Journal of the Faculty of Engineering, Shinshu University, No. 67, 1990 13
信州大学工学部紀要 第67号

歯車の歯形とピッチの連続測定

市川 誠*・宮坂忠昭**

（平成元年10月31日 受理）

A Continuous Measurement of Gear Tooth Profile and Pitch

Makoto ICHIKAWA* and Tadaaki MIYASAKA**

A practical method of measurement which would be capable of exact, substantial evaluation of the total accuracy of a gear, was pursued on the basis of the principle that the total accuracy of a gear depends on the extent to which teeth of accurate profile are arranged at equal intervals on a pitch cylinder with its center line coinciding with the gear axis. With this end in view, a new method of measurement has been developed which is capable of continuous, synthetic determination of the tooth profile accuracy and pitch accuracy of each tooth.

1. はじめに

最近における歯車の多様化・高精度化と需要の増大に伴なう，製造技術面における進展に比較し，測定分野においては，依然として従来の方法・測定器への依存から脱却できずにおり，歯車生産の現状に十分対応するために，より高精度で迅速な測定技術の開発が待望されている．

歯車は多くの形状要素を含んでおり，これら各要素の寸法および精度は互いに関連し合っている．歯車の精密測定においては，これら各要素について，それぞれの専用測定器によって測定することができ，これら各要素単独の誤差測定は工作上の欠陥点がわかるなどそれなりに意義を有しているが，実用的には，かみあい試験によって総合的な精度を求める．

しかし，かみあい試験結果に現われる情報は，その誤差に起因する工作上の欠陥が必ずしも明確にならないという問題などを抱えている．そこで，かみあい試験によらず，かみあい精度に与える影響が特に大きいとされている歯形とピッチ，特にピッチを重点的に測定して，総合的精度に近いものを知ろうとする実用的な試みが多くなされている．

さて，歯車の総合精度とは，その回転軸を中心とするいわゆるピッチ円筒上に，正しい歯形からなる歯が正しく一定の等間隔に配置されているかどうかである．したがって，従来の測定方法のように歯形とピッチ（それは全部の歯についてであっても）を別々に測定するのではなく，全部の歯について歯形精度とピッチ精度が，相互の関連において連続的

* 生産システム工学科 教授
** 長野工業高等専門学校 教授

にわかれば，ほぼその歯車の実質的精度を知ることができ，かつ歯車工作との因果関係も十分に推定することができるはずである．

筆者の一人は歯車精度を測定するいくつかの試み[1]を進めているが，特にホブ盤形式の歯車測定器を製作して，歯車の各要素の単独測定[2~4]を始め，総合的精度としての伝達精度の測定[5]を提案した．ここでは，伝達精度測定の記録方法に工夫を加え，二，三の装置を付加することによって，先ず，被測歯車の全部の歯について歯面上数点における歯形誤差を各歯ごとに取り出し記録することを試みる[6]．この場合，測定器の構造から各歯形誤差はピッチ誤差との相互関係も含めた形で連続的に記録されるので，この結果は，上に述べた歯車の総合精度をその定義に従ってよく説明できる．

更に，記録方法をピッチ測定主眼に換えると，歯面上いくつかの対応点ごとのピッチ誤差を示す記録がえられる[7]．これは従来のピッチ円筒付近に限られているピッチ測定結果に比較し，かみあい精度に対する有意な情報を提供するものとなる．

2. 測定の原理と測定装置

この測定法は，はじめに述べたように，歯車の伝達精度の自動記録式測定法を基礎として，その原理を展開し，測定器部に二，三の装置を付加したものである．したがって，以下の文中に上記論文の一部と重複するところもあるが，これらを削除すると本論文全体の流れが理解されにくくなるので，その部分についてはなるべく簡潔に述べながら説明を進める．

