



ラックタイプ歯車切削の精度について

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2012-11-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 高坂, 寅男 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.32150/00001584

ラックタイプ歯車切削の精度について

高坂寅男

北海道教育大学函館分校機械工学研究室

The Degree of Precision in Gear Cutting by the Use of a Rack Type Cutter

Torao TAKASAKA

Department of Mechanical Engineering, Hakodate Branch, Hokkaido University of Education

1 ま え が き

歯車の切削は一般に精密加工であり、その仕上げ管理は歯車の精度を高める上にきわめて重要である。機械要素としての歯車は機械の総合機能を向上する上に、必要な精度を保持しなければならない。その良否は機械効率、振動、騒音、摩耗、寿命に影響をおよぼす。歯車精度には使用目的によっておのずから精粗の階級があり、使用する機種に応じて必要とする精度を保持すればよく、JIS ではその範囲を 0~8 等級に分類している。

歯車の切削において精度を考えると、第一には歯切機械そのものの固有精度がある。したがって、高性能の新製歯切機械をもって生産するほどよい精度を得られるが、経年により機械精度が低下した場合、はじめと同じ製品精度は期待できない。第二にカッタの精度が大きく影響する。カッタには製造時の誤差もあるが、摩耗のため再研摩による誤差が主になる。第三に機械能力に対する作業上の適正条件に原因する誤差がある。すなわち正しい段取り、適当した作業条件を与えることによって正確な歯切りが行なわれる。

さきに歯車の切削をラックタイプの形削方法により行なう機構を製作したが¹⁾、これを使用して歯車の精度を向上せしめる要因を調べた。

2 精度に関係する要因

(1) 歯切りの方式と精度

この実験ではラックタイプの方法で歯切りを行なったものであるが、この方式が精度の上からも優れていることを、他の方式であるホブ切り、ピニオンカッタ切りと比べてその特徴を上げてみるとつぎのようである。

- イ. ホブ切りでは螺旋状のフライスであることから、切削された面は小さい曲面の集合である。
- ロ. ホブ切りでは切刃二番の正確さの程度によって、再研削による切刃形状の精度には限度がある。しかし、カッタ自身の誤差はピッチ誤差にはならないが、歯形誤差、圧力角誤差に影響する。
- ハ. ピニオンカッタ切りでは切削された面は切刃のインボリュート曲線の一部が凹面に連続したものである。
- ニ. ピニオンカッタ切りでは切刃二番の精度はホブのように困難ではないにしても、誤差は避け

ラックタイプ歯車切削の精度について

られず、再研削の精度に問題があり、切刃の誤差は直ちに歯車の誤差となる。

ホ、はずば歯車の切削においては、ホブ切りにおいては歯すじねじれ角が近似値のことがあり、ピニオンカッタ切りにおいては、ヘリカルガイドによって角度が固定化されるので、螺旋面精度に充分の考慮を要する。

ラックタイプの歯切り方式においては、上記に述べたホブ切り、ピニオンカッタ切りの難点はすべて解決される。すなわち、

ヘ、ラックカッタの形状は直線をもとにした単純構造であり、したがって、切削面は平面の包絡面であり、また切刃二番の精度は著しくよい。

ト、はずば歯車切削においては、ねじれ角の設定が直接的であること、また筆者の製作による新機構においては、任意のねじれ角に対し交換歯車の変更を要しないので近似角の問題がない。

以上の各得失を要約すると第1表のようである。

表 1

方 式	ホ ブ 切 り	ピニオンカッタ切り	ラックカッタ切り
工 具 形 状	複 雑	複 雑	製 作 容 易
工具の再研削後の精度	誤 差 生 じ 易 い	歯形に誤差を生じ易い	高 精 度
検 査 の 難 易	複 雑	複 雑	簡 易
歯 面 の 平 滑	波 模 様 を 生 ず る	し ま を 作 る	平 滑
はずば歯のねじれ角	近似角のこともある	ねじれ角は固定されるが正確	任意の角に対し正確

