

セレーテッドホブ によるウォームホイールの工作

景浦敬次郎* 久米邦彌** 兼松二郎***

Worm Wheel Production by Serrated Hob

By Keijiro Kageura, Kuniya Kume, Jiro Kanematsu
Taga Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

It is now usual practice to employ a worm gearing for power transmission to secure quiet running of machine. The manufacture of a satisfactory worm gearing, however, has hitherto been regarded to involve an utmost difficulty in machining. The writers tried to devise a method of producing accurate worm wheels through a long period of experiments and have succeeded by a utilization of a serrated hob.

[I] 緒言

ウォーム歯車は動力伝達用として広く用いられているが、これを正確に作ることは、極めて困難であるとされている。即ちウォームホイールはホブによつて切削するのが普通であるが、ホブはその性質上、ピッチ及び歯形を正確に仕上げることが非常に難かしく、特に多条ホブでは割出誤差の影響も加わつて、精度の向上は極めて厄介な問題である。更にホブは切刃の数が少ないために、創成される歯面が多角形状を呈するばかりでなく、ピッチ誤差のために求むる歯形に対し偏倚を生ずる。従つてこのようなウォームホイールをウォームと噛合せた場合は、良好な歯当りを得ることが出来ず、振動及び音響を発生する原因となる。これを解決するためには、正確なウォームホイールを作ることが必要であつて、我国においても種々⁽¹⁾⁽²⁾研究が発表されているが、一方海外⁽³⁾ではこれが対策として、普通ホブにより下切りしたものを

第1表 実験用ウォーム歯車の仕様
Table 1. Specification of Worm Gear Used

歯形	標準スタブ	ウォームホイール歯数	63
モジュール	10	ウォーム条数	3
圧力角	20° (歯溝直角)	進み角	右 18°

* ** *** 日立製作所多賀工場

更にセレーテッドホブを用いてウォームホイールを仕上げ、精度を向上させている様である。当工場においてもこの方法を採用した結果、従来に比し極めて容易に高精度のウォームホイールを得ることが出来、既にエレベータのトラクションマシン用のものに応用し、好結果を得ている。茲にその大要を述べ諸賢の御参考に供したい。

