

アピオス芋の加工機械の試作と農作物の硬さ試験について

Trial manufacture of process machinery for Apios and Hardness Test on agricultural products

○下田昌平*, 佐藤勝俊*

○Masatoshi Shimoda*, Katutoshi Sato*

*八戸高専

*Hachinohe National College of Technology,

キーワード：力制御 (Force Control), 歪 (Strain), 変位 (displacement), 空気圧 (Pneumatics),
グローブスキャンシステム (Glove-Scan System), アピオス (Apios)

連絡先：〒039-1192 青森県八戸市田面木字上野平16-1 八戸工業高等専門学校 機械工学科
佐藤勝俊, Tel.:(0178)27-7265, Fax.:(0178)27-7265, E-mail:sato-m@hachinohe-ct.ac.jp

1. はじめに

アピオス¹⁾という植物がある。栄養価が高く、健康食品としてテレビや新聞に取り上げられることもある²⁾。これを地域の特産品として青森県が、栽培を押し勧めている。

このアピオスという植物は図1に示すように特殊な形状をしている。これを製品として出荷するには茎の部分と実の部分切り分けなくてはならない。しかし、他の農作物において類似した形状を持つものはおらず、そのため適した農業機器も存在しない。今のところ、加工に関しては人の手によって作業が行われているのが実情である。そこで生産拡大のため、コスト削減、高効率化を目指し、アピオスの加工を行う機械を設計・試作・検討を行った。

はじめに、現行の農業機器では対応してい

るものがないため、所期の目的を果たすことのできる機構の開発を始めた。

考案した機構を用いた試作機を製作し、動作確認を行ったところ、整列後や実の送り部の機構など解決すべき問題はあつたものの所期の目的である、茎と実の切り分けに成功した。



図1 アピオス

ところが、加工したアピオスを確認すると、所々に圧痕が認められる場合があった。調べたところ、原因はアピオスを押さえておく部分の力が強く傷が付くことがわかった。そこでできるだけ傷つけないで実を押さえるために、アピオスの硬さを調べることにした。

ここでは、試作したアピオスの加工機械と、これに関連した農作物の様に柔らかい物体の硬さ測定の結果について報告する。

2. 切り分け機構について

2.1 試作機の製作

アピオスの切り分けを行うために、図2に示す試作機を製作した。

この試作機は主に切り分け機構の動作の確認を目的としており、単純な構造になっている。

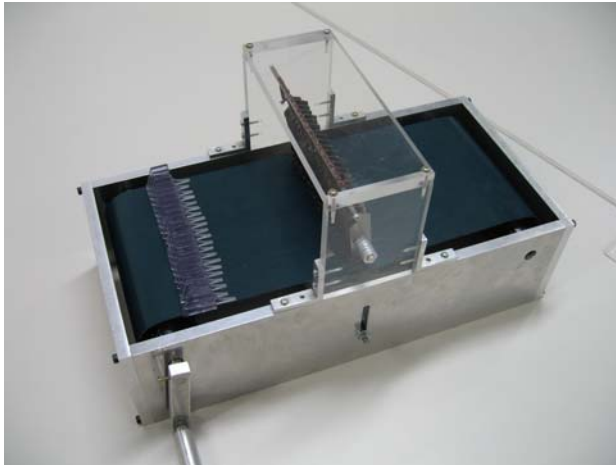


図2 切り分け機試作機

中央部にあるのがメインの切り分け部であり、一連の動作をベルトコンベヤによって行う。

この試作機に搭載した切り分け機構では、茎によって実が連結された状態のアピオスに対して、垂直方向に動作を行う。そのため、試作機の幅は可能な限り広く取ったほうがよ

い。しかし、長い尺のベルト軸の製作が困難なこと、コンベヤ部のベルトに平ベルトを使用したため、長くなるほどベルトのねじりやたわみが大きく発生してしまうこと、また、メンテナンス性が大きく低下することなどから、試作機の幅は最低でも2～3個の連結した状態のアピオスに対して動作の確認が出来るよう、150mmほどにした。

