

大形立旋盤のワーク直径測定法

How to measure the diameter of a workpiece on a giant vertical turning mill

相良 誠

Makoto SAGARA

Key words : vertical turning mill, outer diameter, comparison measurement, volumetric accuracy, image sensor

1. 緒言

セレンディピティと聞くとノーベル賞級の発見秘話のようなイメージがあり、企業技術者には縁の遠い現象と思っていた。しかし、森田先生がまとめられたアンケートを見てみると、特許技術のように、一つのテーマを追求する企業の技術者が想定外のきっかけで新しい切り口に気づくこともセレンディピティだと知った。私も会社時代のいくつかの特許取得のなかで、1973年東芝機械(現・芝浦機械)入社早々にセレンディピティともいえる発見があった。ただし、本件は未完であり、どなたかに完結していただけることを期待して経緯を紹介する。

2. 大形立旋盤でのワーク外径の高精度測定

2.1 直径 10m を精度 0.1mm では測れない

入社2年後に、図1の構造の立旋盤(テーブル直径10m)の設計チームに入った。チームは時々誰かのドラフター前に集まって、図面を見ながら雑談することが多かった。そこで、ある先輩が「10mのワーク(workpiece, 加工物)の直径を $\pm 0.1\text{mm}$ の精度で測ることはできない」と言った。入社後の教育で「大形工作機械は何十トンもの構造物が $1\mu\text{m}$ 単位で動く」と聞いていたので、 0.1mm ($100\mu\text{m}$)という大きさに驚いた。その後調べたことや、取り組んだことを以下に整理する。

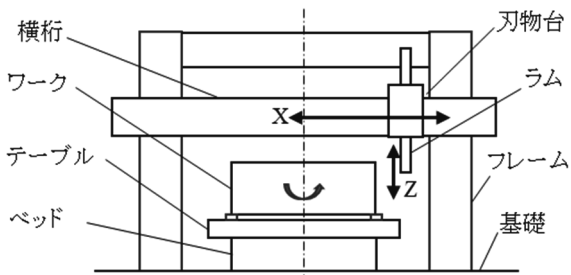


図1 大形立旋盤の構造

円筒側面加工では刃物台のX方向の位置で直径を決め、先端に刃物を付けたラムのZ方向の運動で切削する。通常、旋盤のワークの外径はノギスカ外側マイクロメータで測る。しかし、このような大径のワークを直接測定できるような測定具¹⁾はない。理由はワークを回避するためのC字形のフレームを作るのが大変だからだ。一方、特長内側マイクロメータは中空パイプをつなぐ方式で何m用でも作れる。外径の直接測定器が無い中、現場では比較測定で仕上げ寸法を確保している。

図2に示すように、大形立旋盤で加工するワークでは、加工面外周で対向する側面に円筒スコヤを密着させ、それらの内側を特長内側マイクロメータで測定し外径とする。この方法で

は、内側マイクロメータのパイプのつなぎ誤差の累積、自重による撓みなどがあり、絶対寸法を高精度では測れない。一方、

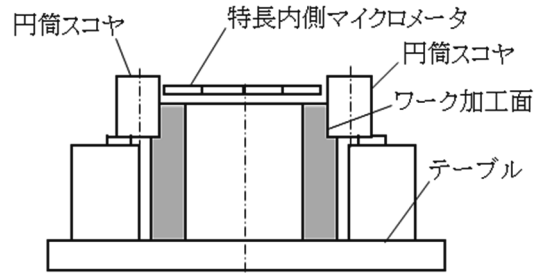


図2 大形円筒ワークの外径測定

大きな丸物ワークの直径寸法公差ははめあいのために必要なので、相手部品の内径を基準にして比較測定で精度を出す。外径加工の部品とそのはめあい相手の穴加工の部品を温度制御した部屋に二昼夜以上保管して、均一同温度の状態とする。穴加工完了部品の穴径と、仕上げ加工中の部品の外径を、同じ特長内側マイクロメータで、同じ測定者が比較測定することで、 0.1mm 以下のはめあい公差を確保する。外径の絶対寸法を高精度に測定できれば、このような手間が不要となり、生産管理上大きなメリットがある。

