

## [付録 : B]

### Gear Navigation System によるホーニングシミュレーション

#### B1. はじめに

ホーニング加工において被削歯車と異なる諸元のドレスギヤや、バイアス修整等の複雑な修整を施したドレスギヤを使用する場合がありますが、正確に歯形が加工されるか否かは実際に加工してから検査をして判断しているのが現状である。

今回、被削歯車と諸元の異なるドレスギヤを用いたときの歯形を Gear Navigation System でシミュレーションした結果を報告する。

#### B2. Gear navigation system の概要

Gear Navigation System は、ホブカッタ、ピニオンカッタ、シェービングカッタ、ホーニングの各工具による歯車加工形状解析と、そのかみ合いのシミュレーションをすることができる。また、データベースによる工具管理機能を有し、条件に見合う工具を共用計算することにより検索することができる。

歯車加工シミュレーションは、歯面、歯元、歯先、面取り形状と各数値の計算、特にホーニングでは、歯形修整、歯すじ修整、歯面修整後の形状を解析グラフ表示することができる。更に、かみ合いシミュレーションでは、加工後の歯形をかみ合わせて歯当たりを観察することができる。図 B.1 に Gear Navigation System の画面を示す。

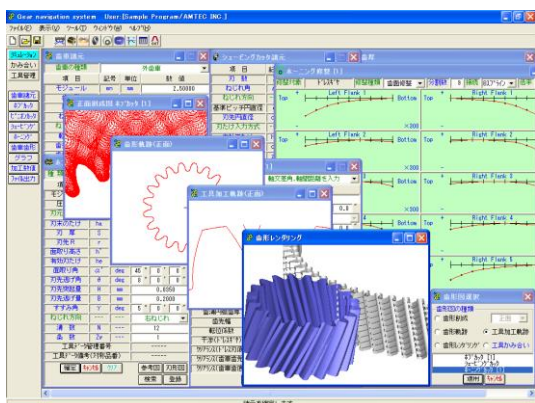


図 B.1 Gear Navigation System

#### B3. 加工手順

被削歯車は、モジュール 2.5、歯数 15、圧力角 20°、ねじれ角 30°のはずば歯車であり、歯車をホブ切削後にホーニング加工を行うものとした。ホーニング用砥石ドレス用のドレスギヤの歯数を、被削歯車と同じ 15 枚(ドレスギヤ S)の場合と、歯数を 29 枚(ドレスギヤ K)とした場合のシミュレーションを行う。

ドレスギヤには S、K ともに同じ歯面修整を与えホーニング砥石をドレスした後にホーニング加工した。

#### B4. 歯車とドレスギヤ諸元

被削歯車の歯車諸元を図 B.2 に、ホブ諸元を図 B.3 に示す。加工時の歯厚は、図 B.4 に示すようにホーニング仕上げ代は、またぎ歯厚で 0.1mm とし、ドレスギヤ S および K には図 B.7 の歯面

修整を与えている。

歯車諸元			
項目	記号	単位	数値
モジュール	m	mm	2.50000
歯数	Z	---	15
圧力角	$\alpha_n$	deg	20.00000 °
ねじれ角	$\beta$	deg	30 ° 0 ' 0.0 "
ねじれ方向	---	---	左ねじれ
転位係数	xn	---	0.60000
歯先円直径	da	mm	51.3013
歯底円直径	df	mm	40.0513
歯幅	b	mm	10.0000
基準ピッチ円直径	d	mm	43.3013
基礎円直径	db	mm	39.9191
基礎円歯ねじれ角	$\beta_b$	deg	28 ° 1 ' 27.6 "

図 B.2 被削歯車諸元

ホブカッタ諸元 [1]			
項目	記号	単位	数値
モジュール	m	mm	2.50000
圧力角	$\alpha_n$	deg	20.00000 °
対末のたけ	ha	mm	3.1250
対元のたけ	hf	mm	3.1250
刃厚	S	mm	3.9270
刃先 R	r	mm	0.9375
すずみ角	$\gamma$	deg	5 ° 0 ' 0 "
ねじれ方向	---	---	右ねじれ
溝数	N	---	12
条数	Zw	---	1
工具管理番号	---	---	---
工具別備考(対称品番)	---	---	---

