

## 光電センサとカラーテレビカメラ組合せによる農作物の形状認識

藤浦 建史\*・中尾 清治\*・田中 幸三\*\*

Pattern Recognition of Agricultural Crop by Photoelectric  
Sensor and Color TV Camera

Tateshi FUJIURA, Seiji NAKAO and Kouzou TANAKA

### Synopsis

A photoelectric sensor which detected the solid shape of the crop was made by trial for agricultural robot. The sensor was composed of a light projector, a photo detector and a scanning device and was combined with a small color TV camera.

The light projector consisted of five infrared LEDs (Light Emitting Diodes) and a lens, and five infrared beams were emitted through the lens. The photo detector consisted of five PSDs (Position Sensitive Devices) and a lens. The infrared light from each LED was reflected by the crop surface and was imaged on each PSD through the lens.

The distance to the crop surface was calculated by way of a triangulation. The infrared beams and the reflected lights were deflected by two mirrors and three stepping motors to scan the crop and the shape of the crop surface was measured. Five points were measured simultaneously using five LEDs and five PSDs to get the quick measuring speed. The distances to 2000 points of the crop surface were measured within 0.7 s.

The color of the crop was also measured by a color TV camera. The measuring experiment of Mandarin Orange was done. The shape of the crop within the distance of several tens cm from the sensor could be measured with fairly good accuracy and the fruits could be distinguished from leaves and stems by the difference of color.

### I. 緒 言

これまで<sup>1,2)</sup>に試作実験を行ってきたトマト収穫ロボット<sup>3)</sup>とカンキツ類収穫ロボットでは、カラーテレビカメラを用いて果実の2値画像をコンピュータに入力し、ステレオ画像法により果実の三次元位置を算出し、コンピュータに取り付けたハンドにより収穫するようにしていた。これらのロボットを用いて果実収穫実験を行った結果、果実位置等の条件によっては収穫が可能であった

が、コンピュータの運動の経路や果実の近くに茎葉か他の果実がある場合には、収穫動作の障害となり、収穫が困難であった。また赤いトマトや黄色いミカンのように色が鮮明で、背景の茎葉と識別しやすい果実の場合には、2値画像を用いてステレオ画像法を適用できるが、野菜や果樹の葉のように多くの似た色と形状のものが存在する場合、ステレオ画像法を用いると、両画像間の対応付けが困難であった。このためアクティブレンジファインダ法で作物の三次元形状を計測するセンサを試作<sup>4)</sup>し、本誌23号で報告した。このセンサは、投光器から発

\* 農林システム学講座

\*\* 島根県立松江工業高等学校

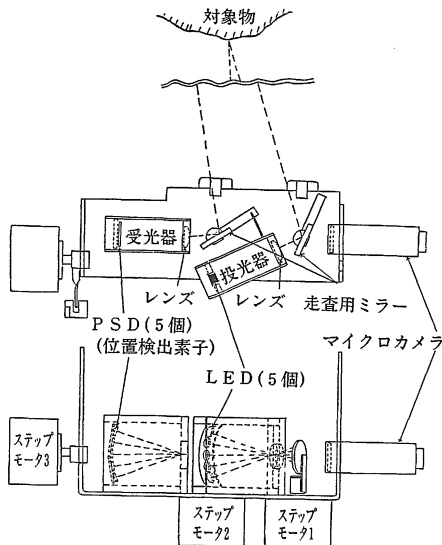


図1 光電センサ

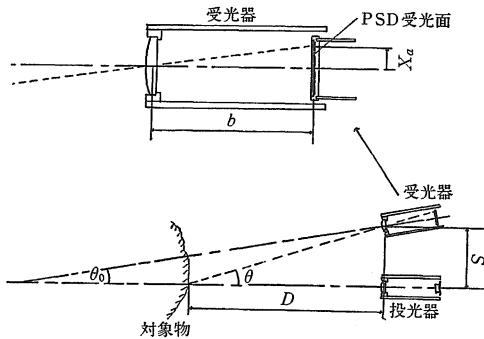


図2 距離計算

射した光が作物に反射したものを受光器のフォトダイオードで受け、投光角と受光角から作物までの距離を算出するものである。投光器と受光器の光軸を変えることにより、三次元空間を走査するようになっており、実験の結果、センサの近くにある作物の形状を比較的正確に計測することができた。しかしこのセンサは、投光器と受光器の光軸が交差するところにある作物の表面を検出する方式であり、作物の表面形状を計測するためには三次元空間を走査しなければならないため、形状計測に時間を要した。

このため、今回は三次元形状を高速認識することを目的に、受光器に PSD (非分割位置検出素子) を用いて、作物の形状を計測するセンサを試作し、形状計測を試みた。PSD は、半導体の表面抵抗を利用して入射光の位置を検出する素子で、変調光でも用いられるため、野外での計測にも適したものである。このセンサでは、PSD