(2) ラックタイプの創成

歯形形状がインポリュートの場合に基礎円半径が無限大となると、その形状は直線の側面をもったラックになる。創成作用の基本はラックと素材の転がり運動にあることが、この種の歯切盤の原理である。この運動はまた無限大の半径をもつピニオンカッタがラックであり、無限大の円筒径をもつホブがラックであることによりホブ、ピニオンカッタおよびラックカッタの創成は共通するものである。さてラックタイプ歯切盤を操作して所定の歯車を形削するにあたり、作動機構に条件を与えなければならない。それはつぎの5項目が必要である。

イ、歯数割出し、ピッチ割出しの交換歯車の決定

ロ、はずば歯ねじれ角の固定

ハ、カッタストローク長さと高さの設定

ニ、毎分ストローク数の選定

ホ、1ピッチあたりの創成回数の設定

上記において、イ、ロ、ハ項は被削歯車による固定的条件であるが、ニ、ホ項は作業条件としての変動的条件である。旋盤作業における切削速度、切り込み、送りに相当する。ただし旋盤にあっては切削が連続的であるに対し、形削りでは断続的であることの相違がある。精度の上から適正な条件を必要とするが、一方切削時間は生産性を考慮しなければならないところから、毎分ストローク数を大きく、1歯あたり創成回数を少なくしたい。しかし被削歯面の精度の上から、誤差を生ずる原因を挙げると、

イ、ラックカッタの歯のピッチ誤差

ロ、ラックカッタのすくい角の誤差

ハ、1ピッチ当りの創成回数

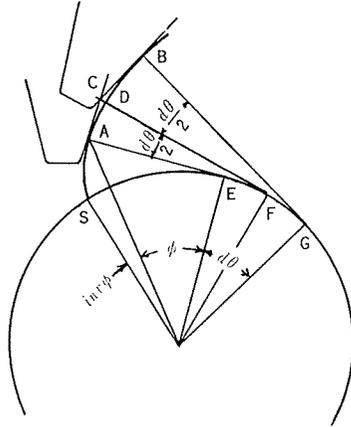
ニ、機構上の相対運動の誤差

ホ. ラックカッタの切れ味

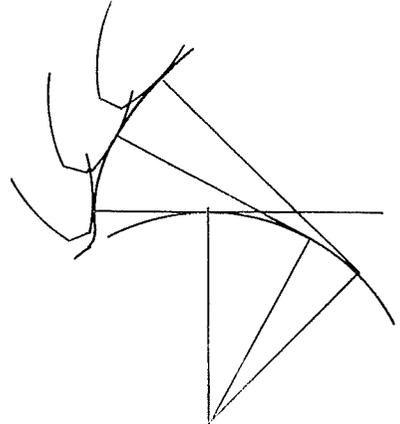
(3) ラックカッタと素材との関係

削られた歯面は連続したインボリュート曲線ではなく、カッタの直線切刃の包絡面として形成される。歯面は微小巾の平面がインボリュートに沿って無数に連続している。はずば歯においてはインボリュートヘリコイド面に接する多数の面の交叉で形成されている。したがってインボリュート曲線と、これに外接する平面との間に僅かの空隙があるのでこれを平歯車について求めてみる。

第1図において、カッタ切刃がはじめに任意の点 A で接し、次のストロークでは素材が $d\theta$ だけ回転して B で接するように切削が行なわれるとき、被削面が真のインボリュート



第1図 ラックカッタによる歯面



第2図 ピンオンカッタによる歯面

曲線から外れる量の最大偏倚は CD である。 CD の値を求めると²⁾

$$\begin{aligned}
 CD &= CF - DF = (CF + \widehat{FG}) - (DF + \widehat{FG}) \\
 &= \frac{BG}{\cos \frac{d\theta}{2}} - BG \\
 BG &= AE + \widehat{EG} = r(\tan \phi + d\theta) \\
 r &= \frac{MN}{2} \cos \alpha \text{ を代入して} \\
 CD &= \frac{MN}{2} \cos \alpha (\tan \phi + d\theta) \left(\frac{1}{\cos \frac{d\theta}{2}} - 1 \right) \tag{1}
 \end{aligned}$$

