

# スカラロボットによるカップ容器のハンドリングに関する研究

～カップ容器ポイントシール装置への適用～

西本 澄\*, 石田秀彦\*\*

(平成20年10月31日受理)

## Studies on Handling Cups by a SCARA Robot

— Application for Loading and Unloading Cups to and/or from a Point Sealing Machine —

Kiyoshi NISHIMOTO and Hidehiko ISHIDA

(Received Oct. 31, 2008)

### Abstract

A SCARA robot has been developed to pick up a plastic cup with dry fruits and load it to a point sealing machine. If any new cup is introduced on a conveyor, an infrared range sensor will sense it and measure the distance from that sensor. In addition, force sensors are used to determine when the robot hand is in contact with a cup and grasp a cup of different size, applying the appropriate level of force. These sensors are inexpensive each.

In this paper we describe how the center and radius of a circle passing through these measured points can be estimated. The effects on the measurement errors and deviations due to the surface optical characteristics of cups will be examined and the Hough transform method will be used to derive the location of a circle.

**Keywords;** SCARA ,infrared range sensor ,force sensor ,H ough transform ,circle

### 1. 緒言

プラスチック製のカップ容器のポイントシール機は現在ハンディタイプのものしか商品化されておらず、株式会社イシカワは広島市の新技術・産学官研究開発助成金を受けて高品質のポイントシールが実現できる装置を開発した。さらにこのポイントシール装置にカップ容器を供給し、さらに取出す機能を加えることとし、この方法について検討した。その結果、ベルトコンベア上のカップ容器を3自由度の水平多関節ロボットに取りつけたハンドで把持し、ポイントシール装置へ供給する方法を採用した。

本研究の目的はスカラロボットのハンドでカップ容器を確実に把持できるようカップ容器の正確な位置計測を実現することであり、この計測を低価格の赤外線距離センサを用いて行った。カメラを用いた画像計測では環境光の影響の除去など、システムが高価になること、ソフトウェアが複雑になることから空間的にも場所をとらない低価格の赤外線距離センサを計測に使用した。すなわち、赤外線距離センサによりコンベア上を移動するカップ容器を検出し、コンベアを停止させると同時にカップ容器の中心位置を正確に計測する。また、本研究では、開閉するはさみ機構をもつ回転型ハンドによりカップの把持を行い、把持の確認

\* 広島工業大学工学部知能機械工学科

\*\* 株式会社イシカワ

を感圧抵抗素子により行う。そこでカップに対するハンドの位置決めが不十分な場合にカップを把持するときのハンドの左右のはさみ（指）のそれぞれの把持力について調べた。

赤外線距離センサによる計測では、カップ容器が透明であることの影響について静止状態にある容器、コンベア上を一定速度で移動する容器に対して距離計測および形状計測実験を行い、最適なカップの停止位置をふくめて多くの知見を得ることができた。

本論文ではポイントシール装置およびスカラロボットの概要について説明し、赤外線距離センサによる距離・形状の計測結果と感圧抵抗素子によるハンドの把持力の計測結果について報告する。

## 2. ポイントシール装置

ポイントシール装置はプラスチックカップ容器の蓋と本体に3箇所のスポット溶着シールを行う装置である。すなわち、インデックステーブルの4箇所に容器装着口を設け、テーブルを水平面で90度ずつ回転させ、各セクションで、カップ容器の挿入、蓋のおさえと固定、スポット溶着、コンベアへの容器取り出しを繰り返して行うカップ容器のポイントシールを高速に行う自動化装置である。インデックステーブルの駆動は近接スイッチによる原点検出を1回転ごとに行い、ハーモニックドライブ減速機仕様のステッピングモータを用いることにより位置分解能および位置決め誤差を小さくしている。ポイントシール装置の計測・制御はPLCにより行っている。

ポイントシール装置のヒートシール金具形状についてはすでに特許を取得しており<sup>1)</sup>、取り扱える容器の大きさに制限があるが、高さや形状（円筒、多角形など）の異なる容器のポイントシールに柔軟に対応できる特長をもつ。ポイントシールおよびポイントシール装置の詳細については付録Aに示す。

