

[12] ANSI/AGMA2101-D04 (歯車強度計算)

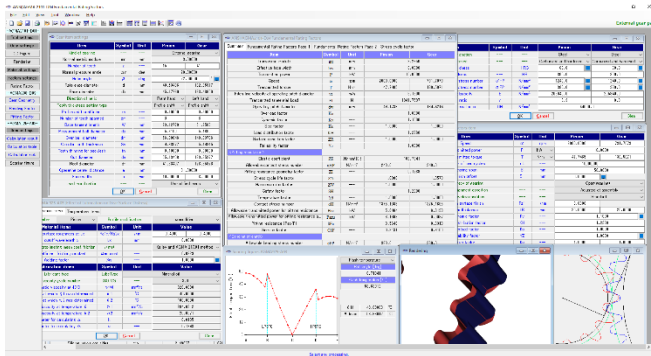


図 12.1 AGMA2101-D04

12.1 概要

ANSI/AGMA2001-C95 の上位版として ANSI/AGMA2101-D04 ソフトウェアを開発しました。本ソフトウェアは、ANSI/AGMA 2101-D04 の規格に基づいて歯車強度計算をします。また、歯形の幾何係数 (ZI, YJ) は、AGMA908-B89 に基づき、フラッシュ温度などの計算は AGMA925-A03 に基づいています。

(1)適用規格

「ANSI/AGMA2101-D04」:Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth

「ANSI/AGMA 908-B89」:Geometry Factor for Determining the Pitting Resistance and Bending Strength of Spur, Helical and Herringbone Gear Teeth

「AGMA 925-A03」:Effect of Lubrication on Gear Surface Distress

(2)歯車の種類

インボリュート平, はすば歯車(外歯車, 内歯車)

(3)工具

ホブおよびピニオンカッタ (プロデュバランス含む)

(4)歯車の強さ

曲げ強さ, 歯面強さ, 寿命および幾何係数の詳細数値

(5)スカuffing

すべり率, ヘルツ応力, 油膜厚さ, フラッシュ温度のグラフと摩耗およびスカuffing発生確率などを計算します。

12.2 初期設定

図 12.2 で基準ラックの設定を行い, 図 12.3 で工具の設定をします。工具の種類は, ホブとピニオンカッタを選択することができます。

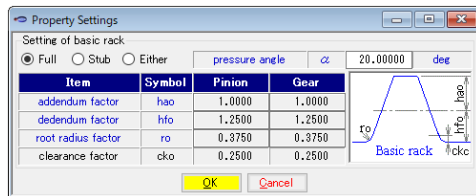


図 12.2 基準ラックの設定

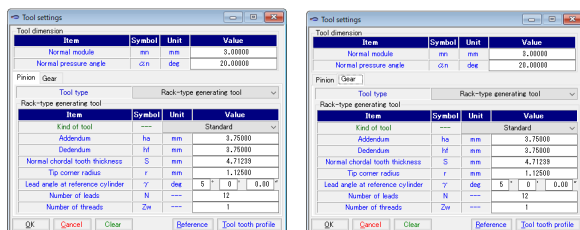


図 12.3 工具設定

12.3 歯車諸元

歯車諸元入力画面を図 12.4 に, 歯車計算結果を図 12.5 に示します。

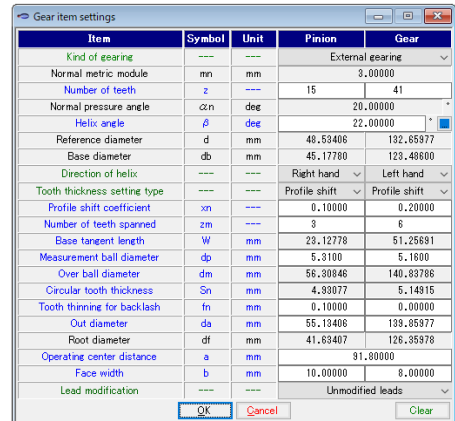


図 12.4 歯車諸元入力画面

Item	Symbol	Unit	Pinion	Gear
Transverse module	mt	mm	3.23560	
Transverse pressure angle	α_t	deg	21.49272	
Effective face width	bw	mm	8.00000	
Lead	p2	mm	377.38703	1091.52455
Tool profile shift	Xm	mm	0.30000	0.59999
Addendum	ha	mm	3.30000	3.60000
Dedendum	hf	mm	3.45000	3.15000
Whole depth	h	mm	6.75000	6.75000
Clearance	c	mm	1.05908	1.05908
Base helix angle	β_b	deg	20	38.21
Operating transverse pressure angle	α_{tw}	deg	23	14.73
Operating pitch diameter	dw	mm	48.17857	134.42143
Transverse circular pitch	pbt	mm	9.48202	
Normal circular pitch	pbn	mm	8.85636	
Contact length	ca	mm	12.96609	
Transverse contact ratio	ϵ_α		1.39692	
Overlap ratio	ϵ_β		0.31798	
Total contact ratio	ϵ_γ		1.62489	
Sliding ratio (tip side)	σ_a		0.52613	0.71401
Sliding ratio (root side)	σ_b		-2.45667	-1.11028
Span measurement (design)	W	mm	29.02777	51.25691
Over balls diameter (design)	dm'	mm	56.08211	140.83786
Circular tooth thickness (design)	Sn'	mm	4.82493	5.14915
Transverse tooth thickness (design)	Sf'	mm	5.20323	5.55354
Transverse span measurement	Wa	mm	24.802475	54.781887
Chordal height	hj	mm	3.40753	3.64295
Chordal tooth thickness	Sj	mm	4.81848	5.14820
Basic rack addendum factor	ha0		1.00000	
Basic rack dedendum factor	hf0		1.25000	
Backlash (transverse)	jt	mm	0.39703	
Backlash (normal)	jn	mm	0.33817	

図 12.5 歯車寸法

12.4 歯形図

歯形かみ合いを図 12.6 にレンダリングを図 12.7 に示します。

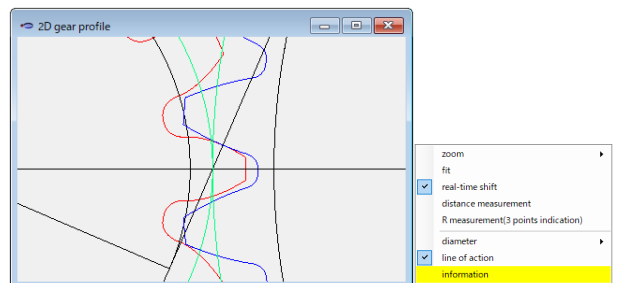


図 12.6 歯形かみ合い

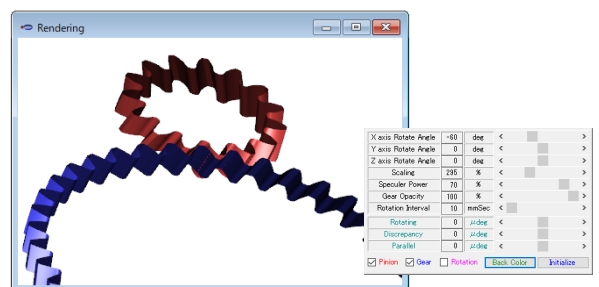


図 12.7 歯形レンダリング

12.5 材料入力

図 12.8 に材料設定画面を示します。硬度や許容応力値は、図 12.9 で入力できますが、任意に設定することができます。

Item	Symbol	Unit	Pinion	Gear
Material designation	---	---	Steel	Steel
Heat treatment	---	---	Carburized and hardened	Carburized and hardened
Surface hardness	---	---	60.0	60.0
Core hardness	---	HB	300.0	300.0
Allowable contact stress number	σ_{HP}	N/mm ²	1240.0	1240.0
Allowable bending stress number	σ_{FP}	N/mm ²	380.0	380.0
Modulus of elasticity	E	N/mm ²	205940.0	205940.0
Poisson's ratio	ν	---	0.3	0.3
Hardening process factor	UH	N/mm ²	44000.0	---