[II] セレーテッドホブの製作

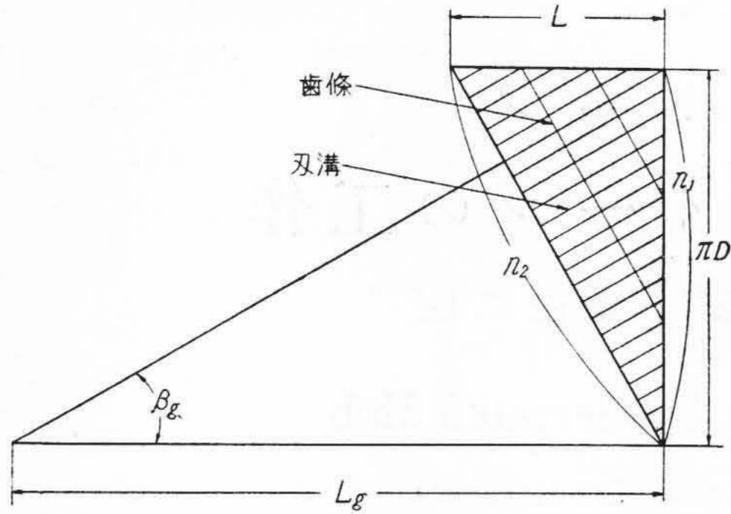
(1) ウォーム歯車の仕様

実験用に設計したウォーム歯車の仕様は第1表に示す如きもので、特にホイールの歯車とウォーム条数との比が整数の場合をとつた。

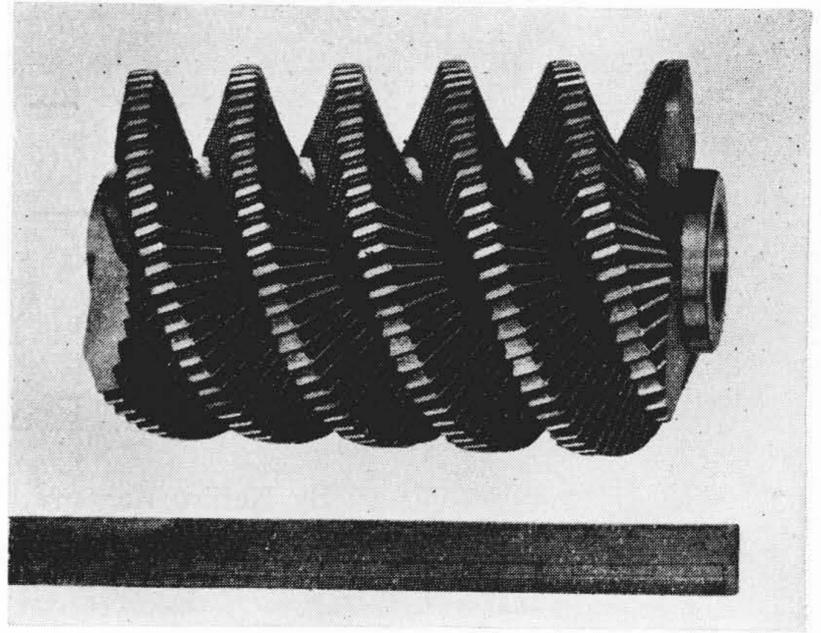
(2) セレーテッドホブ設計の大要

(A) セレーテッドホブの原理

普通ホブにおけるピッチ誤差の原因は、先ずこれを製作する機械の精度による外、主として刃溝工作の際の分割誤差、二番取作業による誤差及び多条ホブでは割出の誤差に基くものである。セレーテッドホブはこれ等の誤差を免れるために、普通の深い切刃溝を作らずその代りにねじ面に切刃溝を鋸刃状にスロットングしたものであつて、二番取を行わず、切刃溝の分割誤差並びに二番取作業によるピッチ誤差を全くなしたものである。これにより歯切されたホイールはピッチが正確となるのみでなく求むる歯形に対する偏倚量も必然的に減少する。一方歯形は二番取作業を行わないため非常に正確に仕上げる事が出来、セレーテッドホブとウォームとを同一機械砥石



第 1 図 切 刃 溝 切 削 方 法
Fig. 1. Indexing of Serrations (Development of Hob Pitch Cylinder)



第 2 図 セレーテッドホブ
Fig. 2. Serrated Hob

で仕上げた場合には、両者の歯形を容易に一致させる事が出来る。更に本ホブにおいては切刃の数を多くすることが出来るから、創成される歯面が極めて滑らかになる。尙セレーテッドホブは一般にシェービングホブともいわれている。

(B) 設計の大要

本ホブは3条であるので、セレーテッドホブにしても割出誤差だけは免れることが出来ない。これに就いては歯形を研削仕上する際、精度を測定しながら不良箇所を修正研削し、所期の精度が得られる迄これを繰返す方法をとることとした。従つて設計に当つては、切刃が軸方向に一直線上に並ぶようにし、ピッチの測定を正確に行い得る如くした。このためには切刃の数と切刃溝のリードを適当に選ばなければならない。第1図はホブの刻み円筒を展開したもので、前述の関係を満足するためには次式が成立するを必要とする。

$$\frac{\pi D + L \tan \beta_g}{n_2} = \frac{\pi D}{n_1} \dots \dots \dots (1)$$

- 但し D : ホブ刻み円径
- L : 歯条リード
- β_g : 切刃溝捻れ角
- n₁ : 円周上の切刃数
- n₂ : 歯条1リード間の切刃数

円周上の切刃数はホブ歯先の切刃溝を工作する時、歯条1リード間の切刃数は切刃溝をスロットングする時必要な分割数である。

ここで

$$\tan \beta_g = \frac{\pi D}{L_g}$$

但し

L_g : 切刃溝のリード

これを(1)式に入れて整理すれば、

第 2 表 セレーテッドホブの仕様
Table 2. Specification of Serrated Hob

外 径	113.25 mm	歯 厚 (歯溝直角)	15.02 mm
刻み円径	93.25 mm	切刃数(円周)	57
基準刻み円径	92.33 mm	切刃数 (1 リード)	63
全 長	180 mm	材 質	SKH 3
刃部長さ	167 mm	硬 度	Rc 62

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{L_g + L}{L_g} \dots \dots \dots (2)$$

(2) 式を満足する様 n₁, n₂, L_g を適当に選定すればよい。尙多条ホブの場合は、n₁, n₂ をホブ条数の整数倍とする必要がある。本ホブでは n₁=57, n₂=63, に選定した。次に切刃はピッチを基準径において約 5mm、ランドは約 0.4mm とした。