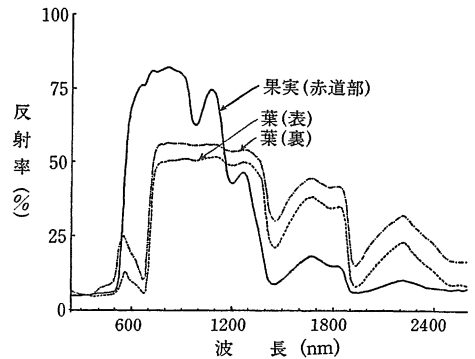


図3 温州ミカン の 反 射 分 光 特 性

を5個使い、並列使用することにより5方向の距離を同時に計れるようにして高速化をはかり、0.7秒程度で2000方向の走査を行えるようにした。また赤いトマトを選択的に収穫する場合のように、作物やロボットの作業の種類によっては色情報も必要であるので、小型カラーテレビカメラもセンサに取り付けた。なお、この研究の一部は文部省科学研究費(総合(A))の補助を受けた。また、実験に際し、専攻生の永井、仁科両君の協力を得た。記して謝意を表する。

## II. 実験装置及び方法

図1に試作した光電センサを示す。投光器には上下方向に5個のLED(発光ダイオード)を取り付け、レンズを通して5本のスポット光を放射した。受光器には5個のPSDを取り付け、投光器から放射し対象物に反射して帰ってきた光をレンズにより受光面に結像させた。投・受光角は、投・受光器の前に付けた丸い鏡(走査用ミラー)をステップモータにより回転させることで左右方向に偏向させ、また図の左側のステップモータを回転させることにより、上下方向に偏向させた。このセンサでは距離情報は投・受光角から三角測量の原理で求め、色情報は図の右側に取り付けたカメラにより得るようにした。

対象物までの距離は、PSDの両端にあるアノード1及び2の出力電流  $I_1$ 、 $I_2$  より、三角測量の原理を用いて求めることができる。図2において、

$$X_a = L(I_1 - I_2) / \{2(I_1 + I_2)\}$$

$$D = s / \tan^{-1}\{(X_a/b) + \theta_0\}$$

但し、 $\theta_0$ : 投光器と受光器の中心線のなす角、 $X_a$ : PSD上での受光位置、 $D$ : 検出距離、 $s$ : 基線長、 $L$ : PSDの有効受光面長、 $b$ : レンズとPSDの距離。このようにPSD上での受光位置を  $I_1$ 、 $I_2$  より計算する方法を用いたので、前回報告した光電センサのように投・受光

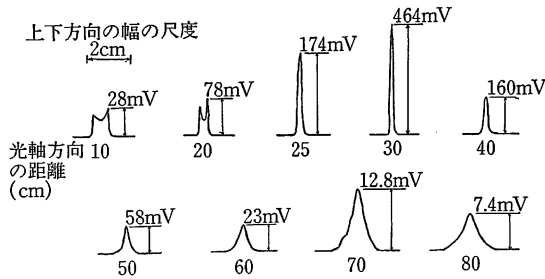


図4 投光器の指向性(上下方向)

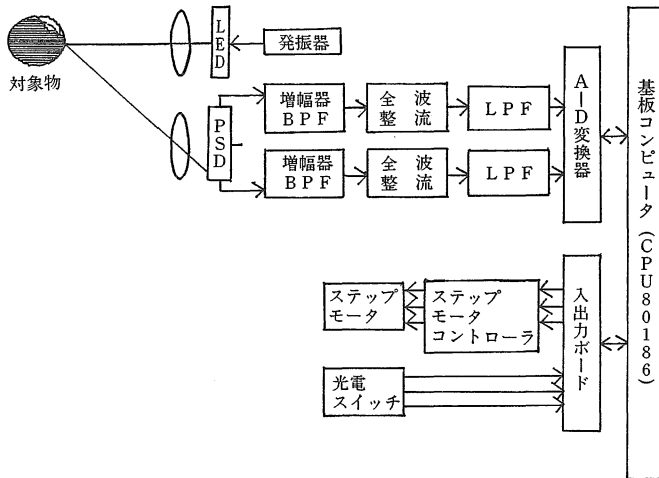


図5 ブロック図

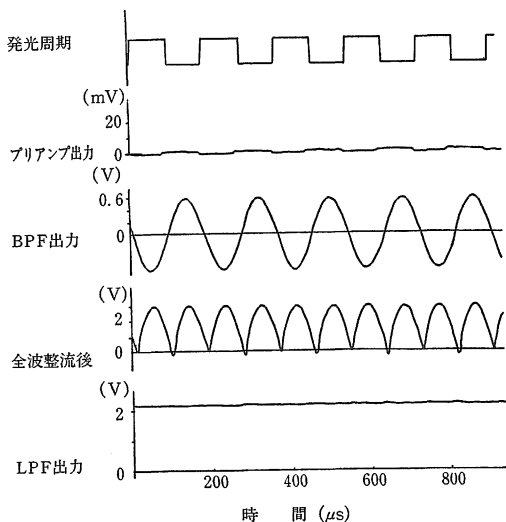


図6 各部の波形

器の中心線が作物表面で交差するまでミラーを走査する必要がない。今回試作したセンサでは、 $\theta_0 =$ 一定、すなわち投光軸と受光軸を、同じ角度ずつ走査した。