ここに、 M : モジュール、 N : 歯数、 α : 転がり円圧力角、 ϕ : 切削位置圧力角とする。 ϕ は歯先にゆくほど大となるので歯先の圧力角を ϕ_a とすれば、並歯歯車においては

$$\phi_a = \cos^{-1} \frac{N}{N+2} \cos \alpha$$

したがって (1) 式は次式で表わされる。

$$CD = \frac{MN}{2} \cos \alpha \left\{ \tan \left(\cos^{-1} \frac{N}{N+2} \cos \alpha \right) + d\theta \right\} \left(\frac{1}{\cos \frac{d\theta}{2}} - 1 \right) \tag{2}$$

(2) 式は誤差の最も大きい場合の式である。これよりつぎのことがいえる。

- イ. モジュールおよび歯数が大となると誤差は大きくなる。
- ロ. 転がり円圧力角が大きくなるほど小になる。
- ハ. 1歯当りストローク数が大になると小になる。

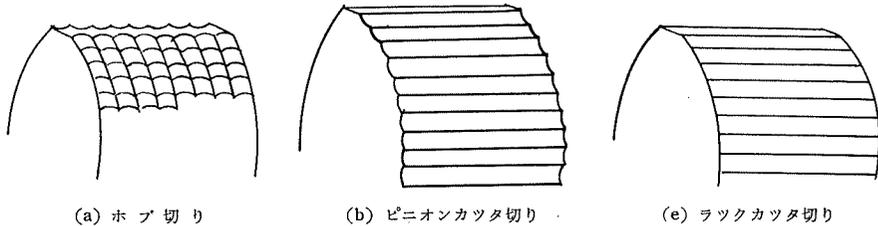
式により供試歯車のデータを与えて $d\theta$ を変化して計算すると、 $M=3$ 、 $N=26$ 、 $\alpha=20^\circ$ 、 $d\theta=0.024 \sim 0.006$ rad のとき、誤差の値は、

$d\theta$ rad	0.0242	0.0121	0.006
CD μ	1.7	0.4	0.1

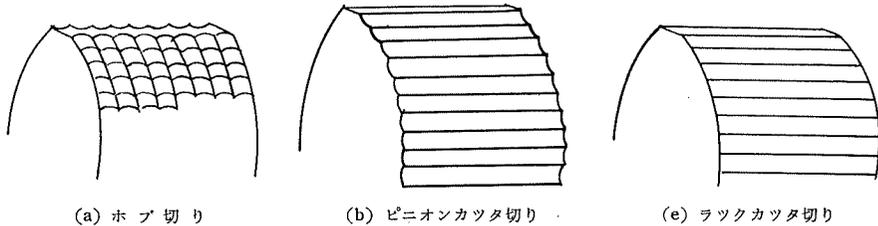
同様の考察を他の方法であるピニオンカッタ切りとホブ切りについて行なってみると、ピニオンカッタ切りのときは第2図にみるように、被削面はインボリュート曲線に外接する微小巾の凹面の連続であり、カッタ運動の関係数値を同じくするとき、その凹凸による偏倚量は曲率による分だけラックの場合より大きいことは明らかである。

つぎにホブ切りにおいては、前者の形削りに対しフライス削りであり、被削面は第4図に示すように小凹面の集合である。凹面形成はホブが1回転する間に切刃の接点は作用線にそって法線ピッチ長さだけ進み、その間に波模様の凹面をホブの溝数に相当する数だけ歯形上を作る。凹面の大きさは歯巾の方向ではホブの送り量であり、歯形方向では切刃の溝数に関する。凹凸の高さは切刃が素材の半径方向にある位置では、ラックカッタにおけると全く同じ理であるが、そこから少し回転して隣の凹面との境界にきて、

