[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 $1 \sim 10$ 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.

2 初期設定							
項目	記号	単位	數	値			
総速比	ΣU		36.	0000			
速比許容率	Σlim	X	1.	00			
段 数	N		3	3 🗸			
強度計算							
🗹 曲げ強さを評価 🛛 歯面強さを評価							
確定(0) キャン	ルセル(<u>©</u>)	クリア					

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。

🔏 速比設定							• 🗙	
総速比	36.0000		段数			3		
実総速比	35.7818 道		速比誤差(%)		-	0.61		
項目	1st		2nd			3rd		
速比	4.14	10	3.3019			2.6329		
歯 数	10 🗸	41 ~	11 ~	36	~	12 🗸	32 🗸	
実速比	4.10	000	3.2727			2.6667		
確定(O) キャンセル(C) デフォルト(D)								
				1				

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

2 1st 材料(JGMA6101-6102)				- • •	※当 2003年2月1日 第二日日日 第二日日日 第二日日 第二日 第二日<
項目	記号	単位	Pinion	Gear 🔳	3 5 C(1993 (75.5) (2992+2) 10 11 10
分類			浸炭焼入れ歯車 ~	浸炭焼入れ歯車 🗸	
種類			根核構造用合金鋼 🗸	様様構造用合金鋼 🗸 🗸	101 D1 28
材料記号			SCM420H ~	SCH420H ~	100 200 200 100 200 200
疲れ限度応力(曲げ)	oFlin	MPa	461.0	461.0	100 100 000 100 100 000
疲れ限度応力(歯面)	σHiin	MPa	1130.0	1130.0	100 100 000
内部硬度		HV	\$27	327	20 204.1C1 200 201 411
表面硬度		HV	580	580	* 2554581 200 CG 441 201 211 214 701
縦弾性係数	E		206000.0	206000.0	8 59428 10 55 at 5 57 61
ポアソン比	ν		0.30	0.30	BCN2H 20010H 200 201 201 201
		瓘	定()) キャンセル() タリア		10 171 00 10 101 00 10 101 00

図 40.5 材料設定の例

44— <u>R</u>					
項目	記号	単位	1st[Pinion]	1st[Gear]	2nd[Pin
分類			浸炭焼入れ歯車	浸炭焼入れ歯車	浸炭燒入精
種類			機械構造用合金鋼	機械構造用合金鋼	機械構造用
材料記号			SCM420H	SCM420H	SCM41
疲れ限度応力(曲げ)	or Flim	MPa	461.0	461.0	461.0
疲れ限度応力(歯面)	o' Hlim	MPa	1130.0	1130.0	1130.
内部硬度		HV	827	827	327
表面硬度		HV	580	580	580
縦弾性係数	E		206000.0	206000.0	20600
ポアソン比	ν		0.30	0.30	0.30

図 40.6 材料一覧

40.5 寸法設定

す法設定 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

項目	記号	単位	Pinion	Gear
モジュール	mn	nm	2.	00000
歯 数	z		10	41
圧力角	αn	deg	20.	00000
ねじれ角	β	des	18.	00000
ねじれ方向			右ねじれ ~	左ねじれ
基準円直径	d	nm	21.0292	86.2199
転位係数	xn		0.50000 📃	-0.50000
中心距離	a	BM	53.	6246
由直角法線歯厚減少量	fn	BM	0.1200	0.1200
基礎円直径	db	nn	19.6401	80.5245
歯先円直径	da	nm	27.0292	88.2199
歯底円直径	df	nm	18.0292	79.2199
齿幅	ь	nm	21.0292	21.0292
基準ラック歯元R	rf	nm	0.7500	0.7500
歯先R	ra	nm	0.0000	0.0000
クリアランス	с	nm	0.5001	0.5001
バックラッシ	jn	nm	0.	2386
全かみ合い率	εγ		2.	3529
すべり率(歯先)	σa		0.7404	0.7386
すべり率(歯元)	σb		-2.8251	-2.8524
トルク	Т	N•m	30.00000	123.00000
回転速度	n	nin-1	1234.00000	300.97561
曲げ強さ	Sft		3.514	3.324
歯面強さ	Sfc		1.159	1.159
材料名			SCM420H	SCM420H
	確定(0)	+01	2014(C) 201期(市(1)	

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.