図 12.8 材料設定

Hardness conversion

Item	Unit	Value
Brinell hardness	HB	605.0
Rockwell hardness (C scale)	HRC	60.0
Rockwell superficial hardness (15-N scale)	HRI5N	90.2

Allowable contact stress numbers of pinion

Item	Symbol	Unit	Value
Material grade	---	---	Grade 1
Surface hardness	---	HRC	Grade 1
Allowable contact stress number	σ_{HP}	N/mm ²	Grade 2

Allowable bending stress number of pinion

Item	Symbol	Unit	Value
Material grade	---	---	Grade 1
Core hardness	---	HB	300.0
Allowable bending stress number	σ_{FP}	N/mm ²	380.0

図 12.9 材料設定 (補助フォーム)

12.6 動力および係数入力

- (1) 動荷重係数、荷重分配係数などは[TAB]で理論値が入力されます。
 - (2) 荷重の作用位置は、歯先荷重または外の最悪荷重点 (HPSTC) を選択することができます。
 - (3) 係数の意味や図およびグラフは規格原本をご覧ください。
- 図 12.10 に動力および係数入力画面を示します。

Item	Symbol	Unit	Pinion	Gear
Speed	ω	rpm	2000.0000	791.7073
Transmitted power	P	kW	10.0000	---
Transmitted torque	T	N·m	47.7465	130.5971
Number of load cycles	nL	---	10000000	---
Bearing span	S	mm	50.0000	---
Pinion offset	S1	mm	0.0000	---
Accuracy of gearing	---	---	Open (gearing)	---
Mesh alignment condition	---	---	Adjusted at assembly	---
Load cycles condition	---	---	Standard	---
Pinion surface finish	Rz1	μ m	3.0000	---
Rim thickness	tR	mm	20.0000	20.0000
Dynamic factor	Kv	---	1.0000	---
Load distribution factor	KH	---	1.2268	---
Overload factor	Ko	---	1.0000	---
Reliability factor	Yz	---	1.0000	---
Size factor	Ks	---	1.0000	1.0000
Surface condition factor for pitting resistance	ZR	---	1.0000	1.0000
Temperature factor	Yθ	---	1.0000	1.0000
Safety factor for pitting	SH	---	1.2000	---
Safety factor for bending	SF	---	1.2000	---
Load application point	---	---	Tip of tooth	---
Number of stress cycles	nL1/nL2	1/min	1	1
Effective face width	bw	mm	8.0000	---

図 12.10 動力及び係数設定

Dynamic factor Kv

Item	Symbol	Unit	Value
Transmitted tangential load	Ft	N	1941.76035
Incremental dynamic tooth load	Fd	N	---
Dynamic factor	Kv	---	---

Reliability factor Yz

Requirement of application	Yz
Fewer than one failure in 10000	1.50
Fewer than one failure in 1000	1.25
Fewer than one failure in 100	1.00
Fewer than one failure in 10	0.85
Fewer than one failure in 2	0.70

図 12.11 補助フォームの例

12.7 強度結果

強度計算結果を図 12.12~12.15 に示します。強度結果の一覧は、図 12.12 で解りますが、詳細数値については図 12.13 および図 12.14 をご覧ください。図 12.15 の寿命は、負荷かみ合い数と Z_N および Y_N の関係から計算しています。

Item	Symbol	Unit	Pinion	Gear
Transverse module	mt	mm	---	3.2356
Effective face width	bw	mm	---	8.0000
Transmitted power	P	kW	---	10.0000
Speed	ω	rpm	2000.0000	791.7073
Transmitted torque	T	N·m	47.7465	130.5971
Pitch line velocity at operating pitch diameter	vt	m/s	---	5.1500
Transmitted tangential Load	Ft	N	1941.7577	---
Operating pitch diameter	dw	mm	49.1768	134.4214
Overload factor	Ko	---	1.0000	---
Dynamic factor	Kv	---	1.0000	---
Size factor	Ks	---	1.0000	1.0000
Load distribution factor	KH	---	1.2268	---
Surface condition factor	ZR	---	1.0000	1.0000
Reliability factor	Yz	---	1.0000	---
Elastic coefficient	ZE	D/mm ^{3/2}	189.7841	---
Allowable contact stress number	σ_{HP}	N/mm ²	1240.0	1240.0
Pitting resistance geometry factor	ZI	---	0.1259	---
Stress cycle life factor	ZN	---	1.0000	1.0579
Hardness ratio factor	ZW	---	1.0000	1.0000
Safety factor	SH	---	1.2000	---
Temperature factor	Yθ	---	1.0000	---
Contact stress number	σ_H	N/mm ²	1975.1665	1975.1665
Allowable transmitted power for pitting resistance	Paz	kW	5.4646	6.3193
Allowable transmitted power for pitting resistance a.	Pazu	kW	0.1308	0.9397
Pitting resistance (Pa/P)	SFz	---	0.5646	0.6318
Service factor	CSF	---	0.8131	0.8100
Allowable bending stress number	σ_{FP}	N/mm ²	380.0	380.0
Bending stress geometry factor	YJ	---	0.2953	0.3473
Rim thickness factor	KB	---	1.0000	1.0000
Stress cycle life factor	YN	---	1.0176	1.0360
Safety factor for bending	SF	---	1.2000	---
Bending stress number	σ_F	N/mm ²	342.8932	291.4818
Allowable bending stress number	σ_F	N/mm ²	322.2538	328.0735
Allowable transmitted power for bending strength	Pay	kW	9.4005	11.2554
Allowable transmitted power for bending strength at.	Payu	kW	11.2907	13.5064
Bending strength (Pay/P)	SFy	---	0.8401	1.1255
Service factor	KSF	---	1.1281	1.3506