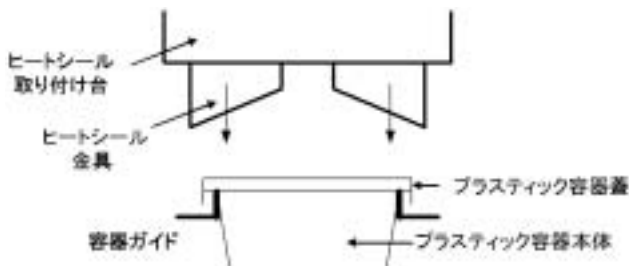


図1 ポイントシール装置のヒートシール金具

## 3. スカラロボット

カップを把持するためのはさみ機構のハンドを備えた3自由度のスカラロボットを設計した。ロボットハンドは鉛直方向に上下し、コンベア上のカップ容器を把持し、ポイントシール装置へカップを供給し、さらにシールされたカップ容器を取り出し、再び搬出用のコンベア上に置く。スカラロボットはこれらの動作を繰り返して行う。

スカラロボットの2軸リンクの駆動にはステッピングモータを使用し、いずれもハーモニックドライブ減速機を用いてオープンループ制御とした。そのために繰り返し動作のなかで2軸リンクの各リンクの基準位置を磁気抵抗素子を用いて毎回検出し、位置決め誤差が累積しないようにした。図2にポイントシール装置とスカラロボットの外観を示す。

スカラロボットのハンドの開閉、カップの供給および搬出用ベルトコンベア（幅300mm）の駆動には、すべてステッピングモータを使用し、一定のパルスレートで駆動している。ハンドの鉛直方向の制御は空気圧シリンダを電磁弁でON/OFFして行っている。

カップ容器の位置計測には三角測量を原理とし、測定対象物の表面特性の影響を受けにくい赤外線距離センサを、各リンクの基準位置の検出には磁気抵抗素子、ハンドの把持力の計測には感圧抵抗素子を用いた。さらにハンドの位置決め後に直下にあるカップ容器の存在を検出するために左右のハンドに2値（1/0）出力する赤外線センサを取り付けている。ポイントシール装置との通信、およびこれらの計測・制御はH8-3048Fマイコンで行っている。図3にスカラロボットの計測・制御装置とポイントシール装置とのインタフェースの構成を示す。また付録BにH3048、赤外線距離センサ、磁気抵抗素子の外観を示す。

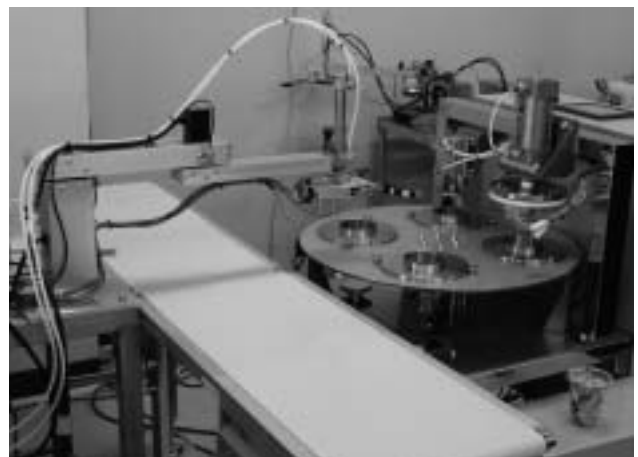


図2 ポイントシール装置とスカラロボットの外観



図3 H8 マイコンによる計測・制御装置の構成

## 4. スカラロボットの位置決め制御

### 4.1 スカラロボットの計測・制御

スカラロボットは搬入用コンベア上のカップ容器をポイントシール装置に供給し、シールされた容器を搬出用のコンベアに取り出す。ポイントシール装置のインデックステーブルはカップの供給、蓋おさえ、シーリング、カップ取り出し用のそれぞれ4つのカップ容器が収納できる直径80mmの円孔をもち、シーケンス制御により90度ずつ回転する。

スカラロボットは赤外線距離センサによりカップ容器を検出してコンベアを停止させ、得られた距離情報からカップ容器の位置を求め、2軸リンクの先端に取り付けたハンドの位置決めを行う。すなわち、位置決めされたロボットハンドのツールポイントとカップ容器の位置を一致させることが本研究の目的である。そしてロボットハンドを降下させ、カップを把持する。このとき、はさみ機構によるハンドの内側に感圧抵抗素子を装着し、カップの把持力を計測してカップを確実に把持する。再びハンドを上昇させ、ポイントシール装置上のカップ供給部にカップを供給する。カップを供給し、ハンドを上昇させた後、これを知らせるストローブ信号をポイントシール装置に送り、ポイン

トシール装置はこの信号を受けてインデックステーブルを90度回転する。

さらに2軸リンクはシールされたカップ容器を取り出し部でハンドにより把持、搬送用コンベアに置く。この直後、搬出コンベアを一定時間駆動し、ロボットは関節J1を関節角0度、関節J2を関節角0度として待機状態に入る。赤外線距離センサによりカップの存在が検出されるまでの間、搬入用のコンベアは一定速度で稼働し続ける。

