

# ラック形工具による歯車の仕上転造法

—精度の向上（才3報）—

久野 精市郎

## Finish Roll Forming Gears by the Rack Die System

— Improvement of Tooth Accuracy (3rd Report) —

Seiichiro KUNO

In this paper, the accuracy of finished rolling teeth is examined experimentally. The gear blank hobbled previously (the module  $m = 1.5$ , the number of teeth 27, the pressure angle  $25^\circ$  and the stub teeth, whole depth 1.8m), is rolled on the constant rotating speed by the free driving rack die system.

Those racks are limited in length owing to the influence of accumulative pitch errors. Then, the rotating number required to the pinion accuracy, is to be carried out by the repeated rolls of several times.

On the gear rolling, it is the most defective point that the respective faces of involute teeth worked by the moment of generating motion are depressed at the pitch points. From the investigation of those finished rolling conditions, it is revealed that the accuracy of rolled teeth is controlled by the rolling times and directions, and that two-way rollings made up by the combination of a normal and a reverse roll are the most effective way in this system.

Then the collapses found near the pitch circle of the first rolled teeth are greatly decreased. And, the tooth profile error, pitch error and runout of the hobbled pinion are improved clearly.

### 1. まえがき

前報<sup>1)</sup>では素材歯車の転造代の量および歯底部の逃げミゾの深さについて言及し、一定の製品精度を得るための、主として精度上の素材歯部の条件について規定した。これは比較的短いラック工具による1回転造の結果であるが、これらが素材のころがり回数として十分なものであるか、なお検討を要すると思われる。

ピニオン形工具による転造では、ならし転造は連続的に容易にできる。ラック形工具による転造では、両側の装置を等速で互いに逆方向に連動させるために、別のラック・ピニオンを要する。この連動ラックおよび両側工具など、4本のラックのピッチ誤差の大きさおよびその累積の+、-の方向は一樣ではなく、これらは互いに累積され易い。それらの誤差は締め付け力となって転造力と共に素材歯面に不規則な力を及ぼし、それが素材の精度に影響する。したがって、ラックなどの装置の長さには自ずと制限がある。

この方式では、ラック工具などは装置全体の精度が十分保証できる程度の長さにとどめ、素材に必要な転がり回数は、何回か繰り返して転造する、という方式のなら

し転造が必要になってくる。ラック形方式では、このようにして素材に必要な総回転数を得ることが、全体としてはより効果的な方法と思われる。

ラック形によるならし転造の報告はされていない。ここでは、それぞれのならし転造による素材歯車の品質精度の推移から、その有効性を確かめ、一定の推奨すべき結果が得られたのでこれを報告する。

### 2. 条 件

素材の条件は従来<sup>2)</sup>とは全く同一とした。素材の転造後の歯車要目は、基準圧力角  $25^\circ$ 、モジュール 1.5、歯数 27、歯末の丈 0.8 m、歯元の丈 1.0 m の高圧力角・低歯歯車とした。

素材の形は一定とした。歯巾は 10 mm とし、歯の両側に 10 mm のボスの部分を設け、全体の巾を 30 mm とし、また内径は 20 mm とした。素材の個数は約 30 個とした。旋削後、素材歯面の前加工は専用のホブで行い、転造代の量は両側の歯面とも、歯先から歯元まで一様に約 0.13 mm とした。素材の歯底部には、転造後の全歯丈 1.8 mm に対して、前加工時にさらに深さ 4 mm の逃げミゾを設けた。素材の材質は S45C とし、これを調質してそのか

たさをH<sub>B</sub> 200～230とした。

転造方式は従来からのラック形による自由駆動とした。素材歯車に対するラック工具の前後の相対位置はブロックゲージで、左右の相対位相位置は基準のピニオン歯車で設定した。ラック工具は材質をSKD11とし、歯面研削後の表面硬度をH<sub>R</sub>C 55～58とした。工具のくい込み部および逃げ部を除いた有効部分の長さは、 $l_1=500$  mmおよび $l_2=400$  mmの2種とした。素材は $l_1$ では約4回、 $l_2$ では約3回転がることになる。これら工具の単一ピッチ誤差は約5  $\mu$ m、累積ピッチ誤差は約15  $\mu$ mである。