2.1 歯面位置検出

インボリュート歯面は，その歯車の回転に伴なって基礎円筒接平面内において，歯元

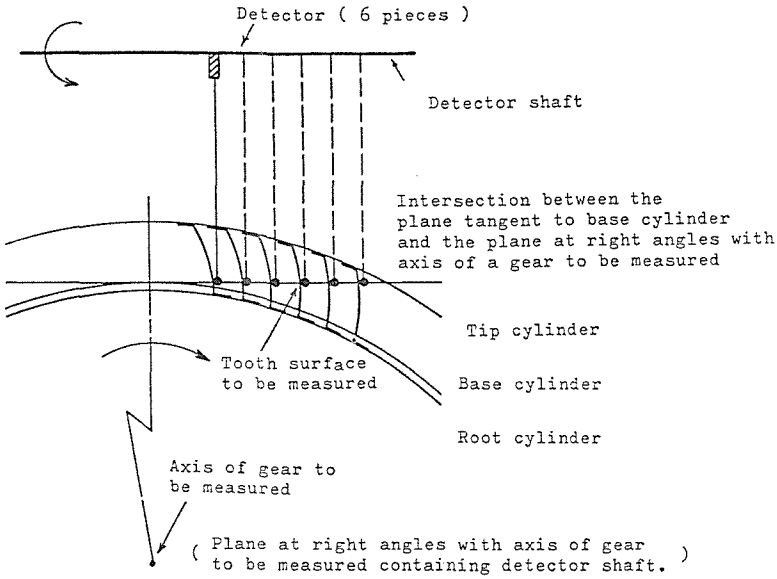


Fig. 1 Fundamentals of the measurement.

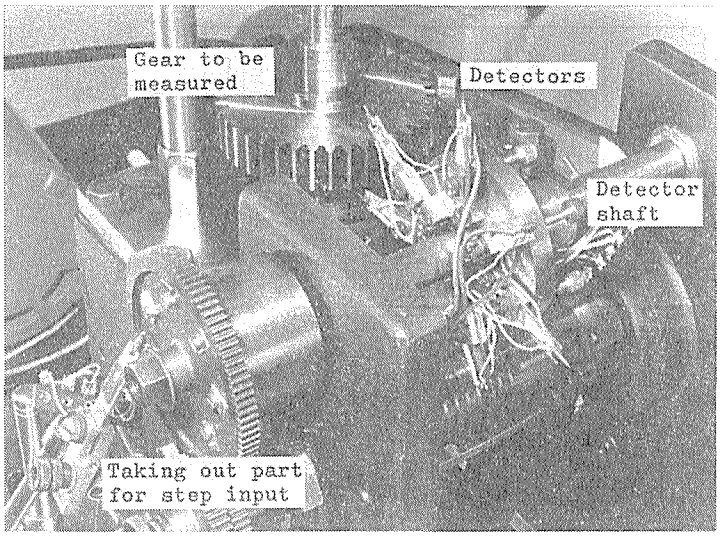


Fig. 2　Partial appearance of the apparatus.

（末）部から歯末（元）部にかけて等速度で移動し，その移動量は歯車の回転角に比例する（Fig. 1参照）．したがって，この測定器の主要部を示す Fig. 2 に見られるように，検出子取りつけ軸（以下検出子軸という）と被測歯車軸を直角に配置し，数個の検出子（以下6検出子という）はその接触子端が被測歯車の基礎円筒接平面に達する長さとし，かつそれらの相互角度と検出子軸方向間隔が検出子軸の回転角と，それによる被測歯面の基礎円筒接平面上の理論的移動量と一致するように，すなわち，歯車のホブ盤における歯車素材の代りに置いた被測歯車に対して，正しいホブの切れ刃に相当するように螺旋状に配置する．この配置および運転の精度は実用上十分にえられる[8]．

次に，被測歯車が1歯分回転する間に，検出子軸が1回転するように，被測歯車軸と検出子軸の回転比を一定に設定する．

かくして測定器を運転し，被測歯面に接触する各接触子の変位量が被測歯車の基礎円筒接平面において，同一軸直角断面内で得られるようにすれば，その変位量によって，歯面上のその測定点における正しい位置との偏差を取り出すことができる．これらの値が後に述べるように，相互の関連において，どのように整理されるかによって，歯形誤差を，あるいはピッチ誤差を主眼とする記録となる．

2.2 検　出　部

検出子は Fig. 3 に示すように，薄い短冊状ばね板の先端に，その長手方向に直角に切断した半球状接触子を有する形で，接触子のばね板に直角方向の変位をその両側面に貼った抵抗線ひずみゲージの抵抗変化として取り出す構造となっており，増幅器と記録器などと微小変位自動記録器を構成する．特に，検出部は独立した6箇の検出子からなるので，抵抗線ひずみゲージは計12枚使用することとなり Fig. 4 のようなブリッジ回路に組み込まれる．この場合，各検出子の検出倍率などはいずれも等しくなるように機械的および電