2.2 切り分け機構の構造

今回開発した機構は、適当な間隔を空け並べた刃へ向かって、簾をくぐるように芋を押し出し、茎と実を切り分けると言うものである。しかし、実際このようにした場合、実と茎を切り分けるだけでなく、実の部分も輪切りにしてしまう。そのために特殊な形状の刃を用いた。

アピオスの実が送り部によって切り取り部に押し込まれる。そのとき図3のAで示す部分では、切れ刃であるU字部分の幅がアピオスの実の大きさより狭いため、実に切れ刃が当たらずそのまま滑るようになっている。刃は中央の穴がロッドによって連結されているため、回転し上に逃げるようになっている。アピオスの実は送り部によって押されているため、そのまま刃を押し上げ、傷付くこと無く通り過ぎる。このとき刃の対称部(点C)には、ばねによってテンションが掛けられており、アピオス通過後に元の位置に戻る。逆にBで示す部分では、U字部分に茎が入り込み、刃に当たる。このときアピオスの実を押し付ける押し板と刃がちょうど鋏のような状態になり、茎が切断される。このような仕組みで切り分けを行う。また、刃先の部分が尖っているため、アピオスの実を傷付けないよう、刃先にガードを取り付けてある。

これを平行に並べ複数のアピオスの実

と茎の部分を切断する処理をできるようにした。

2.3 動作結果と問題点

製作したこの機構において、いくつかの問題はあったものの、所期の目的であるアピオスの実と茎の切り分けをすることが出来た。

このとき、切り分けした後で、アピオスの実の部分に刃(切断刃でない)による圧痕が見受けられた。当然の事ながらこのような傷は商品価値下がってしまう。この傷はアピオスの実の部分に当たる金属部分から掛かる押し付け力が強いからである。

そこでアピオスの硬さを測定することにした。しかし、このような農作物などに用いる硬さ試験機は無いから、計測器を製作することにした。ここでは柔らかい物体を破損させず、広範囲に容易に押し付け力を発生できるエアシリンダを用いることにした。

3. 計測装置

3.1 硬さ試験について

通常用いられる硬さ試験機、例えばビッカ

ース試験機、ブリネル試験機などの硬さ試験機では、当然のことながら計測対象は金属材料等である。それら試験機をアピオス等農作物のように柔らかいものには用いることは難しい。

