

[40] 多段減速歯車設計システム

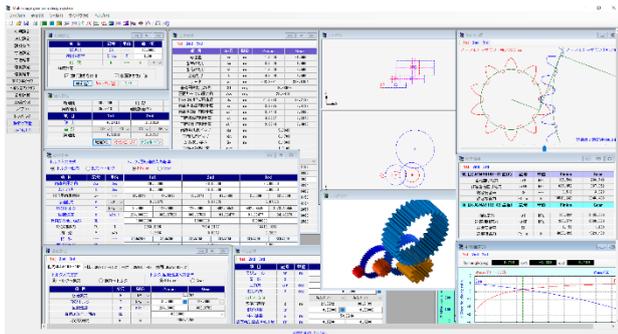


図 40.1 多段減速歯車設計システム

40.1 概要

減速機を設計する際、総減速比に対する減速段数とその歯数比を決め、寸法、強度、軸受荷重計算をするには計算が非常に面倒です。例えば、全ての歯車の計算を終えた後で、初期段の歯車の変更が生じた場合、後列の歯車を再度計算し直す必要が生じます。

本ソフトウェアは、鋼歯車用として総減速比、段数そしてトルク等を設定することにより歯車寸法、歯車強度計算を一括で行うことができます。そして、歯車列の配置図を表示し、更に、歯車配置を自由に変更することができます。「金属×樹脂歯車」版は、別ソフトウェアをお使いください。

40.2 歯数 & 強度計算条件

図 40.2 に歯数と強度計算条件の画面を示します。総減速比の入力範囲は、 $1 < \Sigma U < 10,000$ で、段数は 1~10 で設定することができます。また、強度計算を規準に歯車寸法を決定しますが、その際、曲げ強度と歯面強度の両方で歯車の大きさを決めることや曲げ強度あるいは歯面強度だけで歯車の大きさを決めることができます。本カタログでは総減速比 $\Sigma U = 36.0$ 、歯車段数 3 の例を示します。



図 40.2 歯数と強度計算条件の設定

40.3 速比設定

速比設定は、総減速比と段数により自動計算 (AMTEC 独自のアルゴリズム) します。例題では、総減速比 36.0 に対し、計算による総減速比は 35.78 でありその誤差は 0.61 % です。小歯車の歯数を 10 と表示していますが、これはプロパティの最小歯数を 10 としたためであり変更設定可能です。なお、自動計算により決まった歯数は任意に変更が可能です。



図 40.3 歯数設定

40.4 設計条件

図 40.4 に設計条件設定画面を示します。ここでは圧力角、ねじれ角はプロパティ (図 40.24) で設定した値を表示しますが、任意に変更可能です。材料の設定は、図 40.5 に示すように「熱処理」に適応した材料の選択フォームを表示し設定することができます。また、各段歯車の材料を設定した後は、図 40.6 のように材料一覧で確認することができます。



図 40.4 設計条件の設定



図 40.5 材料設定の例



図 40.6 材料一覧

40.5 寸法設定

寸法設定 を押すと図 40.7~40.9 を表示します。ここで表示する歯車諸元は、上記で設定した減速比やトルクなどを規準にして強度計算を行い、安全率 (本例の場合、曲げと歯面強さ) が満足する歯車諸元を自動計算し表示しています。

図 40.7~40.9 では、モジュール、歯数、圧力角、ねじれ角、歯幅などを変更することができます。なお、ここで表示している歯



図 40.7 歯車寸法の設定 (1 段)

幅は強度計算を基準に自動決定した値のため整数ではありませんので数値を丸めた歯幅に変更可能です。設定した歯車寸法画面の[確定]を押すと図 40.10~40.12 のように詳細数値を表示します。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
モジュール	m	mm	2.75000	
歯数	z	---	11	38
圧力角	α_n	deg	20.00000	
ねじれ角	β	deg	18.00000	
ねじれ方向	---	---	右ねじれ	左ねじれ
基準円直径	d	mm	31.8067	104.0948
転位係数	xn	---	0.50000	-0.50000
中心距離	a	mm	67.9507	
歯直線歯厚減少量	fn	mm	0.1650	0.1650
基準円直径	db	mm	29.7057	97.2196
歯先円直径	da	mm	40.0567	106.8448
歯根円直径	df	mm	27.6817	94.4838
歯幅	b	mm	31.8067	31.8067
基準ラック歯元R	rf	mm	1.0313	1.0313
歯先R	ra	mm	0.0000	0.0000
クリアランス	c	mm	0.6874	0.6874
バックラッシュ	jn	mm	0.3280	
全かみ合い率	$\varepsilon \gamma$	---	2.4707	
ずべり率(歯先)	σ_a	---	0.7592	0.6980
ずべり率(歯元)	σ_b	---	-2.1844	-3.0524
トルク	T	N·m	123.00000	402.54545
回転速度	n	min ⁻¹	300.97661	91.96477
曲げ強さ	Sft	---	2.822	2.591
歯面強さ	Sfc	---	1.049	1.049
材料名	---	---	SCM415H	SCM415H