より大きい偏倚を生ずる。第3図により歯底および歯形の凹面境界の凹凸高さをそれぞれ t および s とすると



第3図 ホブの切削面



第4図 カッタによる歯面の形状

$$t = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{u}{2}\right)^2}$$

$$s = t \sin \alpha$$

ここに、 r : ホブの半径, u : ホブの送り, α : 圧力角とする。

供試歯車について u を変化して計算すると、 $r=35$, $\alpha=20^\circ$, $u=2\sim1$ のとき、 t および s の値は、

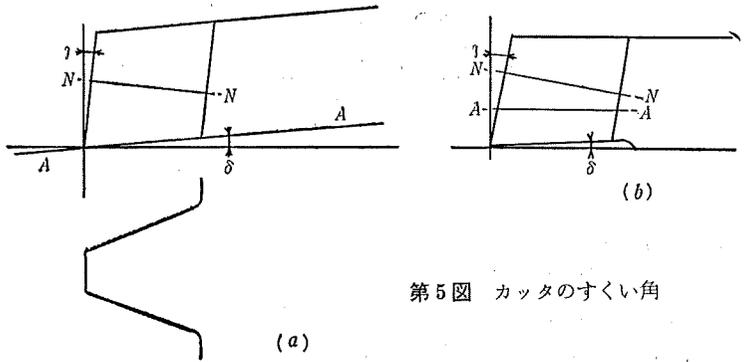
u	2.0	1.5	1.0
t μ	14.5	8.1	3.6
s μ	4.9	2.9	1.2

以上は、切削方式による誤差を計算上からみた値である。これらの誤差は面の粗さであり歯形面に第4図のようなしま模様をあらわす。

(4) ラックカッタの形状

JIS に制定しているラックカッタはマージ形とサンダーランド形の2種である。両者のすくい角

δ , 逃げ角 γ はそれぞれ定められた角をもっている。再研削が正確にできるのが利点であるが、注意すべきはすくい角と圧力角との関係である。第5図において、A-A に対する角を α_a , N-N に対する角を α_n , 工具圧力角を α_o とするとつぎの関係がある。



第5図 カッタのすくい角

マ - グ形 (a) 図

$$\tan \alpha_n = \frac{\tan \alpha_o}{\cos \gamma}$$

$$\tan \alpha_a = \tan \alpha_o \cos \delta$$

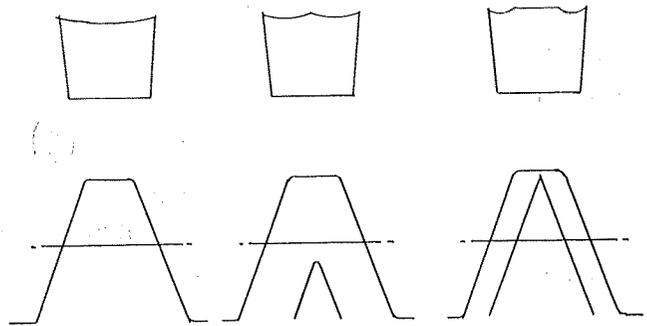
サンダーランド形 (b) 図

$$\tan \alpha_n = \frac{\tan \alpha_o}{\cos(\delta + \gamma)}$$

$$\tan \alpha_a = \tan \alpha_n \cos \gamma$$

	マ - グ 形	サンダーランド形
δ	6°30'	5°
γ	12°	8°
($\alpha_o = 14^\circ 30'$) α_n	14°43'	14°49'
α_a	14°25'	14°40'
($\alpha_o = 20^\circ$) α_n	20°17'	20°25'
α_a	19°53'	20°14'

α_a を測定してすくい角の精度を検査することが必要である。荒削り用カッタは刃面を平面に研削することで足りるが、仕上げ用カッタは横すくい角を付するため第6図のように研削するので、研削装置に考慮を要する。また正規インボリュート歯形とは別に、修正歯形があって、重荷重による歯の撓み、歯切り誤差、組立誤差の影響を緩和する方法がと



