375
回転速度	n	min-1	1000.0000	539.9999
呼び慣性力	Fwt	N	57.7909	
周速	vw	m/s	0.3070	
正面かみ合い圧力角	α_{vt}	deg	29.5692	
正面かみ合い率	ϵ_{α}	---	1.15170	
かみ合い回数	N	---	10000000	5399999
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_{fFv}	mm	0.3750	0.3750
歯元形状係数	Yf	---	1.409	1.247
寿命係数	YNT	---	0.779	0.829
疲労強度係数	Y θ	---	1.000	
速度上昇係数	Y Δ	θ	0.981	
漸荷係数	YL	---	1.190	
相手歯係数	YM	---	0.650	
最小安全係数	SFmin	---	1.000	1.000

図 1.23 強度諸元

プラスチック円筒歯車の曲げ強さ評価結果 JIS B 1759:2013				
歯元曲げ		相当歯数		
項目(歯元曲げ)	記号	単位	Pinion	Gear
歯元曲げ応力	σ_F	MPa	26.904	29.843
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(歯元危険断面面...)	G	---	-0.675	-0.875
補助角度(歯元危険断面面...)	H	rad	-0.889	-0.969
ラック工具(ピニオンカッ...	θ	rad	0.814	0.901
歯元危険断面歯厚	SFn	mm	2.049	2.106
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
基準円弧ねじれ角	β_b	deg	18.74724	

図 1.24 歯元曲げ

プラスチック円筒歯車の曲げ強さ評価結果 JIS B 1759:2013				
歯元曲げ		相当歯数		
項目(相当歯数)	記号	単位	Pinion	Gear
歯数	zn	---	18.9892	35.6029
正面かみ合い率	$\epsilon_{\alpha n}$	---	1.2844	
基準円直径	dn	mm	18.9892	35.6029
歯面角法線ピッチ	Pbn	mm	2.9521	
基準円直径	dbn	mm	17.8431	33.4558
歯先円直径	dan	mm	21.3882	37.6029
外側の点を通る円弧直径(...)	den	mm	20.5108	36.8667
外側の点の圧力角(一歯かみ...)	α_{en}	deg	29.54644	24.84055
外側の点の角度(一歯かみ...)	γ_e	deg	3.10176	1.89879
外側の点の作用角(一歯かみ...)	α_{Fen}	deg	26.44468	23.14180

図 1.25 相当歯数

プラスチック円筒歯車の曲げ強さ評価結果 JIS B 1759:2013				
歯元曲げ		係数		
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	1.480
危険断面歯厚と歯元すみ...	qs	---	2.027	1.971
ねじれ角係数	Y β	---	0.999	
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 1.26 係数

1.11 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 1.27 に計算結果を示します。

軸受け荷重				
項目	記号	単位	Pinion	Gear
トルク	T	N-m	30.0000	45.0000
軸受け間距離	p1,e1	mm	88.0000	88.0000
軸受け間距離	p2,e2	mm	88.0000	88.0000
項目(単位 N)	記号	Pinion	Gear	
接線力	Fu	781.9078		
法線力	Fn	860.8185		
半径方向力(Total)	Fr	328.8176		
軸方向力(Total)	Fa	451.4347		
ラジアル荷重(分力)	Fu1, Fu2	390.9539	390.9539	
タングENTIAL 荷重(分力)	Fr11, Fr12	164.9088	164.9088	

図 1.27 軸受け荷重

1.12 歯面評価¹⁾

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(PV 値)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[45]CT-FEM Opera iii をお使いください。

図 1.28 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 1.29~1.34 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長さの切り換えができます。

図 1.31 の油膜厚さから摩擦の発生確率を、図 1.32 の接触温度からスカuffing の発生確率を計算します。

歯面評価グラフ設定				
項目	記号	単位	Pinion	Gear
歯車の温度	T_c	°C	70.000	
油の温度	T _o	°C	40.000	
油の種類	---	---	鉱物油	
ISO グレード	---	---	ISO VG 320	
動粘度(40°C)	---	---	320	
平均温度	M _{tc}	°C	252.000	
標準偏差温度	SD	°C	41.0000	
絶対粘度	μ_o	cP	59.48	
粘着圧	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	

図 1.28 歯面評価(設定)

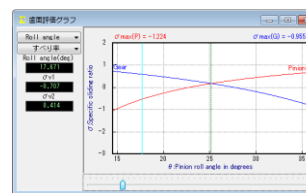


図 1.29 すべり率

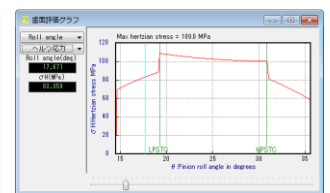


図 1.30 ヘルツ応力

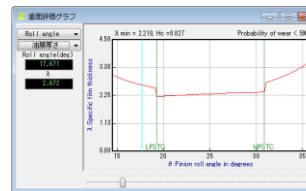


図 1.31 油膜厚さ

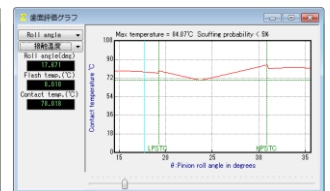


図 1.32 接触温度

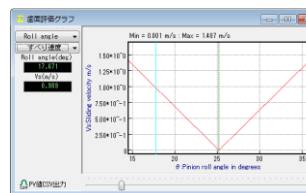


図 1.33 すべり速度

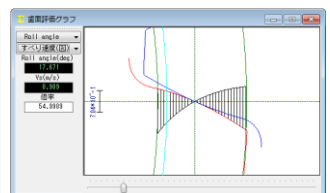


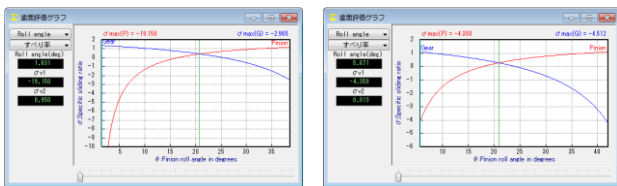
図 1.34 すべり速度図

*1) すべり率とヘルツ応力は標準機能で、他はオプションです。

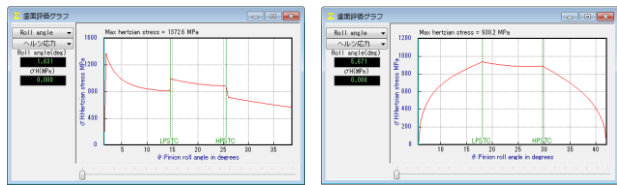
1.12a すべり率とヘルツ応力グラフ

インボリュート歯形の特徴としてかみ合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 1.35 (左列) となり、ピニオンの歯元のすべり率が大きいので、かみ合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。かみ合い率だけでなく、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ため十分注意して設計する必要があります。