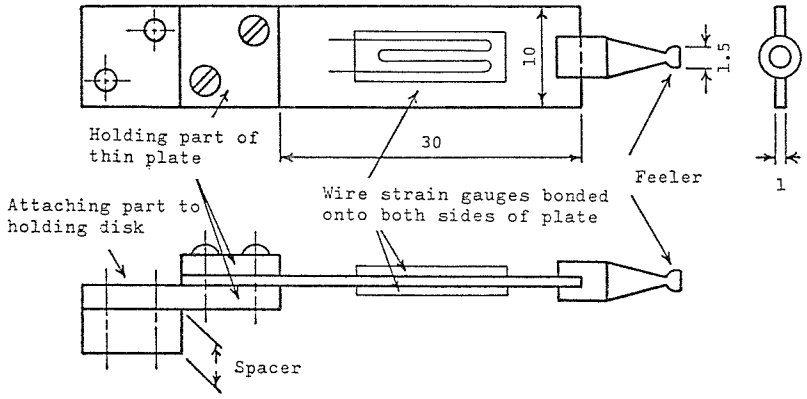


Fig. 3 Constitution of the detector.

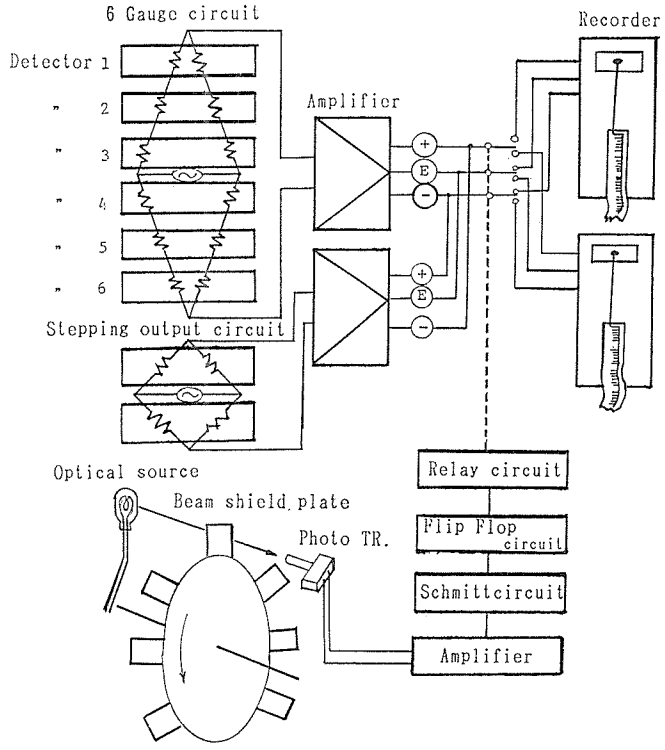


Fig. 4 Circuit for the profile measurement.

気的に調整されていなければならない.

また，歯形は歯車軸の直角断面内で測定しなければならないので，2.1 で述べたように各検出子の変位記録を被測歯車の一定の同一軸直角断面内でうるために，検出子がこの位

置（この場合は検出子が水平になる位置を設定）に達した瞬間を捉えて，進行中の変位記録方向と逆の急激なステップ入力を与え，その変位記録を残し，以後の記録は打消すようにする．

そのために，Fig. 2 の左下方に見られるような上記の検出子とほぼ同じ構造の出力棒を1箇設け，これが検出子軸端に取りつけた円板上の突起片と接触する瞬間に上記のステップ出力がえられるようにする．したがって，この突起片は各検出子が回転して水平位置に達する瞬間に出力棒と作用するように6箇所で精度よく配置されていなければならない．この部分の回路についても Fig. 4 の一部に示す．

さて，限られた検出子数で歯面上の歯元（末）部から歯末（元）部にかけて広範囲に測定するためには，この測定器の構造上，検出子をその取り付け軸方向にできるだけ長く配置する必要があり，そのため Fig. 5 のように，一つの歯面の歯元から歯末にかけて6箇の検出子が，検出子軸のほぼ2回転近くにわたって順次接触するようにする．ゆえに，検出子軸の1回転中に，同時に2つの歯面上の点について交互に測定が進められる．