転造装置は、連動ラック・ピニオンのバックラッシのため、工具の逆方向移動による転造はできない。したがって、ならし転造は転造の度に素材を取り出し、装置をまた最初の位置へもどす、という方法によった。転造回数は1～6回（2～6回の転造はならし転造という）とした。また、素材の転がる方向が転造の度に同一の場合を正転造とし、転造の度に素材が逆向きに回転するようにした場合を逆転造、とした。

ラックの線方向の移動転造力は約2 tに設定し、線速度は約2.5 m/min、転造時間は約15秒とした。また、切削油としてガリヤオイルを使用した。

### 3. 実験結果および考察

転造前（前加工後）および1～6回の各転造の度に、歯車精度の主要項目のうち、単一ピッチ誤差、歯ミゾのフレ、歯形誤差などの項目について測定し、その変化を示した。

工具の長さ2種による影響では、転造回数が3～4回程度までは、製品精度への差はほとんど認められなかった。5～6回になると、両者はやま差を生ずるが、これは素材の転がる総回転数の差も現われ始めているものと思われる。しかし、両工具の場合とも、転造回数による製品精度の変化の傾向は非常によく類似しているため、こゝでは $l_1=500$  mmの工具による結果の値のみを示した。

#### 3・1 実験結果

単一ピッチ誤差では、図1に正ならし転造、図2に正逆ならし転造の値を、歯ミゾのフレでは、図3に正ならし転造、図4に正逆ならし転造の値を示した。これらは、それぞれ各歯車の誤差線図から得られた最終の値を、一つの点として与えた。

素材歯面のドリブン側、フォロー側の歯形誤差の値をそれぞれ図5、図6に、また、歯形の正しいインポリュトからの平均的な傾きの量をそれぞれ図7、図8に示した。これらの値は、偏心誤差の影響を除くため、一つの歯車について各90°方向の4個の歯面について測定し、そ

の平均値をそれぞれ一つの点として示した。図9には、歯形誤差線図の中から、その実際の形を一つの例として示した。また、各転造による加工量を知るため、歯全体のまたぎ歯厚を測定し、その平均値とばらつき巾とを、点と線の長さで図10に示した。

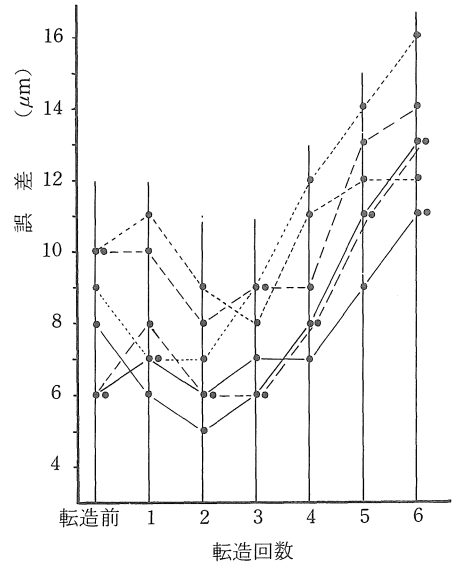


図1 単一ピッチ誤差（正転造）

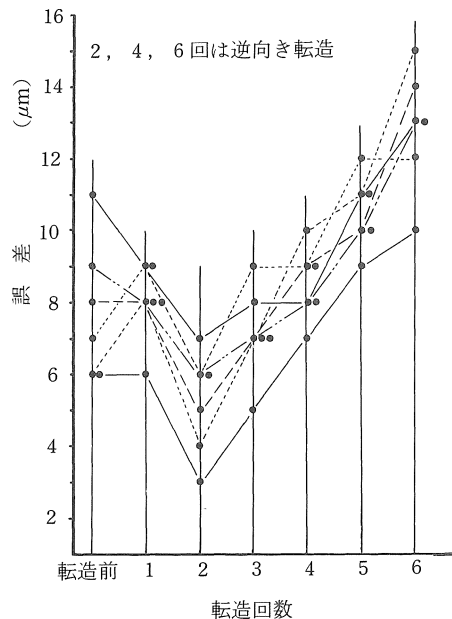


図2 単一ピッチ誤差（正・逆転造）

#### 3・2 単一ピッチ誤差

(1) 正転造 転造前の素材の誤差の平均値は約8  $\mu$ mである。1回目の転造では、ピッチの値の変化は、平均的にはほとんど認められない。2回目、3回目のならし転