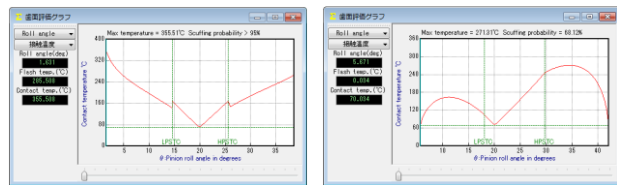
中心距離を変化させないで、転位係数を $x_{n1}=0.24, x_{n2}=0.24$ とし歯形修整 (スムースメッシング) を施した場合のすべり率とヘルツ応力そして歯面接触温度の変化を、図 1.36 に示します。この結果、図 1.35(c) のスカuffing発生確率 90% から図 1.36(c) では 68% に低下し、摩耗の発生確率も 30% から 26% に低下していることが解ります。



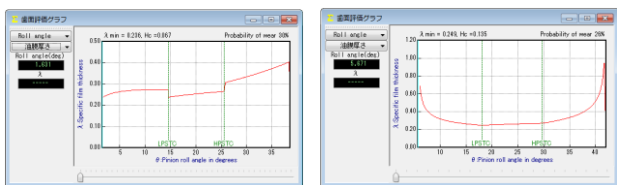
(a) すべり率



(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 1.35 標準歯車

図 1.36 転位+歯形修整

1.12b 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 1.37 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 (両歯面かみ合い) であり、図 1.38 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 (spur and helical) 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付録Dをご覧ください。



図 1.37 歯車試験結果(任意歯形)

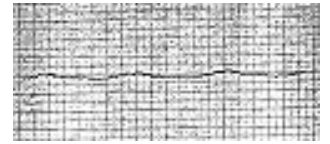


図 1.38 歯車試験結果(理論歯形)

1.13 FEM 歯形応力解析

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 1.39 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 (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 1.40 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 1.41 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合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 1.41 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[45]CT-FEM Opera iiiをお使いください。

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)	nNO	---	21	21
横分割数	nND	---	21	21
荷重点位置	Nf	---	2	2
荷重	F	N	787.2958	

図 1.39 FEM 設定 (2D)

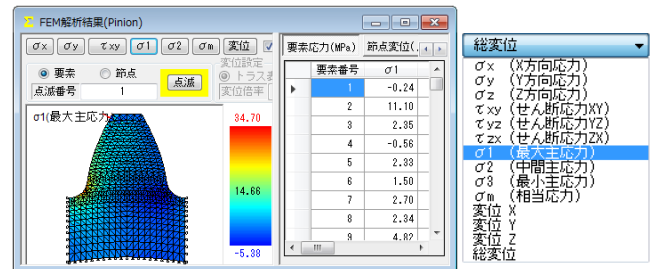


図 1.40 最大主応力 σ_1 (ピニオン)

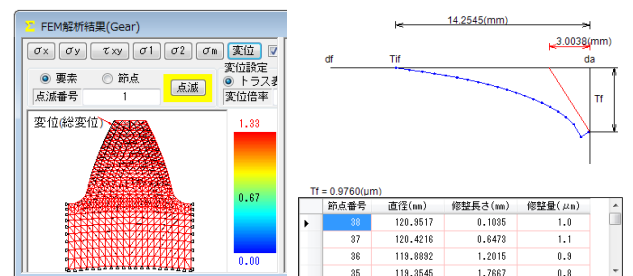


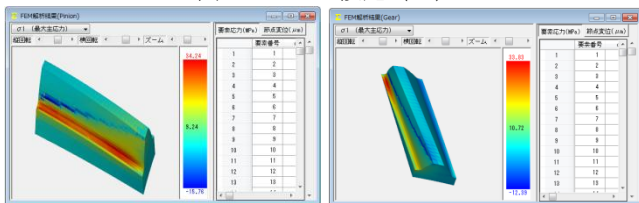
図 1.41 歯の変位とグラフ (ギヤ)

図 1.42 に 3D-FEM 解析条件設定画面を示します。図 1.43 にピニオンとギヤの応力分布図を、図 1.44 にピニオンとギヤの変位図を示します。また、図 1.43 および図 1.44 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、同時かみ合い歯に荷重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[45]CT-FEM Opera iii をお使いください。

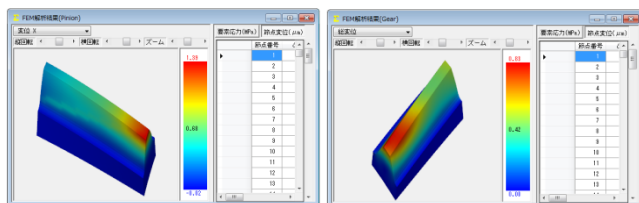
FEM解析諸元				
項目	記号	単位	Pinion	Gear
解析方式	---	---	3D-FEM 歯形応力解析	
材料記号	---	---	SCM415H SM449H	
弾性係数	E	MPa	208000.0	208000.0
ポアソン比	ν	---	0.30	0.30
縦分割数(歯面部)	mNO	---	11	11
横分割数	wNO	---	11	11
荷重点位置	NF	---	2	2
荷重	F	N	787.2958	

図 1.42 FEM 設定 (3D)



(a)ピニオン (b)ギヤ

図 1.43 最大主応力 σ_1



(a)ピニオン (b)ギヤ

図 1.44 歯の変位

1.14 歯車修整 (歯形、歯すじ、バイアス修整)

図 1.45 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 1.46 の歯形修整を数値入力でも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 1.47 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 1.48 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 1.45 として表示することができます。

また、図 1.48 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。歯形だけ方向は作用線または直径で指定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。