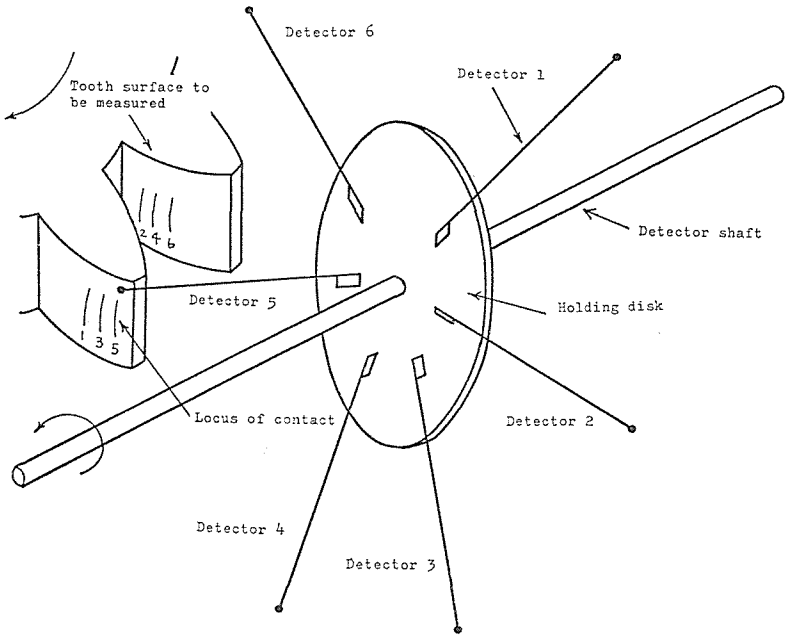


Fig. 5　Position of contact on the tooth surface of each detector.

2.3 記　　録

これまで述べて来た測定装置によって，その精密な整備と調整に基づいて測定を行なうと，Fig. 6 (a) のような記録がえられる．これについては先に，同図 (b) のように同一歯面に属する棒グラフの頂点を結ぶことを繰返して歯形誤差とピッチ誤差，および新たに定義した伝達誤差を示し，かみあいに主眼をおく総合精度の観点から，かみあい試験によってえられる記録と比較検討し，その優位点について述べた[9]．しかし，この記録のままでは，

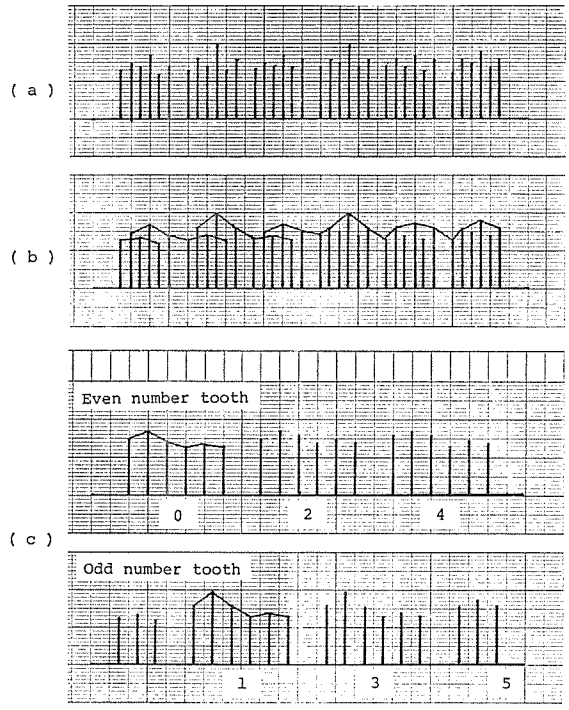


Fig. 6 Explanation of the record.

歯形については各歯面ごとに記録がまとまっていないのでわかりにくく，ピッチについても歯面の対応点の記録値を見出すことが容易でなく，総合精度の性状を一見して認識できるというわけにはいかない．

そこで，同図 (a) の記録を各歯面ごとにまとめて歯形誤差を，各測定点（検出子）ごとにまとめてそれらの点に対応するピッチ誤差を，それぞれ容易に知りうるように記録することとする．

2.3.1 歯形誤差の記録

各歯面ごとに歯形誤差を記録するには，上に述べたように Fig. 6 (a) の二つの歯面ごとに入りまじり連続している記録を各歯ごとに分離できればよい．

そのため，Fig. 4 に示すように，フォトトランジスタを利用するパルス発生装置と，そのパルス増幅回路およびシュミット回路，さらにフリップフロップ回路とリレーを含むスイッチング回路を組み込み，2 台の記録器を作動させる装置を製作した．パルス発生源は機光電作用の採用で，光源，遮光板および光電素子からなり，遮光板は 6 枚で，検出子軸と一体となって回転するようにその軸端に取りつけられる（Fig. 7 参照）．