况 寸法設定				- • •
1st 2nd 3rd				
項目	記号	単位	Pinion	Gear
モジュール	mn	mm	2.	75000
歯 数	z		11	36
圧力角	αn	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
歯直角法線歯厚減少量	fn	mm	0.1650	0.1650
基礎円直径	db	mm	29.7057	97.2186
歯先円直径	da	mm	40.0567	106.8448
歯底円直径	df	mm	27.6817	94.4698
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	С	mm	0.6874	0.6874
バックラッシ	jn	mm	0.	.3280
全かみ合い率	εγ		2.	.4707
すべり率(歯先)	σa		0.7532	0.6860
すべり率(歯元)	σb		-2.1844	-3.0524
トルク	T	N•m	123.00000	402.54545
回転速度	n	min-1	300.97561	91.96477
曲げ強さ	Sft		2.822	2.591
も飯面塗さ	Sfc		1.049	1.049
材料名			SCM415H	SCM415H
	確定(0)	キャン	セル(C) 初期値(D)	

図 40.8 歯車寸法の設定(2 段)

况 寸法設定						
1st 2nd 3rd						
項目	記号	単位	P	inion	Gear	
モジュール	nn	nm		5.	00000	
歯 数	z		13	2	32	
圧力角	αn	deg		20.	00000	
ねじれ角	β	des		0.	.00000	
ねじれ方向			***	*** ~	***** ~	
基準円直径	d	nm	60	0.0000	160.0000	
転位係数	xn		(0.40000 🗔	-0.40000	
中心距離	a	nm.		110.	0000	
歯直角法線歯厚減少量	fn	80	(0.3000	0.3000	
基礎円直径	db	nm	56	6.3816	150.3508	
歯先円直径	da	80	74	4.0000	166.0000	
歯底円直径	df	mm	5	1.5000	143.5000	
歯幅	b	mm	63	2.4000	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	с	mm		1.2500	1.2500	
バックラッシ	jn	mm		0.	.6000	
全かみ合い率	εγ			1.	4581	
すべり率(歯先)	σa		(D.7863	0.8149	
すべり率(歯元)	σb		- 4	4.4027	-3.6789	
トルク	T	N•m	403	2.54545	1073.45453	
回転速度	n	min-1	9	1.96477	34.48679	
曲げ強さ	Sft		1	3.576	3.306	
歯面強さ	Sfc			1.232	1.277	
材料名			SCM420H		SCM420H	
	確定(0)	キャン	2/I/(C)	約期(直(I)		

図 40.9 歯車寸法の設定 (3 段)

寸法結果				- • •	
1st 2nd 3rd					
項目	記号	単位	Pinion	Gear	
転位量	×m	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	
全歯たけ	h	mm	4.5000	4.5000	
リード	PZ	mm	203.3281	833.6454	
基礎円筒ねじれ角	βb	deg	16.88	077	
正面かみあい圧力角	au	des	20.94	190	
かみあしじ*っ7円直径	dw	mm	21.0293	86.2199	
歯直角基準円弧歯厚	sn	mm	3.8695	2.4137	
歯直角設計円弧歯厚	sn'	mm	3.7418	2.2860	
正面基準円弧歯厚	st	mm	4.0687	2.5379	
正面設計円弧歯厚	st'	mm	3.9344	2.4036	
歯直角法線ビッチ	pbn	mm	5.9043		
正面法線ピッチ	pbt	mm	6.1701		
かみあい長さ	Ga.	mm	8.1361		
正面かみあい牢	εα		1.3186		
重なりかみあい率	εβ		1.03	42	
またぎ歯数	20		2 ~	5 -	
基準またぎ歯厚	W	mm	9.8636	27.2102	
設計またぎ歯厚	ų'	mm	9.7436	27.0902	
測定ピン径	dp	mm	4.590	3.302	
基準オーバービン寸法	dn	mm	30.2215	88.4394	
設計オーバービン寸法	dm'	mm	30.0252	88.0482	
キャリバ歯たけ	Hj	mm	3.1606	1.0153	
基準キャリバ歯厚	Sj	mm	3.8517	2.4134	
設計キャリバ歯厚	Sj'	mm	3.7264	2.2857	
基準ラック歯末のたけ	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	jt	nm	0.26	86	

図 40.10 歯車寸法(1段)