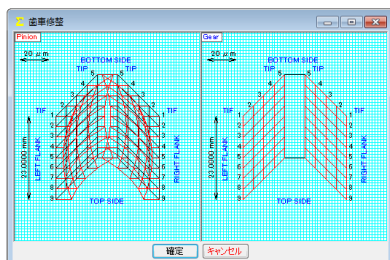


図 1.45 歯面修整 (トポグラフ)

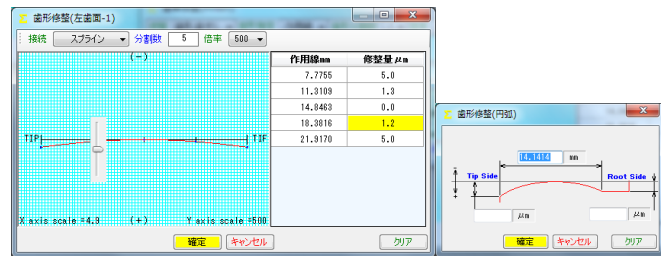


図 1.46 歯形修整

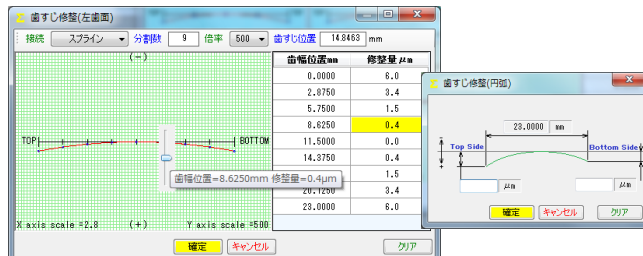


図 1.47 歯すじ修整

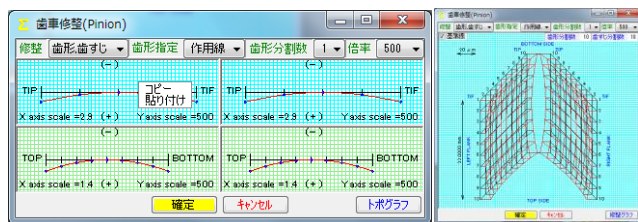


図 1.48 歯形修整&歯すじ修整とトポグラフ

歯面修整を与えた歯形は、図 1.49 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 1.10~1.14 に示す歯形に有効で、図 1.14 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 1.50 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)。

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

図 1.49 歯形計算諸元

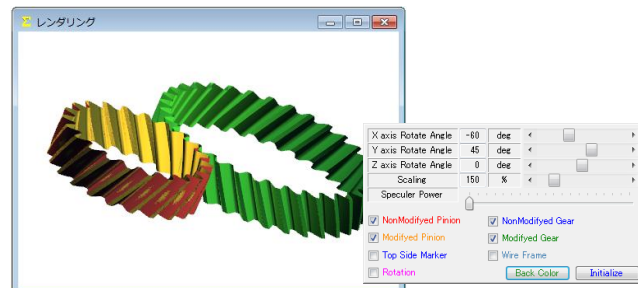


図 1.50 歯形レンダリング (歯面修整)

1.15 歯当たり

歯面修整 (図 1.45) を与えた歯車に図 1.51 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 $2.0 \mu\text{m}$ としたときの歯当たりを図 1.52 および図 1.53 に示します。

項目	記号	単位	数値
中心距離	a	mm	95.9192
平行度誤差	p	deg	0.00000
食い違い誤差	di	deg	0.00000
歯すじ分割数	hul	---	20
歯形補間精度	ac	μm	0.0
回転分割数(1ピッチ当たり)	urP	---	50
接触最大クリアランス	c	μm	2.0

BOTH(両歯面)
 CCW(左歯面)
 CW(右歯面)

図 1.51 歯当たり設定

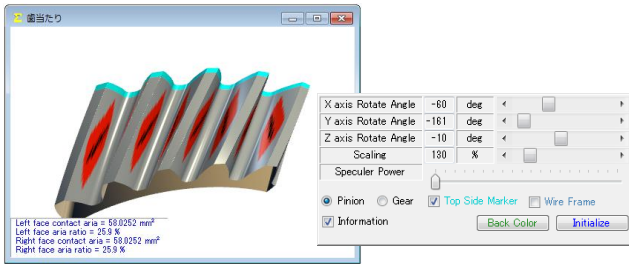


図 1.52 歯当たり (ピニオン)

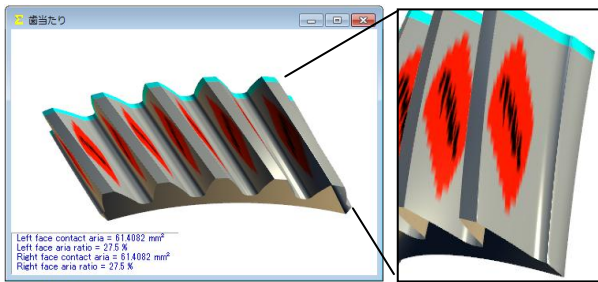
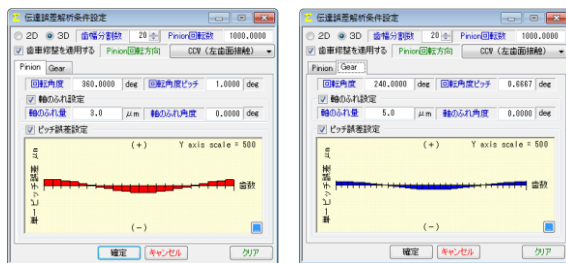


図 1.53 歯当たり (ギヤ) & 拡大

1.16 伝達誤差解析

伝達誤差解析では、無修整歯形または図 1.45 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 1.54 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 1.55 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。

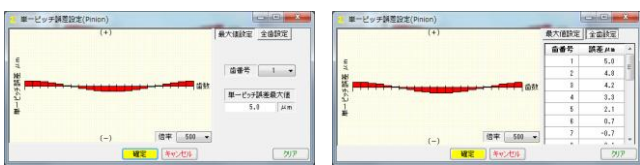
伝達誤差解析、ワウ・フラッタ (回転むら) そしてフーリエ解析結果を図 1.56~1.58 に示します。図 1.57 の **Sound** **消す/取り除く** で **[音]** を聞くことができます。