2.2 大形工作機械の空間精度

最初に、当時販売が始まったタッチセンサをラム先端に取り付けて、ワークの外周反対面に接触させたときのスキップ信号によって、刃物台のX座標をNC(Numerical Control)から取り込み、直径を算出する方法を検討した。しかし、大形工作機械の空間精度の問題²⁾³⁾が障害となる。まず、ラムのZ方向運動時のX方向真直度や刃物台のX方向運動時の左右方向の倒れなどがラム先端の空間位置の誤差要因となる。また、ラムへのタッチセンサの取り付け精度、スタイラスが接触してからNCのX座標を取り込むまでのスキップ信号の精度なども考えてみると、確かに10mの直径を $\pm 0.1\text{mm}$ で測定することは不可能だ。

このテーマは業務上与えられたものではなかったが、とても興味深いテーマだと思い、その後もいろいろな方法を考えた。かなり深く検討した案は、工作機械の空間精度の影響を受けない慣性航法で、サーボ加速度計をラム先端に付けて加速度を時々刻々積分し、ワーク右側面にタッチした時と左側面にタッチした時の空間上の座標を取り込んで、それぞれの座標から直径を測定する方法だ。当時はサーボ加速度計の長時間安定性が課題で、アイデア止まりになった。工作機械のフルストロークで覆われる全空間の位置誤差補正については、現在レーザー測定結果をNCに取り込む技術が実用化されつつあるので大形化に期待したい。

2.3 光学的コンタクトホイール

ある時、圧延用ロールの外周研削用のロールグラインダでコンタクトホイールという技術が使われていることを知った。直径のわかっているホイールをロール外周に接触させ、同軸に取り付けたエンコーダの回転角度からロールの周長を求めるという原理だ。これは使えそうだと考えた。しかし、圧延ロールと違って立旋盤のワーク加工面は非硬化の場合が多く、スリップが無いように強くホイールを押し付けると測定面に光沢痕が出てしまって使えないことがわかった。しかし、相手の長さを自分の長さに置き換えるというコンタクトホイールの原理に魅了され、光沢がつかないようにソフトにタッチしてしかもスリップしないようにする方法がないかと始終考えていた。

そんな時、出張の車中で窓外を眺めていたら目の前を電柱が横切る、次々に横切る。このとき「光学的コンタクトホイールだ！」とひらめいた。電柱間隔が電車の長さより短いとして、目の前を横切る電柱と直前に横切った電柱の距離を電車全長に取り付けたスケールで測り、これを次々と繰り返して電柱間距離を足していけば移動距離が分かるのではないか。電柱は窓から距離があり間欠的だが、窓と接触しない近距離に連続した壁があり、壁にはランダムな模様があるとす。図3のように、 ΔT の時間間隔で窓の大きさの写真を撮っていけば、壁の模様が刻一刻と後方にずれていく様子がわかり、その量は窓の全長に張られたスケールがあれば測ることができる。

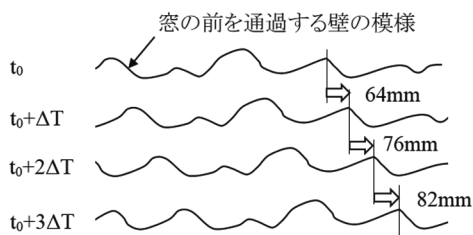


図3 壁の模様の動きから移動距離を測る

加工面には表面粗さがあり、そこに光を当てれば反射光の明暗パターンが壁の模様に対応し、この明暗パターンをCCD(Charge Coupled Device)などの撮像素子列で撮像すれば窓の大きさのカメラに対応する。しかも撮像素子列は素子間隔というスケールを内蔵しているので、相手の移動距離を光学的に明暗パターンの移動距離に置き換えられる。光学的コンタクトホイールだ。逐次明暗パターンの移動量を累積していけば加工面外周の周長を計算できる。表面粗さに規則性は必要ない、撮像素子の前を通過する間に明暗情報が変化しなければよい。