ロボットの2軸リンクの駆動にハーモニック減速機仕様の高分解能のステッピングモータを使用しているが、1回の動作ごとに関節J1は関節角0度の位置に設置した磁気抵抗素子により、さらに関節J2については取り出したカップをコンベアに置くとき、すなわち回転角-90度の位置に設置した磁気抵抗素子で位置決め補正を毎回行い、角度誤差の累積を防止している。図4にポイントシール装置のインデックステーブルと供給用コンベア、搬出用コンベア、スカラロボット、および赤外線距離センサの幾何学的な配置を示し、スカラロボットが待機状態からカップを把持し、シールされたカップを搬出用のコンベアに置くまでのスカラロボットの基本姿勢を示す。

### 4.2 メカニカルハンドによるカップの把持

ハンドは大きさ、高さの異なるカップ容器を把持するために2指が開閉するはさみ機構とした。指部は180度まで開口し、開閉はステッピングモータによりボールねじを駆動して行う。カップ容器との接触検出と適切な力でカップ保持するために指部の内側に感圧抵抗素子を取り付けた。図5にメカニカルハンドの外観を示す。

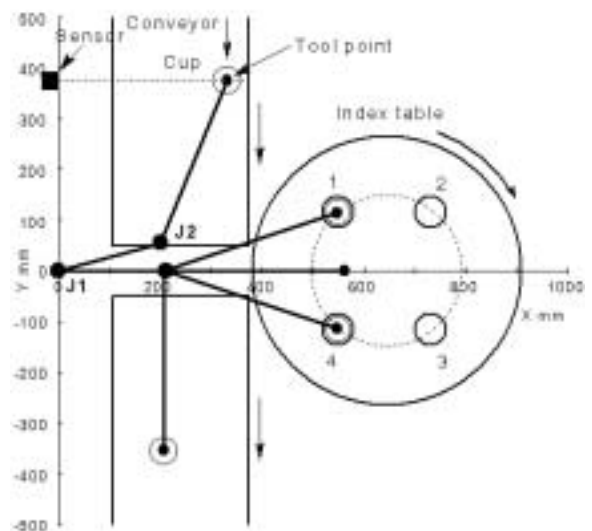


図4 スカラロボット、コンベア、インデックステーブルの幾何学的構成



図5 メカニカルハンドの構造

の異なるものについても対応していく必要がある。



図7 プラスチック製カップ容器と紙コップ

#### 4.3 赤外線距離センサによるハンドの位置決め

一定速度のベルトコンベア上にカップ容器は投入され、図6に示す位置に距離計測範囲が100mmから800mmのシャープ製の赤外線距離センサ GP2D12を設置する。センサはカップ容器を検出してベルトコンベアを停止させ、センサからのカップまでの距離を計測してスカラロボットハンドの位置決めを行う。容器の停止位置として図4に示すようにカップの停止位置として、(A)カップを検出したらずちに停止させる、(B)センサ正面、すなわち、カップとセンサとの距離が最も近づくときに停止させる、(C)センサでカップが検出できなくなるカップが通り過ぎた位置で停止させる、3通りが考えられる。

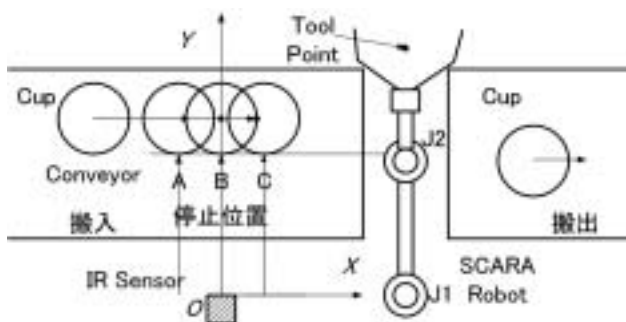


図6 赤外線距離センサによるハンドの位置決め

ここで図7に本研究で扱うプラスチック製のカップ容器の外観を示す。カップ容器は透明でラベルシールが側面の一部にはられ、なかにはドライフルーツが詰められている。今回対象とするカップ容器の直径は約60mmである。但し、コンベアから供給されるカップにはドライフルーツが充填されているが、ラベルは貼付されていない。また、対象とするカップについて直径が異なるもの、さらに形状