図 12.12 強度計算結果

Item	Symbol	Unit	Pinion	Gear
Contact stress number	σ_H	N/mm ²	1975.1665	1975.1665
Operating pitch diameter	dw	mm	49.1768	134.4214
Allowable transmitted power for pitting resistance	Paz	kW	5.4646	6.3193
Contact load factor for pitting resistance	K	N/mm ²	---	6.7411
Gear ratio factor	OG	---	0.7821	---
Stress cycle life factor for pitting resistance	ZN	---	1.0000	1.0579
Allowable contact load factor	Kaz	N/mm ²	---	4.2589
Bending stress number	σ_F	N/mm ²	342.8932	291.4818
Rim thickness factor	KB	---	1.0000	1.0000
Transverse metric module	mt	mm	---	3.2356
Allowable bending stress number	σ_F	N/mm ²	322.2538	328.0735
Stress cycle life factor for bending strength	YN	---	1.0176	1.0360
Allowable transmitted power for bending strength	Pay	kW	9.4005	11.2554
Unit load for bending strength	UL	N/mm ²	---	80.9067
Allowable unit load for bending strength	Uay	N/mm ²	76.0567	81.0634
Back-up ratio	mB	---	2.9630	---
Transmitted tangential Load	Ft	N	1941.7577	---
Pitch line velocity at operating pitch diameter	vt	m/s	---	5.1500

図 12.13 強度計算結果 (詳細 1)

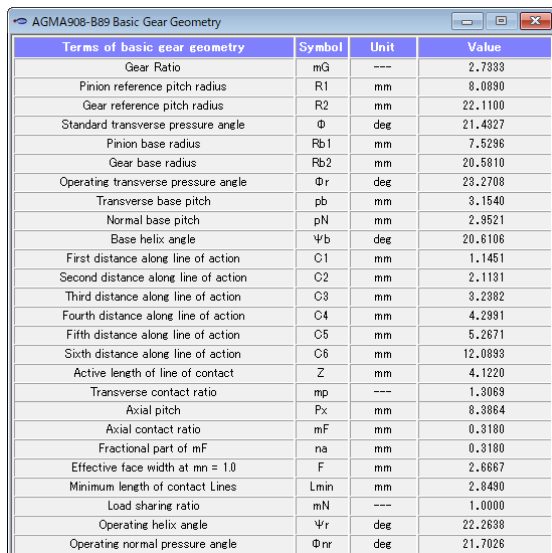
Item	Symbol	Unit	Pinion	Gear
Allowable transmitted power for pitting resistance a.	Pazu	kW	0.1308	0.9397
Allowable transmitted power for bending strength at.	Payu	kW	11.2907	13.5064
Allowable transmitted power for gear set	Pa	kW	0.1308	0.9397
Elastic coefficient	ZE	D/mm ^{3/2}	189.7841	---
Hardness ratio factor for pitting resistance	ZW	---	1.0000	1.0000
Face load distribution factor	KHβ	---	1.2268	---
Lead correction factor	KHmc	---	1.0000	---
Pinion proportion factor	KHpl	---	0.9250	---
Pinion proportion modifier	KHpm	---	1.0000	---
Mesh alignment factor	KHma	---	0.2522	---
Mesh alignment correction factor	KHe	---	0.8000	---
Minimum effective case depth at pitch line	hemin	mm	---	0.3951
Hardening process factor	UH	N/mm ²	44000.0000	---
Maximum effective case depth	hemax	mm	1.0468	1.2000
Minimum total case depth for nitrided gears	hcin	mm	---	---
Core hardness coefficient	Uc	---	2.1000	2.1000
Load distribution factor under overload conditions	KHs	---	---	1.0745

図 12.14 強度計算結果 (詳細 2)

Item	Symbol	Unit	Pinion	Gear
Terms of pitting resistance	---	---	---	---
Pitting resistance (Pa/P)	SFz	---	0.5646	0.6318
Service factor for pitting resistance	CSF	---	0.8131	0.8100
Pitting resistance stress cycle factor	ZN	---	1.3908	1.3908
Number of load cycles	nL	---	6.075E+04	6.075E+04
Life time of pitting resistance	Lp	hours	5.062E+01	1.384E+04
Terms of bending strength	---	---	---	---
Bending strength (Pay/P)	SFy	---	0.8401	1.1255
Service factor for bending strength	KSF	---	1.1281	1.3506
Bending strength stress cycle factor	YN	---	1.0625	0.9205
Number of load cycles	nL	---	2.198E+06	2.810E+09
Life time of bending strength	Lb	hours	1.781E+01	6.400E+04

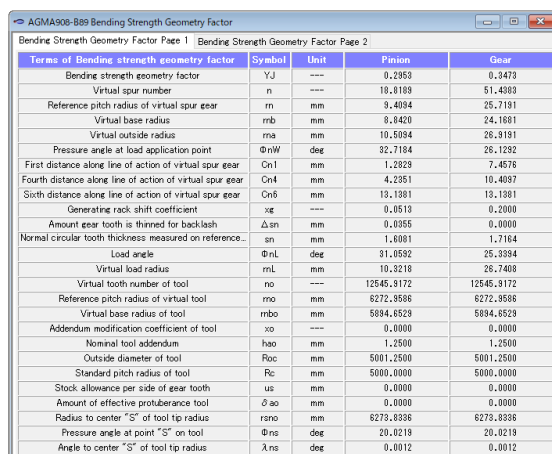
図 12.15 強度計算結果 (寿命)

幾何係数 (YJ, ZI) の計算結果を図 12.16～12.18 に示します。



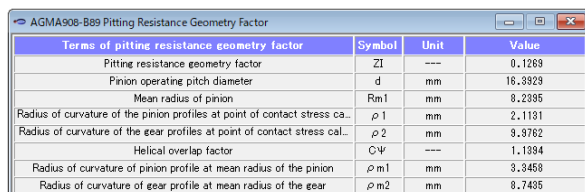
Terms of basic gear geometry	Symbol	Unit	Value
Gear Ratio	mG	---	2.7333
Pinion reference pitch radius	R1	mm	8.0890
Gear reference pitch radius	R2	mm	22.1100
Standard transverse pressure angle	Φ	deg	21.4327
Pinion base radius	Rb1	mm	7.5296
Gear base radius	Rb2	mm	20.5810
Operating transverse pressure angle	Φ_r	deg	23.2708
Transverse base pitch	pb	mm	3.1540
Normal base pitch	pN	mm	2.9521
Base helix angle	Ψ_b	deg	20.8106
First distance along line of action	C1	mm	1.1451
Second distance along line of action	C2	mm	2.1131
Third distance along line of action	C3	mm	3.2382
Fourth distance along line of action	C4	mm	4.2391
Fifth distance along line of action	C5	mm	5.2671
Sixth distance along line of action	C6	mm	12.0893
Active length of line of contact	Z	mm	4.1220
Transverse contact ratio	mp	---	1.3069
Axial pitch	Px	mm	8.3964
Axial contact ratio	mF	mm	0.8180
Fractional part of mF	na	mm	0.3180
Effective face width at mn = 1.0	F	mm	2.6667
Minimum length of contact lines	Lmin	mm	2.8480
Load sharing ratio	mN	---	1.0000
Operating helix angle	Ψ_r	deg	22.2638
Operating normal pressure angle	Φ_{nr}	deg	21.7026

図 12.16 幾何係数 (AGMA925-A03)