そこでまず農作物等の硬さ測定法²⁾について調べた。図4に例としてイチゴの硬さ測定³⁾を示す。

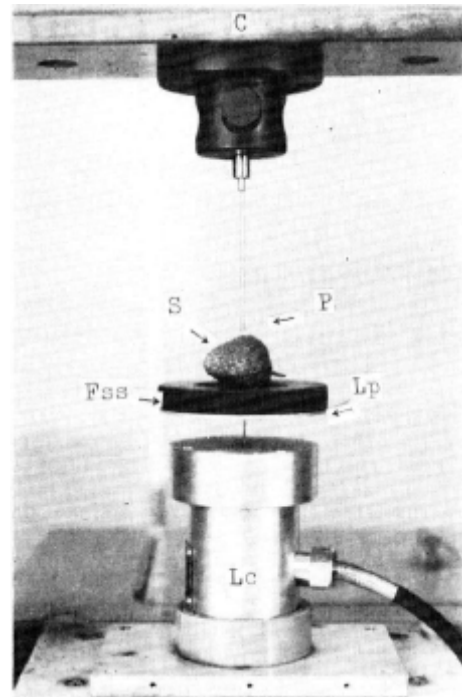


図4 イチゴ果実の硬さ測定

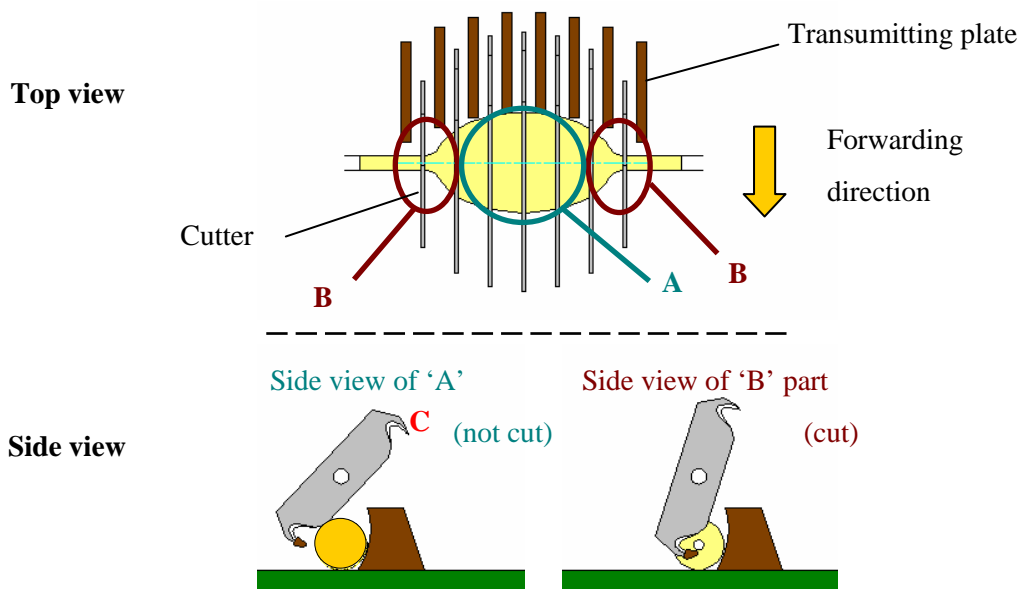


図3 切り分け機構模式図

この測定法では、荷重を与えるのに圧子を取り付けた低荷重の引張圧縮試験機を用い、イチゴに掛かった負荷の測定にロードセルを用いている。

本研究では、このような低荷重の引張圧縮試験機を現有せず、測定法をこのまま適用することは出来ない。また試料を一定の力をかけて押しつぶす方法よりは、なるべく非破壊のほうが良い。そこでエアシリンダを用いて硬さ試験機を試作する事とした。

3.2 試験機の製作

試験機を製作するに当たって、空気サーボによって制御されるエアシリンダ⁴⁾を用いることにした。これは与圧を変化させることによって広範囲に容易に押し付け力を変えられること、また空気は圧縮性があるので試料の破壊へ繋がりにくいことから採用した。図5にシステムの概要を示す。

変位はポテンシオメータを用いて測定した。シリンダ内の圧力変化を両端に取り付け

られた圧力変換器を用いて測定し、断面積の違いを考慮して発生する力に換算した。

ここで試料へ加えられた荷重を調べるため、圧力センサを用いることにした。このセンサはグローブスキャン用の圧電インクを用いた圧力センサである。このセンサを用いた理由としては、エリア内の変化を計測できるため、ロードセルなどに比べ接触点等について考慮しなくてもよい、センサ自体が薄膜であるため、試料の変形に対し影響がほとんど無いこと、などが挙げられる。

4. 圧力センサについて

4.1 センサ原理

このセンサ⁵⁾は、人間の手の平を模した(図6において左端が小指、右端が親指)厚さ約0.1mmのフィルム状シートで、加わる力の大きさに応じて電気抵抗値が変化する特殊な導電性インキで薄膜が形成されている。さらに、