第6図 カッタの横すくい角

られている。これらの修正歯形の切削には、ラックカッタの切刃前面を、円筒状凹面に研削することにより、ラックのプロファイルを修正することが可能である。

3 切 削 作 業

(1) 切 削 速 度

切削速度はラムのストローク長さと毎分ストローク数の積で定まる。特別の場合を除き普通の歯車では歯巾はさほど大きくはなく、例えば 50 mm 以内と考えるならばストロークの長さは著しく

ラックタイプ歯車切削の精度について

は変わらない。したがって切削速度は毎分ストローク数の変換により調節される。実験は立削盤に
 応用した歯切機構を使用しているの、形削りの調節機能を有効に活用できる。ストロークの長さ
 を任意に設定し、毎分ストローク数はクランク軸回転数を変速歯車箱で切り替えている。主要機能
 をつぎに示す。

- ストローク数：毎分 30, 50, 75
- ストローク：0 ~ 220
- テーブル：300φ サークュラーテーブル、傾斜角装置付
- 創成機構：新製機構、自動送り付
- カッタヘッド：新製装置
- ラックカッタ：スーパーサンダーランド、材質 SKH3 恵比須屋製
- 電動機：2.2 KW

ラックタイプ歯切りの切削速度は、歯車の材質、硬度により選ぶが、資料によりつぎのような
 準がある。

材 質	青 銅	鋳 鉄	炭 素 鋼	Ni-Cr 鋼	Cr-Mo 鋼
切削速度 m/min	25 ~ 45	8 ~ 18	18 ~ 40	23 ~ 27	14 ~ 32

実験では新製直後であることから制限して鋳鉄素材について、7~12m/min で行なった。

(2) 1 ピッチのストローク数

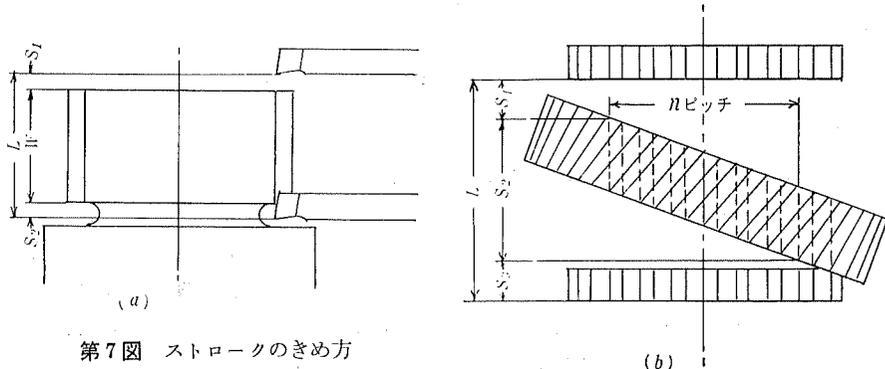
1 歯当りの形削り回数は歯面精度の大きな要因であり、図上の誤差を前項に示した。また切削時間
 は1歯当たりストローク数に反比例する関係にあるので、必要最小限に選ぶべきである。前述したよ
 うに送り回転角を $d\theta=0.006\sim 0.012 \text{ rad}$ にとるならば計算の精度は良好である。ストローク数には
 つぎのような標準がある。モジュール6以下についてはこの数値よりやや小さく選ぶことができる。

モジ ュール	仕上げ別	歯数					
		15	20	30	40	50	100
6	荒 削 り	72	53	38	32	28	26
	仕上げ削り	44	36	30	26	23	16
8	荒 削 り	85	65	48	39	35	32
	仕上げ削り	50	41	34	30	27	20

