

円周溝を有する部品の自動寸法検査装置開発

Development of Automated Dimensional Inspection Device for Groove Diameter Machined on Circumference

●川 島 剛*
Takeshi KAWASHIMA



円周溝径自動寸法検査装置
Automated dimensional inspection device for groove diameter
machined on circumference

精密な減速機を生産するには、高度な加工技術に加え、高精度な検査技術も重要である。一部の特殊形状の寸法検査においては、熟練技能者による属人的な測定が実施されており、今後の労働力不足に対応するには熟練者に依存する製造からの脱却が求められる。そこで当社では、熟練技能者に依存する寸法検査の一つである、円周上に加工された溝径の寸法検査装置の自動化開発に取り組んだ。まず熟練者の技能を自動測定に取り入れるべく、現行の手動測定方法を調査し、測定位置の調整に高い技能を要することが分かった。そして、その調整を自動化するために、新たな位置決め機構を開発した。本機構を自動測定機構として採用することにより、高精度な測定を実現することができた。量産ラインに適用できるよう、開発した自動測定機構を盛り込み、使いやすさにも考慮した円周溝径の自動寸法検査装置を開発した。本装置は今後量産ラインに適用される予定である。

To manufacture high precision gearboxes, not only high-precision processing technology, but also high accuracy inspection technology is important. Dimensional inspection of some special shapes has been performed by skilled workers on a personal basis, and in order to deal with future labor shortages, it is necessary to break away from manufacturing that depends on skilled workers. Therefore, we worked on the development of an automated dimensional inspection device for the groove diameter machined on the circumference, which is one of the dimensional inspections that has relied on skilled workers. First of all, in order to incorporate the skills of workers into automatic measurement, we investigated the current manual measurement method and found that high skill is required to adjust the measurement position. In order to automate the adjustment, we developed a new positioning mechanism. By adopting this mechanism, we were able to achieve highly accurate measurement. In order to apply it to the mass production line, the automatic inspection system equipped with the developed mechanism was designed and manufactured with ease of use. This system will be used in the mass production line.

1 まえがき

精密な減速機を生産するには、高精度な加工技術が求められ、また、それを管理する高精度な検査技術も同様に必要と

なる。特殊な形状を対象とした寸法検査においては、その一部で熟練者による属人的な測定手法が用いられている。特殊形状を検査する場合、汎用的な測定では対応しきれず、CMM（三次元測定機）を用いればその寸法を計測することはでき

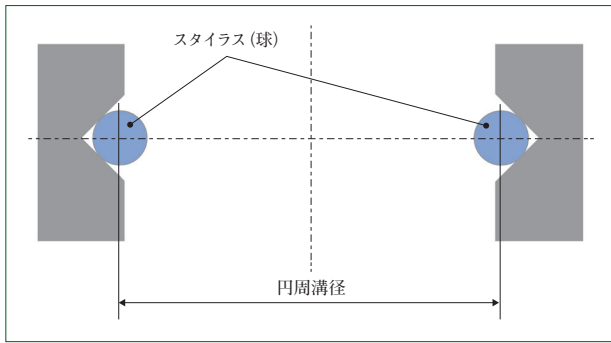


図1 円周溝径測定の概略図
Schematic diagram of measuring groove diameter machined on circumference