(a)ピニオン

(b)ギヤ

図 1.54 伝達誤差設定



(a)最大値の設定

(b)全歯設定

図 1.55 ピッチ誤差設定

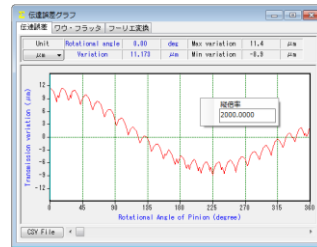


図 1.56 伝達誤差解析結果

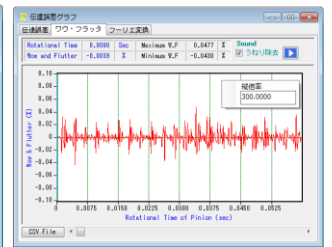


図 1.57 ワウ・フラッタ

伝達誤差解析、ワウ・フラッタ、フーリエ解析結果は、図 1.56 ~1.58 の左下にある **CSV File** で図 1.59 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[45]CT-FEM Opera iii をお使いください。

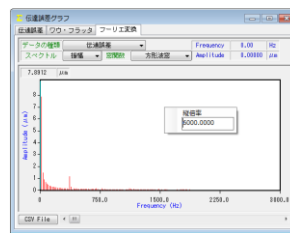


図 1.58 フーリエ解析

	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 1.59 csv ファイル例

1.17 歯形出力

生成した歯形は、図 1.60 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 1.61 のように出力します。

図 1.62 に示す座標補正設定では、金型用を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考慮した歯形を出力することができます。例として図 1.63 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 1.64 のようにテキストファイルで出力することができます。

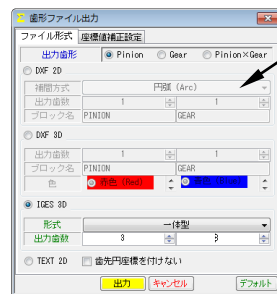


図 1.60 歯形ファイル形式

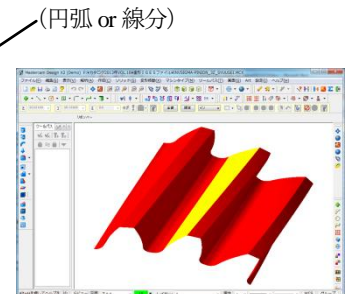


図 1.61 CAD 作図例



図 1.62 座標値補正設定

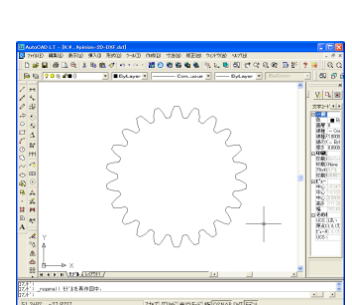


図 1.63 CAD 作図例

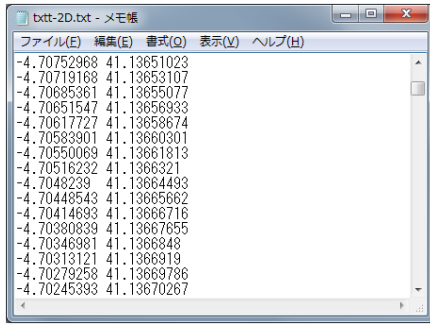


図 1.64 テキストファイル(.txt)

1.18 内歯車

内歯車は図 1.3 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 1.65 に歯車諸元を図 1.66 に寸法を示します。図 1.67 に歯形レンダリングを図 1.68 に歯当たりを示します。なお、図 1.68 のギヤにかみ合うピニオンは、図 1.45 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	mn	mm		3.00000
歯数	z	---	22	65
圧力角	α_n	deg		20.00000
ねじれ角	β	deg	30 * 0	0.00 *
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	右ねじれ
基準円直径	d	mm	76.21024	225.16680
基準円直径	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	32.59267	97.35160
測定ボール径	dp	mm	5.0000	5.0000
オーバールール寸法	dm	mm	83.32747	219.15593
歯直角円弧歯厚	Sn	mm	4.93077	4.44878
中心距離	a	mm		74.54701
歯直角法線歯厚減少量	fn	mm	0.05000	0.06000
歯幅	b	mm	23.00000	23.00000
歯先円直径	da	mm	82.81024	219.30460
歯底円直径	df	mm	69.31024	233.40460
歯先 R	ra	mm	0.10000	0.10000
基準ラック歯元 R	rf	mm	1.1250	1.1250

図 1.65 諸元 (内歯車)

項目	記号	単位	Pinion	Gear
正面モジュール	mt	mm		3.48410
正面圧力角	α_{zt}	deg		22.78588
有効歯幅	bw	mm		23.00000
リード	pz	mm	414.63023	1225.22113
転位量	X_n	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	28 * 1	27.55 *
正面かみ合い圧力角	α_{zw}	deg	22 * 55	17.09 *
かみ合いピッチ円直径	dw	mm	76.28066	225.37488
正面法線ピッチ	pbt	mm		10.09275
歯直角法線ピッチ	pbn	mm		8.85639
かみ合い長さ	sa	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	0.37569
すべり率 (歯元)	σ_b	---	-0.60227	-0.26797
設計またぎ歯厚	W	mm	32.542672	97.411604
設計オーバールール寸法	dm	mm	83.198909	219.395224
設計歯直角円弧歯厚	sn	mm	4.877582	4.378928
正面円弧歯厚	st	mm	5.639564	5.131234
正面またぎ歯厚	Wn	mm	36.885179	110.390381
キャリア歯たけ	hj	mm	3.95981	2.62037
キャリア歯厚	Sj	mm	4.67578	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		0.19529
法線方向バックラッシュ	Jn	mm		0.10791

図 1.66 寸法 (内歯車)