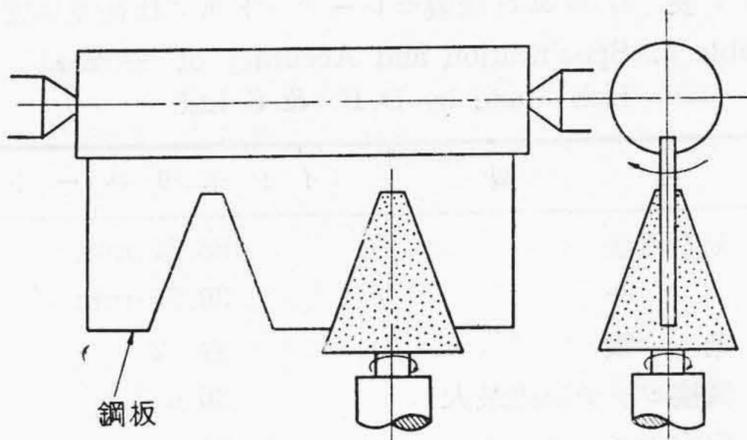
(C) 試作セレーテッドホブの仕様

試作したセレーテッドホブを第2図に、仕様を第2表に示す。

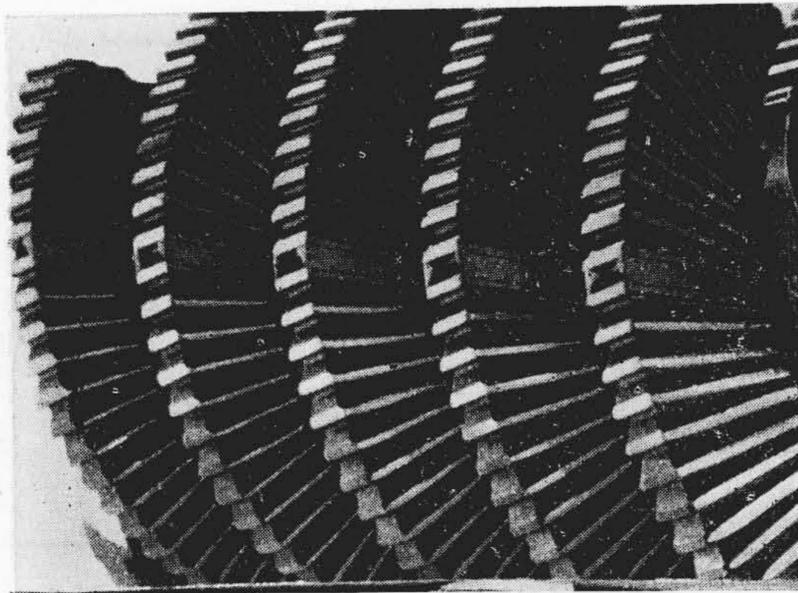
(3) 製作の概要

(A) 圧力角の修正

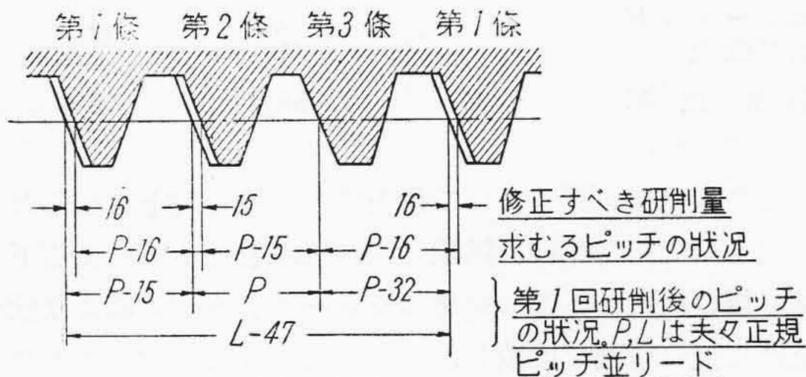
歯形研削は Reinecker 製 UHD-1 型二番取旋盤を使用した。元来ホブの圧力角はこれを直接正確に測定することは殆んど不可能であつて、特にホブの如き場合然りである。さて正確に成形した砥石で研削すれば、仕上がったホブの歯形の圧力角を正確に測定する事が出来ないとしても、実際には精度の良いホブ歯形を得られるわけである。本ホブの製作に当つてはこの考えの下に、歯形研削をペンシル形砥石で行い、この砥石を絶えず正確に成形しながら仕上研削した。この際砥石角度を修正するためには、心棒に鋼板を正しく半径方向に固定したものを