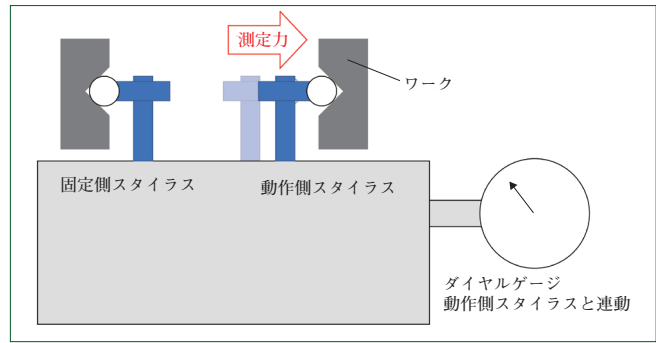


図2 手動測定装置の概略図
Schematic diagram of manual measuring device

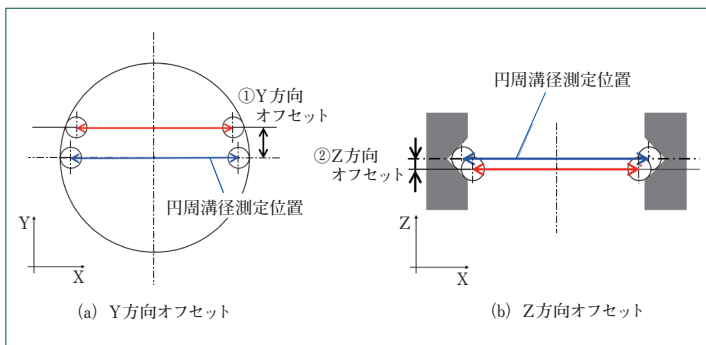


図3 測定誤差要因
Measurement error factors

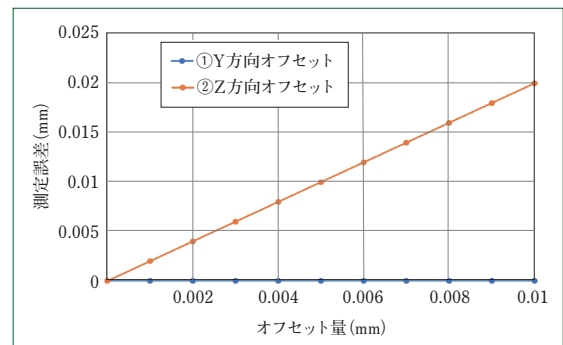


図4 オフセット量と測定誤差の関係
Relationship between offsets and measurement error

るが、測定時間や導入コストの点で見合わないことから従来の属人的手法に依存している状態である。

現在、日本では少子高齢化の進行により、生産年齢人口(15～64歳)は1995年の8716万人をピークとして、2050年には5275万人(2021年から29.2%減)にまで減少すると見込まれており、労働力不足の深刻化が懸念されている⁽¹⁾。このような背景から、当社においても熟練技能の継承および生産性向上への取組みを早急に進めていくことが必要であり、熟練技能に依存する寸法検査の一つである、円周上に加工された溝径(円周溝径)の自動寸法検査装置開発に取り組んだ。

事前に、円周溝径測定に必要な熟練技能を明らかにすることを目的として、測定作業に不慣れな作業者を対象に実ワークを用いて測定実験を行った。同一ワークを複数回測定し、繰返しの測定精度を確認したところ、要求される精度での測定はできなかった。このことから、熟練技能は「繰返し精度良く測定する技能」と想定され、それに必要なコツを経験的に習得したものと考えられる。そのコツを自動測定に取り入れるべく、まずは手動の測定方法を調査することによりコツの正体を明らかにし、自動測定への適用方法を検討した。

2 手動測定の調査と熟練技能について

まず、現行の手動測定装置およびその装置を用いた測定方法を調査し、繰返し精度良く測定するコツを明らかにした。

2.1 技能者による手動測定概要

図1に、円周溝径の測定イメージを示す。球状のスタイラスを円周溝の中心へ落とし込み、その直径を測定する。測定対象の円周溝径はミクロン単位の管理が求められる。

図2に、現行の手動測定装置の概要を示す。測定装置のスタイラスは、片側は固定され、もう一方は動作可能で計測方向に一定の力(測定力)がかかるようになっている。計測値を見ながら、適切なポジションになるようワークを手で調整・計測し、すでに寸法が分かっている基準ゲージとの比較測定で円周溝径を測定する。

なお比較測定とは、基準ゲージと対象物との差から寸法を割り出す測定方法であり、測定誤差を減らすことができる。たとえば、測定力による弾性変形やスタンドのたわみは、基準ゲージ測定時と測定対象ワーク測定時で同様に生じることから、それぞれ打ち消し合った⁽²⁾状態で測定できる。

