

## 光センサを用いた半球レンズによる柔らかさ測定方法

Method of measuring softness using hemisphere lens with optical sensor

○ 土川 義貴 (Yoshitaka Tuchikawa) 柳沼 孝侑 (Takayuki Yaginuma) 横田 理 (Osamu Yokota)

日本大学工学部 (Nihon University)

キーワード:半球レンズ (hemisphere lens) シリコン (Silicone) 入射光 (incident light)  
 射出光 (reflected light) 受光減少率 (reduction rate of received light)

### 1 緒言

現在、ピラミッドアレイ状センサや球面状センサなどの光導波路触覚センサが開発されているが、これらは被測定物が接触部より硬い場合でなければ測定できない。

本研究では、被測定物の硬度に係わらず、柔らかさに適用できる接触測定方法を目的とした、光センサを用いたデバイスを開発した。本研究はこれまで、接触部は一樣な硬さのシリコンで作られた半球レンズ(1層式と呼ぶ)を使用し測定を行っていたが、1層式では測定が不十分であった。そこで、半球レンズ内により柔らかいシリコンゲルを注入した半球レンズ(2層式と呼ぶ)にすることによって輝度の測定範囲を拡大した。今回はその2層式のシリコンゲルの割合を変えて測定した結果を報告する。

### 2 測定原理

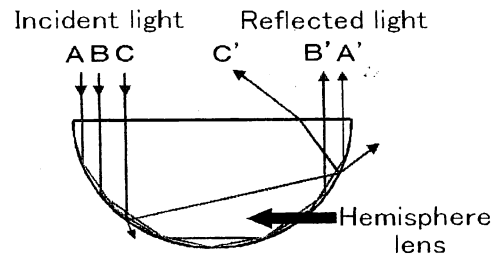
スネルの法則<sup>1)</sup>により、屈折率の大きい媒質(シリコン)から小さい媒質(大気)に光が入射する時、入射角が臨界角以上になると全反射し、臨界角以下では、反射と屈折が起きる。

Fig. 1(a)は、半球レンズに投光された光の伝播を示す。外周面付近からの入射光 A, B は入射角が大きく、また半球レンズは屈折率も大きいため、全反射した射出光 A', B' となる。中心付近の入射光 C は入射角が小さく、反射・屈折により、受光量が減少し、受光部の位置が明確ではない。以上のことから、受光位置が明確とされる入射光 A あるいは B の投光位置で測定を行う。

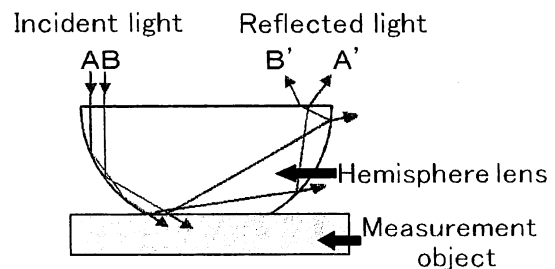
次に接触時に被測定物が半球レンズより硬い場合を Fig. 1(b) に示す。入射光 A, B は、半球レンズが弾性変形することにより、反射角が臨界角以下になり、全反射していた光は、反射・屈折する。そのため、光量 A, B は共に減少する。

最後に接触時に被測定物が半球レンズより軟らかい場合を Fig. 1(c) に示す。被測定物だけの変形により、入射光 A, B はほぼ全反射し射出光 A', B' は僅かに減少する。

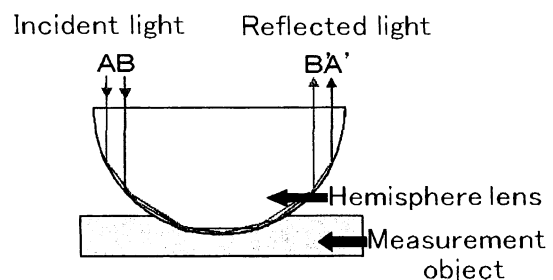
以上の測定原理を利用することにより、接触状態で被測定物の柔らかさの評価ができる。



(a) Propagation of light in the atmosphere



(b) The case in which measurement object is harder than hemisphere lens



(c) The case in which hemisphere lens is harder than measurement object

Fig. 1 Principle of measurement

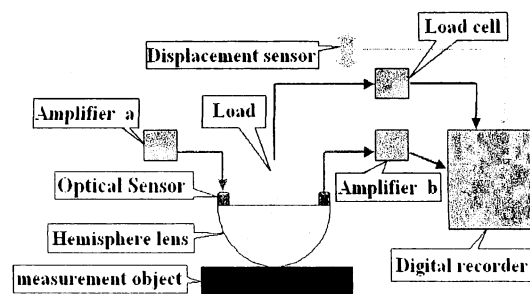


Fig. 2 Experimental apparatus

### 3 実験装置

実験装置の概略図を Fig. 2 に示す。実験装置は半球レンズ、光センサシステム、ロードセル、変位センサ、およびデジタルレコーダーから構成されている。半球レンズを直径 30[mm]とし、被測定物は縦・横 30×30[mm]、厚さ 10[mm]とした。