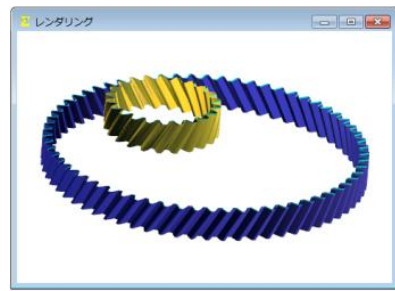


図 1.67 レンダリング

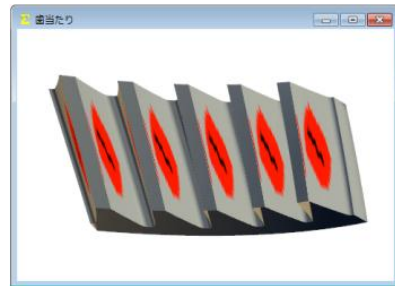


図 1.68 歯当たり (ギヤ)

1.19 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」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 1.69 のように精度についての説明を表示します。

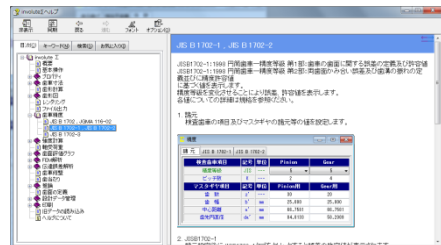


図 1.69 HELP 機能

1.20 設計データ管理 (保存・読み込み)

データベースの設定は、図 1.70 のように選択することができます。また、設計データは図 1.71 のように保存することができます。図 1.72 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) から検索することができます。



図 1.70 データベースの設定

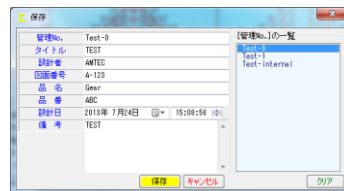


図 1.71 データ保存



図 1.72 読み込み

1.21 ISO 6336(2006): International Standard

Calculation of load capacity of spur and helical gears

以下に、ISO 6336(2006)の計算例を示します。

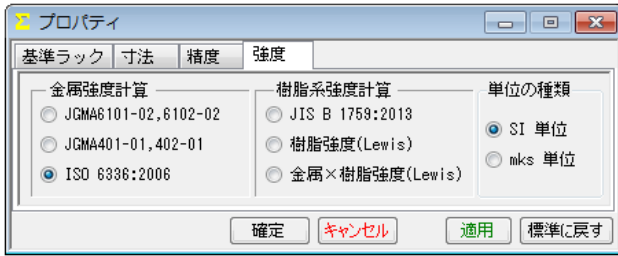


図 1.73 強度, ISO 6336 設定を追加

1.21.2 ISO 6336 規格

ISO 6336 の規格に基づいた計算例を以下に示します。



図 1.74 諸元設定 (外歯車×外歯車)

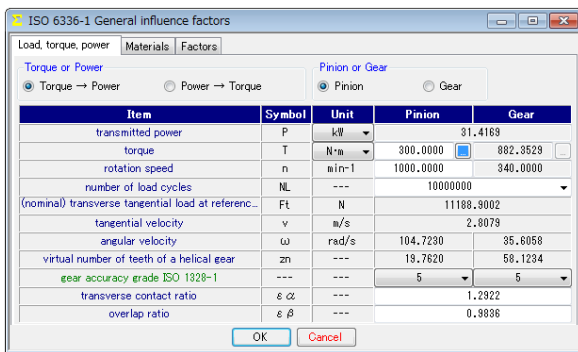


図 1.75 トルク, 回転速度の設定, 6336-1

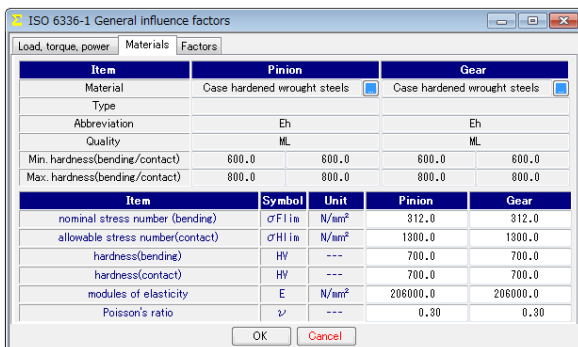


図 1.76 材料の設定

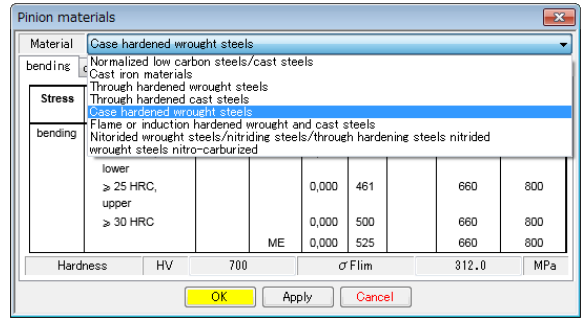


図 1.77 材料選択 1

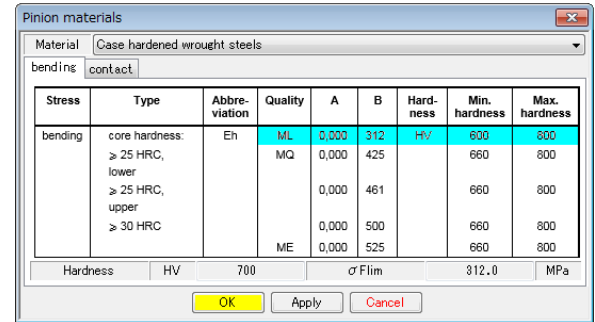


図 1.77a 材料選択 2 (曲げの例)