2.4 ランニングスケール

帰社後、この考えをまとめているうちに「工作機械の案内面も微小な面粗さがある、それならニアスケールなど付けなくても、案内面の面粗さを光学素子の明暗情報に移し替えれば移動距離がわかるのではないか」と思いついた。当時工作機械はNC化が急速に進み、大形工作機械はインダクトシンスケールの搭載機が増えていた。案内面の面粗さを撮像素子で測定するだけで移動距離がわかれば大変なコストダウンになる。そこで、このアイデアは実証する価値があるかどうか、当時研削面の光学的評価の研究をされていた酒井保夫技師長に相談に行った。一通りご説明したら酒井さんは「これはいい、

ランニングスケールという名前にしなさい」と言って下さった。技術的なアイデアであることを認められ、名前まで付けていただいて嬉しかった。

3. 次なるセレンディピティに託す

ここまでがセレンディピティらしきもので、ランニングスケールが世の中に出ていかなかった経緯は失敗談となる。

加工面粗さの形状を反射光の明暗パターンとしてサンプリング時間ごとに取りこむとき、量子化の問題が生じる。このパターンが撮像素子列の数ビット分きっちり移動すればよいが、図3の例で仮定の撮像素子間隔が10mmだとすると、 ΔT 時間ごとの取り込み移動距離に端数が出る。端数があると撮像素子が光量を何段階かに量子化したパターンはかなり変形してしまう。端数のある移動量をどのように評価していくか、この点はアイデアが浮かんだ時から悩んでいたが、特徴点という概念と平均化処理で行けるのではないかと考えた。

しかし、この量子化問題についてはハードを作る前にソフト的に目途を立てる必要があると考えた。前節で「撮像素子の前を通過する間に明暗情報が変化しなければ」と述べたが、照明の揺らぎや外光の干渉もあって明暗パターンが変化するかもしれない。そこで、加工面粗さの明暗情報に光学系の誤差として若干の乱数を乗せ、しかも素子間隔の端数を含む連続移動によって距離を計算できるかどうかシミュレーションを行った。ミニコンで一晩中計算させて翌日確認し、ソフトを改良するというのを繰り返したが、誤差が発散してしまう例が出てきて解決方法が見つからず、ハード製作を断念した。その後の検討も加えて数年後に権利化したので、ソフトの工夫に関しては公報⁴⁾⁵⁾を参照されたい。

後日、沼津高専在職時、卒業研究の学生がハードも含めてこのテーマに取り組んでくれた。光源の安定化、光学系の球面収差の補正、汎用画像処理ソフトの活用など努力してくれたが、長時間の計測実証までには至らなかった。

ランニングスケールの誤差の発散については、再現性があればレーザー測長による補正が有効となるが、照明の揺らぎなどを考えると再現性は期待できない。慣性航法が誤差の発散の対策としてGPS補正を行っているように、ランニングスケールも何らかのリセットの方法が必要だろう。

最新技術によって、この課題を解決する次のセレンディピティが必然的に達成されることを期待したい。

4. 参考文献

- 1) ミットヨ測定博物館, 3mの外側マイクロメータのフレーム木型を展示, <https://www.city.kawasaki.jp/280/page/000005315.html>
- 2) 茨木創一:工作機械の空間精度-3次元運動誤差の幾何学・補正・測定, 森北出版, (2017).
- 3) 相良 誠:大形・超大形工作機械の課題と取り組み<下>, 機械と工具, 7, 5 (2017), 71.
- 4) 相良 誠:直径測定装置, 公開 昭和62年1月12日, 特公平7-86409.
- 5) 相良 誠:変位測定装置, 公開 昭和62年4月25日, 特公平6-92881.



【相良 誠】(さがら・まこと)
 ・技術士事務所 FounTech 代表
 ・e-mail: sagara.makoto@ca.thn.ne.jp