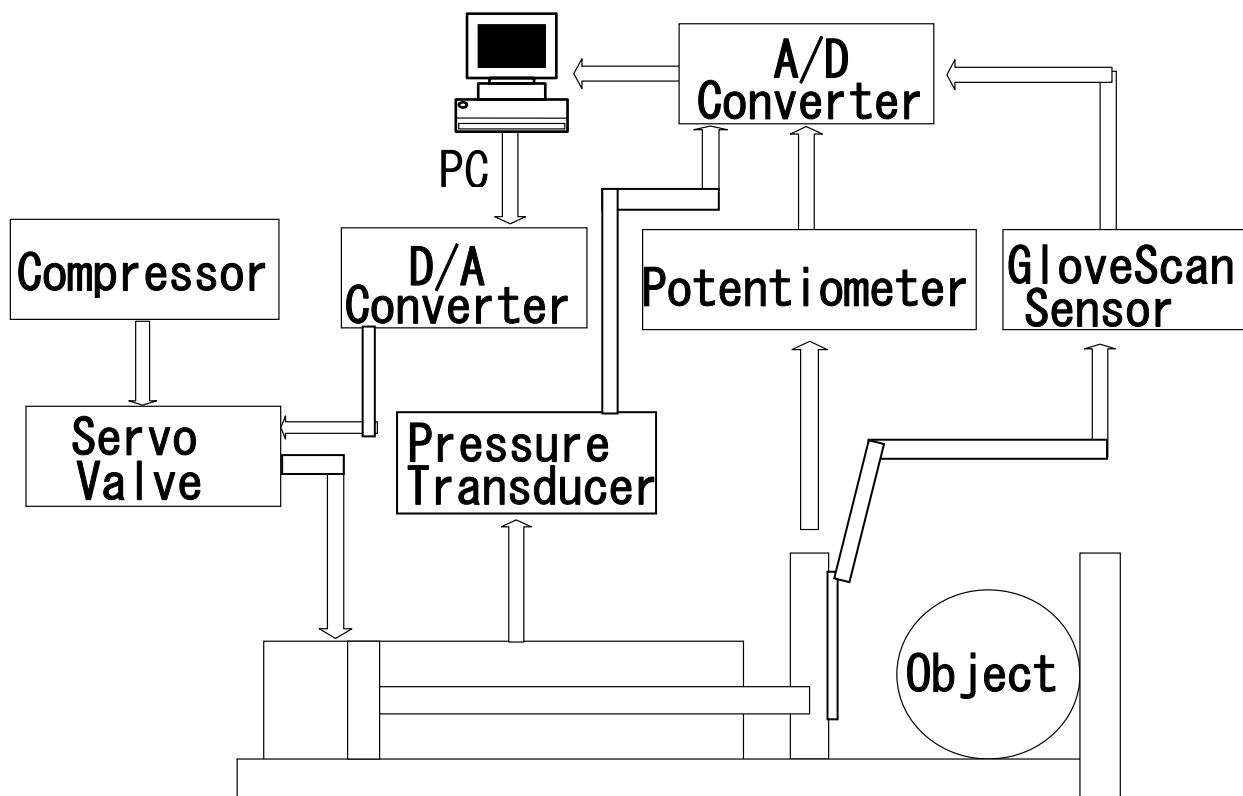


図5 硬さ試験装置概略図

この薄膜の上下に行電極と列電極が一定の間隔でマトリクス状に配置されており、これらの交点が個別の力検出点となっている。この個別の力検出点をセンサセルと呼び、今回使用したセンサシートは、4セル×4セルの正方形のエリア20箇所（計320セル）の力検出点をもって、把持の際の圧力分布と力を表現することができるようになっている。具体的には、測定の対象物がセンサシート上に乗せられると、圧力が加えられているセンサセルの電気抵抗値が変化し、この値を8bit（256段階）のデジタル値(raw値)に変換し、コンピュータに取り込んでいる。

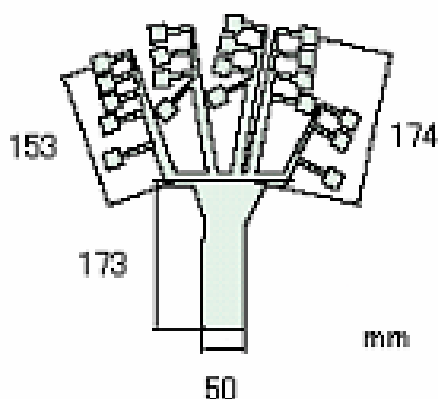


図6 センサシート

4.2 ブラダテスト

グローブスキャンシステムは、通常の圧力変換器とは異なり、同時に320点もの検出点からデータを採取するため、センサの較正が特に重要になってくる。センサの較正を行うには、すべてのセンサセルに一樣な荷重をかける必要がある。しかし、今回用いるセンサは広い面積を有するため、様々な大きさの圧力をすべてのセルに発生させるためには、非常に面積が広くかつ平面度の高い重りが複数個必要になる。このような重りを、荷重毎に製作するのは現実的ではないため、空気圧を利用して様々な大きさの圧力を均一にかけるこ