第3図 砥石角度修正方法
Fig. 3. Special Fixture for Truing the Pencil Wheel



第4図 ピッチ測定用鋼片の接着
Fig. 4. Bonding of Measuring Pieces to Serrated Hob



第5図 ピッチ誤差の修正
Fig. 5. Correction of Tooth Spacing

作り、これを研削して砥石の形を写し取り、この角度を測定し、測定結果によって砥石を修正した。以上の如くにして砥石の角度誤差を3分以内に収めることが出来た。従つて前述の方法で研削仕上げしたホブの圧力角誤差は、略3分であると云う事が出来る。(第3図参照)

(B) 割出誤差の修正

設計の際、切刃を軸方向に一直線に並ぶようにしただけでは、ランドの幅が狭いためピッチの測定が不確実であるから、第4図に示す如く研削前各ねじ山の刃溝部

分に軸方向に鋼片を接着し、これをランドの面と同じように研削し、この面で測定を行うことによつて、測定の際測定子の接触部分を広く保ちうる様にした。一般にホブは荒仕上の精度不良、熱処理時の変形等により仕上研削に掛る時は可成の狂いを持っているものである。これを剛性の小さいスピンドル及び砥石で研削するのであるから、如何に正確に割出しても、仕上がった歯条の割出しは正確に出来ない。更に機械の割出装置自身の誤差もあり、機械的に割出しながら研削しただけでは、高精度のものは得られない。よつて本試作においては、研削したホブのピッチ測定を行い、その誤差を求め、これによりこの誤差を除くには、何処をいくら修正研削すべきかを求めた。その一例を第5図に示す。これを再度機械に掛け、研削時の火花及び研削音によつて研削量を推定しつつ修正研削を行つた。これを又測定して精度をしらべ、再修正すべき研削量を求めた。以上の操作を繰返し、逐次誤差を少なくして行つた。修正研削回数は一画8回、他画6回で略々求むる誤差内に作業を完了したが、この修正が最も苦心を要した処である。本作業において試みた鋼片の接着は、特殊の接着剤を使用して行つたもので研削中最後迄移動脱落することなく、又作業完了後は容易に取除くことが出来て非常な好結果を得た。

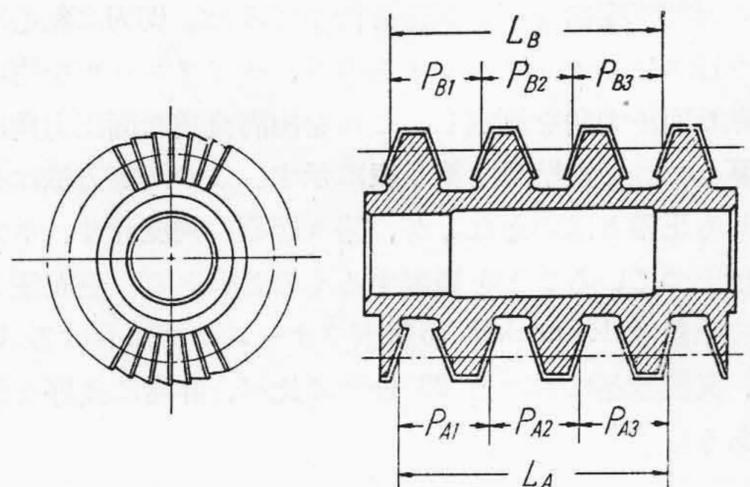
〔Ⅲ〕 セレーテッドホブの精度

(1) ピッチ

ピッチの測定位置は第6図に示す如くである。ピッチ誤差の状況を第3表及び第7図に示す。上記の値は普通ホブでは到底得ることの出来ない十分満足すべき値である。参考迄に九州大学の和栗博士が、David Brown & Son 社製セレーテッドホブを、中央部の1リードについて測定された結果⁽⁴⁾を第4表に示す。