2.2 繰返し精度良く測定するのに必要な熟練技能

手動測定による計測値のばらつきの主な原因は、繰返し同じ位置で計測できていないことと推測される。計測ばらつきに起因するものは次の2点である。

- ① Y方向のズレ(最大径を測定できない)(図3(a))
- ② Z方向のズレ(溝中心にスタイラスを落とし込めない)(図3(b))

それぞれの計測値への影響を確認すべく、相応の条件を設定し、算出する。2つのスタイラスの中心間距離を円周溝径とし、その直径を100mm、溝形状を角度 $\pi/2$ rad(90°)のV形状とする。①、②の円周溝径測定位置からオフセットさせ、測定誤差を算出する。なお、①をオフセットさせるとき②はオフセットなし、②をオフセットさせるときも同様に①はオフセットなしとする。

図4に、オフセット量を0～0.01mmまで変化させたときの測定誤差を示す。本算出条件において、①は無視できるほ

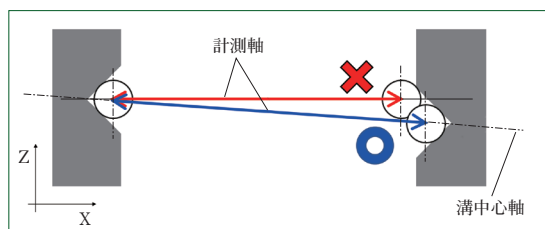


図5 傾き調整の必要性
Necessity of adjusting tilt

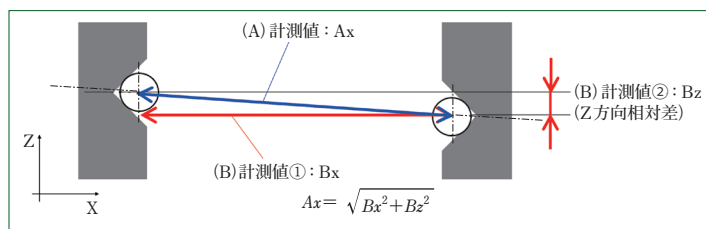


図6 計測軸と溝中心軸の調整方法
Adjusting methods of measurement axis and center axis of groove

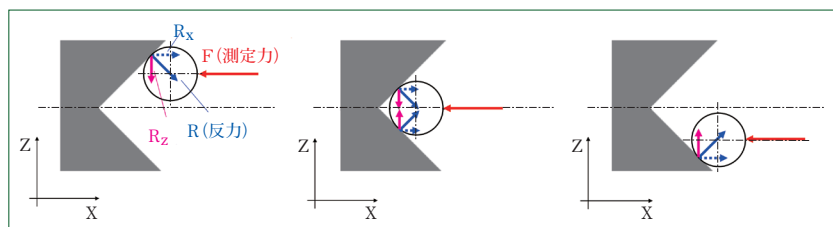


図7 測定力と反力の関係
Relationship between measuring force and reaction force

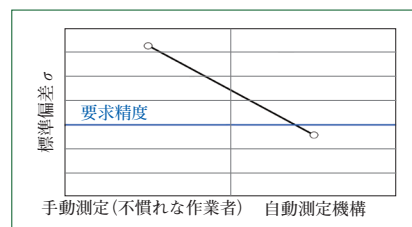


図8 自動測定機構の検証試験結果
Evaluation result of automated measuring mechanism

ど小さいエラーであることから、Y方向オフセット(位置)がばらつきても、計測値のばらつきは小さいことが分かる。一方、②に関してはZ方向オフセット量に対して、円周溝径の測定誤差は2倍の感度で出力される。出力度合いは溝形状によるが、Z方向オフセット(位置)のばらつきが、計測値のばらつきとして少なからず影響することが分かる。

これより、熟練技能者が体得したコツとは、Z方向のズレを、ミクロンを超えるレベルで調整しながら測定するスキルと推測でき、この調整が円周溝径の適切な測定に必要な技術と断定した。