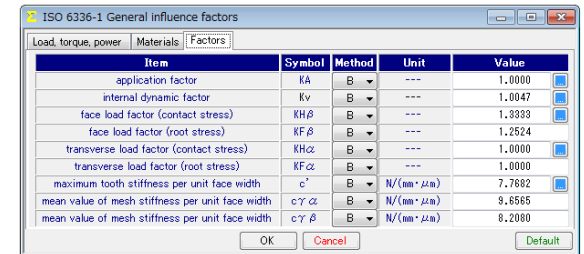


図 1.78 係数, 6336-1

A, B, C 法を , , で選択することができます。

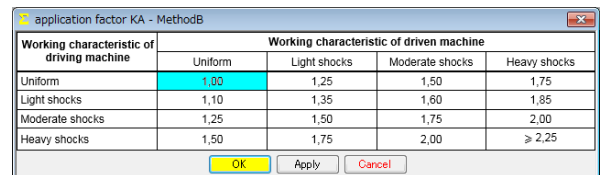


図 1.78a 係数 KA, 6336-1

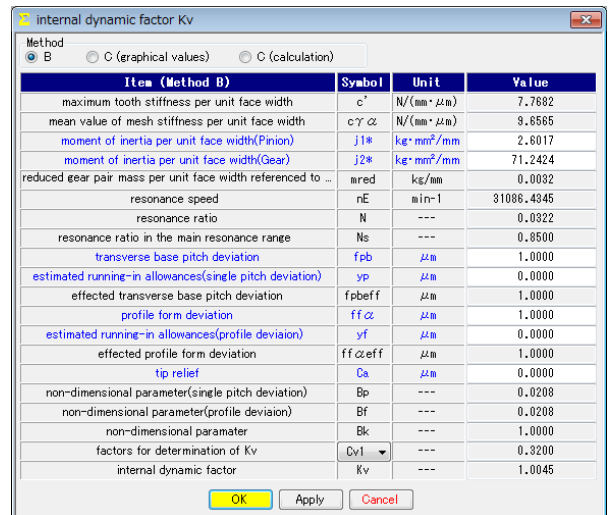


図 1.78b 係数 Kv, 6336-1

face load factors KHβ and KFβ

Method: B C

Item (Method B)	Symbol	Unit	Value
mean transverse tangential load	F _m	N	11241.4880
maximum transverse tangential load	F _{max}	N	13489.7856
maximum load contact face width	b _{max}	mm	27.0000
face load factor(contact stress)	KHβ	---	1.3333
face load factor(root stress)	KFβ	---	1.2524

OK Apply Cancel

図 1.78c 係数 KHβ, 6336-1

transverse load factors KHα and KFα

Item (Method B)	Symbol	Unit	Value
transverse base pitch deviation(Pinion/Gear)	f _{pb}	μm	1.0000
running-in allowance for a gear pair	yα	μm	0.0750
determinant tangential load in a transverse plane	FLH	N	14988.2760
transverse load factor (contact stress)	KHα	---	1.0000
transverse load factor (root stress)	KFα	---	1.0000

OK Apply Cancel

図 1.78d 係数 KHα, 6336-1

maximum tooth stiffness per unit face width c'

Item (Method B)	Symbol	Unit	Value
minimum value for the flexibility of a pair of meshing teeth	q'	(mm·μm)/N	0.0580
web thickness	bs	mm	30.0000
rim thickness	sR	mm	10.1059
theoretical single stiffness	c' th	N/(mm·μm)	17.2488
correction factor	CM	---	0.8000
gear blank factor	CR	---	1.0000
basic rack factor	CB	---	0.5919
maximum tooth stiffness per unit face width	c'	N/(mm·μm)	7.7682
mean value of mesh stiffness per unit face width	c' γ	N/(mm·μm)	9.6564
mean value of mesh stiffness per unit face width	c' γ β	N/(mm·μm)	8.2080

OK Apply Cancel

図 1.78e 係数 c', 6336-1

work hardening factor Zw

Surface-hardened pinion with through-hardened gear
 Through-hardened pinion and gear

Item (Method B)	Symbol	Unit	Value
mean peak-to-valley roughness	Rz	μm	3.0000
ISO viscosity class (grade)	---	---	VG 150
nominal viscosity at 40°C	ν ₄₀	mm ² /s	150.0
radius of relative curvature	ρ _{red}	mm	7.3237
The equivalent roughness	RZH	μm	5.0559
pitch line velocity	v	m/s	2.8079
Brinell hardness	HB	---	622.1
work hardening factor(reference)	Zw	---	1.0000
work hardening factor(static)	Zw	---	1.0000

OK Apply Cancel

図 1.79c 歯面強さ, Zw

ISO 6336-2 Surface durability(pitting), ISO 6336-3 Tooth bending strength

Contact(ISO6336-2) Bending(ISO6336-3)

Item	Symbol	Method	Unit	Pinion	Gear
tooth form factor	YF	B	---	1.4316	1.7889
stress correction factor	YS	---	---	2.0437	1.7070
stress correction factor, relevant to the di...	YST	---	---	---	2.0000
helix angle factor (tooth root)	Yβ	---	---	---	0.8525
rim thickness factor	YB	---	---	1.0000	1.0000
deep tooth factor	YDT	---	---	1.0000	1.0000
life factor for tooth root stress	YNT	B	---	0.9762	0.9762
relative notch sensitivity factor	Yδ _{relT}	B	---	0.9977	0.9913
relative notch sensitivity factor for static ...	Yδ _{relTB}	B	---	1.0192	0.8711
relative surface factor	Y _{relT}	B	---	1.0663	1.0663
size factor (tooth root)	Yz	B	---	1.0000	1.0000
minimum required safety factor for tooth r...	SF _{min}	---	---	1.0000	1.0000
tooth root stress	σ _F	B	N/mm ²	390.1564	407.2120
permissible tooth root stress	σ _{FP}	B	N/mm ²	663.8790	659.5739
safety factor for tooth breakage	SF	---	---	1.7016	1.6197

OK Cancel Default

図 1.80 曲げ強さ 6336-3

ISO 6336-2 Surface durability(pitting), ISO 6336-3 Tooth bending strength

Contact(ISO6336-2) Bending(ISO6336-3)

Item	Symbol	Method	Unit	Pinion	Gear
zone factor	ZH	---	---	2.3661	---
single pair tooth contact factors	ZBZD	---	---	1.0098	1.0000
elasticity factor	ZE	---	√N/mm ²	189.8117	---
contact ratio factor (pitting)	Zε	---	---	0.8703	---
helix angle factor (pitting)	Zβ	---	---	0.9752	---
permit of pitting	---	---	---	---	---
life factor for contact stress	ZNT	B	---	1.1294	1.1294
lubricant factor	ZL	B	---	0.9917	---
velocity factor	Zv	B	---	0.9701	---
roughness factor affecting surface durabil...	ZR	B	---	0.9917	---
work hardening factor (reference stress)	Zw	B	---	1.0000	---
work hardening factor (static stress)	Zw	B	---	1.0000	---
size factor (pitting)	Zz	B	---	1.0000	1.0000
minimum required safety factor for surfac...	SF _{min}	---	---	1.0000	1.0000
contact stress	σ _H	---	N/mm ²	1360.1103	1345.3000
permissible contact stress	σ _{HP}	B	N/mm ²	1645.9399	1645.9399
safety factor for pitting	SH	---	---	1.2102	1.2220