(2) 圧力角

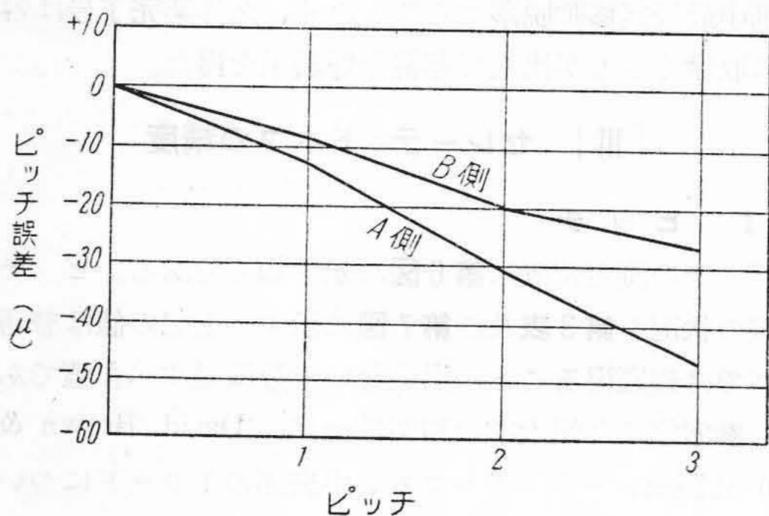
製作の処で述べた様に、正確に成形された砥石により研削仕上げした歯形の圧力角誤差は、略々3分と予想され



第6図 ピッチの測定
Fig. 6. Measurement of Pitch

第 3 表 セレーテッドホブのピッチ精度
Table 3. Accuracy of Tooth Spacing of Serrated Hob

A 側			
区分 位置	ピッチ並り 誤差 μ	隣接ピッチ 誤差 μ	割出ピッチ誤差 μ
P_{A1}	-13	5	+2.7
P_{A2}	-18		-2.3
P_{A3}	-16	2	-0.3
L_A	-47		
B 側			
区分 位置	ピッチ並り 誤差 μ	隣接ピッチ 誤差 μ	割出ピッチ誤差 μ
P_{B1}	-9	2	0
P_{B2}	-11		-2
P_{B3}	-7	4	+2
L_B	-27		



第 7 図 セレーテッドホブ累積ピッチ
Fig. 7. Accumulated Pitch Error of Serrated Hob

たのであるが、尙これを確める意味で Carl Zeiss 製光学的万能測定器を用い測定を行つてみた。切刃は軸心に向う様スロッチングしてあるので、ナイフエッジを用いて軸断面圧力角を測定し、これを歯溝直角断面圧力角に換算した。その結果を第 5 表に示す。この測定方法は必ずしも正確とはいえないが、略々砥石の角度通り、ホブが仕上つていることを裏書するものといえる。上記圧力角の誤差は Reinecker 製研削ウオームホブにおける 13 分、又国産品における 23 分⁽⁵⁾に比べ、非常に良好な値である。

〔IV〕 歯切試験結果及びその検討

セレーテッドホブは前述の通り、普通ホブにより下切

第 4 表 D.B & S 社製セレーテッドホブ仕様並精度
Table 4. Specification and Accuracy of Serrated Hob Made by D.B. & S.Ltd.

歯 型	インポリュート
刻み円径	58.36 mm
ピッチ	30.56 mm
条 数	右 2
隣接ピッチ誤差最大	30 μ
左右のピッチの違い	20 μ

第 5 表 セレーテッドホブ圧力角誤差
Table 5. Accuracy of Pressure Angle of Serrated Hob

区 分	誤 差
A 側	3'
B 側	3'

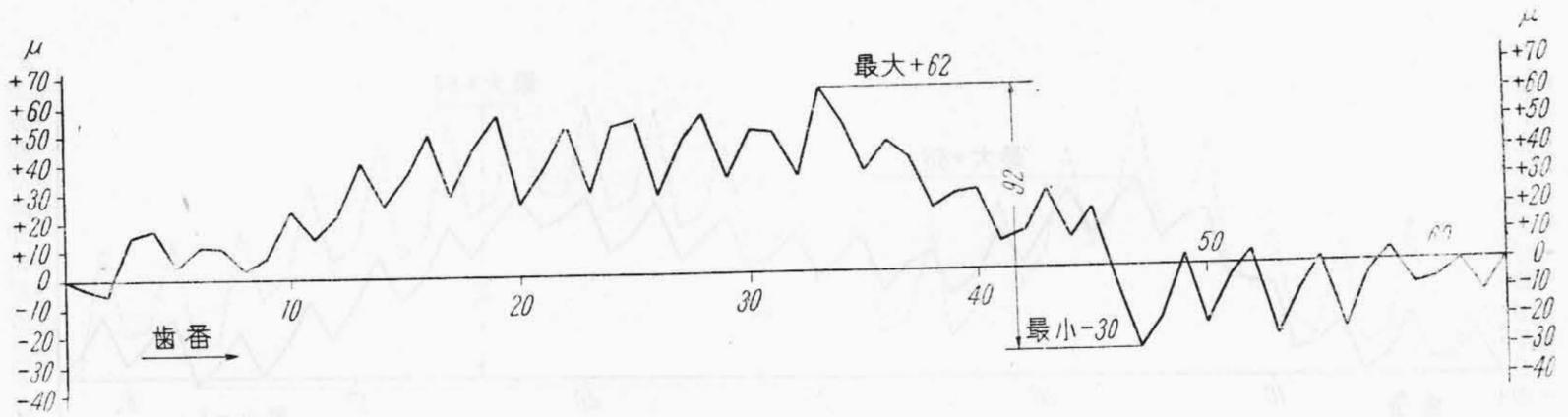
第 6 表 ウオームホイールのピッチ精度比較
Table 6. Comparison of Spacing Error of the Worm Wheel Cut by Conventional Worm Hob and Finished by Serrated Hob