図3に積分球を用いて分光光度計で測定した温州ミカンの果実と葉部の反射分光特性を示す。果実は黄色に色づいたものの赤道部のデータである。光軸や焦点の調節は、可視光のLEDを用いる方が行いやすいが、図のように800nm~1100nmの近赤外線の方が作物の反射率が大きいので、このセンサでは中心波長875nmの近赤外LEDを用いた。この波長では、果実部で80%位、葉部で51~56%位の反射率である。なお、投光器からのスポット光は、近赤外線であり見えないため、指向性は受光面直径の小さい(0.8mm)フォト

ダイオードでスポット光を受けて調べた。図4は上から3番目(中央)のLEDから放射された近赤外線を、フォトダイオードを上下方向に移動させることにより測定した指向性である。電圧はフォトダイオードの出力を一定のゲインで増幅した値(赤外線の強さに比例)を示す。図より30cm程度の距離でスポットの径が小さくなっているのがわかる。

図5に測距及び偏向走査部のブロック図を示す。投光器には上述のように中心波長875nmで、指向性が良くなるよう発光部の直径が0.25mmと小さいLEDを選び、太陽光などの外乱光と区別するため、周波数5.7kHz、デューティサイクル約50%で変調させて発光させた。LEDに流した電流は0.1Aで、そのときの光出力は約5mWである。

レンズは投・受光器とも焦点距離40mm、直径15mmのものを用いた。投光器から放射された近赤外線は、投光器の前のミラー、対象物、受光器の前のミラーに反射され、受光器のレンズによりPSDの受光面上に結像される。PSDは受光面長12mm、受光面幅1mmのもので、2つのアノードからそれぞれ電流 $I_1$ 、 $I_2$ が出力される。受光器側回路では、PSDからのきわめて小さい電流をA-D変換できるように増幅・整流を行った。まず、増幅と同時に発光が5.7kHzの変調光であるため、この必要成分のみを通すよう中心周波数5.7kHzのバンドパスフィルタ(BPF)を通した。この出力を全波整流し、平滑回路(LPF)を通したあと、A-D変換器に入力した。この平滑回路は、走査を高速に行う(約1.7msごとにスポット光の光軸を変化させた)ため応答性を良くする必要があったので、約1kHzまではそのまま通すようにした。図6に増幅・整流部の各波

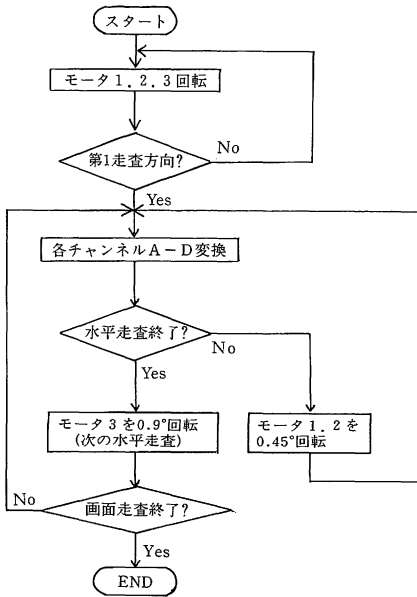


図7 流れ図

形の例を示す。投光器と受光器には、それぞれ LED と PSD を 5 個用いたので、各 PSD ごとに増幅・整流回路を用意し、5 方向の距離を同時に測定できるようにした。

三次元形状の計測は、3 個のステップモータを用い、投・受光器の光軸を水平・垂直方向に変化させることにより対象物を走査して行った。水平方向の走査は、走査用ミラーをステップモータ 1, 2 (1 パルス当り 0.45° 回転) の軸に取り付け、ミラーを回転させることにより行った。ミラーが 0.45° 回転すると、光軸は倍の 0.9° 偏向される。垂直方向の走査は、投・受光器全体の方向をステップモータ 3 (1 パルス当り 0.9° 回転) によって変えて行った。プログラムは、図 7 に示すように、まず 3 つのステップモータを駆動し、第 1 走査方向へ近赤外線を発光させ、そのときの PSD の受光電流を A-D 変換してコンピュータに入力するようになっている。次にステップモータ 1, 2 により、投・受光器の光軸を水平方向に 0.9° ずつ変えて A-D 変換する動作を 40 ステップ繰り返す。これで水平方向 1 回の走査が終了し、その後モータ 3 を下へ 1 ステップ動かす。ここで A-D 変換しながらモータ 1, 2 を 40 ステップ動かし水平走査をする。この一連の動作を水平走査線 10 回分繰り返すことにより、水平 40 回、垂直 10 回の走査が行われ、5 チャンネル分 (LED と PSD を 5 組用いたので水平走査線は 50 本) あわせて水平方向 40 画素 (36°)、垂直方向 50 画素 (45°) の 1 画面を走査できる。この 1 画面に対し 2000 点の距離