図 40.8 歯車寸法の設定 (2段)

項目	記号	単位	Pinion	Gear
モジュール	m	mm	5.00000	
歯数	z	---	12	32
圧力角	α_n	deg	20.00000	
ねじれ角	β	deg	0.00000	
ねじれ方向	---	---	*****	*****
基準円直径	d	mm	60.0000	160.0000
転位係数	xn	---	0.40000	-0.40000
中心距離	a	mm	110.0000	
歯直線歯厚減少量	fn	mm	0.3000	0.3000
基準円直径	db	mm	56.3916	150.3508
歯先円直径	da	mm	74.0000	168.0000
歯根円直径	df	mm	51.5000	143.5000
歯幅	b	mm	62.4000	62.4000
基準ラック歯元R	rf	mm	1.8750	1.8750
歯先R	ra	mm	0.0000	0.0000
クリアランス	c	mm	1.2500	1.2500
バックラッシュ	jn	mm	0.6000	
全かみ合い率	$\varepsilon \gamma$	---	1.4581	
ずべり率(歯先)	σ_a	---	0.7863	0.8149
ずべり率(歯元)	σ_b	---	-4.4027	-3.6789
トルク	T	N·m	402.54545	1073.45463
回転速度	n	min ⁻¹	91.96477	34.48679
曲げ強さ	Sft	---	3.576	3.306
歯面強さ	Sfc	---	1.232	1.277
材料名	---	---	SCM420H	SCM420H

図 40.9 歯車寸法の設定 (3段)

項目	記号	単位	Pinion	Gear
転位量	xn	mm	1.0000	-1.0000
歯末のたけ	ha	mm	3.0000	1.0000
歯元のたけ	hf	mm	1.5000	3.5000
全歯のたけ	h	mm	4.5000	4.5000
リード	pz	mm	203.3281	833.6454
基礎円間ねじれ角	βb	deg	16.88077	
正面向みあい圧力角	α_w	deg	20.94190	
かみあいピッチ円直径	dw	mm	21.0293	86.2199
歯直線歯厚	sn	mm	3.8695	2.4137
歯直線設計歯厚	sn'	mm	3.7418	2.2860
正面基準円歯厚	st	mm	4.0697	2.5379
正面設計円歯厚	st'	mm	3.9344	2.4036
歯直線歯厚ピッチ	pbn	mm	5.9043	
正面歯厚ピッチ	pbt	mm	6.1701	
かみあい長さ	Ga	mm	8.1361	
正面向みあい率	$\varepsilon \alpha$	---	1.3198	
重なりかみあい率	$\varepsilon \beta$	---	1.0342	
またぎ歯数	zm	---	2	5
基準またぎ歯厚	W	mm	9.8698	27.2102
設計またぎ歯厚	W'	mm	9.7496	27.0902
測定ピッチ	dp	mm	4.500	3.302
基準オーバーピン寸法	dm	mm	80.2215	86.4394
設計オーバーピン寸法	dm'	mm	80.0252	86.0482
キャリア歯のたけ	Hj	mm	3.1606	1.0159
基準キャリア歯厚	Sj	mm	3.9517	2.4134
設計キャリア歯厚	Sj'	mm	3.7284	2.2857
基準ラック歯元のたけ	hao'	---	1.0000	1.0000
基準ラック歯元のたけ	hfo'	---	1.2500	1.2500
バックラッシュ	jt	mm	0.2688	

図 40.10 歯車寸法 (1段)