とのできるブラダテスト装置⁶⁾を使用した。使用した装置はボルトで連結された2枚のアルミ板の間に、センサシートと伸縮性のある空気袋（加圧上限180kPa）を挿入し、コンプレッサーからの圧縮空気を空気袋に送り込むことでセンサが均等に加圧されるようになっている。

4.3 イクイリブレーション値の比較

圧力センサ用計測ソフトにはイクイリブレーションという機能がある。これはある一定圧を掛けた際のセルの値のばらつきを認識し、そのばらつきを減らすように修正を行い、値を出力するというものである。

そこで、測定した生のデータとイクイリブレーションを適用した場合のデータについてどちらのほう再現性のあるデータが計測できるか調べた。

調査方法は、まずブラダテストにおいてセンサに101.3[kPa]印加し、セルデータを計測。次に101.3[kPa]を印加したままイクイリブレーションを行い、イクイリブレーションが適用された状態にする。そしてその状態においてセルデータを計測する。このとき周波数は4[Hz]、時間は25[sec]で計測を行った。計測した各セルデータの平均値をとり、1エリア、4×4、16セルの標準偏差をとる。そして標準偏差より大きく外れる値を出力しているセルを除外する。このとき残ったセルが多ければそれだけ正規分布に近いということなので、多いほうを採用する。

測定結果は生のデータを計測した場合では残ったセルは平均で2.1個になった。逆にイクイリブレーションを行い計測したデータでは、平均で4.8個のセルが残った。

以上の結果より、ほぼ感度が同じで使用できるセルの数が多くなるので、今回はイクイリブレーションを行った状態で計測を行った。

4.4 計測エリアの決定

次に、計測エリアを決定した。

製作した硬さ試験機では、圧力センサを圧縮側に取り付けた。これは接触した瞬間から、圧力を計測できるように考えたためである。その際取り付けられる面積が決まっているため、すべてのセンサエリアを利用することは出来ない。そこでまず利用しやすいエリアを選択した。その手法は次の通りである。図6に示したセンサシートの形状より、並べて使うことが難しい、11, 15, 20番のエリアを除外した。圧縮側先端にはエリアを隙間無く3つ並べることが出来る。そのため3つ並べるとずれてしまう1, 2, 3番を除外した。そこで残ったエリアの中から、センサ端子と試験機との干渉などを考慮し、4, 5, 6, 7を使用することにした。

次にこれら選択したエリアにおけるセルの較正を行った。まずブラダテストを用い、センサに101.3kPaの圧力を印加し、4.3でおこなったようにセルを選択した。

次に20.26kPaごとに0~101.3kPaまで圧力を変化させ、選択した各エリアの残ったセルのraw値の平均をとり、これに対する線形近似式を最小自乗法によって求めた。はじめに行った101.3kPa印加した際のraw値の平均を出力とする線形式の傾きを基準とし、圧力を変化させた場合のセルの傾きがほぼ等しいものを選択した。これらのセルを測定点とした。

5. 実験結果

5.1 実験条件と測定結果の表示

今回の実験では、まず硬さ試験機によって硬さの違いが測定できるかどうかはわからなくてはならない。

実験は、ある一定負荷の元、硬さの違い農作物の変形量、押し付け力を求め、違いを見た。測定対象としたのは、りんご、じゃがいも、レモン、オレンジ、完熟トマト、そしてアピオスである。