造になると誤差の平均値はやゝ減少する傾向がみられ、6～7 $\mu\text{m}$ となる。しかし、4回目の転造以後では、平均値は9 $\mu\text{m}$ と再び増加し、5回目以後では10 $\mu\text{m}$ をこえ、以後次第に増加していく。

(2) 正逆転造 図2から明らかなように、こゝでは2回目の逆向き転造で顕著な減少が認められる。転造前および1回目の転造の際の平均誤差約8 $\mu\text{m}$ が、5 $\mu\text{m}$ となり、約3 $\mu\text{m}$ の改善が認められた。また、3回目では若干悪化はするが、まだ1回目の値よりは良い。しかし、4回目以後の転造では、誤差の値が次第に増加していく様子は、正転造の場合と同様になり、5回目で10 $\mu\text{m}$ をこえる。

(3) 図10の歯厚寸法の値からも明らかなように、1回目の転造で転造代のほとんどの部分が加工され、2回目以後の加工代は非常にわずかの量である。したがって、2回目以後のならし転造では、素材歯面はあまり転造力を受けず、また、良精度のラック工具のピッチに合わされるため、そのピッチ精度が改善されてくるものと思われる。とくに、逆向きならしの場合は、図8、図9からも明らかなように、1回目の転造による歯の傾きが大きく直される。したがって、ピッチ誤差の値は、正転造の2回目の値と比べて、なお少なくなるものと思われる。

(4) 単一ピッチ誤差に関しては、ならし転造を要する場合は、正転造では2～3回までにとどめるとよく、また、正逆転造では2または4回転造が好ましい。

### 3・3 歯ミゾのフレ

(1) 正転造 転造前の素材の歯ミゾのフレの平均値は約15 $\mu\text{m}$ である。1回目の転造では約17 $\mu\text{m}$ と若干悪化する傾向にある。しかし、2回目、3回目の転造では、1回目で悪化した部分がやゝ改善され、平均値はそれぞ

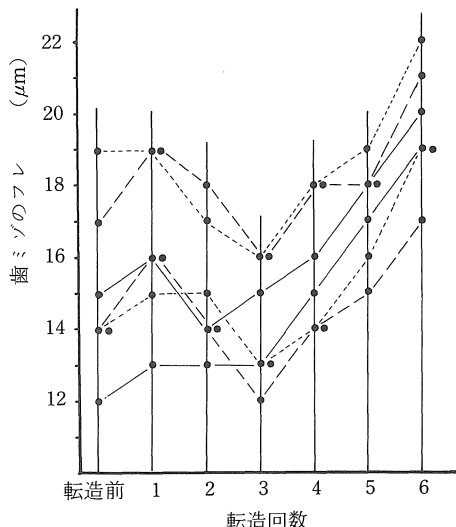


図3 歯ミゾのフレ (正転造)

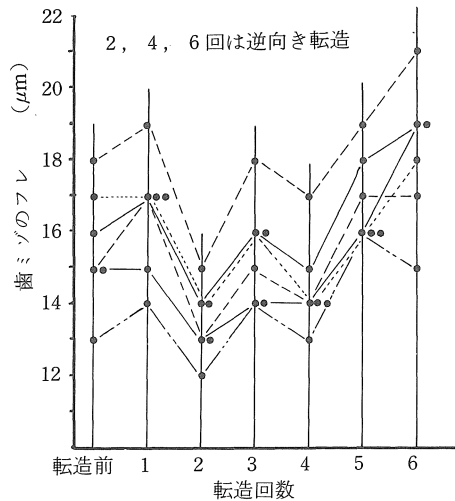


図4 歯ミゾのフレ (正・逆転造)

れ15 $\mu\text{m}$ 、14 $\mu\text{m}$ となっていく。4回目以後では、再び悪化の傾向になり、誤差の値は転造回数の増加と共に増大する。

(2) 正逆転造 図4から明らかなように、転造前および1回目の転造では、正転造と同様である。2回目および4回目の転造では、やゝ改善され、平均の誤差の値はそれぞれ14 $\mu\text{m}$ 、15 $\mu\text{m}$ となる。5回目以後になると誤差の値はより増大の傾向にある。

(3) 歯ミゾのフレでは、転造前の値がほとんどそのまま残る傾向があり、転造による改善はあまり期待できない。素材の転がり回数が増えると内径寸法の拡大を伴い、歯ミゾのフレも次第に悪化してくる。