測定器の運転に伴なって，各検出子は交互に二つの歯面に接触を繰返していくが，その各接触の中間で光源からフォトトランジスタへの光を遮光板で遮断することによって，パルスを発生させ，それによって二つの記録器を交互に選択して歯面からの情報を入力する．

Fig. 6 (a) と (c) はこのようにしてえられる記録の説明であり，2台の記録器を使用するので2枚の記録紙に，例えば，偶数番歯の歯形誤差は上の記録紙に，奇数番歯のそれは下の記録紙に記録することができる．

2.3.2 ピッチ誤差の記録

Fig. 6 (c) の記録はピッチについては，歯面上6対応点のピッチ誤差を各歯面ごとにまとめたものとなっているが，このままではピッチ誤差の態様を全歯的にも，各測定点ごとにも知ることは容易でない．そこで，ピッチ誤差の記録を各測定点（各検出子）ごとに全歯についてまとめる．これは歯形誤差の記録方法に準じた装置などでよいはずであるが，ここでは一歩進めて，測定装置の簡略化と測定精度の向上を試みた．すなわち，被測歯車の一定軸直角断面内で偏差を取り出すための装置を取り外し，その作用と，この場合は6台となる記録器の選択作用の両初動作を遮光板による機光電検出にゆだねることとした．

ピッチ測定においては，各検出子が必ずしも被測歯車の一定軸直角断面内で偏差を取り出す必要はないが，上に述べたように一つの試みとしてとり上げたものである．そして，光源を含む遮光板関係の配備精度に細心の注意を払った結果，この方法による記録値は，先の伝達精度の測定および歯形測定の記録値とほとんど差異ないことが確認された．

Fig. 7 に機光電検出動作部を Fig. 8 に装置全体の回路を示す．発光ダイオードからフォトトランジスタへの光が遮光板で遮えぎられる瞬間にえられるパルスは二つに分けられ一つは検出子が一定位置に達した瞬間に出されるステップ状入力として回路に入り，フォトカプラを介して記録器の前の FET スイッチに導かれる．他の一つは，各検出子に対応して働くリングカウンタに導かれ，各記録器の前の FET スイッチ群により各検出子に対応して順次に記録器を作動させる．かくして，6検出子による6測定点のピッチ誤差が対応する測定点ごとに1枚，合計6枚の記録紙に記録される．

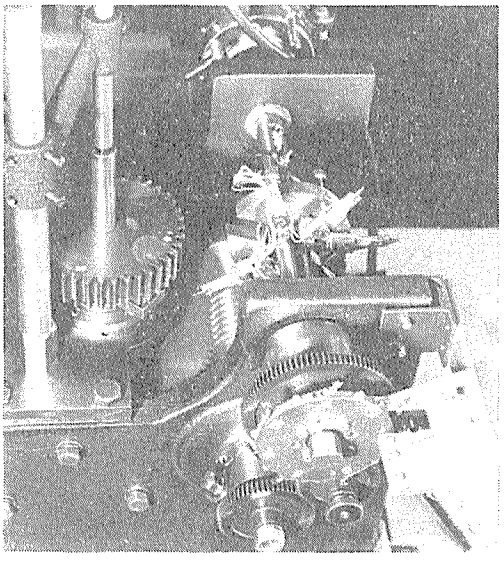


Fig. 7 Partial appearance (pitch measurement).