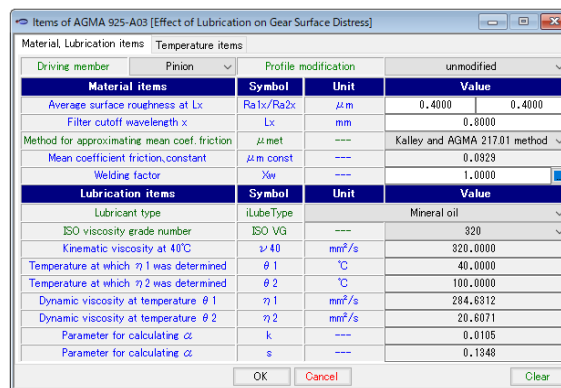
Terms of bending strength geometry factor	Symbol	Unit	Pinion	Gear
Bending strength geometry factor	YJ	---	0.2353	0.3473
Virtual spur number	n	---	19.8189	51.4303
Reference pitch radius of virtual spur gear	rm	mm	9.4094	25.7191
Virtual base radius	mb	mm	8.8420	24.1681
Virtual outside radius	rma	mm	10.5094	26.9191
Pressure angle at load application point	Φ_{nW}	deg	32.7184	26.1282
First distance along line of action of virtual spur gear	Cn1	mm	1.2828	7.4576
Fourth distance along line of action of virtual spur gear	Cn4	mm	4.2351	10.4087
Sixth distance along line of action of virtual spur gear	Cn6	mm	13.1381	13.1381
Generating rack shift coefficient	xg	---	0.0513	0.2000
Amount gear tooth is thinned for backlash	Δsn	mm	0.0355	0.0000
Normal circular tooth thickness measured on reference...	sn	mm	1.6981	1.7164
Load angle	Φ_{nL}	deg	31.0592	25.3394
Virtual load radius	ml	mm	10.3218	26.7409
Virtual tooth number of tool	no	---	12545.9172	12545.9172
Reference pitch radius of virtual tool	rmo	mm	6272.9566	6272.9566
Virtual base radius of tool	mbto	mm	5694.6523	5694.6523
Addendum modification coefficient of tool	xa	---	0.0000	0.0000
Nominal tool addendum	hao	mm	1.2500	1.2500
Outside diameter of tool	Roc	mm	5001.2500	5001.2500
Standard pitch radius of tool	Rc	mm	5000.0000	5000.0000
Stock allowance per side of gear tooth	us	mm	0.0000	0.0000
Amount of effective protrusion of tool	δao	mm	0.0000	0.0000
Radius to center "S" of tool tip radius	rso	mm	6273.8336	6273.8336
Pressure angle at point "S" on tool	Φ_{ns}	deg	20.0219	20.0219
Angle to center "S" of tool tip radius	λ_{ns}	deg	0.0012	0.0012

図 12.17 幾何係数 (YJ, 1/2)



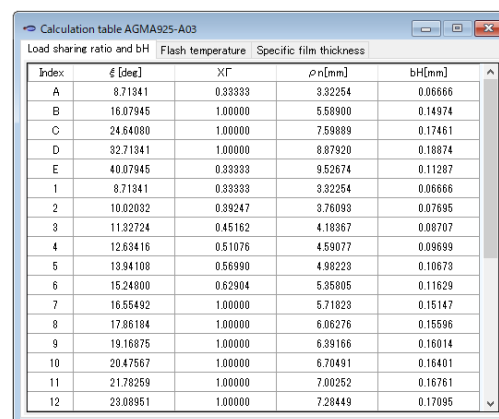
Terms of pitting resistance geometry factor	Symbol	Unit	Value
Pitting resistance geometry factor	ZI	---	0.1269
Pinion operating pitch diameter	d	mm	16.3923
Mean radius of pinion	Rm1	mm	8.2395
Radius of curvature of the pinion profiles at point of contact stress cal.	$\rho 1$	mm	2.1131
Radius of curvature of the gear profiles at point of contact stress cal.	$\rho 2$	mm	9.9762
Helical overlap factor	C Ψ	---	1.1394
Radius of curvature of pinion profile at mean radius of the pinion	$\rho m1$	mm	3.9458
Radius of curvature of gear profile at mean radius of the gear	$\rho m2$	mm	8.7435

図 12.18 幾何係数 (ZI)



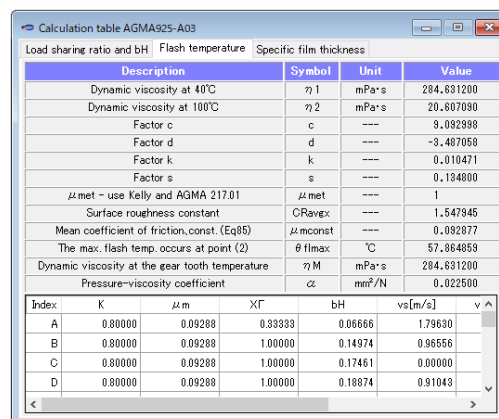
Material, Lubrication items	Pinion	Profile modification	unmodified
Driving member	Pinion		
Material items			
Average surface roughness at Lx	Ra1x/Ra2x	μm	0.4000 0.4000
Filter cutoff wavelength x	Lx	mm	0.8000
Method for approximating mean coef. friction	μ_{met}	---	Kalley and AGMA 217.01 method
Mean coefficient friction, constant	$\mu m const$	---	0.0929
Welding factor	λ_w	---	1.0000
Lubrication items			
Lubricant type	iLubeType		Mineral oil
ISO viscosity grade number	ISO VG	---	320
Kinematic viscosity at 40°C	$\nu 40$	mm ² /s	320.0000
Temperature at which $\eta 1$ was determined	$\theta 1$	°C	40.0000
Temperature at which $\eta 2$ was determined	$\theta 2$	°C	100.0000
Dynamic viscosity at temperature $\theta 1$	$\eta 1$	mm ² /s	284.8312
Dynamic viscosity at temperature $\theta 2$	$\eta 2$	mm ² /s	20.6071
Parameter for calculating α	k	---	0.0105
Parameter for calculating α	s	---	0.1348

図 12.19 スカフティング評価値の設定



Index	ℓ [deg]	$X\Gamma$	ρn [mm]	bH [mm]
A	8.71341	0.33333	3.32254	0.06666
B	16.07945	1.00000	5.59900	0.14974
C	24.54080	1.00000	7.59889	0.17461
D	32.71341	1.00000	8.87920	0.18874
E	40.07945	0.33333	9.52674	0.11287
1	8.71341	0.33333	3.32254	0.06666
2	10.02032	0.39247	3.76093	0.07695
3	11.32724	0.45162	4.18367	0.08707
4	12.63416	0.51076	4.59077	0.09699
5	13.94108	0.56990	4.98223	0.10673
6	15.24800	0.62904	5.35905	0.11629
7	16.55492	1.00000	5.71823	0.15147
8	17.86184	1.00000	6.06276	0.15596
9	19.16875	1.00000	6.39166	0.16014
10	20.47567	1.00000	6.70491	0.16401
11	21.78259	1.00000	7.00252	0.16761
12	23.08951	1.00000	7.28449	0.17095

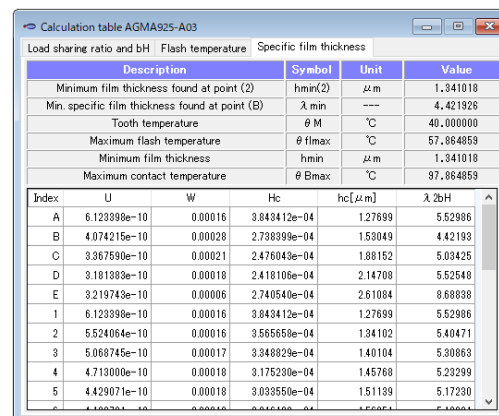
図 12.20 計算結果 (荷重分担)



