

ひずみゲージを用いた硬さセンサの開発

Development of Hardness Sensor using Strain Gauges

○西尾直起*, 高梨宏之**, 御室哲志**

○Nawoki NISHIO*, Hiroyuki TAKANASHI**, Tetsushi MIMURO**

*秋田県立大学大学院, **秋田県立大学

*Akita Prefectural Univ. , **Akita Prefectural Univ.

キーワード: 硬さセンサ(Hardness Sensor), ひずみゲージ(Strain Gauge),
計測(Measurement), ヤング率(Young's Modulus)

連絡先: 〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口 84-4

秋田県立大学 システム科学技術学部 機械知能システム学科 生活支援工学研究室
高梨宏之, Tel.: 0184-27-2216, Fax.: 0184-27-2188, E-mail: takanashi@akita-pu.ac.jp

1. はじめに

医療の現場で行われる触診は病変部範囲の特定や病変状態の判断を行うために, 病変部の硬さに関する情報を得ている。しかし, 医師一人一人の経験が異なるため病状の変遷時期の正確な判断が難しい。

食品製造の現場では, 食材の成熟度合いを判断する項目として食材の硬さがある。この硬さの判断は経験を積んだ人によって, 行われている。

つまり, 様々な分野¹⁾で硬さは重要視されているが定性的な測定方法が圧倒的に多い。

以上より, 本研究では, 定量的な測定が可能な硬さセンサの開発を目的とする。本発表では, センサの構造上の問題点について考え, その原因の追究と対策を行い, セ

ンサ性能の向上をはかる。また, センシング部に用いる円柱ゴム(ウレタンゴム円柱)の硬さ変更によるセンサの性能比較を行う。さらに, 実用化に向け, みかんの硬さ測定を行った結果を示す。

2. センサの概要

Fig.1 はセンサの概略図である。本センサは測定対象物と接触する接触部および接触部を支持する基部で構成されており, アルミニウム円筒, ウレタンゴム円柱, 銅板, ひずみゲージによって構成されている。

Fig.1 のように測定対象物にセンサを押し付けると, アルミニウム円筒部とウレタンゴム円柱部の硬さ(ヤング率)が異なるため, 測定対象物の変位量が円筒部と円柱部では異なる。そのときのウレタンゴム円柱部に

かかる力 F_2 とセンサ基部(センサ全体)にかかる力 $F_1 + F_2$ の比を取ると、式(1)を導くことができる。ひずみゲージによって計測された電圧のうち、センサ接触部の平均電圧 V_1 [V] はウレタンゴム円柱部にかかる力 F_2 に比例し、センサ基部の平均電圧 V_2 [V] はセンサ全体にかかる力 $F_1 + F_2$ に比例することから式(2)が成り立つ。式(1)、(2)より測定対象物の硬さ E_1 を求めることができる。

$$\frac{F_2}{F_1 + F_2} = \frac{\frac{A_b}{A_a}}{1 + \frac{T_2 E_1}{T_1 E_2} + \frac{A_b}{A_a}} \dots(1)$$

$$\frac{F_2}{F_1 + F_2} = \frac{V_1}{V_2} \dots(2)$$

ここで、 A_a 、 A_b はそれぞれアルミニウム円筒部、ウレタンゴム円柱部の断面積を、 T_1 、 T_2 はそれぞれ測定対象物、センサに用いたウレタンゴムの厚さを、さらに、 E_1 、 E_2 はそれぞれ測定対象物、ウレタンゴム円柱部のヤング率を示す。

3. センサの誤差要因と対策

本研究で製作したセンサには二つの構造上の問題に起因する誤差が存在する。

一つ目の問題点はセンサのウレタンゴム円柱部がアルミニウム円筒部よりも飛出してしまうこと(問題点①)である。この量を飛出し量と定める。この問題点①の主な原因はウレタンゴムの寸法誤差、接着剤による寸法の変化である。この対策として、まずハード的な方法では、センサ接触部の構造を可動式に変更することを考えている。次にソフト的な方法では、Table 1 に示した補正係数を導入して問題点を解決した。

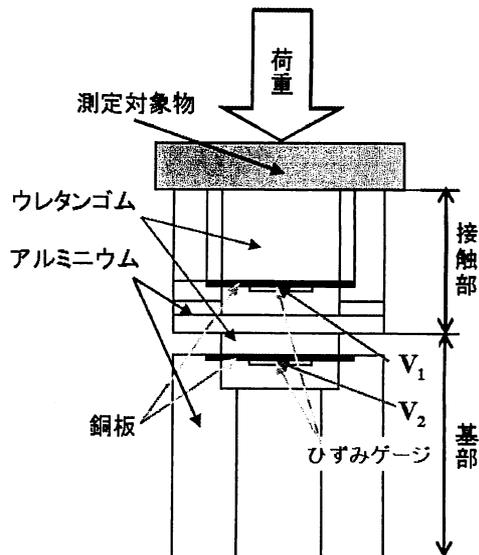


Fig.1 Sensor structure

二つ目の問題点はセンサのウレタンゴム円柱部のみに荷重をかけたときに、Fig.1 の二つのひずみゲージの出力電圧 V_1 、 V_2 が異なってしまうこと(問題点②)である。この原因は、ひずみゲージ(基部、接触部)の接着位置のずれや接触部に押し付けた荷重がそのまま基部に伝わらないことである。この対策として、まずハード的な方法では、受圧面積を大きくすることにより測定値の誤差を軽減した。次にソフト的な方法では、Table 1 に示した補正係数を導入して問題点を解決した。