図 B.3 ホブ諸元

歯車仕上歯厚				
項目	記号	単位	ホブカッタ [1]	ホーニングカッタ [1]
歯厚入力方式	---	---	またぎ歯厚	またぎ歯厚
またぎ歯数	Zm	---	4	4
またぎ歯厚	W	mm	27.60000	27.50000
測定ピン径	dp	mm	5.0000	5.0000
オーバーピン寸法	dm	mm	53.32810	53.12968
歯直円弧歯厚	Sn	mm	4.96885	4.86244
またぎ歯厚変化量	$\delta W$	mm	-----	-0.1000
オーバーピン変化量	$\delta dm$	mm	-----	-0.1984

図 B.4 加工歯厚

ドレスギヤ諸元 [1]			
計算方法   A:ドレスギヤ→砥石→歯車			
項目	記号	単位	数値
歯数	Z	---	15
ねじれ角	$\beta$	deg	30 ° 0 ' 0.0 "
ねじれ方向	---	---	左ねじれ
基準ピッチ円直径	d	mm	43.3013
基礎円直径	db	mm	39.9191
歯先円直径	da	mm	52.5513
歯底円直径	df	mm	35.8013
歯厚入力方式	---	---	またぎ歯厚
またぎ歯数	Zm	---	4
またぎ歯厚	W	mm	27.50000
測定ピン径	dp	mm	5.0000
オーバーピン寸法	dm	mm	53.12968
歯幅	b	mm	10.0000
ドレスリング外径	dD	mm	52.0000

図 B.5 ドレスギヤ(S)諸元

ドレスギヤ諸元 [1]			
計算方法   A:ドレスギヤ→砥石→歯車			
項目	記号	単位	数値
歯数	Z	---	29
ねじれ角	$\beta$	deg	30 ° 0 ' 0.0 "
ねじれ方向	---	---	左ねじれ
基準ピッチ円直径	d	mm	83.7158
基礎円直径	db	mm	77.1788
歯先円直径	da	mm	92.3658
歯底円直径	df	mm	78.2158
歯厚入力方式	---	---	またぎ歯厚
またぎ歯数	Zm	---	5
またぎ歯厚	W	mm	35.61749
測定ピン径	dp	mm	4.5200
オーバーピン寸法	dm	mm	92.52484
歯幅	b	mm	10.0000
ドレスリング外径	dD	mm	92.0000

図 B.6 ドレスギヤ(K)諸元

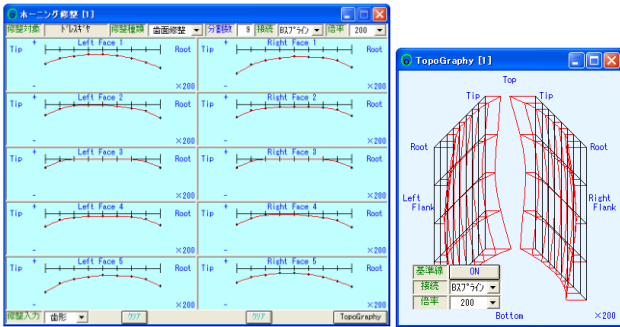


図 B.7 ドレスギヤの歯面修整とトポグラフ

表 B.2 歯形修整量の比較(μm)

	ドレスギヤ(K)		ホーニング後の歯形	
	左面	右面	左面	右面
端面 1	18	33	15.4	26.0
端面 3	16	16	13.3	13.3
端面 5	33	18	26.0	15.4

### B5. ホーニング砥石諸元

ホーニング砥石の諸元は 79 歯の 1 種類のみであるがドレスギヤが 2 種類あるためドレスギヤの軸間距離に違いがある。砥石の諸元とドレスギヤ(S, K)とホーニング砥石をかみ合わせた場合の数値表を図 B.8 および図 B.9 に示す。なお、図 B.8 および図 B.9 の軸間距離(ドレスギヤ)は、ねじ歯車のかみ合いを基準に計算した値を採用している。

項目	記号	単位	数値
歯数	Z	---	79
ねじれ角	β	deg	20° 0' 0.0"
ねじれ方向	---	---	左ねじれ
軸交差角(トリス)	ΣD	deg	10° 0' 0.0"
軸間距離(トリス)	aD	mm	83.4389
軸間距離(リク)	aR	mm	78.0876
軸交差角(歯車)	Σ	deg	10° 0' 0.0"
軸間距離(歯車)	a	mm	83.4389
基準ピッチ円直径	d	mm	210.1751
歯先円直径	da	mm	208.1752
歯根円直径	df	mm	219.4251
基準円直径	db	mm	185.8878
歯溝円弧歯厚	Sn	mm	4.8624
歯先幅	S	mm	2.2692
軽位係数	xn	---	0.51402
干渉(トリス)	---	---	発生しない
刃先(トリス)	---	---	2.7501
刃先(歯車)	---	---	0.8250
刃先(歯車)	---	---	0.8251