### 4 実験方法

半球レンズと被測定物が接触するところを原点とし 0.1[mm]毎接触させ、変位量が[2mm]までの各受光量の測定を行った。なお、柔らかさの評価は受光減少率とし、次式で表す。

$$\text{受光減少率} = \frac{A - A'}{A} [\%] \quad (1)$$

ここでの A は接触直前の受光量、A' は任意の変位量における接触後の受光量を表す。次いで、上記の方法で射出部をマイクروسコープで撮影し、GrayVal32 を用いて撮影画像を比較した。

### 5 実験結果

#### 5.1 水分の影響

測定の結果、軟体物の表面にある水分が、半球レンズに接触することにより毛管現象が現れ、受光減少率の値が安定しなかった。したがって、受光減少率が安定する変位 0.5[mm]の時点を実原点とし、比較を行った。

#### 5.2 2層式のゲルの比較

シリコングルの量の割合を変えたゼリーの比較を Fig. 3(a) に示す。全体的に変位 1.5[mm]あたりから、シリコングルの量ごとに受光減少率に差が現れた。各軟体物により多少の誤差はあるが、シリコングルが 8[g]のときに、受光減少率の差が大きかった。よって、ここではシリコングルが 8[g]の半球レンズによる軟体物を中心に比較を行う。

#### 5.3 軟体物の測定

軟体物の測定結果を Fig. 3(b) に示す。受光減少率は変位量の増大と共に増加し比例傾向にある。上から PVC (塩化ポリビニール)、木綿豆腐、コンニャク、絹豆腐、ゼリーの順で受光減少率に差が現れた。PVC と他の軟体物との差は、水分による光の減衰によるものと考えられ、水を含む軟体物は受光減少率の差が現れず判別しにくい。

また、この実験とは別に、同じ軟体物を被験者 10 人の硬軟判別を行ったが上記と結果と異なった。このため水分が共に柔らかさに影響していると考えられる。

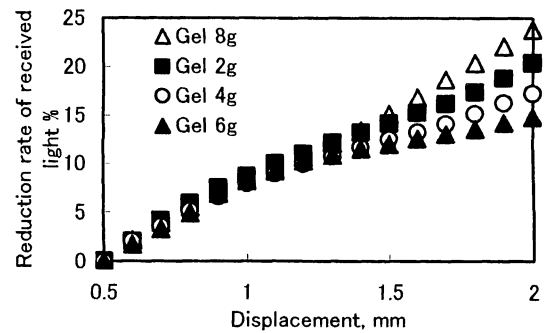
#### 5.4 受光部の解析

Fig. 4 は接触前と変位量 2[mm]の接触後の PVC の受光部の写真を示す。接触前と接触後の光の形の違いを見ることができ、これは半球レンズの変形による光の減衰と考えられる。また、輝度の面

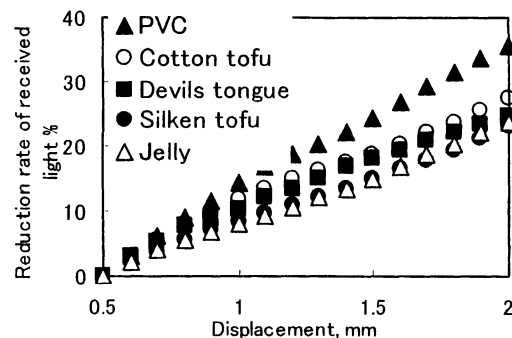
積が少なくなることから、面積変化は軟体物の柔らかさを評価する資料となると考えられる。

### 6 結言

- (1) 2層式半球レンズのシリコングルの割合は、8[g]入っている時が受光減少率の変化が大きく現れることがわかった。また、水分の有無で受光減少率に差は現れたが、水分を含む各軟体物の受光減少率に差が現れなかったため、水分の影響による光の減衰の対策をする必要がある。
- (2) 受光部の写真では、変位量が増えるごとに、各軟体物も受光部が変形していることから、受光減少率が大きくなっていくことがわかる。



(a) Experiment result using silicone gel



(b) Experiment result using soft objects

Fig. 3 Relation between reduction rate of received light and displacement

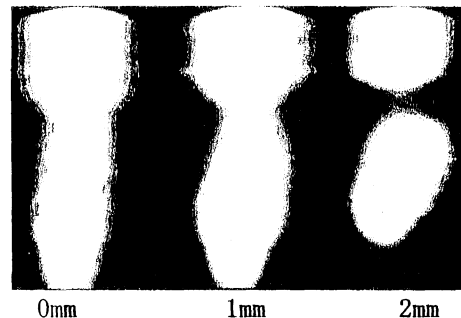


Fig. 4 Photograph of PVC (displacement of 0mm~2mm)

### 7 参考文献

- 1) 栖原 敏明 : 光波工学, (1998)
- 2) 高橋 大輔 : 光センサを用いた微小接触および微小変形, (2005). 修士学位論文