OK Cancel Default

図 1.79 歯面強さ, 6336-2

lubricant factor ZL

Use Equation 37 Use Equation 41

Item (Method B)	Symbol	Unit	Value
ISO viscosity class (grade)	---	mm ² /s	VG 150
nominal viscosity at 50°C	ν ₅₀	mm ² /s	89.0
nominal viscosity at 40°C	ν ₄₀	mm ² /s	0.9100
nominal viscosity at 50°C	---	---	---
lubricant factor	ZL	---	0.9917

OK Apply Cancel

図 1.79a 歯面強さ, ZL

roughness factor affecting surface durability ZR

Item (Method B)	Symbol	Unit	Pinion	Gear
mean peak-to-valley roughness	Rz	μm	3.0000	3.0000
radius of relative curvature	ρ _{red}	mm	7.3237	---
mean relative peak-to-valley roughness for ...	Rz10	μm	3.3282	---
factor for determining lubricant film factors	CZR	---	0.0800	---
roughness factor affecting surface durability	ZR	---	0.9917	---

OK Apply Cancel

図 1.79b 歯面強さ, ZR

tooth form factor YF (Pinion)

Item (Method B)	Symbol	Unit	Value
residual fillet undercut	Spr	mm	0.0000
root fillet radius of basic rack for cylindrical gears	ρ _{fPv}	mm	1.1000
tip diameter (tip form diameter)	d _a (d _{Na})	mm	60.9880
tooth root chord at the critical section	SF _n	mm	6.3141
bending moment arm for tooth root stress releva...	h _{Fe}	mm	3.2481
load direction angle, relevant to direction of appl...	α _{Fen}	deg	23.4596
Theta	θ	deg	47.6447
tooth form factor	YF	---	1.4316

OK Apply Cancel

図 1.80a 曲げ強さ, YF

stress correction factor YS (Pinion)

Item (Method B)	Symbol	Unit	Value
tooth root radius at the critical section	ρ _F	mm	1.3949
factor L	L	---	1.9439
notch parameter	qs	---	2.2633
stress correction factor	YS	---	2.0437

OK Cancel

図 1.80b 曲げ強さ, YS

rim thickness factor YB (Pinion)

Item (Method B)	Symbol	Unit	Value
rim thickness	sR	mm	10.1059
tooth height	ht	mm	6.7373
rim thickness factor	YB	---	1.0000

OK Apply Cancel

図 1.80c 曲げ強さ, YB

Item (Method B)	Symbol	Unit	Value
Material	Eh,IF(root);for all hardness		
residual fillet undercut	Spr	mm	0.0000
relative notch sensitivity factor	yδrelT	---	0.9977
define for St			
stress correction factor	YS	---	2.0437
YδrelT for static stress	yδrelT	---	1.0192

図 1.80d 曲げ強さ, YδrelT

Item (Method B)	Symbol	Unit	Pinion	Gear
mean peak-to-valley roughness	Rz	μm	3.0000	3.0000
relative surface factor	YRrelT	---	1.0663	

図 1.80e 曲げ強さ, YRrelT

Item	Symbol	Unit	Value
application factor	KA	---	1.0000
number of bins	Bin	---	64
load spectrum time	---	Days	70.0000
pitting life	---	Years	30.0000
bending life	---	Years	30.0000
safety factor for pitting	SH	---	1.409
safety factor for bending	SF	---	2.002

図 1.81 寿命, 6336-6

Bin No.	Pinion torque T1 [N·m]	Time over 70 dips [s]	Pinion speed n1 [r/min]	Stress cycles in 30 years N	Face load factor KH	Contact stress σ _H [N/mm ²]	Life factor YNT	Cycles to failure Nf	Damage parts Us [N/N]
1	309.677	0.000E+00	1000.000	0.000E+00					0.000E+00
2	304.939	0.000E+00	1000.000	0.000E+00					0.000E+00
3	300.000	1.658E+01	1000.000	4.320E+04	1.333	1916.412	1.545	1.795E+06	2.409E-02
4	295.161	2.484E+01	1000.000	6.481E+04	1.333	1900.900	1.533	1.973E+06	3.284E-02
5	290.323	3.310E+01	1000.000	8.643E+04	1.333	1885.283	1.520	2.175E+06	3.974E-02
6	285.484	4.141E+01	1000.000	1.080E+05	1.333	1869.492	1.507	2.401E+06	4.500E-02
7	280.645	4.969E+01	1000.000	1.296E+05	1.333	1853.887	1.494	2.655E+06	4.889E-02
8	275.806	5.797E+01	1000.000	1.512E+05	1.333	1838.746	1.482	2.941E+06	5.143E-02
9	270.968	6.625E+01	1000.000	1.728E+05	1.333	1823.184	1.469	3.203E+06	5.297E-02
10	266.129	7.452E+01	1000.000	1.944E+05	1.333	1808.035	1.456	3.432E+06	5.369E-02
11	261.290	8.281E+01	1000.000	2.160E+05	1.333	1792.557	1.442	3.624E+06	5.364E-02
12	256.452	9.110E+01	1000.000	2.377E+05	1.333	1777.129	1.429	3.781E+06	5.269E-02
13	251.613	9.938E+01	1000.000	2.593E+05	1.333	1761.140	1.415	3.905E+06	5.139E-02
14	246.774	1.077E+02	1000.000	2.810E+05	1.333	1738.189	1.401	3.555E+06	4.968E-02
15	241.935	1.159E+02	1000.000	3.024E+05	1.333	1721.071	1.388	3.654E+06	4.759E-02

図 1.81a 寿命, Pinion(Pitting)