🖁 寸法結果				- • •	
1st 2nd 3rd					
項目	記号	単位	Pinion	Gear	
転位量	×m	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	
全歯たけ	h	mm	6.1875	6.1875	
リード	PZ	mm	307.5338	1006.4743	
基礎円筒ねじれ角	βb	deg	16.88	077	
正面かみあい圧力角	aw	deg	20.94	190	
かみあいと°っ狎直径	dw	mm	31.8067	104.0947	
歯直角基準円弧歯厚	sn	mm	5.3206	3.3188	
歯直角設計円弧歯厚	sn'	mm	5.1450	3.1432	
正面基準円弧歯厚	st	mm	5.5944	3.4896	
正面設計円弧歯厚	st'	mm	5.4098	3.3049	
歯直角法線ビッチ	pbn	mm	8.1184		
正面法線ビッチ	pbt	mm	8.4839		
かみあい長さ	Ga	mm	11.3097		
正面かみあい率	εa		1.3331		
重なりかみあい率	εβ		1.18	177	
またぎ歯数	zm		3 ~	4 、	
基準またぎ歯厚	ų.	mm	21.7253	29.0734	
設計またぎ歯厚	W'	mm	21.5603	28.9084	
測定ピン径	dp	mm	6.119	4.532	
基準オーバービン寸法	dn	mm	43.6551	107.1880	
設計オーバービン寸法	dn'	mm	43.3789	106.6379	
キャリパ歯たけ	Hj	mm	4.3259	1.3989	
基準キャリパ歯厚	Sj	mm	5.3003	3.3183	
設計キャリパ歯厚	Sj'	mm	5.1274	3.1428	
基準ラック歯末のたけ	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	jt	DD .	0.36	92	

凶 40.11 困 卑 寸 伝 し 4	钗丿
---------------------	----

<mark>8</mark> 寸法結果				- • 💌	
1st 2nd 3rd					
項目	記号	単位	Pinion	Gear	
転位量	×m	mm	2.0000	-2.0000	
歯末のたけ	ha	mn	7.0000	3.0000	
歯元のたけ	hf	mn	4.2500	8.2500	
全歯たけ	h	mm	11.2500	11.2500	
リード	PZ	mm	00	00	
基礎円筒ねじれ角	βb	deg	0.0	0000	
正面かみあい圧力角	aw	des	20.0	0000	
かみあい ピッ押直径	dw	mm	60.0000	160.0000	
歯直角基準円弧歯厚	sn	mm	9.3099	6.3981	
歯直角設計円弧歯厚	sn'	mm	8.9906	6.0788	
正面基準円弧歯厚	st	mm	9.3099	6.3981	
正面設計円弧歯厚	st'	mm	8.9906	6.0788	
歯直角法線ビッチ	pbn	mm	14.7607		
正面法線ビッチ	pbt	mm	14.7607		
かみあい長さ	Ga	mm	21.5223		
正面かみあい率	εα		1.4581		
重なりかみあい率	εβ		0.0000		
またぎ歯数	ZM		2 ~	3 .	
基準またぎ歯厚	¥	mm	24.3494	37.7744	
設計またぎ歯厚	₩'	mm	24.0494	37.4744	
測定ピン径	dp	mn	10.726	8.220	
基準オーバービン寸法	dm	mn	80.4448	166.6117	
設計オーバービン寸法	dn'	mm	79.9311	165.6296	
キャリパ歯たけ	Hj	mm	7.3604	3.0640	
基準キャリバ歯厚	Sj	mm	9.2726	6.3964	
設計キャリパ歯厚	Sj'	mn	8.9571	6.0774	
基準ラック歯末のたけ	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	jt	mm	0.63	385	

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い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.



図 40.13 強度設定



図 40.14 強度設定(材料)

🥻 強度設定				- • ×
1st 2nd 3rd				
動力JGAM6101-6102 材料JGMA610	1-6102	曲げ JGMA61	101-02 歯面 JGMA6	02-02
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	YFs		4.194 🔝	4.433
かみ合い率係数	Yε		0.77	1
ねじれ角係数	Yβ		0.85	0
寿命係数	YN		0.976 🛄	0.976 🔝
寸法係数	Yx		1.018	1.018
使用係数	KA		1.00	0
動荷重係数	Κv		1.04	9
動荷重係数	Kv"		1.00	0
歯すじ荷重分布係数	KF 🖉		1.00	0
運転条件係数	BT		1.000 🛄	1.000
材料安全率	SFM		1.000	1.000
	確定(()) キャンセ	JI/(O)	

図 40.15 強度設定(曲げ)