項目	記号	単位	Pinion	Gear
転位量	xn	mm	1.3750	-1.3750
歯末のたけ	ha	mm	4.1250	1.3750
歯元のたけ	hf	mm	2.0625	4.8125
全歯のたけ	h	mm	6.1875	6.1875
リード	pz	mm	307.5338	1006.4743
基礎円間ねじれ角	βb	deg		16.88077
正面向みあい圧力角	α_w	deg		20.94190
かみあいピッチ円直径	dw	mm	31.8067	104.0947
歯直線歯厚	sn	mm	5.3208	3.3188
歯直線設計歯厚	sn'	mm	5.1450	3.1492
正面基準円歯厚	st	mm	5.5944	3.4896
正面設計円歯厚	st'	mm	5.4093	3.3049
歯直線歯厚ピッチ	pbn	mm		8.1184
正面歯厚ピッチ	pbt	mm		8.4839
かみあい長さ	Ga	mm		11.3097
正面向みあい率	$\varepsilon \alpha$	---		1.3931
重なりかみあい率	$\varepsilon \beta$	---		1.1377
またぎ歯数	zm	---	3	4
基準またぎ歯厚	W	mm	21.7253	29.0734
設計またぎ歯厚	W'	mm	21.5803	28.9084
測定ピッチ	dp	mm	6.119	4.592
基準オーバーピン寸法	dm	mm	49.8551	107.1880
設計オーバーピン寸法	dm'	mm	49.3789	106.6379
キャリア歯のたけ	Hj	mm	4.3253	1.3989
基準キャリア歯厚	Sj	mm	5.3003	3.3183
設計キャリア歯厚	Sj'	mm	5.1274	3.1428
基準ラック歯元のたけ	hao'	---	1.0000	1.0000
基準ラック歯元のたけ	hfo'	---	1.2500	1.2500
バックラッシュ	jt	mm		0.3692

図 40.11 歯車寸法 (2段)

項目	記号	単位	Pinion	Gear
転位量	xn	mm	2.0000	-2.0000
歯末のたけ	ha	mm	7.0000	3.0000
歯元のたけ	hf	mm	4.2500	8.2500
全歯のたけ	h	mm	11.2500	11.2500
リード	pz	mm	∞	∞
基礎円間ねじれ角	βb	deg		0.00000
正面向みあい圧力角	α_w	deg		20.00000
かみあいピッチ円直径	dw	mm	60.0000	160.0000
歯直線歯厚	sn	mm	9.3039	6.3981
歯直線設計歯厚	sn'	mm	8.9906	6.0788
正面基準円歯厚	st	mm	9.3039	6.3981
正面設計円歯厚	st'	mm	8.9906	6.0788
歯直線歯厚ピッチ	pbn	mm		14.7607
正面歯厚ピッチ	pbt	mm		14.7607
かみあい長さ	Ga	mm		21.5223
正面向みあい率	$\varepsilon \alpha$	---		1.4581
重なりかみあい率	$\varepsilon \beta$	---		0.0000
またぎ歯数	zm	---	2	3
基準またぎ歯厚	W	mm	24.3494	37.7744
設計またぎ歯厚	W'	mm	24.0494	37.4744
測定ピッチ	dp	mm	10.726	8.220
基準オーバーピン寸法	dm	mm	80.4448	186.8117
設計オーバーピン寸法	dm'	mm	79.9311	185.8236
キャリア歯のたけ	Hj	mm	7.9804	3.0640
基準キャリア歯厚	Sj	mm	9.2726	6.3964
設計キャリア歯厚	Sj'	mm	8.9571	6.0774
基準ラック歯元のたけ	hao'	---	1.0000	1.0000
基準ラック歯元のたけ	hfo'	---	1.2500	1.2500
バックラッシュ	jt	mm		0.6385

図 40.12 歯車寸法 (3段)

40.6 強度計算

強度設定

を押すと図 40.13 の強度設定画面を表示します。

図 40.14 では材料を、図 40.15 では曲げの係数を、図 40.16 では歯面の詳細数値を表示して数値変更も可能です。なお、歯車強度計算は、JGMA6101-02, 6102-02 に基づいています。また、強度計算結果は、図 40.17~40.19 のように曲げ強さ (SF)、歯面強さ (SH) 共に 1.0 を満足しています。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
伝達動力	P	kW		3.8764
呼びトルク	T	N·m	30.0000	123.0000
回転速度	n	min ⁻¹	1234.0000	300.9756
負荷かみ合い係数	NL	---	10000000	
呼び歯線力	Ft	N		2853.1756
周速	v	m/s		1.9586
相当歯面歯数	zv	---	11.8247	47.6812
歯車精度 JIS B 1702-1	---	---	N7	N7
正面向みあい率	$\varepsilon \alpha$	---		1.3188
重なりかみあい率	$\varepsilon \beta$	---		1.0342