3 熟練技能の自動化

熟練技であるZ方向のズレ調整を自動測定に取り込むべく、測定手法を検討する。

大まかな装置仕様を次のように決め、これらをベースに検討を進める。

- ・ワーク交換の作業性を考慮し、ワークは固定とする(手動測定のようにワークを動かせる状態にしない)
- ・ワークの複数断面を測定できるよう、ワーク側に回転ステージを設ける
- ・現行の手動測定装置との互換性を考慮し、接触式変位センサを使用する

3.1 Z方向ズレのパターン整理

2.2で述べたZ方向のズレは、溝中心軸に対して2つのスタイラス方向(計測軸)がZ方向にオフセットした場合を想定したが、溝中心軸と計測軸に傾きが発生する場合でも、2つのスタイラスを同時に溝中心へ落とし込むことはできない(図5)。少なくとも、片側のスタイラスでZ方向のズレが発生することとなり、測定誤差が生じる。このことから溝中心軸と計測軸の傾きも調整する必要がある。

ここで、どの程度の傾き調整が必要かを2.2で設定したワーク形状を用いて算出する。片側のスタイラスは溝中心に落とし込めており、もう一方は溝中心からZ方向に

0.001mmずれた状態とする。このとき2つのスタイラスを溝中心に落とし込むのに必要な傾き調整は $1 \times 10^{-5} \text{rad}$ ($6 \times 10^{-4}^\circ$)となり、このレベルでの調整が求められる。また、自動測定では「複数断面の測定」という要求があり、回転ステージを用いて割り出して測定することになるが、ワーク形状精度やステージ精度の影響で、割り出しごとに測定断面における溝中心軸の傾きは変化すると推測される。そのため、測定のたびに算出したレベルでの傾き調整が必要となる。

Z方向ズレをまとめると、測定断面において溝中心軸と計測軸がオフセットする場合と傾きが発生する場合であり、すなわち2つの軸が同一線上にないときに発生すると考えられる。

3.2 Z方向ズレの調整方法検討

Z方向ズレを調整するには、溝中心軸と計測軸を同一線上に調整できればよいことが分かった。調整方法を次の2パターンで検討した(図6)。

- (A) 溝中心軸を基準に物理的に計測軸を調整する方法
- (B) 溝中心の座標を取得し、同一線上になるようソフト上で算出(調整)する方法

(A)に関しては、手動測定同様、Z方向のズレを調整し直径を測定するものである。自動測定の場合、ワークは固定とするので、計測軸側で精度良くズレを調整する機構が必要となる。

(B)は、ソフトでの対応を前提に検討したものである。装置イメージとしては真円度測定機に近い。スタイラスを1つにし、対向するそれぞれの溝中心のXZ座標を取得し、X方向の計測値①と、Z方向の相対差②より円周溝径を算出する。

(B)は、直径を直接測定できず、ステージを走査させながら座標を取得することになるので、ステージ精度に起因する測定誤差の発生が懸念される。測定誤差を抑えるには高精度なステージが必要となり、コストが高くなる。一方(A)は、直径を直接測定できるので、ステージ精度による測定誤差は(B)と比べ生じにくく、高精度なステージは不要となる。今