(4) 歯ミゾのフレでも、これを良精度に保つためのならし転造は、単一ピッチ誤差で考慮した場合と全く同様に、正転造では2～3回までに、また、正逆転造では2回または4回転造が望ましい。しかし、いずれにしても転造前の前加工時の値を、より厳しくしておくことが必要である。

### 3・4 歯形誤差

#### 3・4・1 ドリブ側・正転造

(1) 転造前の歯形誤差の値は平均して約8 $\mu\text{m}$ である。1回目の転造により、歯は転造方向にやゝ傾き、ピッチ点付近に転造特有のくぼみを生ずる。1回目の転造で、転造代に相当する部分はほぼ加工されるので、素材の歯部は、そのための転造力を受けたことになり、これが圧力側の歯面の、ころがり接触をするピッチ点付近で、くぼみとなって現われてくるものと思われる。このため、2回目の転造では、歯の傾きはやゝ直り、くぼみも浅くなって、歯形誤差の値としてもやゝ少なくなる。

(2) 3回目以後では、歯の傾き量は、2回目の値とほぼ

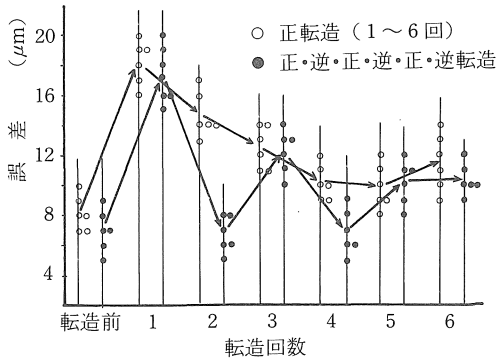


図5 歯形誤差 (ドリブ側)

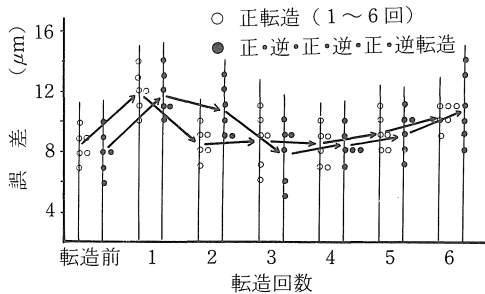


図6 歯形誤差 (フォロー側)

同じになる。3～4回目では、くぼみ量は2回目よりやゝ改善され、誤差の値も10 $\mu\text{m}$ 程度となる。5～6回目になると、歯底部の近くに、やゝ歯形の乱れを生ずるようになり、また、歯先部のだれも多くなる。これは、素材歯車が互にかみ合う場合の、カムアイ率が低下することになり、好ましくない。

#### 3・4・2 ドリブ側・正逆転造

(1) 1回目に転造する際の、ドリブ側の歯面を基準として、以後2～6回の転造の際にも、全てこの歯面を、ドリブ側の歯面として記録した。(この歯面は2, 4, 6回では逆向きであり、実際にはフォロー側の関係になっている。) この関係は、最初の転造の際のフォロー側の歯面についても同様である。

(2) 誤差の値およびその傾向は、1回目の転造では、正転造の場合と全く同様である。しかし、2回目の転造では、明らかな差となる。1回目でやゝ傾いた歯は、おこされて正規の値に近くなり、また、ピッチ点付近のくぼみも非常に小さくなる。

(3) 2または4回目の転造では、誤差の値も6～7 $\mu\text{m}$ 程度となる。これらの値は、転造前の値とほぼ同程度のものであり、歯形にとって条件の悪いとされる転造歯車の歯形誤差としては、最良のものである。

3回目の転造では、誤差の値はまた元へもどる傾向にあり、正転造での3回目の結果の値と類似してくる。5, 6回目になると、1～4回にみられた繰り返しの関係は、

18 はっきりしなくなり、歯底部の乱れや、歯先部の丸みなどを生じてくる。

#### 3・4・3 フォロ側・正転造

(1) 転造前の誤差の平均値は約9 $\mu\text{m}$ である。フォロー側では、転造によるピッチ点付近のくぼみはほとんど認められない。歯先の部分は、基準圧力角25°に対してやゝ立つ傾向にある。ドリブ側の歯面が力を受け、そのため、歯全体としてフォロー側にやゝ傾いてくるものと思われる。1回目の転造では、誤差の値は約12 $\mu\text{m}$ と、転造前に比べてやゝ悪化する程度である。