図 B.8 ホーニング砥石諸元(S)

図 B.9 ホーニング砥石諸元(K)

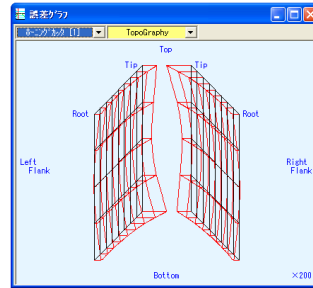


図 B.10 トポグラフ(S)

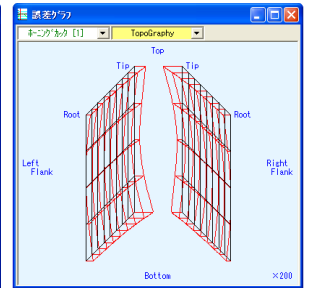


図 B.11 トポグラフ(K)

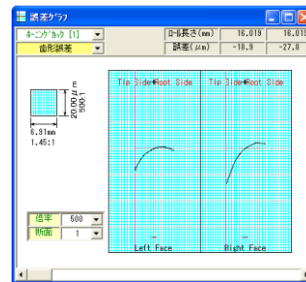


図 B.12 歯形グラフ 1(S)

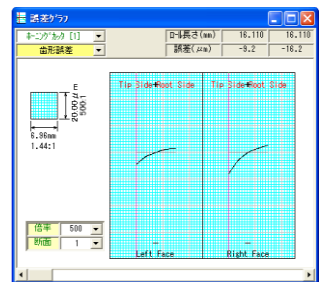


図 B.13 歯形グラフ 1(K)

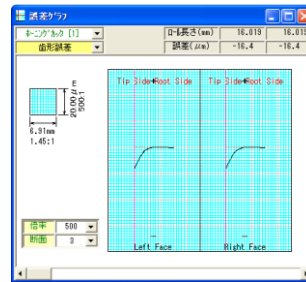


図 B.14 歯形グラフ 3(S)

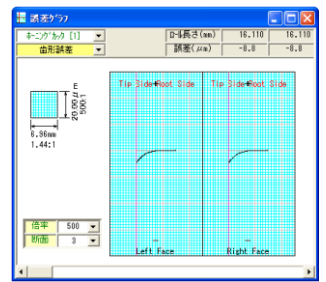


図 B.15 歯形グラフ 3(K)

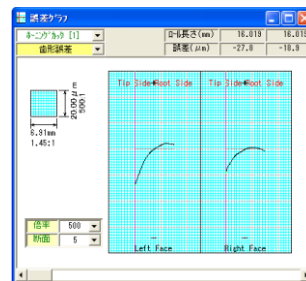


図 B.16 歯形グラフ 5(S)

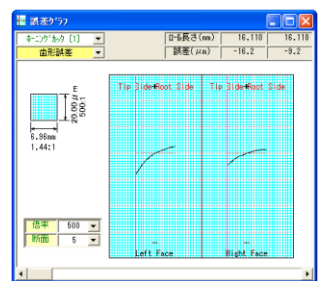


図 B.17 歯形グラフ 5(K)

### B6. ホーニング加工後の歯形(修整量)

ホーニング加工後の被削歯車の歯形グラフを図 B.10~B.17 に示す。歯形グラフは、トポグラフの全階層の表示が可能であるが、今回の評価では 1,3,5 階層の歯形誤差を比較した。

ドレスギヤ(S)(K)と同じ修整量を与えてもドレスギヤの歯数によりホーニング後の歯形修整量に差が発生することが解る。表 B.1 は被削歯車と同じ諸元を持つドレスギヤを使用してホーニング加工した結果であり、この場合は、ホーニング加工後の歯形とドレスギヤ(S)の修整量はほぼ一致している。しかし、ドレスギヤ(K)では、表 B.2 に示すようにドレスギヤ修整量の 80%程度が被削歯車の修整量となる。

表 B.1 歯形修整量の比較(μm)

	ドレスギヤ(S)		ホーニング後の歯形	
	左面	右面	左面	右面
端面 1	18	33	20.0	32.1
端面 3	16	16	16.6	16.6
端面 5	33	18	32.1	20.0

### B7. 歯形シミュレーション

ホブ加工~ホーニング加工までの歯形シミュレーションを図 B.18~B.27 に示す。図 B.28 および図 B.29 は、ホーニング代を 1μm としたときの歯形レンダリングであり、接触線が顕著に現れている。