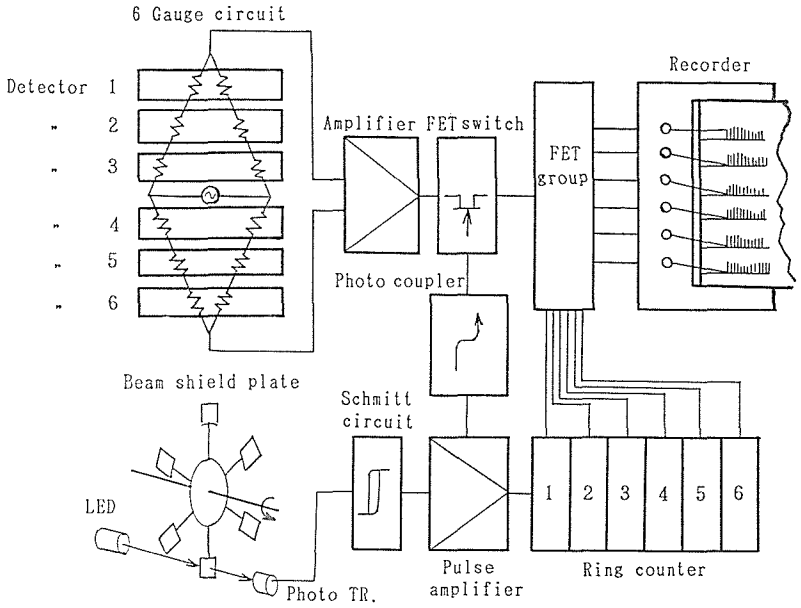
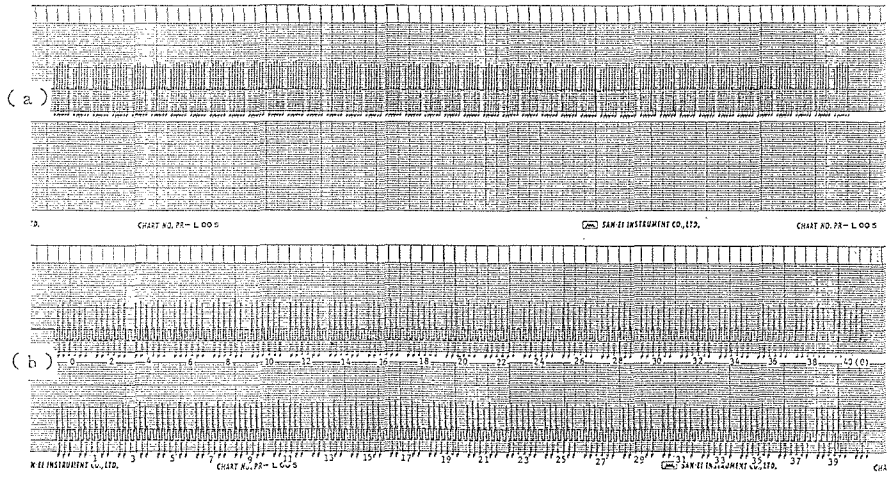


Fig. 8 Circuit for the pitch measurement.

3. 記 録 例

3.1 全歯の歯形誤差

Fig. 9 (a) は，先の伝達誤差を求める方法による記録例で，同図 (b) が今度えられた歯車の全歯について歯形誤差を各歯ごとに連続的に記録したものである．この被測歯車は研



Measured gear (m:2.5 z:40, ground. 2μm/div.)

Fig. 9 A recorded result of profile (ground).

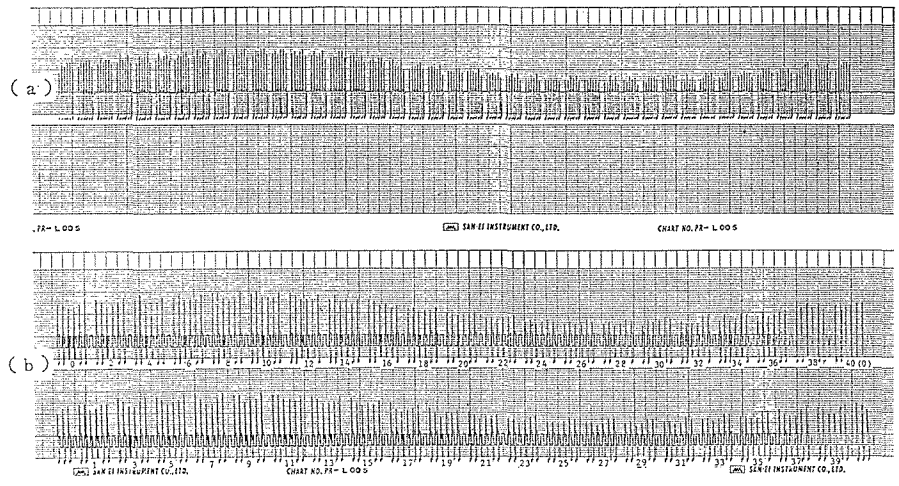
削仕上げされた未使用のもので，モジュールは2.5，歯数は0番から39番まで40歯であるが，偶数歯については上段の記録紙に，奇数歯については下段の記録紙に交互に記録されている．