赤外線距離センサからの出力信号は20msごとに10ビットのAD変換器で処理される。H8マイコンで高速処理するため、次に示す近似式で距離 $y$ mmを算出する。

$$y = \frac{65000}{d} - 35 \quad (1)$$

ここで $d$ は出力データの値である。図8にGP2D12のAD変換データ $d$ と距離 $y$ との関係を示す。実線が近似式を示す。

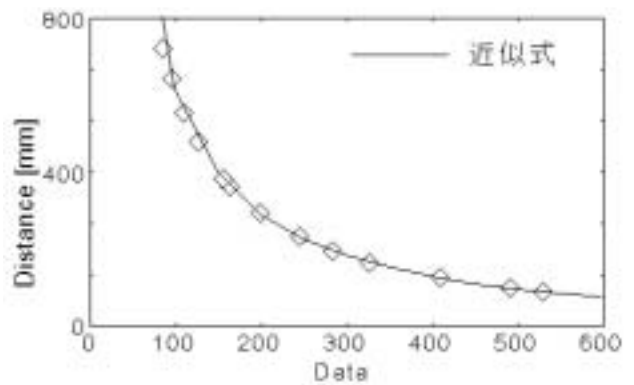


図8 赤外線距離センサの性能曲線

##### 4.3.1 カップ容器の半径の計測

カップ供給用のコンベア速度はH8マイコンで一定速度制御を行っており、既知であり、センサ座標系を図6のようにとると赤外線距離センサで検出されるカップ容器の表面までの距離情報からカップ表面の計測点の座標値( $x$ ,  $y$ )が得られ、カップ容器の半径 $r$ mmを求めることができる。すなわち、カップ表面の4分の1円、あるいは半円の座標値から円の中心座標および半径を求めることができる。例えば、図6(C)の場合、コンベア速度を $v$  mm/sと



し、カップ容器を赤外線距離センサが検出する時間を $T_s$ 、赤外線距離センサから得られる距離の最小値を $y_{min}$ とすると、停止したカップの中心座標値 $(p, q)$ および半径 $r$ は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} (p, q) &= (VT/2, y_{min} + VT/2 - Dd) \\ r &= VT/2 - Dd \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、センサが容器を検出するのは $x = 0$ より負の方向 $Dd$ の位置からであり、さらに検出できなくなる位置も $x = 0$ から正方向 $Dd$ の位置となることを考慮している。

いっぽう、円周上の3点が既知の場合、円の方方程式を求めることができ、次々に計測されるカップ表面の距離情報から円の中心座標 $(p, q)$ および半径 $r$ を次の(3)式から求めることができる。

$$(x - p)^2 + (y - q)^2 = r^2 \quad (3)$$

また、4分の1円、あるいは半円の計測座標値からハフ変換により円の中心座標および半径を求めることができる。距離センサから得られた計測座標値 $(x, y)$ に対して $(p, q, r)$ の3次元空間を探索し、次の(4)式を満足する $(p, q, r)$ で投票数が最大のものを解とする。

$$(x - p)^2 + (y - q)^2 - r^2 < f \quad (4)$$

$f$ はどの程度の分解能で $(p, q, r)$ を求めるかに依存し、本論文では $p, q, r$ の分解能を5mm、 $f = 200$ とした。

以上、本論文ではカップを把持するためのハンドの位置決めはカップ容器の停止位置の精度に依存するので、今回用いる赤外線距離センサにより得られる情報から正確な停止位置の計測が可能かどうかを評価する。

#### 4.4 カップ容器の位置決めずれの検出

カップ容器の停止位置に対してハンドの位置決めで問題となるのは、ハンドを下降させるときにハンド自身でカップを押しつぶすことである。はさみ機構を利用したハンドにおいて開口部の開きを大きくすれば押しつぶす危険性は小さくなるが、カップの短時間での把持が困難になる。そこでハンドのはさみ機構の左右の指の下部に赤外線障害物センサを取り付け、ハンドの位置決めを行った後、それぞれの指の直下にカップ容器が存在するかどうかを検知し、関節J2の制御を行う。例えば、左側のはさみ部のセンサがカップ容器を検出した場合には関節J2を左側（反時計回り）にカップを検出しなくなるまで回転させる。図9にハンドとカップの位置について3つの例を示し、それぞれの場合の関節J2の制御方向を示す。