2 强度設定				- • ×
1st 2nd 3rd				
動力JGAM6101-6102 材料JGMA6101-6102 g	曲If JGMA6	101-02	歯面 JGMA6102-02	
項目	記号		Pinion	Gear
有効歯幅	ЫН	mm	21.029	
領域係数	ZH		2.394	
最悪荷重点係数	Zc		1.000	1.000
材料定数係数	ZE	êPa	189.812	
かみ合い率係数	Zε		0.828	
ねじれ角係数	Zβ		1.000	
?閻?骨?由(系数)	ZL		1.000	
潤滑速度係数	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 🖉		1.200	
歯すじ荷重分布係数	K'Hβ		1.200	
正面荷重分布係数	KHa		1.000	
正面荷重分布係数	K'Ha		1.000	
材料安全率	SHmin		1.000	
58	定(0) 🕴	ャンセル(0))	

図 40.16 強度設定(歯面)



望 強度結果				- • ×
1st 2nd 3rd				
項目(JGMA6101-02曲げ)	記号	単位	Pinion	Gear
歯元曲げ応力	σF	MPa	195.594	206.740
許容歯元曲げ応力	σFP	MPa	687.052	687.052
総合安全率	SF		8.513	3.323
許容接線力	Ftlim	N	10513.242	9946.433
項目(JGMA6102-02 歯面)	記号	単位	Pinion	Gear
面圧応力	σH	MPa	1195.894	1195.894
許容接触応力	σHP	MPa	1386.574	1386.574
総合安全率	SH		1.159	1.159
許容接線力	Fclim	N	4023.499	4023.499

図 40.17 強度結果(1 段)

fet 2nd 3rd				
項目(JGMA6101-02曲げ)	記号	単位	Pinion	Gear
歯元曲げ応力	σF	MPa	242.391	264.030
許容歯元曲げ応力	σFP	MPa	684.132	684.132
総合安全率	SF		2.822	2.591
許容接線力	Ftlim	N	22076.526	20267.170
項目(JGMA6102-02 歯面)	記号	単位	Pinion	Gear
面圧応力	σH	MPa	1302.945	1302.945
許容接触応力	σHP	MPa	1366.918	1366.918
総合安全率	SH		1.049	1.049
昨 灾 连续 力	Eclim	N	8608.748	8608.748

図 40.18 強度結果 (2 段)

🤏 強度結果				
1st 2nd 3rd				
項目(JGMA6101-02曲げ)	記号	単位	Pinion	Gear
歯元曲げ応力	σF	MPa	188.759	204.202
許容歯元曲げ応力	σFP	MPa	675.019	675.019
総合安全率	SF		3.576	3.306
許容接線力	Ftlim	N	48436.023	44772.813
項目(JGMA6102-02 歯面)	記号	単位	Pinion	Gear
面圧応力	σH	MPa	1103.242	1064.860
許容接触応力	σHP	MPa	1359.453	1359.453
総合安全率	SH		1.232	1.277
許容接線力	Fclim	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.



図 40.21 ヘルツ応力 (1 段), スムースメッシング

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 40.24 歯形レンダリング 1



図 40.25 歯車のレイアウト2



図 40.26 歯形レンダリング 2

40.9 軸受荷重 (オプション)

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を20 種類計算します.図40.27に計算結果を示します.



図 40.27 軸受荷重(1段)

40.10 ファイル出力 (オプション)

生成した歯形とレイアウトは,図 40.28 で出力することができます.図 40.29 にレイアウトの CAD 作図例を,図 40.30 に歯車列の CAD 作図例を示します.

種類 ○ 歯形 ● 2Dレイアウト	OBUT	アウト				
歯形						
臣	2					
歯車の種類	Pinion					
中心座標X	53.624	🦧 ファイル出力				
中心座標Y	0.000	種類				
中心座標Z	26.418		20121 /		101 70	1
分割数		- 田川> - ED			2	
項目 記号 日	Pinion	+2		D:	nion	
フィレット vuf	30 :	由之内	에보치면 제품상	53	6246	
インボリュー vui	50 !			00	0.0000	
面取り部 vur	15	中心を通知		26	26,4180	
歯先円 vut	10	二、実践社	_ Dro=			
歯すじ hul	18	万割奴	고운	Pinion	Geor	
確定(0) キャンセノ	עול ו		10.49 10.49	20	20	
		インボリュー	vui	50	50	_
		南取り部	VUE	15	15	-
		歯先円	vut	10	10	-
		歯すじ	bul	18	18	

図 40.28 ファイル出力



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