Bin No.	Pinion torque T1 [N·m]	Time over 70 dips [s]	Pinion speed n1 [r/min]	Stress cycles in 30 years N	Face load factor KH	Bending stress σ _F [N/mm ²]	Life factor YNT	Cycles to failure Nf	Damage parts Us [N/N]
1	309.677	0.000E+00	1000.000	0.000E+00					0.000E+00
2	304.939	0.000E+00	1000.000	0.000E+00					0.000E+00
3	300.000	1.658E+01	1000.000	4.320E+04	1.253	781.480	1.177	6.724E+05	6.429E-02
4	295.161	2.484E+01	1000.000	6.481E+04	1.253	768.800	1.159	7.805E+05	5.304E-02
5	290.323	3.310E+01	1000.000	8.643E+04	1.253	756.292	1.139	9.001E+05	4.551E-02
6	285.484	4.141E+01	1000.000	1.080E+05	1.253	743.882	1.120	1.039E+06	3.820E-02
7	280.645	4.969E+01	1000.000	1.296E+05	1.253	731.682	1.101	1.189E+06	3.044E-02
8	275.806	5.797E+01	1000.000	1.512E+05	1.253	719.492	1.082	1.459E+06	2.104E-02
9	270.968	6.625E+01	1000.000	1.728E+05	1.253	707.304	1.063	1.709E+06	1.012E-02
10	266.129	7.452E+01	1000.000	1.944E+05	1.253	695.284	1.044	2.015E+06	9.646E-03
11	261.290	8.281E+01	1000.000	2.160E+05	1.253	683.484	1.025	2.384E+06	9.016E-03
12	256.452	9.110E+01	1000.000	2.377E+05	1.253	671.886	1.006	2.839E+06	8.399E-03
13	251.613	9.938E+01	1000.000	2.593E+05	1.253	660.486	0.987	3.329E+06	4.453E-03
14	246.774	1.077E+02	1000.000	2.810E+05	1.253	649.286	0.968	3.859E+06	1.746E-03
15	241.935	1.159E+02	1000.000	3.024E+05	1.253	638.286	0.949	4.438E+06	6.666E-03

図 1.81a 寿命, Pinion(Bending)

項目	記号	単位	Pinion	Gear
モジュール	m	mm	3.0000	
歯数	z	---	22	55
圧力角	αn	deg	20.0000	
ねじれ角	β	deg	30 ° 0 ' 0.00 "	
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	右ねじれ
基準円直径	d	mm	76.21024	190.52559
基礎円直径	db	mm	70.25753	175.64939
歯厚入力方式	---	---	転位係数	転位係数
転位係数	xn	---	0.20000	0.30000
またぎ歯数	zm	---	4	10
またぎ歯厚	w	mm	32.79788	88.22658
測定ボール径	dp	mm	5.1048	4.9818
オーバーボール寸法	dm	mm	84.21039	185.64691
歯直角円弧歯厚	Sn	mm	5.14915	4.05724
中心距離	a	mm	57.40000	
歯直角線歯厚減少量	fn	mm	0.20000	0.10000
歯幅	b	mm	30.00000	
歯先円直径	da	mm	83.41024	186.32559
歯底円直径	df	mm	69.31024	189.82559
歯先 R	ra	mm	0.20000	
基準ラック歯元 R	rf	mm	1.1250	1.1250

図 1.82 諸元設定 (外歯車×内歯車)

Item	Symbol	Unit	Pinion	Gear
transmitted power	P	kW	31.4189	
torque	T	N·m	300.0000	750.0000
rotation speed	n	min ⁻¹	1000.0000	
number of load cycles	NL	---	10000000	
(nominal) transverse tangential load at referenc...	Ft	N	7872.9582	
tangential velocity	v	m/s	3.9305	
angular velocity	ω	rad/s	104.7230	41.8892
virtual number of teeth of a helical gear	zn	---	33.9712	84.6780
gear accuracy grade ISO 1328-1	---	---	3	3
transverse contact ratio	εα	---	1.9539	
overlap ratio	εβ	---	1.5915	

図 1.83 トルク, 回転速度の設定, 6336-1

Item	Symbol	Method	Unit	Pinion	Gear
zone factor	ZH	---	---	2.1928	
single pair tooth contact factors	ZB,ZD	---	---	1.0000	1.0000
elasticity factor	ZE	---	f ^{1/4} N/mm ²	189.8117	
contact ratio factor (pitting)	Zε	---	---	0.8594	
helix angle factor (pitting)	Zβ	---	---	0.9306	
life factor for contact stress	ZNT	B	---	1.1284	1.1284
lubricant factor	ZL	B	---	0.9317	
velocity factor	Zv	B	---	0.9771	
roughness factor affecting surface durabil...	ZR	B	---	1.0251	
work hardening factor (reference stress)	Zw	B	---	1.0000	
work hardening factor (static stress)	Zw	B	---	1.0000	
size factor (pitting)	Zz	B	---	1.0000	1.0000
minimum required safety factor for surfac...	SHmin	---	---	1.0000	1.0000
contact stress	σ _H	---	N/mm ²	553.7022	553.7022
permissible contact stress	σ _{HP}	B	N/mm ²	1461.0010	1461.0010
safety factor for pitting	SH	---	---	2.6388	2.6388

図 1.84 歯面強さ, 6336-2

Item	Symbol	Method	Unit	Pinion	Gear
tooth form factor	YF	B	---	1.1648	0.9122
stress correction factor	YS	---	---	2.1890	2.3955
stress correction factor, relevant to the di...	YST	---	---	2.0000	
helix angle factor (tooth root)	Yβ	---	---	0.7500	
rim thickness factor	YB	---	---	1.0000	1.0382
deep tooth factor	YDT	---	---	1.0000	
life factor for tooth root stress	YNT	B	---	0.9762	0.9762
relative notch sensitivity factor	YδrelT	B	---	0.9970	1.0099
relative notch sensitivity factor for static ...	YδrelT	B	---	1.0832	1.1476
relative surface factor	YRrelT	B	---	1.0663	1.0663
size factor (tooth root)	Yz	B	---	1.0000	
minimum required safety factor for tooth r...	SFmin	---	---	1.0000	1.0000
tooth root stress	σ _F	B	N/mm ²	210.5094	182.5903
permissible tooth root stress	σ _{FP}	B	N/mm ²	663.3908	665.3749
safety factor for tooth breakage	SF	---	---	3.1514	3.6474

図 1.85 曲げ強さ 6336-3