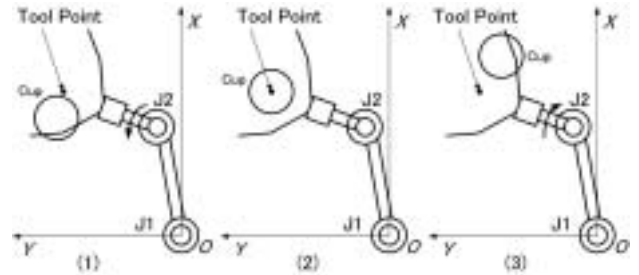


図9 ハンドのツールポイントとカップ停止位置

#### 4.5 感圧抵抗素子によるカップ容器の把持

本論文ではカップ容器の停止位置とハンド開口部の中心、ツールポイントが一致することを目標とする。そこで停止位置が開口部の中心位置からずれた場合に、カップを把持するときハンドの指の内側に装着した感圧抵抗素子出力がどのように変化するかを調べた。

把持力の計測に用いる感圧抵抗素子はインターリンク社製のFSR400（直径7.6mm、厚さ0.3mm）で荷重の小さい範囲では図10に示す性能をもつ。この範囲では力 $F$ に対するAD変換データは直線近似できる。

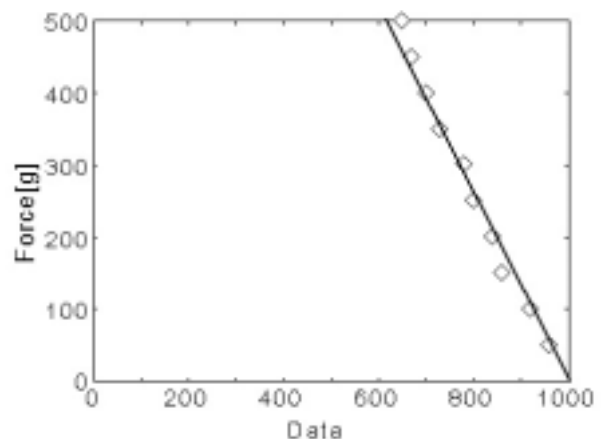


図10 感圧抵抗素子の荷重とAD変換データとの関係

### 5. 実験結果

#### 5.1 カップ容器の把持力の計測結果

ドライフルーツが充填されているカップ容器の重さは180g程度であり、カップ保持のためには数100g前後の把持力が必要である。カップの停止位置とハンドのツールポイントが一致する場合とハンドの位置決めずれがある場合の左右(LとR)の指に取り付けた感圧抵抗素子出力の時間変化を図11(a), (b)に示す。カップの停止位置がツールポイントと一致する場合にはほぼ同時にハンドのはさみ部がカップ容器を検出していることがわかる。

いっぽう、位置決めずれがある場合、図11(b)に示す

ように左側のハンドでカップ容器をコンベア上で押す動作が1秒間継続したのち、両方のハンドでカップを把持することがセンサ出力からわかる。

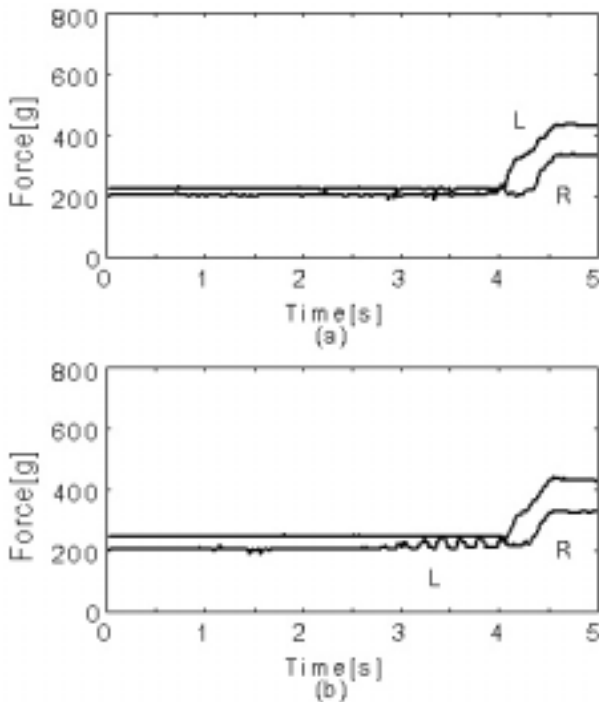


図11 位置決めずれによる左右グリッパの把持力変化

### 5.2 赤外線センサによる距離計測結果

赤外線距離センサを用いて静止した状態にあるカップ容器までの距離を計測した。カップの内容物、表面状態の違いにより、(a)空の状態の透明容器、(b)ドライフルーツが詰められている商品、(c)同一商品でラベルが貼付され、センサにラベル面が向いている場合、(d)白色の紙コップについて、センサとカップまでの距離  $y$  を 190mm として計測を行った。

