

今流行のナノテクノロジーを陰で支えているのが測定です。より正確な測定が、より精密な部品につながり、これら部品を組み合わせ、私たちの生活を豊かにする新しい製品が次々と生まれていきます。

古来より、文明の発展とともに測定も発展してきました。測定は基準となる物差しがあって、物差しいくつ分と勘定するものです。ところが、基準もその時々で、要求される精度に応じて変化してきました。大昔では、身近なものや体のある部分が基準として使われ、古代エジプトでは、王様の肘から指先までの長さを1キュービットという単位にして使われていたようです。やがて、メートル原器なる世界共通の長さの基準が誕生し、そして現在では、1メートルは、光が真空中を1/299,792,458秒間に進む距離として、厳密に定義されています。

測定は測りたいものに物差しをあてて値を読み取ります。しかし製造業界では、すでに一昔前の時点で、人の手で測れる限界を超えてしまっていました。そこで、測りたい対象物を触針でそっとなぞり、触針の変位量を検出器で読み取ることで測定を行ってきました。この方法が、今でも機械計測業界の主流のようです。ところが、1ミリメートルの百万分の1の単位、ナノメートルともなると、対象物によっては接触時に与える傷の影響が大きな問題となります。さらには、半導体のように高い純度が求められるものにおいては、たとえ傷がつかなくても、汚染の原因になるため触ること自体敬遠されます。

触針と対象物との間に働く原子間力を利用して、きわめて低い測定力あるいは非接触にて対象物上をなぞることができる原子間力顕微鏡（AFM）があります。ただし、測定時間に課題があります。測定速度はデータのサンプリング速度と対象物の形状に対するスタイラス先端の機械的な応答により決まります。一般に、測定力が弱くなればなるほど機械的な応答速度は遅くなるため、走査速度は遅くなってしまいます。

これに対し、光の応答速度はサンプリング速度にくらべて十分に速く、理屈上はサンプリング速度まで測定速度を高めることが可能です。そのため、光学式の測定は非接触性と測定時間の点で有利な方法

です。

接触して測ることは長い歴史的背景があり、現在でも測定値に対して高い信頼感をもたれています。今まで目で見ても触って手探りで測っていた人が、触らずに目探りだけで測っている人を見て、正しく測れているのかどうか心配になるのも無理はありません。そこで、この心配を解くヒントとなる測定事例を紹介しましょう。

図2は、図1(a)に示す接触式のプローブと(b)に示す光学式のプローブにて、測定対象物上を走査し凹凸の形状を測定したものです¹⁾。測定対象物は金属製で、平均線から偏差の平均値により算出する算術平均粗さ $Ra=0.47\ \mu\text{m}$ の粗さ標準片を使用したものです。接触式は、シーソーのような構造のスタイラスの先端についた針を、対象物上に沿ってなぞらせ、反対側の上下量を差動トランスで検出するものです。一方、光学式は合焦点方式とよばれるもので、対象物表面が焦点位置になるようにレンズを光軸方向に移動させ、レンズの移動量から形状を読み取るものです。

図2(a)が接触式による測定結果で、(b)が光学式による測定結果を示しています。光学式のほうもなんとなく接触式で測定された形状と同様の傾向が現れているように感じられます。しかし、ノイズともとれる高い周波数の凹凸成分の中に対象物の形状が埋もれてしまっています。接触式の場合、有限サイズの触針にて対象物上をなぞっていくため、空間的なローパスフィルターの効果が現れます。一方光学式の場合には、微小な凹凸に対して、回折や散乱の影響により反射光が乱されてしまいます。そのために、対象物の粗さや形状、素材によっては、ノイズのような高周波の凹凸形状が顕著に発生してしまう傾向にあるようです。このことから、光は光軸方向の移動量を表す変位センサーや測長センサーとしては非常に高い性能を示すが、対象物上を走査し形状を測定するには向かないというのが、接触式を好む人の言い分です。