Fig2 は補正する前の結果である。また、Fig3 は問題点①、②の対策を行った結果である。Fig2 の補正前の結果では、飛出し量の影響により測定値が理想曲線よりも高い出力を示した。また、問題点①、②の対策を行った結果、Fig3 のように理想曲線に沿う傾向を示した。さらに、補正する前では、荷重によるばらつきがはっきり表れていたが、補正を行うことで荷重によるばらつきが軽減した。なお、Figs.2、3 の各プロット点は、Table 2 の測定対象物 A、B、C、D、E にセンサを押し付けた時の測定値を示す。

4. センサの性能比較

ここではセンサのウレタンゴム円柱部の硬さを変更し、性能の比較を行う。測定対象物の硬さを Table2 に示す。また、Table3 では三つの硬さの異なるセンサを示す。

対象とした A~E は日常にありふれたもの(こんにやく程度から野球の硬球程度)に相当する硬さである。ゴム硬さ変更に伴う性能比較では、ゴム硬さの変更に伴う測定値のズレの違いを比較し、一つのセンサが測定可能な範囲を探る。

Table3 に示した 3 つのセンサ(センサ S, センサ M, センサ H)を用いて、測定値のズレの比較を行う。ゴム硬さ変更に伴う測定値のズレの比較では、Fig4 のように測定対象物の硬さ(真値)と硬さ測定実験で測定した硬さ(測定値)をそれぞれ横軸、縦軸にとり、その時の傾きから測定値のズレを評価する。真値と測定値が同じとき、Fig4 の実線のように傾きが 1 の直線になる。

その結果、Table4 のようにセンサ H は近似式の傾きが $\alpha=0$ に近く、真値と測定値のズレが大きいことがわかる。一方、センサ S, M は近似式の傾きが $\alpha=1$ に近く、真値と測定値のズレが小さいことがわかる。つまり、センサ S, M は Table2 に示した測定対象物の中で出力結果が正確であるといえる。

従って、この範囲の測定対象物の硬さ測定では、その測定対象物の平均硬さよりもやや軟らかい硬さに相当するゴムを用いたセンサが良いことを実験的に明らかにした。

また、あるセンサで測定することが可能な測定対象物の硬さの範囲は Tables 2, 3 からセンサに用いるウレタンゴム円柱部の硬さの 0.45~3.5 倍程度であることがわかる。

Table1 Correction coefficient for problem No.1, No.2

荷重[N]	問題点①の補正係数	問題点②の補正係数
0.49	0.788	1.335
0.98		1.215
1.47		1.209
1.96		1.155
2.94		1.101