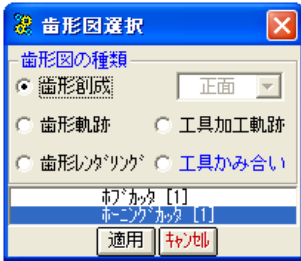


図 B.18 歯形図選択

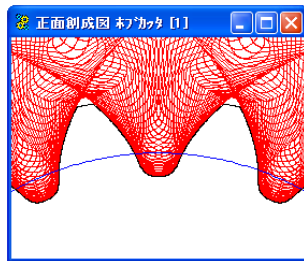


図 B.19 ホブ創成図 1

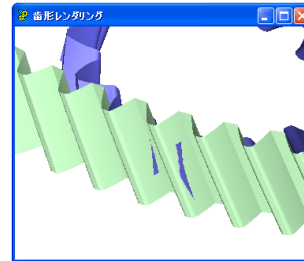


図 B.28 歯形レンダリング 3

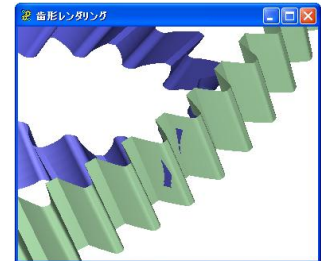


図 B.29 歯形レンダリング 4

ホーニング代：片面 1 $\mu$ m

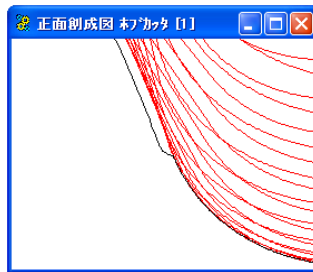


図 B.20 ホブ創成図 2  
歯元付近の拡大

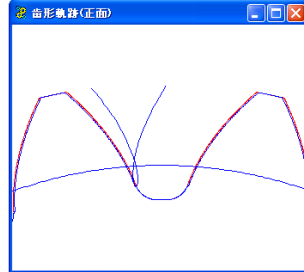


図 B.21 歯形軌跡 1

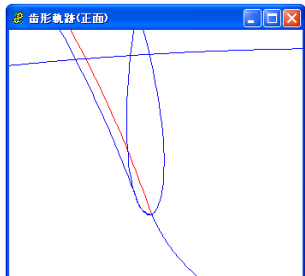


図 B.22 歯形軌跡 2  
歯元付近の拡大

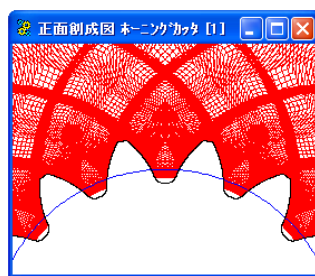


図 B.23 砥石創成図 1

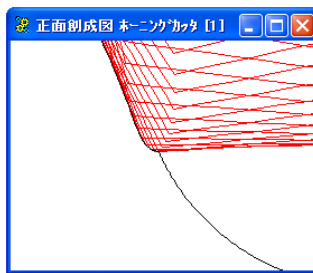
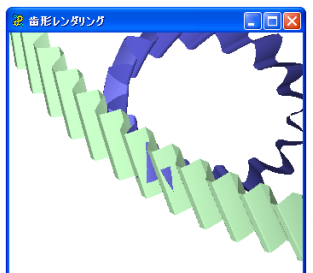


図 B.24 砥石創成図 2  
歯元付近の拡大



図 B.25 歯形レンダリング



ホブ加工した歯車と砥石のかみ合い

ホーニング：片面 0.05mm

図 B.26 歯形レンダリング 1

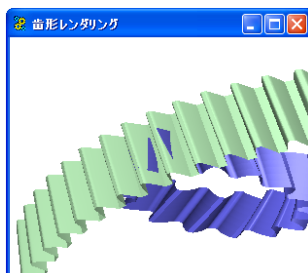


図 B.27 歯形レンダリング 2

## B8. まとめ

被削歯車とドレスギヤを同じ諸元とした場合とドレスギヤの歯数を約2倍とした場合についてシミュレーションした。

その結果、同一諸元の場合は、ドレスギヤの修整量そのまま被削歯車に転写されているが、歯数を約2倍にした場合にはドレスギヤに与えた修整量の約80%が転写された結果となった。

本ソフトウェアでは、諸元を任意に変更してシミュレーションすることが可能であるため高価なドレスギヤの諸元および修整量の決定に有効であると考えている。