この記録値を同図 (a)と(b) において，各検出子について比較してみるとよく一致しており，このように，新たに二つの記録器に分配記録するために装置と回路などの影響はほとんど認められず，この方法は精度的に問題ないことを示している．

この記録によると，平均約 6μm の歯形誤差が認められる．全部の歯にわたるうねりは偶数番歯，奇数番歯の両方に同じように現われているが，これは歯車全体として一つのうねりとなるもので，その値は各歯面ごとにはその累積ピッチ誤差を，全体としてはピッチの総体的な意味の最大累積ピッチ誤差を表わす．その値は約 8μm と認められる．

この記録の特長は，全部の歯について歯形誤差のみでなくピッチ誤差もわかることで，これによって歯車総合精度に近いものを容易に認識できる．

Fig. 10 は上と同じ大きさで，切削後，実際に相当激しく使用された歯車の記録測定例であって，歯形誤差は平均約 16μm，最大累積ピッチ誤差約 60μmが認められる．



Measured gear (m;2.5, z;40, as cut, 4μm/div.)

Fig. 10　A recorded result of profile (as cut).

3.2　歯面上数点のピッチ誤差

Fig. 11 および Fig. 12 はそれぞれの歯車について，各検出子ごとの歯面上対応点における全部の歯にわたっての累積ピッチ誤差の記録例を並べて示したものである．これらの被測歯車はいずれも歯形誤差の記録測定に供されたものであって，Fig. 9 (b)と Fig. 11, Fig. 10 (b)と Fig. 12 は同じ歯車についての記録であるが，アーバの取り付けなどの影響で必ずしも同じ記録値を示していない．Fig. 11 において各測定点について平均約10μm,

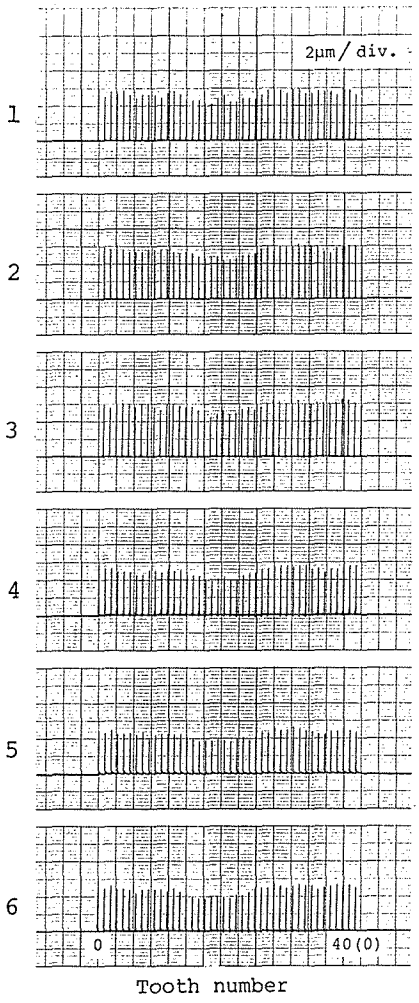


Fig. 11 A recorded result of pitch (ground).

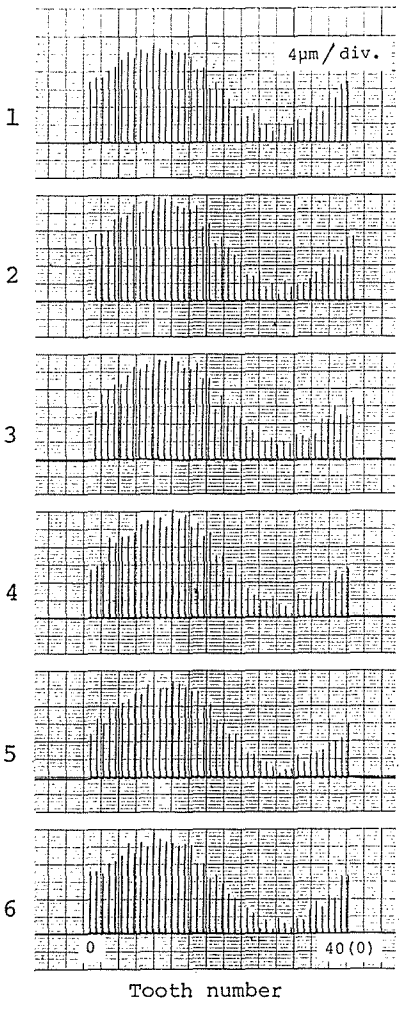


Fig. 12 A recorded result of pitch (as cut).