Description	Symbol	Unit	Value
Dynamic viscosity at 40°C	$\eta 1$	mPa·s	284.831200
Dynamic viscosity at 100°C	$\eta 2$	mPa·s	20.607030
Factor c	c	---	3.092998
Factor d	d	---	-3.487058
Factor k	k	---	0.101471
Factor s	s	---	0.134900
μ_{met} - use Kelly and AGMA 217.01	μ_{met}	---	1
Surface roughness constant	C R_{avex}	---	1.547945
Mean coefficient of friction, const. (Eq85)	$\mu mconst$	---	0.092877
The max. flash temp. occurs at point (2)	$\theta flmax$	°C	57.864859
Dynamic viscosity at the gear tooth temperature	ηM	mPa·s	284.831200
Pressure-viscosity coefficient	α	mm ² /N	0.022500

Index	K	μm	$X\Gamma$	bH	νs [m/s]
A	0.80000	0.09288	0.33333	0.06666	1.79630
B	0.80000	0.09288	1.00000	0.14974	0.96556
C	0.80000	0.09288	1.00000	0.17461	0.00000
D	0.80000	0.09288	1.00000	0.18874	0.91043

図 12.21 計算結果 (フラッシュ温度)



Description	Symbol	Unit	Value
Minimum film thickness found at point (2)	hmin(2)	μm	1.341018
Min. specific film thickness found at point (B)	λmin	---	4.421926
Tooth temperature	θM	°C	40.000000
Maximum flash temperature	$\theta flmax$	°C	57.864859
Minimum film thickness	hmin	μm	1.341018
Maximum contact temperature	$\theta Bmax$	°C	97.864859

Index	U	W	Hc	hc [μm]	$\lambda 2bH$
A	6.123398e-10	0.00016	3.843412e-04	1.27699	5.52986
B	4.074215e-10	0.00028	2.738399e-04	1.53049	4.42193
C	3.367590e-10	0.00021	2.476049e-04	1.88152	5.03425
D	3.181389e-10	0.00018	2.418106e-04	2.14708	5.52548
E	3.219743e-10	0.00006	2.740540e-04	2.61084	8.88838
1	6.123398e-10	0.00016	3.843412e-04	1.27699	5.52986
2	5.524064e-10	0.00016	3.565650e-04	1.34102	5.40471
3	5.068745e-10	0.00017	3.848829e-04	1.40104	5.30883
4	4.713000e-10	0.00018	3.175230e-04	1.45768	5.23299
5	4.429071e-10	0.00018	3.033550e-04	1.51139	5.17230

図 12.22 計算結果 (油膜厚さ)

12.8 スカフティング評価

AGMA925-A03 に基づいてフラッシュ温度や油膜厚さなど、また、スカフティング発生確率の計算をします。計算結果を図 12.19～12.24 に示します。

- (1) 歯面粗さは Ra(μm) で入力してください。
- (2) 潤滑油 (ISO 粘度グレード) は VG32～VG3200 を選択することができます。また、範囲外の場合は動粘度、平均温度などを入力することができます。
- (3) 摩擦係数の方式は、AGMA217.01, Benedict and Kelley, 任意を選択する事ができますが、ここでの計算は歯面上の摩擦係数は一定としています。
- (4) 摩耗とスカフティングの発生確率を図 12.23 および図 12.24 に示します。
- (5) すべり率、ヘルツ応力、フラッシュ温度、油膜厚さなどのグラフを図 12.25 に示します。

Risk of scuffing and wear AGMA925-A03

Risk of scuffing	Symbol	Unit	Value
Method of calculating scuffing temperature	θ smet	---	1.000000
Mean scuffing temperature	θ s	°C	253.354593
Probability of scuffing	Symbol	Unit	Value
Maximum contact temperature	y	°C	97.864859
Mean scuffing temperature	μy	°C	253.354593
Approx. standard deviation of scuffing temp.	σy	°C	38.003189
Standard normal variable, $x = (y - \mu y) / \sigma y$	---	---	-4.091492
Probability of scuffing Pscuff	---	---	Pscuff = 0% or lower
Based on AGMA925-A03 Table 5, scuffing risk	---	---	Low

図 12.23 計算結果（スカッシング発生確率）

Risk of scuffing and wear AGMA925-A03

Risk of wear	Symbol	Unit	Value
Average surface roughness	$Ra1x/Ra2x$	μm	0.400000 0.400000
Root mean square roughness at Lx	$Rq1x/Rq2x$	μm	0.444000 0.444000
Arithmetic average of $Ra1x$ and $Ra2x$ at Lx	$Rqavg$	μm	0.444000
Minimum specific film thickness	λ min	---	4.421926
Pitch line velocity is less than 5 m/s	vt	m/s	5.149968
Mean minimum specific film thickness (Eq.110)	$\mu \lambda$ Min	μm	0.566729
Std. dev. of min. spec. film thk. (Eq. 111)	$\sigma \lambda$ Min	μm	0.255497
Probability of wear	Symbol	Unit	Value
Minimum specific film thickness	y	---	4.421926
Mean minimum specific film thickness	μy	---	0.566729
Standard deviation of the min. specific film	σy	---	0.255497
Probability of wear	---	---	< 5%

図 12.24 計算結果（摩耗発生確率）

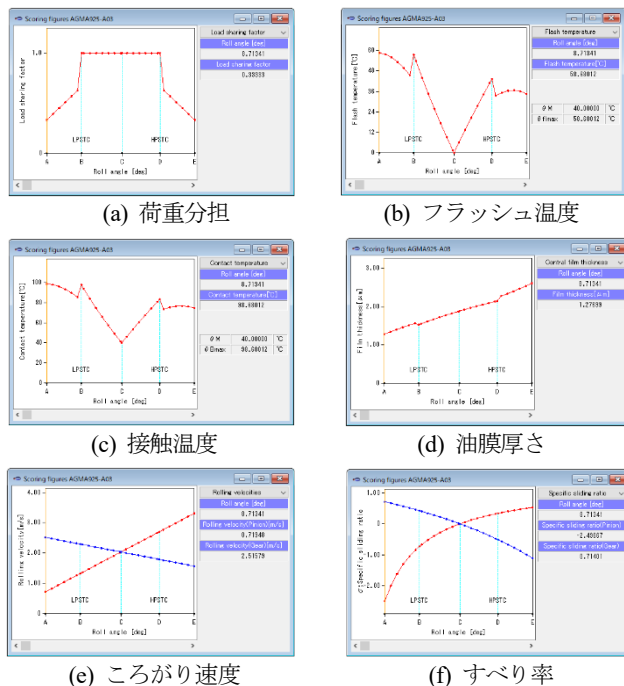


図 12.25 計算結果（グラフ表示）

12.9 その他機能

- (1) データ管理画面を図 12.26～12.28 に示します。
- (2) 印刷選択画面を図 12.29 に示します。
- (3) 計算結果をクリップボードに出力することができます。

search for design data(Load)

design management	gear specifications
☐ management No.	
☐ title	
☐ designer	
☐ drawing No.	
☐ article name	
☐ article No.	
☐ date	2021/01/25 ~ 2021/01/25
☐ note	

Search Cancel Clear

図 12.26 データ検索(1)

search for design data(Load)

design management	gear specifications
☒ gear kind	External gearing
☐ module	External gearing
☐ No. of teeth(pinion)	Internal gearing
☐ No. of teeth(gear)	
☐ pressure angle	
☐ helix angle	

Search Cancel Clear

図 12.27 データ検索

Load the design data

No.	management No.	title	Gear kind	modul
1	Catalog-1-check-1		External	3.
2	Catalog-External	カタログ (外歯)	External	3.
3	check-0		External	3.
4	check-1		External	3.