図 40.13 強度設定

項目	Pinion	Gear		
分類	炭素焼入れ歯車	炭素焼入れ歯車		
種類	機械構造用合金鋼	機械構造用合金鋼		
材料記号	SCM420H	SCM420H		
項目	記号	単位	Pinion	Gear
疲れ強度応力(曲げ)	σ_{Flim}	MPa	481.0	481.0
疲れ強度応力(歯面)	σ_{Hlim}	MPa	1130.0	1130.0
内部硬度	---	HV	327.0	327.0
表面硬度	---	HV	580.0	580.0
縦弾性係数	E	MPa	206000.0	206000.0
ポアソン比	ν	---	0.30	0.30

図 40.14 強度設定 (材料)

項目(JGMA6101-02 曲げ)	記号	単位	Pinion	Gear
歯元曲げ応力	σ_F	MPa	242.391	264.030
許容歯元曲げ応力	σ_{FP}	MPa	684.132	684.132
総合安全率	SF	---	2.822	2.591
許容接線力	F_{tlim}	N	22076.526	20267.170
項目(JGMA6102-02 歯面)	記号	単位	Pinion	Gear
面圧応力	σ_H	MPa	1302.945	1302.945
許容接触応力	σ_{HP}	MPa	1366.918	1366.918
総合安全率	SH	---	1.049	1.049
許容接線力	F_{clim}	N	8608.748	8608.748

図 40.18 強度結果 (2段)

項目	記号	単位	Pinion	Gear
計算歯幅	b	mm	21.029	21.029
歯形係数	YF	---	2.484	2.964
応力修正係数	YSa	---	1.688	1.496
複合歯形係数	YFa	---	4.194	4.433
かみ合い率係数	$Y\epsilon$	---	0.771	
ねじれ角係数	$Y\beta$	---	0.850	
寿命係数	YN	---	0.976	0.976
寸法係数	Yx	---	1.018	1.018
使用係数	KA	---	1.000	
動荷重係数	Kv	---	1.049	
動荷重係数	$K'v$	---	1.000	
歯すじ荷重分布係数	$KF\beta$	---	1.000	
運転条件係数	BT	---	1.000	1.000
材料安全率	SFM	---	1.000	1.000

図 40.15 強度設定 (曲げ)

項目(JGMA6101-02 曲げ)	記号	単位	Pinion	Gear
歯元曲げ応力	σ_F	MPa	188.759	204.202
許容歯元曲げ応力	σ_{FP}	MPa	675.019	675.019
総合安全率	SF	---	3.576	3.306
許容接線力	F_{tlim}	N	48436.023	44772.813
項目(JGMA6102-02 歯面)	記号	単位	Pinion	Gear
面圧応力	σ_H	MPa	1103.242	1064.860
許容接触応力	σ_{HP}	MPa	1359.453	1359.453
総合安全率	SH	---	1.232	1.277
許容接線力	F_{clim}	N	20565.821	22075.091

図 40.19 強度結果 (3段)

40.7 すべり率とヘルツ応力のグラフ

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。各歯車段のすべり率とヘルツ応力の変化グラフを図 40.20 および図 40.21 に示します。

項目	記号	単位	Pinion	Gear
有効歯幅	bH	mm	21.029	
傾斜係数	ZH	---	2.394	
最悪荷重点係数	Zc	---	1.000	1.000
材料定数係数	ZE	\sqrt{MPa}	189.812	
かみ合い率係数	$Z\epsilon$	---	0.829	
ねじれ角係数	$Z\beta$	---	1.000	
滑り油係数	ZL	---	1.000	
滑り速度係数	Zv	---	0.949	
歯面粗さ係数	ZR	---	1.000	
寸法係数	Zx	---	1.000	1.000
硬さ比係数	Zw	---	1.000	1.000
寿命係数	ZN	---	1.293	1.293
使用係数	KA	---	1.000	
動荷重係数	Kv	---	1.049	
動荷重係数	$K'v$	---	1.000	
歯すじ荷重分布係数	$KH\beta$	---	1.200	
歯すじ荷重分布係数	$K'H\beta$	---	1.200	
正面荷重分布係数	$KH\alpha$	---	1.000	
正面荷重分布係数	$K'H\alpha$	---	1.000	
材料安全率	SHmin	---	1.000	