250回の計測値  $y$  の平均値は、(a) 239mm, (b) 200mm, (c) 188mm, (d) 194mm, 標準偏差はそれぞれ (a) 15mm, (b) 3.5mm, (c) 3.2mm, (d) 3.0mm であり、透明な部分を計測対象とする場合にはセンサから容器までの距離が実際の値よりもかなり大きくなり、計測値のばらつきも大きいことがわかった。

さらに上記と同様の容器についてコンベア上を一定速度  $v = 50\text{mm/s}$  で移動する場合の距離計測を行った。図12にカップの内容物、表面状態の違いによる赤外線センサによる距離情報の時間変化を示す。なお、本実験における真値は  $p = 40\text{mm}$ ,  $q = 220\text{mm}$ ,  $r = 30\text{mm}$  である。

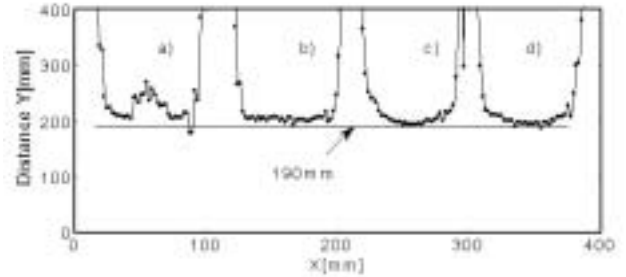


図12 カップの表面状態の距離計測への影響

カップ容器のラベル面を検出している場合(c)と白色の紙コップの場合(d)はカップ表面の円弧を検出しているが、容器が透明である場合(a)は距離計測誤差、計測値のばらつきが大きくなり、容器内のドライフルーツがみえている場合(b)でもその充填状況により、カップの円弧部を正確に検出できないことがわかった。さらに内容物が大きい果肉片の場合には(a)の計測結果に近くなることがわかった。したがって容器をセンサ正面で確実に停止させることは困難であり、図13に示すようにカップ容器がセンサ正面を通過した位置、すなわち(2)式で表される位置で停止させるのが最善の方法と考えられる。

この場合、カップ容器を検知してから検知なくなるまでの移動距離からハンドの位置決めを行うことができる。すなわち、センサで容器が検出される範囲はAの位置からCの位置であり、センサ座標系  $O - XY$  において容器の停止位置  $(p, q)$  は図のように表される。停止位置の座標値  $q$  の値は、赤外線距離センサから得られる  $y_{\min}$  の値とセンサの視野に依存する  $D_d$  に依存する。実験結果によれば、 $y_{\min}$  の計測値のばらつきは数 mm, 使用した赤外線距離センサの  $D_d$  は 10mm であり、 $p = 38\text{mm}$ ,  $q = 218\text{mm}$ ,  $r = 28\text{mm}$  が得られた。

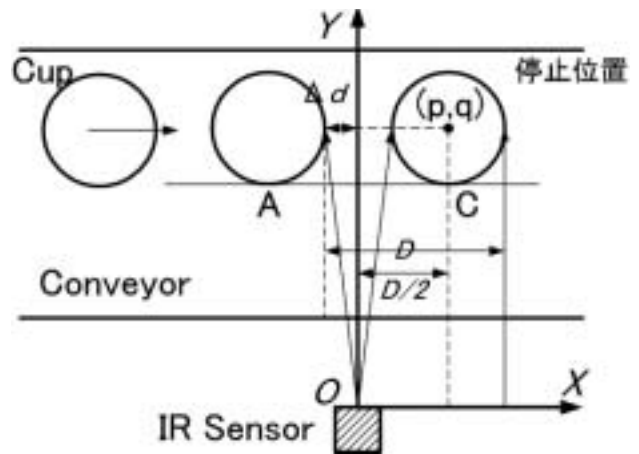


図13 最適なカップの停止位置

いっぽう、概ね円弧情報が得られている(c)の場合と(d)

の場合について、カップ容器表面の連続する3点の距離情報から円の半径 $r$ と中心座標 $(p, q)$ を求めた結果を図14に示す。センサによる計測値のばらつきにより、近接する3点では、ほとんどの場合、半径 $r$ は10mm以下の小さな値となり、円の中心の $y$ 座標の誤差は20mm以上となった。