圧力変換器とポテンシオメータのデータはそれぞれ周波数1000[Hz]、時間2[sec]で、

圧力センサのほうは周波数2[Hz]、時間30[sec]で測定した。

図7に一例として、アピオスの測定データを示す。

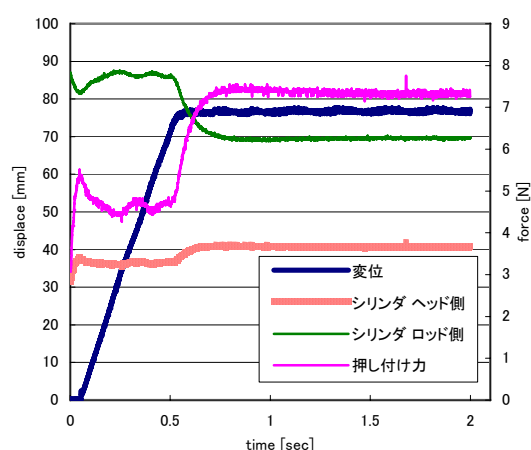


図7 アピオス測定データ

5.2 変位による違い

図8に、各測定対象のポテンシオメータのデータの変化を示す。

各試料の場合においても、一様に変化し、衝突後停止するため変位が一定になる。それぞれに一定になった値が違うのは、それぞれ

の大きさの差である。ここでグラフの様に
変化していた値が一定になる境の部分に注目
してみる。まず一般的に硬い部類であるりん
ごやじゃがいものグラフでは直線的に変化し
ていることが見て取れる。これは衝突後試料
がほとんど変形せず、変位が得られないため
である。逆に柔らかいトマトやオレンジでは
急に傾きが小さくなり、緩やかに変化した後
に一定の値になる。これは傾きが小さくなっ
たのは物に衝突し物体からの反力が発生した
ためであり、またその後ゆるやかに変位し続
けたのは、試料が圧縮されて変形したのだと
考えられる。これらのことから、変位の変化
の仕方によって測定対象の硬さの差異を読み
取ることができると考えられる。

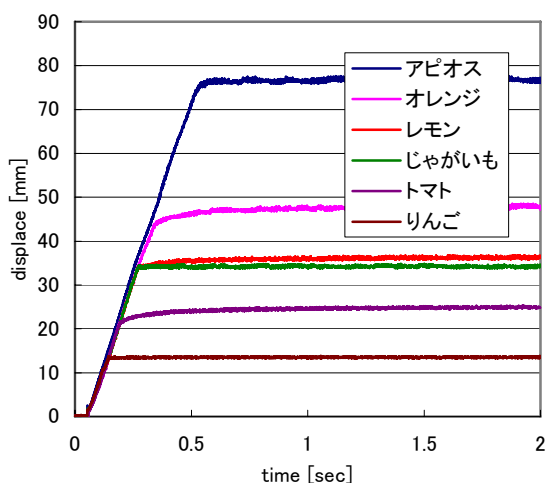


図8 各試料による差異(変位)

5.3 圧力による差異

図9に、各測定対象の圧力センサのデータ
の変化を示す。ただし縦軸は各測定圧力をそ
の測定点における最大圧力によって除し、無
次元化してある。

ポテンショメータと同様に各試料とも同じ
ような変化をしているが、差異がはっきりと
している。まず硬いりんごでは、ほぼ変形が

無いため、すぐに最大圧力へ向かっている。
似たようなじゃがいもでは、若干柔らかいの
か、少し緩やかな変化になる。逆に柔らかい
トマト、オレンジなどは、衝突した後、試料
の変形に伴い緩やかに圧力が上昇していく。
図10に無次元で評価・比較した結果を示す。
このグラフでも各試料の違いが読み取れる。
これらのことから圧力波形によって対象の硬
さの差異を知ることが出来るといえる。

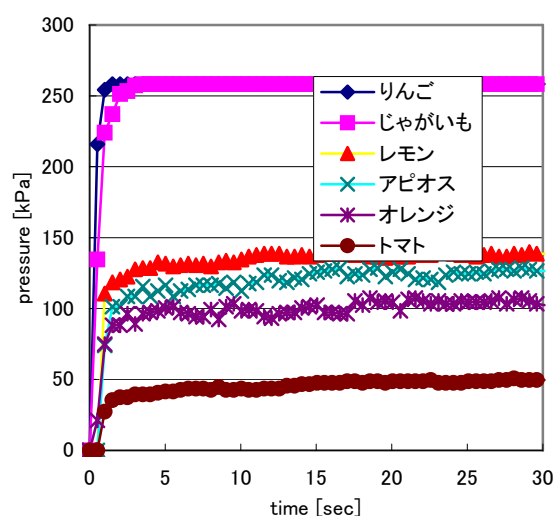


図9 各試料による差異(圧力)