Fig. 12 において平均約 70μm の累積ピッチ誤差が認められ，これらは歯形誤差記録上に全部の歯にわたってうねりとして見られた数値に近似的な値となっている．この場合にも各検出子が被測歯面上の点で偏差を取り出し，それを各検出子ごとの記録器に分配記録する過程に，精度的にほとんど問題のないことを示している．

さて，これらの記録の中から，Fig. 11 の研削末使用歯車について任意に検出子番号No. 2 と No. 3 を，また切削使用歯車についても任意に検出子番号 No. 5 とNo. 6 について，それぞれ基準とする最初の歯面からの各歯面の累積ピッチ誤差を比較すると Fig. 13 のようになり，同一歯面上においてもピッチ誤差は相当の差を生ずることを示している．それらの値は，前者において最大約 5μm，後者において最大約 50μm となる．

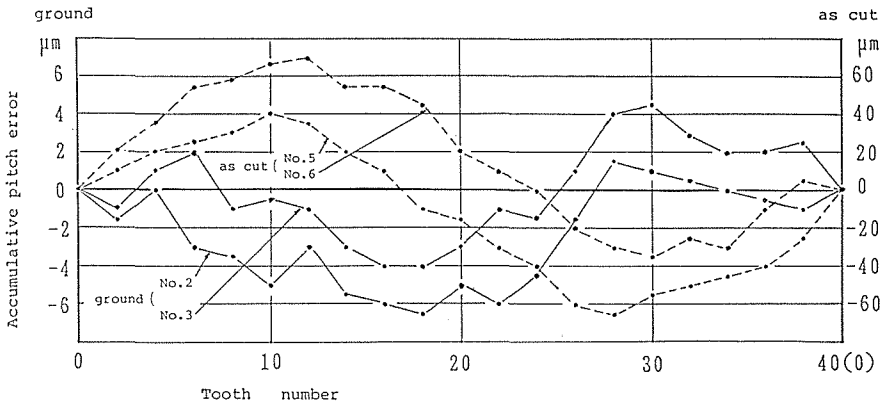


Fig. 13 Comparison of pitch errors at two points on a tooth surface.

これらの結果は，一般にピッチ円筒近傍で行なわれているピッチ測定法に対して，実際のかみあいを考慮すれば，歯元部から歯末部にかけて広い範囲で行う必要を示唆している．

4. むすび

被測歯車の歯面上数点において，全部の歯の歯形誤差を一歯分ずつ，また，歯面上の対応点ごとの累積ピッチ誤差を，それぞれ順次にかつ連続的に記録測定する方法について述べた．

これらの記録結果は，いずれも，一見してその誤差の性状を認識できるようにしたいという本研究の目的を満たすものである．特に歯形誤差の記録は，結果的に，先に述べた歯車の総合精度の定義通りに表われており，このことは総合精度の新しい測定法として，あるいは新しい評価の方法として十分検討に価すると思われる．

参考文献

1) 例えば，市川　誠，久保忠延ほか：小モジュール多数歯歯車の自動ピッチ測定器の試作；精密工学会誌，55，(9)，127-132，(1989)．
2) 市川　誠：平歯車ピッチと歯形および両歯面ピッチの自動記録式同時測定；精密機械，35，(12)，36-41，(1969)．
3) 市川　誠：平歯車の歯みぞふれおよび歯みぞピッチの自動記録式測定；精密機械，38，(4)，57-62，(1972)．
4) Makoto ICHIKAWA：Measurement of Spur Gear Elements Accuracy by Automatic Recording; Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering, 7, (1), 8-13, (1972).
5) 市川　誠：歯車の伝達精度の自動記録式測定；精密機械，43，(5)，63-68，(1977)，あるいは Makoto ICHIKAWA：A Method for Measuring Transmission Accuracy of Gear by Automatic Recording；Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering, 13, (1), 33-38, (1979).
6) 市川　誠，宮坂忠昭：平歯車の全歯の歯形の自動記録式測定；日本機械学会・精機学会長野地方講演論文集，221-224，(1974)．

7) 市川　誠，宮坂忠昭ほか：歯面上数点におけるピッチの同時測定；精機学会秋季大会学術講演会前刷，545-546，(1976).
8) 上掲　5) p.66（和文），あるいは pp.36-37（英文).
9) 上掲　5) pp.67-68（和文），あるいは p.38（英文).