(3) ストロークの設定

ラックカッタは上下の作動範囲を任意の位置に調節できる。平歯車の場合は第7図 (a) のように

上下に遊びを
 とる。はずば
 歯車の場合は
 第7図 (b) の
 位置をとる。
 歯直角方式で
 あるからラッ
 クカッタは平
 歯車用のもの
 と共用でき



第7図 ストロークのきめ方

る。必要なストローク L は、

$$L = s_1 + s_2 + s_3$$

$$s_2 = \frac{W}{\cos \beta} + n\pi M \tan \beta$$

ここに s_1, s_3 : 上下の遊び, s_2 : カッタの切削範囲, n : カッタの作用する歯数, β : ねじれ角
 このように正歯車に比べてストロークを大きくとらなければならない。こうして単一のはずば歯は正しく歯切りできるが、段付ショルダーギヤはこのカッタでは切削できなく、はずば歯車専用のラックカッタを使わなければならない。

(4) 切削歯車の精度

歯車の仕上がり精度を測定した図を第8図に示す。歯車ははずば歯車, 材質は鋳鉄 (FC 19), $M=3, N=26, \alpha=20^\circ \beta=20^\circ$ のものを3個測定した。切削のデータはつぎのようである。

項 目 \ No.	No. 1	No. 2	No. 3
ね じ れ 方 向	左	右	右
毎 分 ス ト ロ ー ク 数	50	30	30
ス ト ロ ー ク 長 さ	115	110	110
切 削 速 度 m/min	11.5	6.6	6.6
1 ピ ッ チ 当 たり ス ト ロ ー ク 数	39	39	39

測定は三井精機製歯車検査器Ⅱ型で行ない、ダイヤルインジケータの読みを整理してグラフにした。数値は単一ピッチ、歯溝のふれ、隣接ピッチ、累積ピッチの誤差を示している。

切削のデータから No. 1 においてはねじれ角が左方向、切削速度 11.5 m/min, 1 歯当りストローク数は 39 であり、No. 2, No. 3 はねじれ角右方向、切削速度 6.6 m/min, 1 歯当りストローク数は 39 であって条件を変えているが、第8図のとおり No. 2, No. 3 は No. 1 よりよい数値を示している。原因として考えられることは、

イ. ねじれの方向について 歯が左方向のねじれ角のときは、この構造ではウオーム歯車の背隙が影響してピッチ誤差を生ずる。これは斜め方向切削のとき接線方向分力が作用するためであって、ねじれ角に応じて影響してくる。右ねじれ角では分力も反対方向となり遊びは生じない。

ロ. 切削速度と創成回数 立削盤の用途のため高速切削を考慮していない機械であり、歯切りに対しては切削速度を控え目にしたほうがよい結果を得ている。1 歯当たり創成回数は作業標準にも 30 くらいが示されていて、その計算誤差は 1μ 以下であるから創成回数は適当であったが、これ以下に小さくとると良い結果は得られない。