Table2 Young's modulus E_1 of the object

Object	A	B	C	D	E
Young's modulus [$\times 10^5$]	0.682	1.39	1.62	2.78	5.56

Table3 Young's modulus E_2 of urethane rubber

Sensortype	S	M	H
Young's modulus [$\times 10^5$]	1.39	1.62	2.78

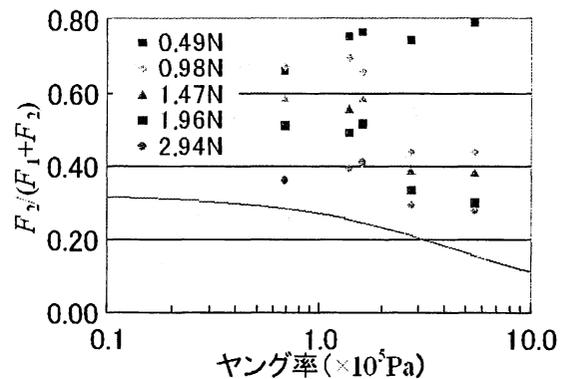


Fig2 Hardness measurement result without Correction

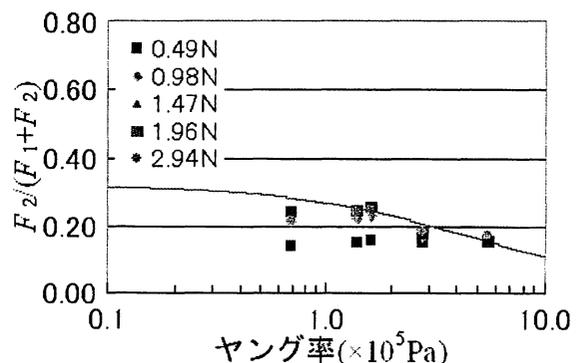


Fig3 Hardness measurement result with Correction

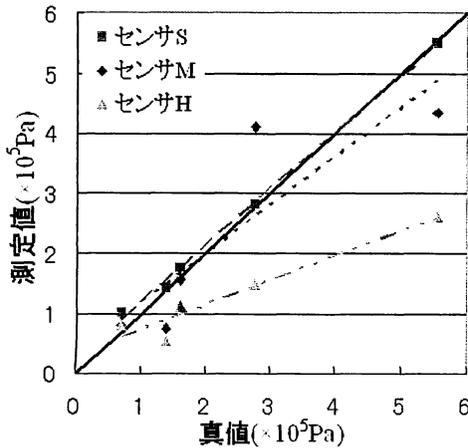


Fig.4 Difference of measured value

Table 4 Approximated equation of measured value

Sensor type	近似式 $Y = \alpha \cdot X + \beta$ (α : 傾き, β : Y切片)
S	$Y = 0.937X + 0.242$
M	$Y = 0.936X + 0.245$
H	$Y = 0.403X + 0.338$

5. 実用化に向けた硬さ測定

実用化に向けた硬さ測定の一例として、みかんの硬さ測定を行った。そこで生じた問題点について検討する。

一般的に、みかんは定量的に評価されていない。そこで、定性的に新鮮なみかんと腐敗したみかんの硬さを比較する。

その結果、腐敗したみかんは新鮮なみかんより硬さが軟らかく測定された。一般的に、みかんは新鮮な状態から腐敗が進んでいくと、硬さが軟らかくなるので、定性的に比較することができた。しかし、一般的な硬さ測定として、レーザー変位計を用いて荷重 - 変位を測定した場合、本センサで測定した結果より軟らかくなった。

レーザー変位計を用いた場合、みかん全体の硬さを測定しているのに対して、本センサの測定では局所的な硬さを測定している。この違いから測定値が異なると言える。また測定対象物の形状が球面であるこ

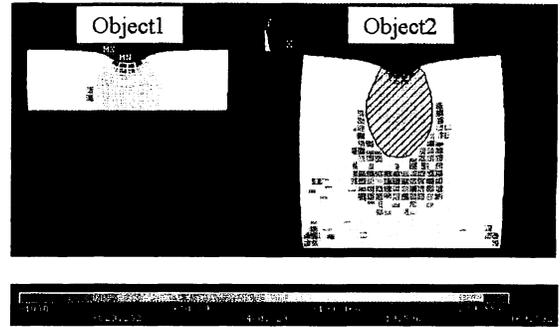


Fig.5 Object analysis

Table 5 Object dimension

	Wide[mm]	Thickness[mm]
Object1	50	15
Object2	50	50

とや測定対象物の厚さの影響で正しく測定できなかったことも原因として考えられる。

そこで、測定対象物の厚さの影響について検討した。Fig.5 に示すように厚さが異なる二つの測定対象物 Object 1, 2 がある。そこに同じ拘束条件、荷重条件を与える。すると、それぞれの応力分布は Fig.5 のようになる。Object 1, 2 を比較すると、Object 1 では、測定対象物の底辺まで高い応力値をなしているのに対して、Object 2 では高い応力値の分布は荷重を付与した付近に分布している。仮に、測定対象物が受ける主な応力値の分布を Fig.5 の斜線部までとし、以下の応力値を考えなくても良いものとする、測定対象物の厚さは斜線部までの厚さを考えればよいことになる。

従って、斜線部の厚さ以上の測定対象物の厚さでは斜線部の厚さを定数として考えれば良いので、センサの特性は測定対象物の厚さによって変動しなくなる。ただし Object 1 のように、斜線部の厚さ未満の場合、その都度、測定対象物の厚さを考えなければならない。よって、この点は今後の検討課題である。

6. まとめ

ゴム硬さの変更による性能の比較を行った結果、こんにゃく程度から野球の硬球程度までの測定対象物の硬さ測定では、その測定対象物中のやや軟らかい硬さに相当するゴムを用いたセンサが良いことを実験的に明らかにした。つまり、あるセンサで測定することが可能な測定対象物の硬さの範囲はセンサゴムの硬さの 0.45~3.5 倍程度である。今後はセンサの条件を変更したときに同様な結果が得られるのかを調査する必要がある。センサの構造上の問題点は原因の追究と対策を行うことで、センサ性能を向上させた。

今後の研究としては、実用化に向けた硬さ測定で浮き彫りになった問題の解決や測定対象物に適したセンサ構造の変更を行う。

参考文献

- (1) F. J. García-Ramos, C. Valero, I. Homer, J. Ortiz-Cañavate and M. Ruiz-Altisent, Non-destructive fruit firmness sensors : a review, Spanish Journal of Agricultural Research, 2005, vol.141(2), pp.63-73