Load Cancel

図 12.28 設計データの選択

Print

Form	Print title
☐ Tool settings	☐ management No.
☐ gear settings	☐ title
☐ Tooth contact figure	☐ designer
☐ Material settings	☐ drawing No.
☐ Factors settings	☐ article name
☐ Rating Factor	☐ article No.
☐ Gear Geometry	☐ date
☐ Bending Factor	☐ note
☐ Pitch Factor	
☒ Items of AGMA925A-03	
☐ Calculation result	
☐ Risk of scuffing and wear	
☐ Scoring figure	

Print Cancel Clear Preview

図 12.29 印刷選択画面

(4) HELP 機能

操作で不明な場合、対象画面をアクティブにして[F1]キーを押すことで図 12.30 のような画面を表示します。

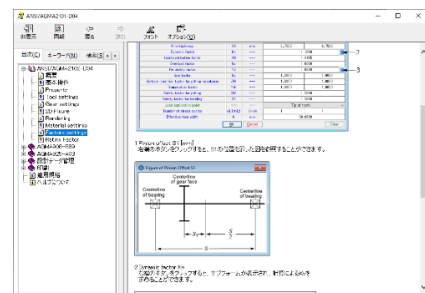


図 12.30 HELP 画面の例

- (5) ソフトウェアを改正した場合などは、新しいソフトウェアをクラウドに置きますので図 12.31 のように「Download」で更新することができます。

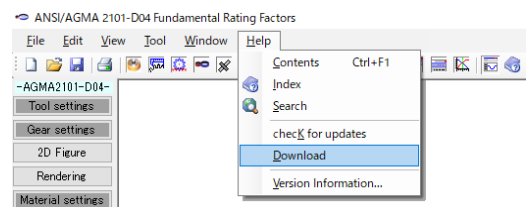


図 12.31 Download の例

- (6) 内歯車の計算例は省略します。

[12a] ANSI/AGMA2001-C95 (歯車強度計算)

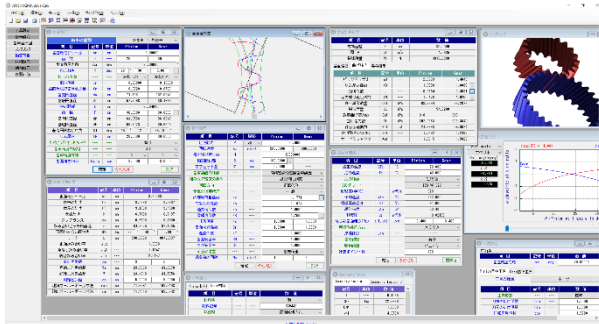


図 12a.1 AGMA2001-C95

12a.1 概要

AGMA2001-C95 の規格に基づいて歯車の強度計算をします。なお、歯形の幾何係数 (I, J) は、AGMA908-B89 に基づいています。また、AGMA2001-C95 の改訂版規格の AGMA2101-D14 は、[12] に示します。

(1) 適用規格

「ANSI/AGMA2001-C95」: Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth
「Annex A」: Method for Evaluating the Risk of Scuffing and Wear
「ANSI/AGMA 908-B89」: Geometry Factor for Determining the Pitting Resistance and Bending Strength of Spur, Helical and Herringbone Gear Teeth

- (2) 歯車の種類: インボリュート平, はすば歯車 (外歯車, 内歯車)
- (3) 工具: ホブおよびピニオンカッタ (プロチュバランス含む)
- (4) 歯車の強さ: 曲げ強さ, 歯面強さ, 寿命および幾何係数
- (5) スカフティング: すべり率, ヘルツ応力, 油膜厚さ, フラッシュ温度のグラフと摩耗およびスカフティング発生確率
- (6) 軸受け荷重

12a.2 プロパティ

図 12a.2 のプロパティで歯先円直径決定方式, 入力単位, そして, やまば歯車の選択設定をします。

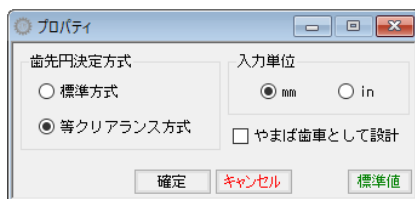


図 12a.2 プロパティ

12a.3 工具設定

加工工具 (ホブまたはピニオンカッタ) を選択し, 工具寸法を設定します (図 12a.3 および図 12.4)。工具は, 標準タイプとプロチュバランスを選択することができます。



図 12a.3 ホブ設定画面



図 12a.4 ピニオンカッタ

12a.4 歯車諸元入力

歯車諸元入力画面を図 12a.5 に示します。歯車精度は, AGMA および JIS を選択することができます。



図 12a.5 歯車諸元入力画面

12a.5 歯形

かみ合い図, 歯形創成図および歯形レンダリングを図 12a.6~12a.8 に示します。

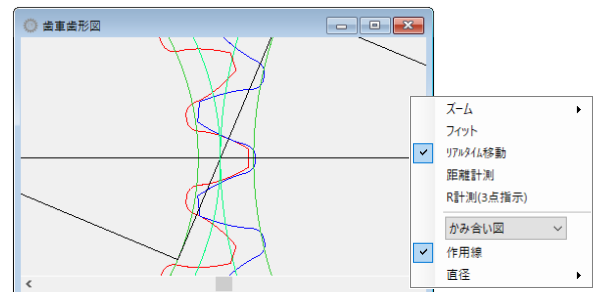
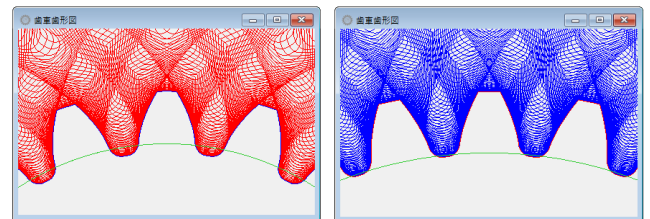