区 分	単一ピッチ誤差 μ		隣接ピッチ 差誤 (最大) μ
	+側(最大)	-側(最大)	
ウオームホブ 仕上	55	-55	105
セレーテッド ホブ仕上	29	-32	47
誤 差 比 率	53%	58%	45%

りしたものを、更にこれで仕上げて精度を向上させるためのものであるから、試験に当つては普通ホブによる下切り後の精度と、これを更にセレーテッドホブにより仕上げた後の精度を比較し、その効果をみた。尙ホブとウオームホイールとは、関係運動を与えつつ切削させた。

(1) 第 1 回切削試験

第 1 回の試験においては、セレーテッドホブの効果を測定するために、特に精度の良くないホブを用いて、Pfauter 製 R-2 型ホブ盤により歯切りしたウオームホイールとこれを更にセレーテッドホブで仕上げたものについてピッチの測定を行い、その結果を比較した。仕上代は歯厚で約 0.3mm とし、Reinecker 製ピッチ測定器を使用した。その結果を第 6 表に示す。累積ピッチ誤差の状況は第 8 図の如くである。図表中の数値は左右両歯面の中、誤差の大なる側について示した。上記の結果より明らかな如く、セレーテッドホブで仕上げたものは



第8図 ウォームホイール累積ピッチ誤差

Fig. 8. Accumulated Pitch Error of Worm Wheel Finished by Serrated Hob

ウォームホブで歯切りしたもの 비해、単一ピッチ誤差隣接ピッチ誤差共約半分に減少した。然しながらこの切削試験においては、ウォームホブの精度、従つてこれによる下切りの精度が悪く、セレーテッドホブを使用しても最初の誤差を取り切る事が出来なかつた。又セレーテッドホブは元来非常な軽切削を行うものであるから、切削方法に関しても改善すべき点が認められた。

(2) 第2回切削試験

前回の試験においてはウォームホブの精度が特に悪くこれが仕上精度に影響することを確めた。よつてウォームホブを精度の良いものと取換えると共に、切削条件を改善して第2回の試験を行つた。ウォームホブの精度比較を第7表に示す。尙この場合の仕上代は歯厚で 0.15 mm, セレーテッドホブの振れ最大 0.015 mm, ウォームホイールの振れ 0.025mm, である。この様にして切削した結果を第8表及び第9図に示す。上記より明らかな如く、ウォームホブとして前回より精度のよいものを用いたために、下切りのピッチ誤差が減少し、これを更にセレーテッドホブで仕上げる際切削条件を改善した結果、ウォームホイールのピッチ誤差は第1回試験に比べ単一ピッチ誤差において 6μ, 隣接ピッチ誤差において 14μ 減少した。第2回試験において得られた精度を各種の規格と比較したものが第9表である。これによれば第2回切削試験後のウォームホイールの精度は、略々満足すべき値を示している。即ち第2回の試験に使用したウォームホブの精度は、余り良好とはいえないものであるにも拘らず、セレーテッドホブを用いることにより、可成り高精度のウォームホイールを製作することが出来た。次に歯面の粗さであるが、セレーテッドホブにより仕上げたものは、ウォームホブにより切削したままのものに比べ、極めて美麗である。触針法による両者歯面粗さの状況は第10図の如くで、粗さは 8μ より 5μ に減少した。尙削屑は一見細かい粉末状で、これを拡大して見ると第11図の如くである。大きさは 20μ~100μ の薄片で、表面にしわが見られ、良好な切味による削屑の状況を示している。