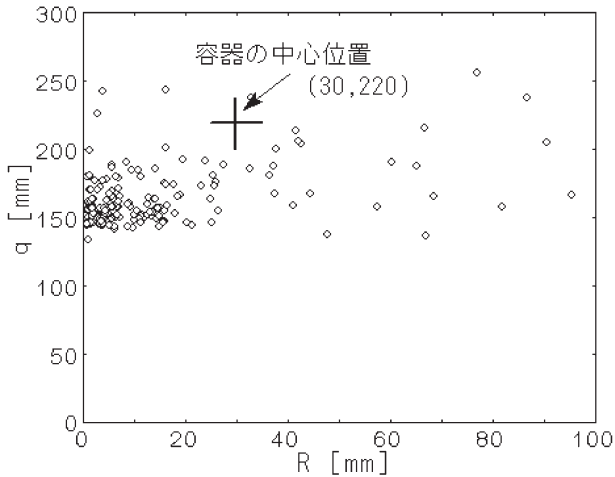


図14 近接する3点から求めた円の中心座標

そこで(c)および(d)で得られる座標値に対してハフ変換を適用した。(4)式における $\varepsilon$ の値の選び方がむずかしいが、図15に示すようにほぼ正確に円の中心 $(p, q)$ と円の半径 $r$ を求めることができた。ラベル面を計測した結果、白色の紙コップを計測した結果から、赤外線距離センサにより観測されるカップ容器の表面の光学特性を考慮したラベルで覆うことによりカップ容器の形状の計測をかなり正確に行うことができることがわかった。

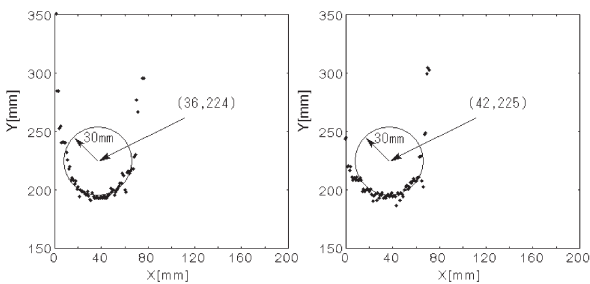


図15 ハフ変換による容器の中心座標の計測値

ハフ変換は計算コストを要する計算法であり、探索空間を絞り込むための工夫が必要である。例えば、図16は(c)の距離情報から得られたカップ表面の座標値について $(p, q, r)$ の3次元空間を探索した結果である。探索範囲は

$$\begin{aligned} p &> 0\text{mm} \\ q &> 189\text{mm} \\ r &\leq 20\text{mm} \end{aligned} \quad (5)$$

で、分解能5mmでそれぞれ100mmの範囲を探索した。不等式(4)が成り立つかどうかを計算する回数はこの例では円弧情報をもつ計測点数が74となり、 $20 \# 20 \# 20 \# 74 = 59200$ となる。図16は $p = 36\text{mm}$ を断面とする $(p, q)$ の投票結果を示すものであり、多数のピークが存在し、解の候補が多数存在することがわかる。

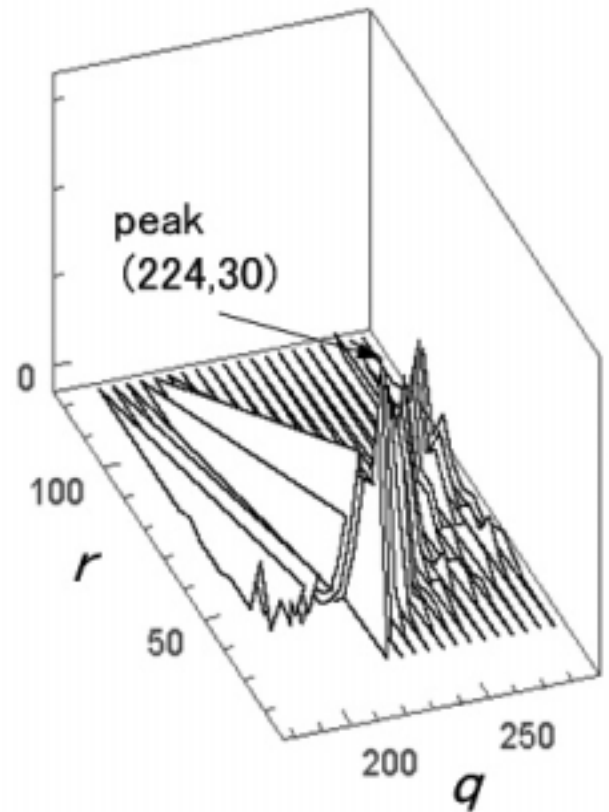


図16  $(r, q)$ によるハフ変換の投票結果 ( $p = 36\text{mm}$ )