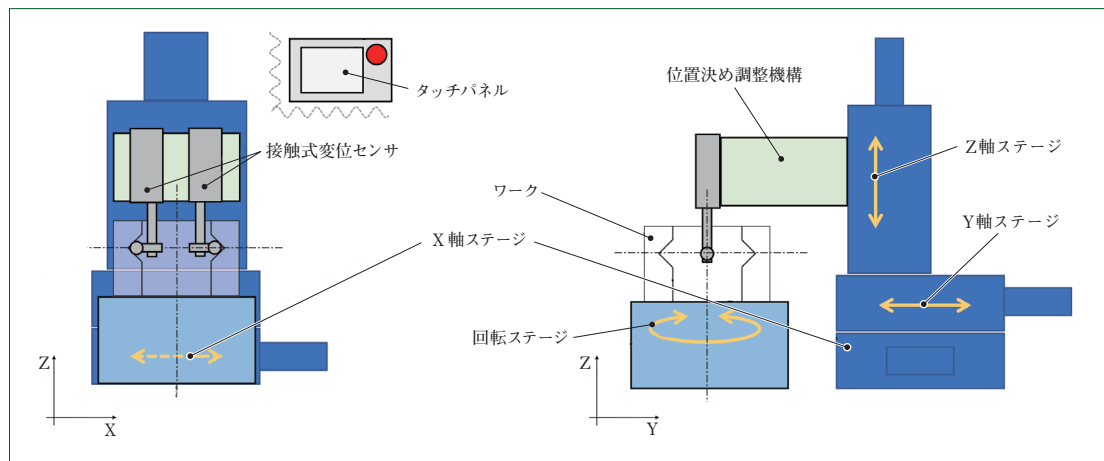


図9 装置構成の概略図
Schematic diagram of device configuration

回はコストを抑えられる(A)で開発を進めた。

3.3 計測軸調整機構の検討

機構を検討するに当たり、溝およびスタイラスの形状に着目し、測定時の力の釣り合いを整理した。ワークは固定とし、溝上に球状スタイラスが配置され、そのスタイラスから測定力が発せられる場合を考える(図7)。

測定力による反力がスタイラスに作用し、その反力はX方向とZ方向に分けられる。スタイラスが溝斜面上にある場合、Z方向の反力は常に溝中心方向へ働く。一方、溝中心にある場合は、2点で接触することになり、Z方向の反力は打ち消される。スタイラスが自由に動ける状況であれば、自動で溝中心に位置決めされる関係にあることが分かる。

この関係を利用し、2つのスタイラスを溝中心に位置決めさせることで、計測軸が溝中心軸と同一線上になるよう自動で動作する機構(位置決め調整機構)を開発した。

今回開発した機構が狙い通りの調整を行い、円周溝径を適切に測定できるか確認すべく、センサを含め、必要最低限の機能を搭載した検証機を設計、製作し検証試験を行った。手動測定同様、基準ゲージとの比較測定とした。実際のワークを1機種選択し、寸法の異なる6個のワークを作業員2人で2回ずつ測定を行い、繰返し測定精度(標準偏差 σ)を評価した。その結果、要求精度を満足する結果が得られた(図8)。これより、位置決め調整機構を搭載した自動測定機構の有用性が示された。

なお、手動測定の場合、ワークの自重が測定力による反力を打ち消すことから自動では位置が決まらず、人の手によるズレ調整が必要になったと考える。

4 量産適用装置

量産ラインに適用できるよう、開発した自動測定機構を盛り込み、ユーザビリティを考慮した自動寸法検査装置の設計、製作を行った。

製作した装置は代表図の通りである。図9に、装置構成の概要を示す。X軸、Y軸、Z軸ステージと回転ステージから成り、Z軸ステージ上に位置決め調整機構および接触式変位センサが搭載される。作業員はタッチパネルを用いて検査装置を操作するが、操作内容が複雑にならないよう、直感的に

操作できることを意識して画面を構成した。

最後に、製作した自動寸法検査装置が要求された仕様を満足するか確認すべく、一通りの検証試験を実施した。すべての仕様に対して要求を満足することを確認し、自動寸法検査装置の開発を完了した。

5 量産適用について

開発した自動寸法検査装置は量産ラインに組み込まれ、今後稼働する予定である。

6 むすび

- (1) 近年問題視されている労働力の不足や熟練者の技能継承に対応すべく、熟練技能者に依存する寸法検査の一つである、円周溝径の自動寸法検査装置開発に取り組んだ。
- (2) 熟練者による手動測定について調査した結果、測定位置の調整に高い技能を要することが分かった。
- (3) 測定位置の調整を自動化すべく、新たな位置決め機構を開発した。この機構を用いることで、繰返し精度良く測定できること確認し、自動測定機構を確立させた。
- (4) 量産ラインに適用できるよう、開発した自動測定機構を盛り込み、使いやすさにも考慮した円周溝径の自動寸法検査装置を開発した。本装置は今後量産ラインに適用される予定である。

(参考文献)

- (1) 総務省, 令和4年版情報通信白書, (2022), 26-27.
- (2) 高増潔, 超精密計測の基礎と新しい超精密計測技術の動向, 精密工学会第410回講習会, (2020), 40-45.