第7表 ウォームホブの精度比較

Table 7. Comparison of Accuracy of Two Worm Hobs

名称 区分	隣接ピッチ誤差 (最大) μ	圧力角誤差 (最大)
第1回試験用	100	-1°30'
第2回試験用	66	- 31'

第8表 ウォームホイールのピッチ精度比較

Table 8. Comparison of Spacing Error of the Worm Wheel Cut by Conventional Worm Hob and Finished by Serrated Hob

名称 区分	単一ピッチ誤差 μ		隣接ピッチ誤差 (最大) μ
	+側(最大)	-側(最大)	
ウォームホブ 仕上	44	-42	78
セレーテッド ホブ仕上	26	-18	33
誤差比率	59%	43%	42%

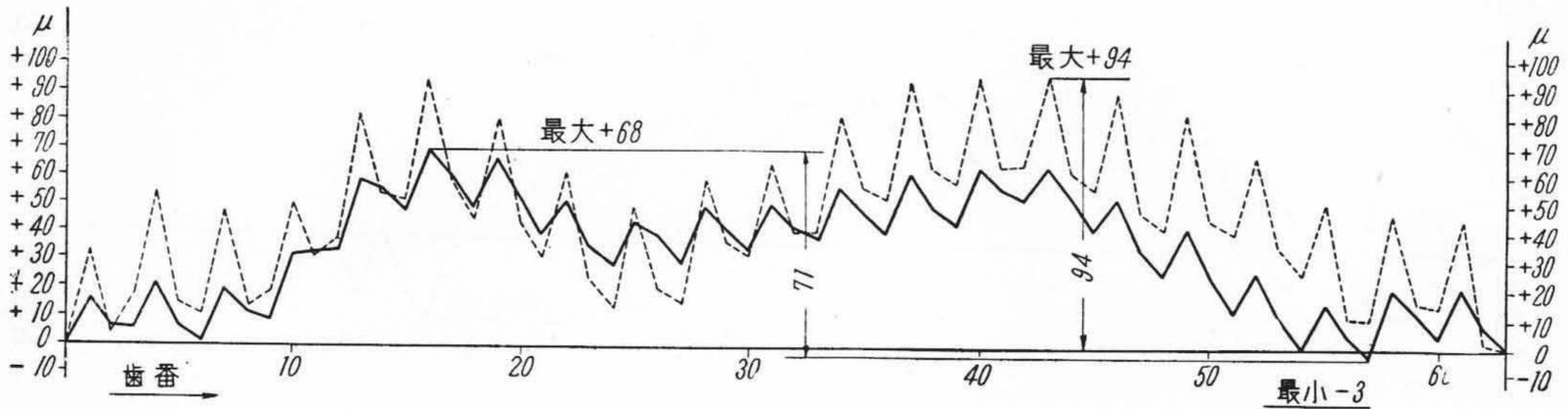
第9表 各種規格との精度比較

Table 9. Comparison of Accuracy of Our Worm Wheel and Various Standards

名称 区分	単一ピッチ誤差 μ	隣接ピッチ誤差 μ	累積ピッチ誤差 μ
第2回試験 ウォームホイール	26	33	78
英国規格1級	60		154
Merritt規格1級	28		140
ホブ盤マスタ規格 2級 ⁽⁶⁾	25		112