## 6. 結言

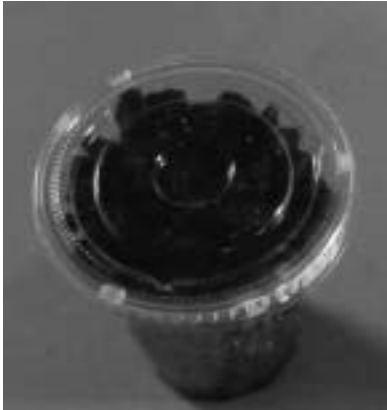
スカラロボットによるハンドの位置決めについては高分解能のステッピングモータと基準となる位置決めセンサの導入により高精度・高分解能動作を実現できた。

また低価格の赤外線距離センサを用いてベルトコンベア上を移動するドライフルーツ入りのプラスチック製透明容器を観測した結果、容器の透明度、フルーツの充填状況によりセンサから容器までの距離計測結果が大きく左右され、カップ容器全体がセンサ正面を通過した時点でコンベアを停止させるのが最善の方法であることがわかった。また、赤外線距離センサから観測されるカップ容器部にラベルを貼付することにより、容器の形状測定が可能となり、カップの中心位置の計測精度を改善することができることが示された。

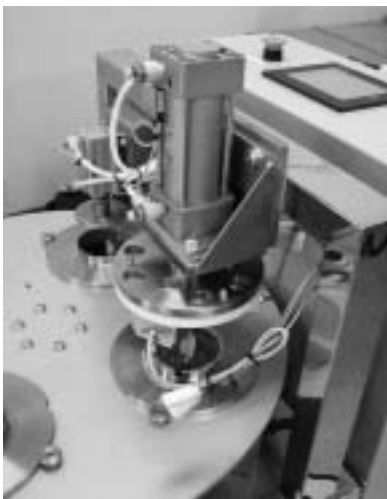
## 文 献

- 1) 石田秀彦, 容器ヒートシール装置, 特許第 4072566 号, JP 4072566, B1 (2008)
- 2) 西本 澄, 石田秀彦, スカラロボットによるカップ容器の供給・取出しの自動化に関する研究, 精密工学会 中国四国支部学術講演会, 114, (2008)

### 付録 A ポイントシール装置の概要



3点ポイントシールの概観



ポイントシール装置のヒートシール部

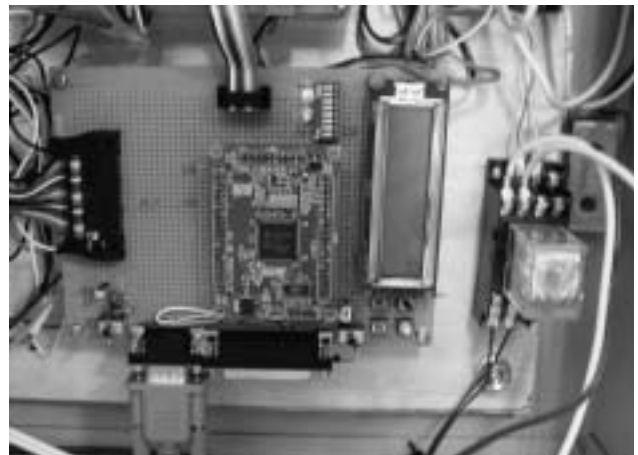


カップ容器の蓋押さえ部

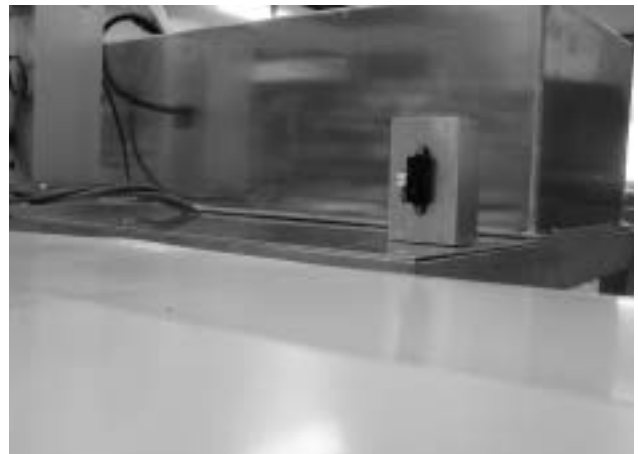


液晶表示によるポイントシール装置の操作盤

### 付録 B H3048 によるマイコン計測・制御



スカラロボットの計測・制御の心臓部 (H8-3048 マイクロプロセッサ)



カップ容器までの距離を計測する赤外線距離センサ GP2D12





磁気抵抗素子によるリンク 2 の位置決め