図 12a.6 かみ合い図と補助フォーム



(a) ピニオン (b) ギヤ

図 12a.7 歯形創成

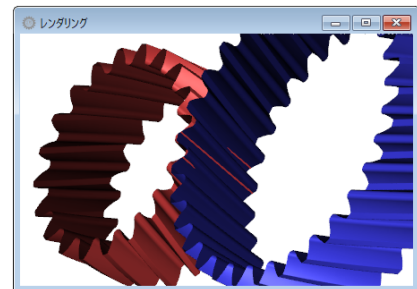


図 12a.8 歯形レンダリング

12a.6 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 12a.9 に計算結果を示します。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
トルク	T	N・m	16,2000	24,3000
軸受間距離	a1, b1	mm	100,0000	100,0000
軸受間距離	a2, b2	mm	100,0000	100,0000
項目(単位: N)	記号		Pinion	Gear
接線力	Fu		500,3679	
法線力	Fn		588,4810	
半径方向力(Total)	Fr		194,4320	
軸方向力(Total)	Fa		187,0799	
か/り荷重(分力)	Fu1, Fu81		250,1839	250,1839
か/り荷重(分力)	Fr11, Fr81		97,2160	97,2160
か/り荷重(分力)	Fr12, Fr82		30,2847	45,4270
か/り荷重(合成)	Fb1, Fb8		268,8822	287,9913
か/り荷重(分力)	Fu21, Fu41		250,1839	250,1839
か/り荷重(分力)	Fr21, Fr41		97,2160	97,2160
か/り荷重(分力)	Fr22, Fr42		30,2847	45,4270
か/り荷重(合成)	Fb2, Fb4		280,7996	255,4880

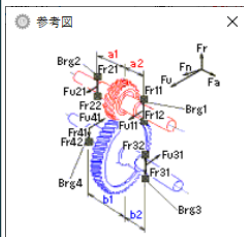


図 12a.9 軸受け荷重

Material designation	Heat treatment	Minimum surface hardness ¹⁾	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Steel ²⁾	Through hardened ³⁾	see figure 8	see figure 8	see figure 8	---
	Flame ⁴⁾ or induction hardened ⁵⁾	50 HRC	170 000	160 000	---
	54 HRC	175 000	165 000	---	
	Carburized and hardened ⁶⁾	see table 9	180 000	225 000	275 000
	Nitrocar ⁷⁾ (through hardened steel)	83.5 HR15N	190 000	163 000	175 000
	84.5 HR15N	155 000	168 000	190 000	
2.5% Chrome (no aluminum)	Nitrocar ⁸⁾	87.5 HR15N	158 000	172 000	186 000
Nitralloy 135M	Nitrocar ⁹⁾	90.0 HR15N	170 000	183 000	195 000
Nitralloy N	Nitrocar ¹⁰⁾	90.0 HR15N	172 000	188 000	205 000
2.5% Chrome (no aluminum)	Nitrocar ¹¹⁾	90.0 HR15N	176 000	196 000	216 000

図 12a.13 材料許容応力数

12a.7 動力および係数入力

- 図 12a.10 に動力および係数入力画面を示します。動荷重係数、荷重分配係数などは[TAB]で理論値が入力されます。
- 平歯車の場合には歯先荷重または外の最悪荷重点を選択することができます。
- 入力する数値に関するグラフおよび表などは図 12a.11 のように参照する事ができます。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
伝達動力	P	kW	20,0000	
回転速度	ω	min ⁻¹	1200,0000	800,0000
寿命繰り返し数	N	---	10000000	
軸受間距離	S	mm	100,0000	---
オフセット量	SI	mm	0,0000	---
歯車装置の種類	---	---	高精度の密封歯車装置	---
組み立て精度の条件	---	---	組立時に調整	---
回転方向	---	---	正転のみ	---
歯車の使用状況	---	---	一般	---
内部動荷重係数	Kv	---	1,1771	---
荷重分布係数	Km	---	1,1824	---
過負荷係数	Ko	---	1,0000	---
信頼度係数	KR	---	1,2500	---
寸法係数	Ks	---	1,0000	1,0000
表面状態係数	Cf	---	1,0000	1,0000
温度係数	KT	---	1,0000	---
歯面安全率	SH	---	1,0000	---
曲げ安全率	SF	---	1,0000	---
荷重の位置	---	---	歯先荷重	---
過負荷の回数	Ns	min ⁻¹	1	1

図 12a.10 動力及び係数設定

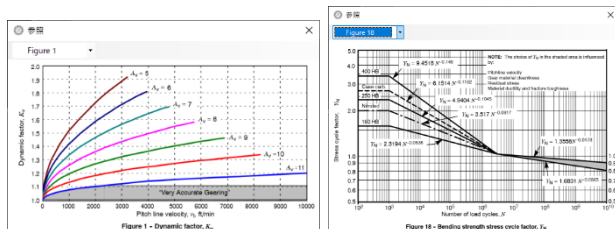


図 12a.11 グラフの表示例

12a.8 材料入力

- 図 12a.12 に材料の設定画面を示します。
- [参照]をクリックすると材料に適した許容応力数の表を 図 12a.13 のように表示します。

項目	記号	単位	数 値
材料名	---	---	鋼
材料記号	---	---	SCM440
熱処理	---	---	高周波焼入れ
グレード・クラス	---	---	グレード 1
硬 度	---	HRC	60
許容接触応力数	Sac	MPa	1210
許容曲げ応力数	Sat	MPa	310

図 12a.12 材料の設定 (ピニオンの例)

12a.9 強度結果

強度計算結果を図 12a.14～12a.16 に示します。幾何係数の詳細数値を図 12a.17 に示します。

強度計算結果

項目	記号	単位	数 値	
有効歯幅	F	mm	30.0000	
周 速	vt	m/s	4.0685	
接線荷重	Wt	N	4915.8036	

歯面強さ

曲げ強さ

寿命結果

項目	記号	単位	Pinion	Gear
弾性係数	Cp	√MPa	190.1935	
幾何係数	I	---	0.1098	
硬度比係数	CH	---	1.0000	
歯数比係数	CG	---	0.6000	
歯すじ修整係数	Cmc	---	0.8000	
ピニオン形状係数	Cpf	---	0.0273	
ピニオン位置係数	Cpm	---	1.0000	
かみ合い精度係数	Cma	---	0.2666	
かみ合い修整係数	Ce	---	0.8000	
応力繰り返し係数	ZN	---	1.0000	1.0223
許容接触応力数	Sac	MPa	1210	1210
接触応力数	Sc	MPa	1081.8919	
許容接触荷重係数	Kac	MPa	3.3764	3.5331
接触荷重係数	K	MPa	4.2176	
許容伝達動力	Pac	kW	16.0108	
歯面強さ (Pac/P)	SFc	---	0.8005	
サービスファクタ	Csf	---	1.2508	
			1.3089	

図 12a.14 歯面強さ結果

強度計算結果

項目	記号	単位	数 値	
有効歯幅	F	mm	30.0000	
周 速	vt	m/s	4.0685	
接線荷重	Wt	N	4915.8036	

歯面強さ

曲げ強さ

寿命結果

項目	記号	単位	Pinion	Gear
バックアップ比	mB	---	2.9763	4.4645
リム厚さ係数	KB	---	1.0000	1.0000
幾何係数	J	---	0.9554	0.9531
応力繰り返し係数	YN	---	1.0176	1.0250
許容単位荷重	Uat	MPa	68.2294	68.2679
単位荷重	UL	MPa		54.6200
許容曲げ応力数	Sat	MPa	310	310
曲げ応力数	St	MPa	202.0353	203.3840
許容伝達動力	Pat	kW	24.9833	24.9374
曲げ強さ (Pat/P)	Sft	---	1.2492	1.2499
サービスファクタ	Ksf	---	1.5615	1.5623