(2) 2～4回目の転造では、1回目の転造による歯の立ちすぎの傾向が、やゝ元へもどり、誤差の値も少なく、8 $\mu\text{m}$ 程度となる。1回目の転造力で受けた歯形の部分が、高精度のラック工具で直されてくる。転造回数が多く、5～6回目になると、歯元付近の歯面が乱れ、また、歯先部に丸みを生じ、全体として好ましくない歯形となる。

#### 3・4・4 フォロ側・正逆転造

(1) 1回目の転造では、正転造の場合と全く同様である。2回目では、1回目でやゝ立ちぎみの歯は、基準値25°に対して、やゝねかされる傾向にあり、わずかではあるがピッチ点付近のくぼみも生じてくる。誤差の値としては、1回目のときより、やゝ改善される傾向にある。

(2) 3回目の転造では、これがさらに改善され、正転造での3回目の誤差の値と比べてもよくなり、歯形誤差としては最も少なく、8 $\mu\text{m}$ 程度となる。

4回目以後の転造では、歯の傾きおよびピッチ点付近のくぼみなどについては、ほとんど変化は認められない。しかし、5～6回になると、歯形誤差の値は、平均値としては大差は生じないが、個々の歯面間では大きな差が生じてくる。

#### 3・4・5 ならし転造・歯形誤差

(1) ならし転造では、加工量が非常に少ないため、工具とのカムアイによって、悪化した部分が矯正され、素材の歯面精度が向上してくるものと思われる。

正転造では、歯形誤差を少なくする、という点では、2～4回の転造がよく、ドリブ側で10 $\mu\text{m}$ 前後、フォロー側で8 $\mu\text{m}$ のものが得られる。正逆転造では、ドリブ側は2または4回転造で8 $\mu\text{m}$ 前後、フォロー側では2回目で11 $\mu\text{m}$ 、3回または4回目で8 $\mu\text{m}$ 前後のものが得られる。

(2) 正転造では、転がる方向が一定のため、その方向への歯の傾き、およびピッチ点付近のくぼみはなお残らざるをえない。逆向きならしでは、この点が非常に有利であり、転造による歯面のすべりの方向も逆になるため、

ピッチ点付近のくぼみや、歯の傾きはほとんどなくなる。フォロー側でも、ヤム立ちぎみの歯は逆向きならしでは元えもどり、これによるピッチ点付近のくぼみもほとんど生じない。

歯形の上からは、逆向きの1回ならし転造(2回転造)が最も良いと思われる。

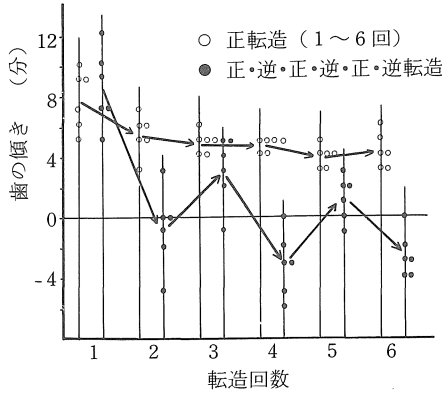


図7 歯の傾き(ドリブン側)

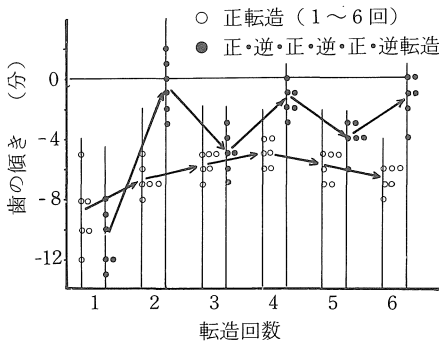


図8 歯の傾き(フォロー側)

3・5 歯の傾き

(1) 歯形誤差曲線の平均的な傾きから、歯が基準の25°に対して、ねている場合を(+), 立っている場合を(-)とし、分単位で図7, 8に示した。

ドリブン側の正転造では、1回目の転造で約7分の傾きとなるが、2回目以後では、5~4分でほぼ一定している。正逆転造では、2回目ではほぼ0となる。3回目以後では、転造の度に、平均値はわずかの(+), (-)の値をくり返していく。正逆転造では、平均的な歯の傾きは、正転造に比べて、いずれの場合も少ないが、転造回数を多くしてこれをくり返すことは、素材の耐久性の上からも好ましくないであろう。