それでは、光学式は本当に形状測定には使えないのでしょうか。いえいえ、ノイズに埋もれてしまったような図2(b)の測定値からでも、接触式と同等

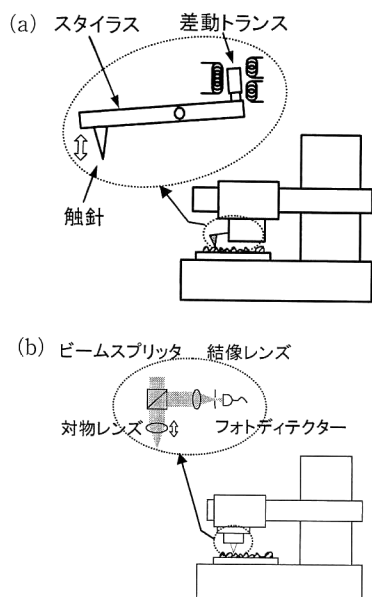


図1 実験装置模式図。(a) 従来の接触式と (b) 光学式の粗さ測定器を模式的に示したもの。

の形状を得ることができます。図2 (c) は、波長 $10\ \mu\text{m}$ 以下を遮断する空間フィルターを通し、形状を再現したものです。図2 (a) の接触式と比較しても、非常によく一致していることがわかります。粗さの影響で測定値が乱れるということは、逆の見方をすれば、過敏とはいえ対象物の粗さに反応しており、測定結果にわずかながらでも情報が含まれているということです。ただ、光の回折や散乱などによる測定値の乱れを校正できる試料片でもあればよいのですが、材質や粗さのみならず光学系にも依存するところがあるため、粗さの情報とノイズを正確に分離することは、まだまだ難しいようです。

日本工業規格 (JIS) には、測定対象物の粗さやうねりを算出する際に、評価区間や形状に対して粗さ成分やうねり成分を定めるカットオフ周波数が決められています²⁾。その規格に準じて後処理を施せば、光学式でも JIS で定める機械計測の分野での対応は可能です。ただし、粗さの領域よりもっと細かい形状やあるいは、フィルターを通さない生の凹凸形状を評価する場合には、さらなる工夫が必要であると思われます。

相手に触らずに測れるという点は、接触式にない

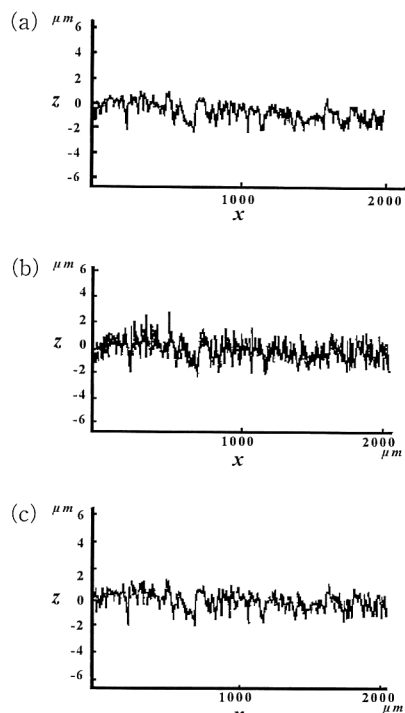


図2 研削面標準片の測定結果 ($Ra=0.47\ \mu\text{m}$)。 (a) 接触式、 (b) 光学式。カットオフ値なし、 (c) 光学式。カットオフ値 $10\ \mu\text{m}$ 。

大きな魅力です。また、これからの微細加工技術の向上により対象物の評価には、二次元の粗さデータでは不十分で、三次元の形状を計る要求も今まで以上に増えてくると思われます。そのために、接触式で二次元走査したのでは時間が非常にかかってしまうため、光学式の測定機のニーズはより高まってくると思われます。一方で、光の性質上、測定対象物の形状や材質の依存性があるのも事実です。使用目的に応じた少しでも使いやすい光学式センサーが開発されていくことを期待します。

この記事に関するお問い合わせは、kato@optsun.riken.jp もしくは ura@dj.kit.ac.jp までお寄せください。(ミツトヨつくば研究所 川崎和彦)

文 献

- 1) 太田成賢：“合焦点型非接触変位計による表面形状測定”，光技術コンタクト，26 (1988) 773-784。
- 2) “接触式表面粗さ測定機の特性” JIS B0651; 2001 (ISO 3274; 1996) ほか。