[V] 結 言

以上セレーテッドホブの製作及び切削試験の大要を述べた。これを要するに、セレーテッドホブは製作が厄介ではあるが、これによれば高精度のウォームホイールを

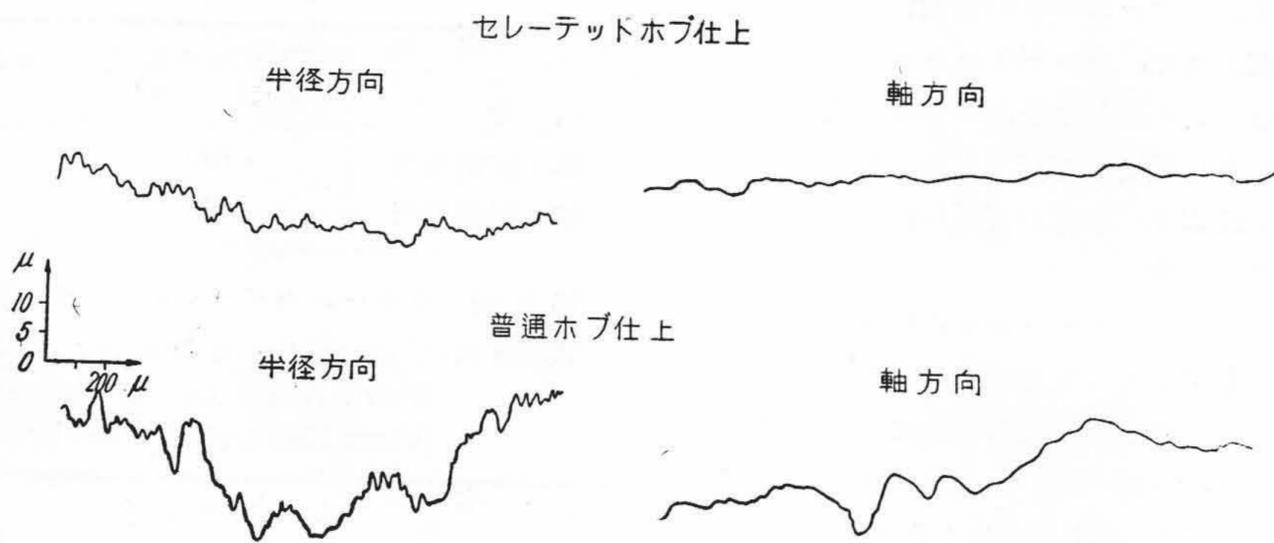


第 9 図 ウ オ ー ム ホ イ ー ル 累 積 ピ ッ チ 誤 差 比 較

点線：ウオームホブ仕上 実線：セレーテッドホブ仕上

Fig. 9. Comparison of Accumulated Pitch Error of the Worm Wheel

....Cut by Conventional Worm Hob —Finished by Serrated Hob



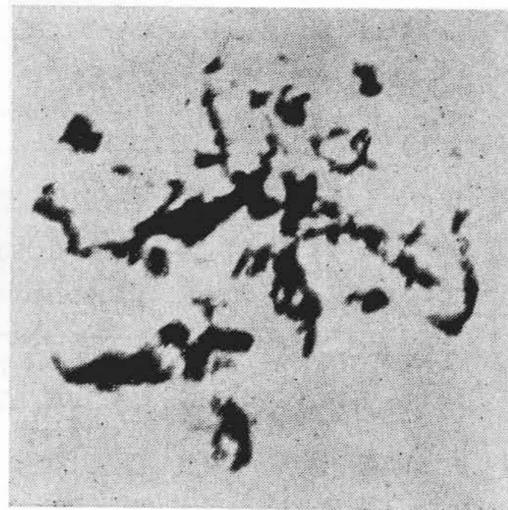
第 10 図 歯 面 の 粗 さ

Fig. 10. Surface Finish Generated by Serrated Hob and Conventional Hob



×440

第 11 図 セレーテッドホブによる削屑



×130

Fig. 11. Chips Produced by Serrated Hob

容易に製作することが可能である。又普通のウオームホブに比べ、その寿命は非常に長く、切削時間も短時間で十分である。従つて高級なウオームホイールを製作する場合には、本方式は極めて有効であるということが出来る。日立製作所においてはこの結論に基き、既にエレベータ用ウオーム歯車の工作に適用し、好結果を得ている。即ちウオームホイールのピッチ及び歯形が正確に仕上げられるために、ウオームとの歯当りが良好となり、従来

問題とされていた、ウオーム歯車による振動並びに音響の発生が著しく減少し、エレベータの乗心地を一層改善することが出来たのである。尚ウオーム歯車はウオームホイールの外ウオームの精密工作が問題になるわけで、これに就いても近く研究発表を行う予定である。最後に本研究に当り種々御指導を頂いた九州大学和栗博士、日立中央研究所明山博士に厚く御礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 和栗：機械学会論文集 6 IV-15 (昭 15-11)
- (2) 上野：機械学会第 28 期定期総会にて講演
- (3) F. G. Watts, R. D. Silversides：Machinery (E) 228 Feb. 1950
- (4) 和栗：未発表
- (5) 和栗：機械学会論文集 6 IV-22 (昭 19-11)
- (6) 並河、斎藤：機械学会論文集 10 IV-140 (昭 19-11)