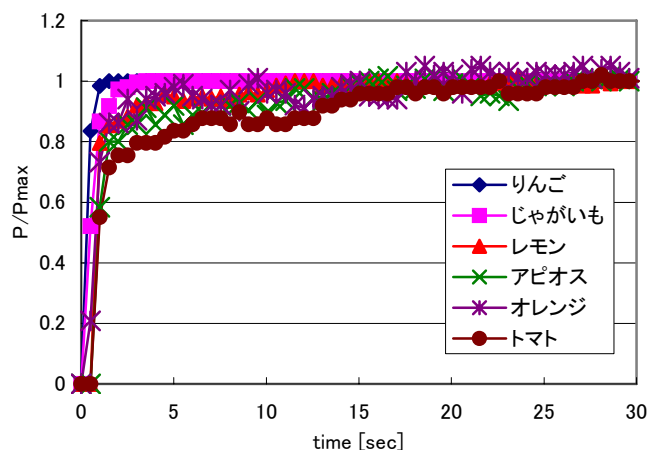


図10 各試料による差異(無次元による評価)

今回、グローブスキャン用圧力センサを用
いて押し付け力を測定しようとした。

図11に変形しない物体の例として、9V乾

電池を押し付けた時の様子を示す。センサのクリープ特性がひどく、応答が遅いため、測定値を使用して定量化することは難しいと判断した。またセンサの計測範囲があまり広くないため、硬い物を対象に実験を行うと、出力値が飽和してしまい、大きな力は測定できなかった。

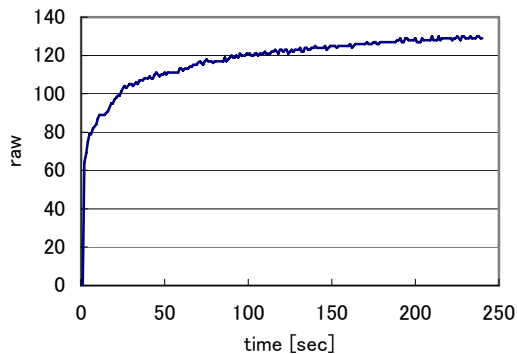


図 1.1 圧力センサのクリープ特性

6. おわりに

アピオスの加工機械の押し付け力を調べるために、グローブスキャン用圧力センサとエアシリンダを用いて農作物など柔らかい物体の硬さを測定した。結果をまとめると次のようになる。

(1) 圧力センサについて

- ・生の測定データとイクイリブレーションを行ったデータでは後者の方がばらつきの少ないデータが得られた。
- ・クリープ特性が大きいため、過渡的な力変化を調べるセンサとしては、グローブスキャンは使用できない。しかし、圧力の変化の仕方から硬さの差異を読み取るモニタとして利用できる。

(2) エアシリンダを用いた硬さ試験機について

- ・エアシリンダを用いることによって対象を破壊しないで測定が行える。
- ・ポテンショメータの変位によって、測定対象の硬さの差異が読み取れる。

今後はより高い圧力での試験を行い、今回ほとんど変形しなかったりんごなどの硬さも計れるかどうかを調べてみたい。

参考文献

- 1) はてなダイアリー アピオス：
<http://d.hatena.ne.jp/>
- 2) 菅野，上村：キュウリの果皮・果肉の硬さ測定法とその品種間差異，野菜試験場報告，B2：25～42(1978)。
- 3) 門馬，上村，吉川：イチゴ果実の硬さ測定法，野菜試験場報告，B1：1～11(1977)。
- 4) 佐藤勝俊，成田幸人，空気圧サーボを用いた把持機構の試作，八戸工業高等専門学校紀要，第 38 号，pp.77～82(2003)。
- 5) 圧力分布測定システムマニュアル，ニッタ株式会社(2002)。
- 6) 佐藤勝俊，秋谷圭祐，グローブスキャンシステムによる把持力分析と空気圧フィンガへの適用，計測自動制御学会東北支部第 229 回研究集会，資料番号 229-3，(2006)。