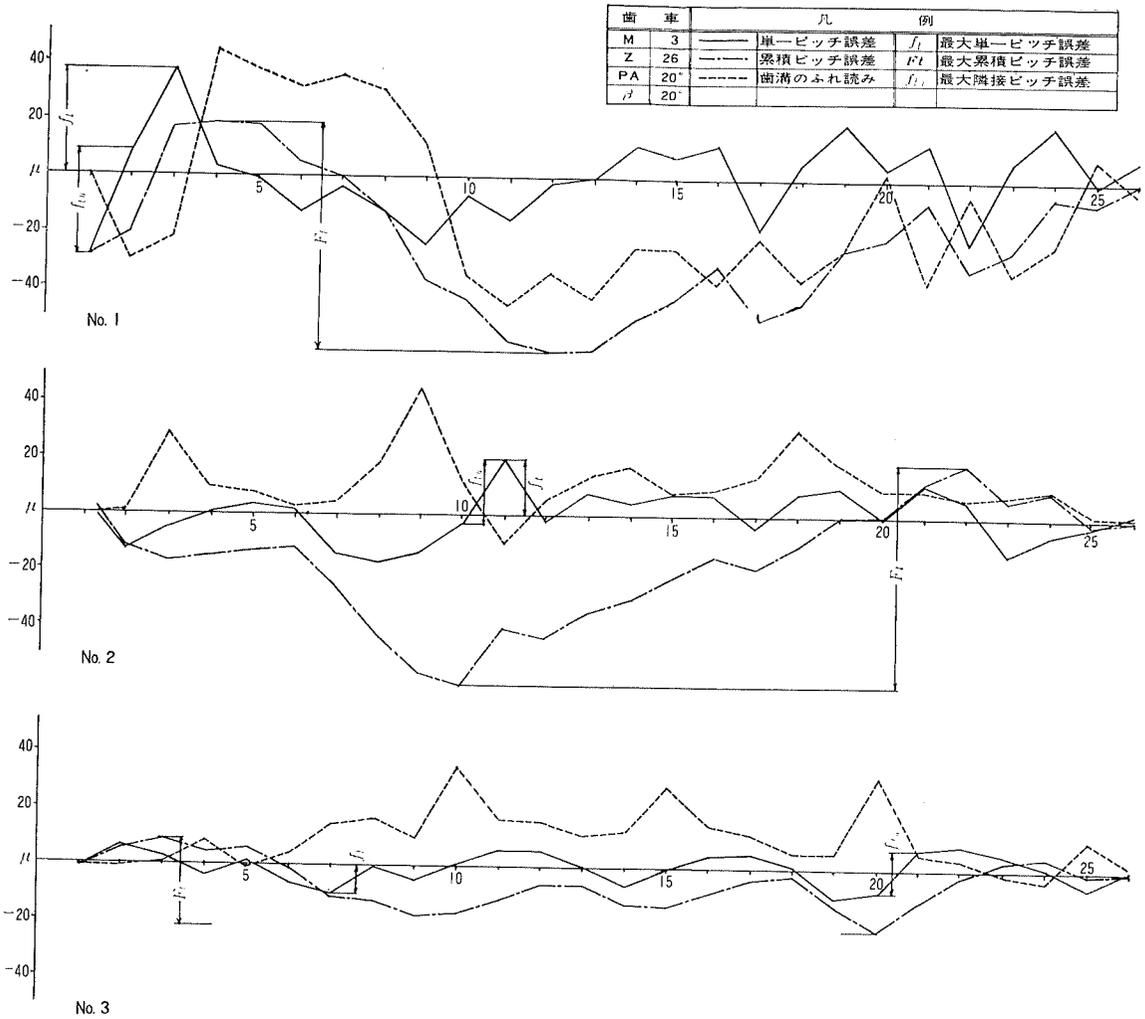
4 考 察

実験をかえりみて、今後更に精度を向上するため、考慮すべきこととしてつぎのことが上げられる。

(1) サーキュラーテーブルの背隙について

使用したサーキュラーテーブルは新購入品で、精度は良好であったが工作上的背隙はやむを得ない。ホブ盤のクライムホッピングを行なう場合も背隙の問題がある。これを無くするには、1 個のテーブルにウオームを 2 個設ける方法、ウオームをピッチ位相を変えた 2 個のものに分割する方法など高度の背隙防止構造がある。ラックタイプにおいてはテーブルの回転方向は左右いずれでもよい特質をもっているため、背隙影響のある左ねじれ方向に対し、テーブルの回転送りを反対方向に変

ラックタイプ歯車切削の精度について



第 8 図 歯 車 の 精 度

更すれば遊びの逃げは起こらない。なおこのため創成の自動送りラチェット機構を可逆可能に改良する必要がある。

(2) カッタヘッド

カッタヘッドは精度に関係する部分であり、組立精度をよくしなければならない。その機能は、各種類のカッタを正確に固着すること、カッタの戻りに正しく逃げ運動をすること、相対運動のフライメントと剛性をよくすることである。可動部分の摩耗による影響が誤差に表われてきたのでこれを改良して復元する必要がある。

以上をもってラックタイプ歯切装置による歯車仕上げ精度についての報告を終る。

文 献

- 1) 高坂寅男 (1968) 立削盤によるラックタイプのはずば歯車形削方法について 北海道教育大学紀要, 第二部 A, 第 19 巻, 第 1 号.
- 2) 神戸製鋼所 (1968) ラックカッタ, 資料, No. G-3.