図 40.16 強度設定 (歯面)



図 40.20 すべり率 (1段)

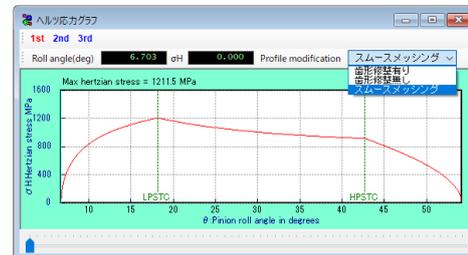


図 40.21 ヘルツ応力 (1段), スムースメッシング

強度結果 を押すと図 40.17~40.19 を表示します。

項目(JGMA6101-02 曲げ)	記号	単位	Pinion	Gear
歯元曲げ応力	σ_F	MPa	195.534	206.740
許容歯元曲げ応力	σ_{FP}	MPa	687.052	687.052
総合安全率	SF	---	3.513	3.323
許容接線力	F_{tlim}	N	10513.242	9946.433
項目(JGMA6102-02 歯面)	記号	単位	Pinion	Gear
面圧応力	σ_H	MPa	1195.894	1195.894
許容接触応力	σ_{HP}	MPa	1386.574	1386.574
総合安全率	SH	---	1.159	1.159
許容接線力	F_{clim}	N	4023.499	4023.499

図 40.17 強度結果 (1段)

40.8 歯形図, レイアウト, レンダリング

図 40.22 に歯形かみ合い図を示します。この図では、歯車を回転させることができますので歯のかみ合い状態を確認することができます。

図 40.23~図 40.25 にレイアウトおよびレンダリングを示します。レイアウトでは図 40.25 のように 3 段目の大歯車を移動していますが、これに連動して図 40.26 のレンダリングも表示します。また、レンダリングでは歯車を回転させることもできます。この軸を移動する機能は小型の歯車装置 (小型モータ減速機等) に適しています。

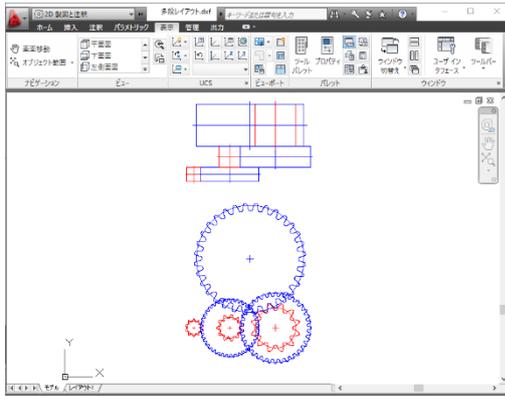


図 40.29 CAD 作図例 (レイアウト)

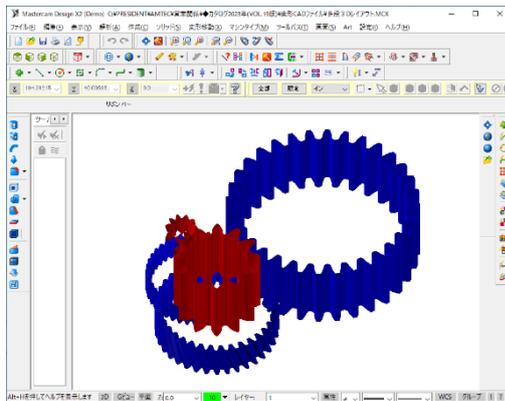


図 40.30 CAD 作図例 (歯車列)

40.11 プロパティ

(1) 基準ラックと設計条件

図 40.31 に基準ラックと標準値の設定画面を示します。歯幅決定係数などで減速機の大きさを決めることができます。



(2) ヘルプ

「ヘルプ」で操作説明を表示します。また、対象とする画面をアクティブにして[F1]を押すことで図 40.32 の画面を表示します。



図 40.32 ヘルプの例