図 12a.15 曲げ強さ結果

強度計算結果

項 目	記号	単位	数 値	
有効歯幅	F	mm	30.0000	
周 速	vt	m/s	4.0685	
接線荷重	Wt	N	4915.8036	

歯面強さ

曲げ強さ

寿命結果

歯面強さの寿命	記号	単位	Pinion	Gear
予想応力繰り返し係数	ZN'	---	1.1177	1.1177
予想寿命負荷回数	Nc	cycs	1.372E+06	1.372E+06
予想寿命時間	Lc	hrs	1.305E+01	2.857E+01
曲げ強さの寿命	記号	単位	Pinion	Gear
予想応力繰り返し係数	YN'	---	0.8147	0.8201
予想寿命負荷回数	Nt	cycs	2.880E+12	1.844E+12
予想寿命時間	Lt	hrs	3.722E+07	3.842E+07

図 12a.16 寿命結果

(a) 幾何係数 I

記号	単位	数 値
I	---	0.1098
Φr	deg	22.7668
$C\psi$	---	1.0000
ρ_1	---	4.3764
ρ_2	---	6.0644
d	mm	32.0283
mN	---	1.0000
Cr	mm	26.9802
mG	---	1.5000
Ra1	mm	10.8711

(b) 幾何係数 J

記号	単位	Pinion	Gear
J	---	0.9554	0.9591
Y	---	0.5305	0.5370
Kf	---	1.4927	1.5210
ΦnH	deg	31.1309	27.5392
ΔSn	mm	0.0255	0.0255
X_s	mm	0.1649	0.0649
Sn	mm	1.8808	1.8181
ΦnL	deg	29.7708	26.4750
rnL	mm	13.1733	19.1615
Φns	deg	20.0226	20.0226

図 12a.17 幾何係数

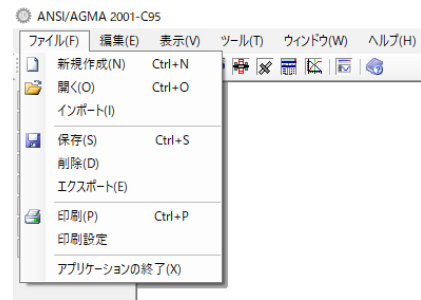


図 12a.23 ファイル

12a.10 スカフフィング評価

- (1) 油 (ISO 粘度グレード) は VG46~VG1500 を選択することができます。また、範囲外の場合は動粘度、平均温度などを入力 することができます (図 12a.18)。
- (2) 歯面粗さは Ra(μm)で入力してください。
- (3) 摩擦係数の方式は、AGMA 方式、一定値、ISO 方式を選択 することができます。
- (4) すべり率、ヘルツ応力、フラッシュ温度、油膜厚さのグラフ を表示します (図 12a.19~図 12a.22)。
- (5) 摩耗とスカフフィングの発生確率を表示します。

項 目	記号	単位	Pinion	Gear
歯車の温度	G _{Tc}	°C	70.000	
油の温度	T _c	°C	40.000	
油の種類	---	---	鉱物油	
ISOグレード	---	---	ISO VG 320	
動粘度(40°C)	---	mm ² /s	320	
平均温度	M _{Tc}	°C	252.000	
標準偏差温度	SD	°C	41.000	
絶対粘度	μ_o	cP	53.48	
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	---	---	AGMA	
摩擦係数	μ	---	---	
歯形修整	---	---	有り	
駆動歯車	---	---	ピニオン	
計算ポイント数	---	---	100	

図 12a.18 スカフフィング評価の設定

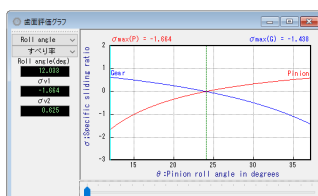


図 12a.19 すべり率

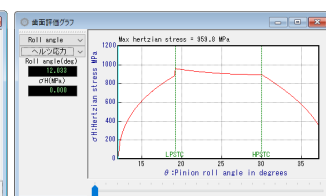


図 12a.20 フラッシュ温度

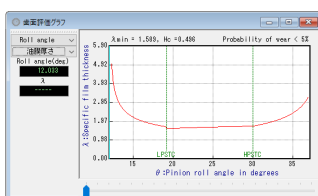


図 12a.21 ヘルツ応力

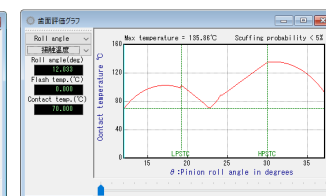


図 12a.22 油膜厚さ

12.11 その他機能

- (1) ファイルデータ管理を図 12a.23 に示します。
- (2) 寸法、強度、寿命、スカフフィング、グラフの印刷ができます。
- (3) 係数などの図、表、グラフを表示します。
- (4) 計算結果をクリップボードに出力することができます。

- (5) 印刷設定画面を図 12a.24 に示します。

旧ソフトウェアでは英語印刷をオプションとしていましたが、新ソフトウェアではこの機能はありません。必要な場合は、AGMA2001-C95の英語版をお使いください (カタログ省略)。

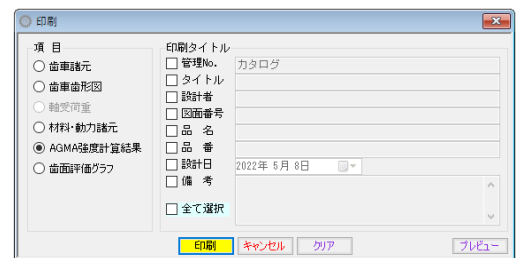


図 12a.24 印刷

- (6) HELP 機能

操作で不明な場合、対象画面をアクティブにして[F1]キーを押すことで図 12a.25 のような画面を表示します。

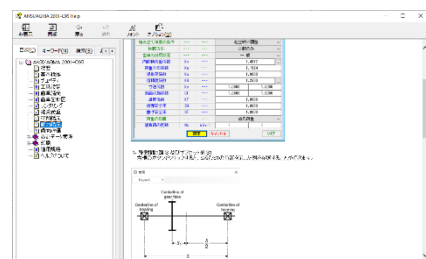


図 12a.25 HELP 画面の例

- (7) ソフトウェアを改正した場合などは、新しいソフトウェアをクラウドに置きますので図 12a.26 のように「最新版をダウンロード(D)」で更新することができます。

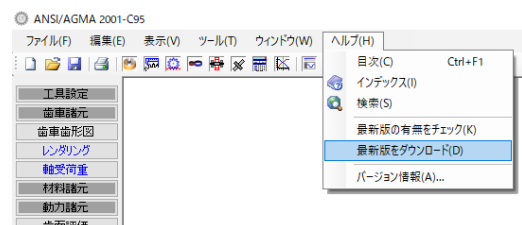


図 12a.26 Download の例

- (8) 内歯車の計算例は省略します。