(2) フォロー側では、正転造の場合はいずれも(-)で、4回まではこの絶対値は減少し-5分程度となる。5, 6回目になると、また(-)で増加を始め、次第に1回目の値に近くなっていく。正逆転造では、2, 4回目で傾きがほぼ0となり、好ましい値となる。また、傾

きの方向は転造の度に変化はするが、その値は正転造の場合よりいずれも小さい。

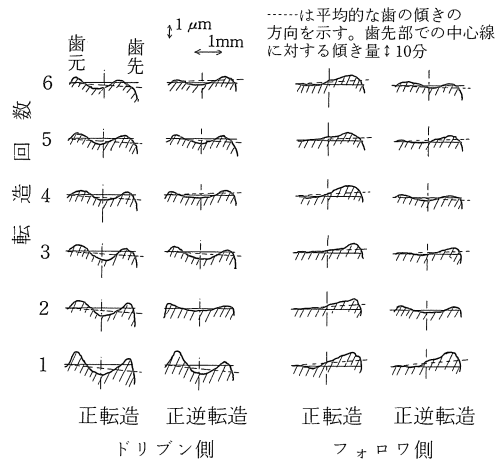


図9 歯形の変化(中央値の例)

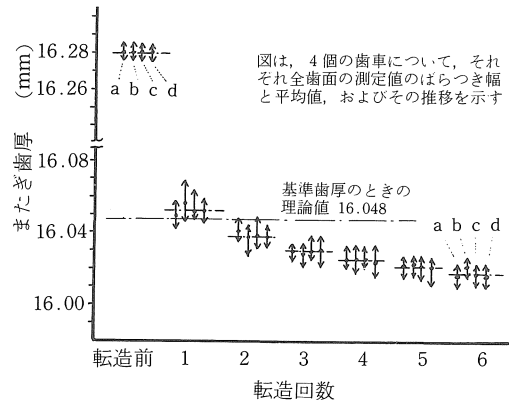


図10 歯厚の変化(正転造)

3・6 歯厚

(1) 正転造の場合について、4個の歯車の歯厚の推移を図10に示した。正逆転造では、正転造の場合より、歯面の加工量は若干多くはなるが、この傾向は正転造とよく類似しており、大差はない。

(2) 1回目の転造で、歯面の転造代に相当する部分がほとんどなくなり、基準の歯厚に近くなっている。2~6回目のならし転造でも、わずかではあるが加工され、歯厚は次第に減少していく。1回目の転造後の歯厚は16.052 mmとなり、その後のならし転造による減少量は、それぞれ14, 8, 4, 4 μmとなった。

素材は1回の転造で約4回転がる。3回転造までは、素材の総転がり回数をNとすれば、素材が1回ころがる度の歯厚の減少量Δfは、 $\Delta f \approx 20/N \mu\text{m/rpm}$  (N = 4~12)となり、それ以上の回転数では $\Delta f_1 \approx 1 \mu\text{m/rpm}$ となる。

(3) ならし転造を数回行う場合には、最初の工具設定時に、素材に対してこの歯厚の減少分を見込んでおくとよいであろう。それにより、最初の転造による歯面の加工量はさらに減少し、このための転造力の減少等による製品誤差の値も、より少なくなるものと思われる。

#### 4. 結 論

(1) ラック形方式では、ならし転造は有効である。それにより、最初の転造で受けた歯の傾き、ピッチ点付近のくぼみ、ピッチ誤差などが改善される。

(2) ならし転造は多すぎてもよくなく、5、6回の転造になると各精度とも悪化してくる。

(3) 正転造では2～3回（転がり回数8～12程度）が

よい。ピッチ誤差、偏心誤差は前加工時よりやゝ改善され、歯形誤差も前加時とほぼ同じ値となる。

(4) 正・逆の2回転造が最も有効である。ピッチ、偏心はもとより、歯形の精度も正ならし転造の場合より一段と向上する。

(5) ならし転造での、素材1回転当りの歯厚の減少量は、転がり回数  $N = 4 \sim 12$  の範囲では  $\Delta f \approx 20/N \mu\text{m}/\text{rpm}$  となる。

#### 参考文献

(1) 久野精市郎：ラック形工具による歯車の仕上転造法、精度の向上（第2報）、愛知工業大学研究報告 No.14 (1979) 37

（受理 昭和55年1月16日）