

モノの弾性を触診メカニクスにより計測する デスクトップロボット

1. はじめに

大きく変形する軟質ゴムや食品、生体の軟組織については品質管理や美容、診断のため、定量的な計測テクノロジーが必要とされていたが、これまでは計測するモノに応じた指標を用いた相対的な評価が多用されており、評価するモノが異なると相互比較が難しかった。また、変形が大きいことにより薄いモノの計測も難しかったという課題もあった。

そこで、(株)堀内電機製作所は自社のFA (Factory Automation) 用のデスクトップロボット技術を基盤として、これに触診を模擬したモノの弾性計測理論^{(1),(2)}をシステムとして組み込むことで、薄くて大きく変形するモノの弾性を簡便に計測するデスクトップロボットを2012年12月に発売したので、これを紹介する。

2. モノの弾性を測る触診メカニクス

弾性体の接触メカニクスについてはHertzの弾性接触理論⁽³⁾によって評価できることが一般に知られているが、半無限体試料に対して十分に硬い球圧子を押し込むときには、球圧子の直径 ϕ と試料Young率 E 、Poisson比 ν を用いると、この理論では押込荷重 F と押込み量 δ との関係が次式で表現できる。

$$F = \frac{4}{3} \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{\phi}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \delta^{\frac{3}{2}} = A\delta^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

ここで、試料が半無限体試料と考えられない場合、たとえば薄い試料については、原理的に上式(1)は適用できなかった。

一方、熟練した医師などは、診る組織の厚さによらず生体組織の状態を触診することができる⁽⁴⁾。これを組織状態と同時に組織厚さも測るというメカ

ニクス分析の手法を用いると、たとえば図1に示す関係を数学的にHertzの弾性接触理論から求められる接触ひずみ $\bar{\epsilon}_H$ と試料中の圧縮変形に関する圧縮ひずみ $\bar{\epsilon}_V$ の和としてモデル化することができる⁽¹⁾。

$$\bar{\epsilon}_t = \bar{\epsilon}_H + \bar{\epsilon}_V \quad (2)$$

紙面の都合から詳細は割愛するが、このとき荷重 \hat{F} と押込み量 δ の関係として係数 B を用いた次式を考えることもできる。

$$\hat{F} = A \{ \delta(1 + B\delta) \}^{\frac{3}{2}} = \hat{A}\delta^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

この式(3)の関係により直径 ϕ の球圧子を押し込んだ際の荷重 \hat{F} と押込み量 δ との関係を整理すると、試料のYoung率 E を算出することができる。

3. 弾性を測るデスクトップロボット開発

(株)堀内電機製作所では、2011年～2012年にかけて上記2節の関係をソフトウェア化してデスクトップロボットへと組み込み、2012年末に製品化・販売を開始した。この発売したデスクトップロボットを図2に示すが、さまざまなモノの計測ニーズに対応するため、3軸ロボットをベースにしたシステム構成となっている。

開発の着手から完了までが2年弱と短期間であるが、これは2節に示す関係が極めて簡素なメカニクスであることと、さらに企業側が基盤となるFA用ロボット技術を持ち合わせていたことが、極めて大きな要因である。

4. おわりに

ここで紹介した弾性の計測ロボットは、本寄稿までの発売2カ月で3台を出荷しており、また食品から美容、樹脂素材、自動車や航空機など極めてさ

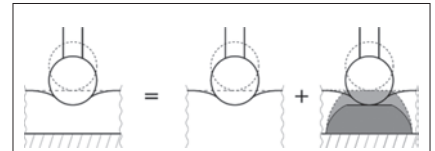


図1 有限厚さ試料の押込みは、半無限体試料の接触変形と有限厚さ試料の圧縮変形の重ね合わせと考える。

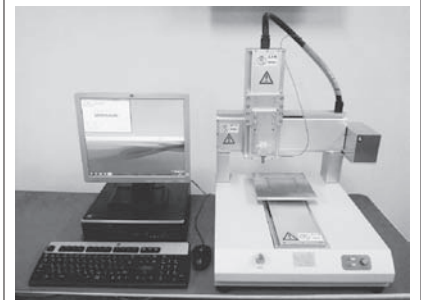


図2 平成24年12月に販売を開始した(株)堀内電機製作所の柔らか計測ロボット SoftMeasure HS-3001

さまざまな分野から極めて多くの引き合いがある。

さらに機械工学分野では最も基本的な指標の一つである弾性も、いまだ他分野では十分に活用されていない実態が、このロボット発売により明らかになった。この事は、今後の機械工学の展開を考えるうえでも極めて興味深い。

(原稿受付 2013年2月24日)

[佐久間淳 東京農工大学]

●文献

- (1) 谷 充博・佐久間淳・篠宮将光, 球圧子の押込試験による軟材料の厚さとYoung率の計測, 日本機械学会論文集, A編, 75-755 (2009), 901-908.
- (2) 谷 充博・佐久間淳, 球圧子押込試験による相当押込ひずみを用いたYoung率計測法の軟材料への適用性評価, 日本機械学会論文集, A編, 76-771 (2010), 102-108.
- (3) Hertz, H., *Journal für die reine und angewandte Mathematik (Crelle's Journal)*, Ueber die Berührung fester elastischer Körper, 92 (1882), 156-171.
- (4) 佐久間淳・張 月琳, 触診を模擬した柔らか計測システムの展開, ケミカルエンジニアリング, 56 (2011), 66-70.