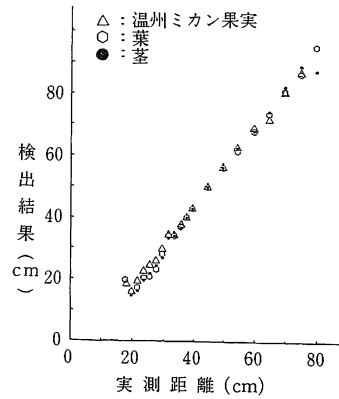


図8 検出距離と実測距離

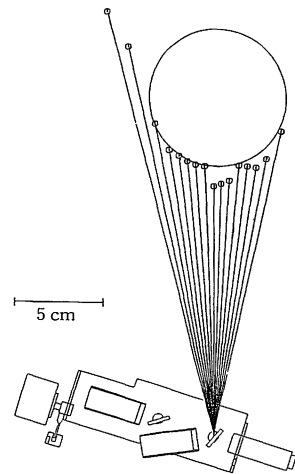


図9 円筒を走査した結果

情報が得られる。これらの制御及びデータの inputs は、80186 CPU をもつ基板コンピュータを用いて行い、プログラムは高速化のためアセンブリ言語を用いて作成した。

作物の色の検出では、カラーテレビカメラを用い、カラー画像入力装置により対象物の色情報をコンピュータに入力した。用いたカメラは CCD 形固体撮像素子を持つ単板式小型カラーカメラで、画像入力装置は、画素数 256×242、赤緑青各色とも 8 ビット (256 階調) に A-D 変換するものである。各実験は室内で行い、照明には色温度 5500 K、500 W のランプを用いた。

### III. 実験結果及び考察

白い紙を対象とした予備実験では、上記の距離計算式に  $I_1, I_2$  を代入して距離を計算したが、あまり精度が

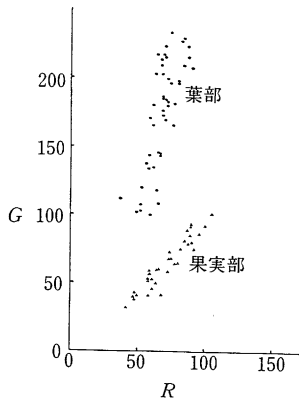


図10 赤信号  $R$  と緑信号  $G$  の A-D 変換値 (温州ミカンの果実部と葉部)



図11 供試材料

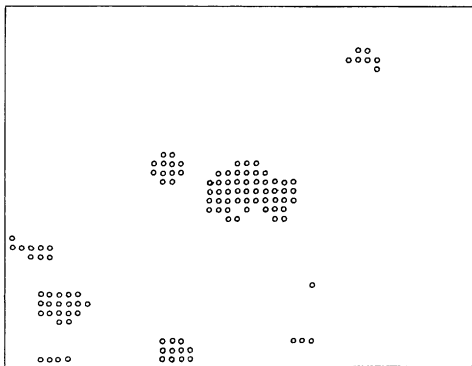


図12 温州ミカンの2値画像

良くなかったので、距離計算のための補正式をつくり、補正式に  $I_1, I_2$  を代入して距離を算出するようにした。図8は温州ミカンを用いて行った実験結果で、距離の検出結果と実測距離の関係を示す。検出結果は、実測距離が30~40 cm 付近ではかなり精度が良かったが、40 cm 以上の距離では、やや検出距離が大きくなっている。この原因は、増幅器のゲインがやや変動したことによると

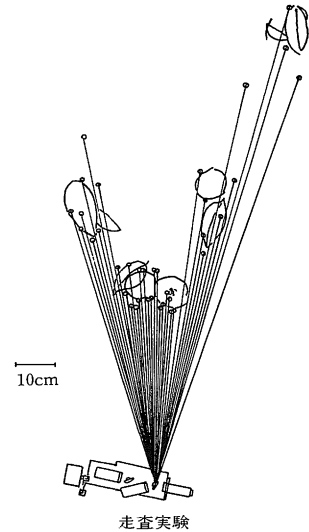


図13 温州ミカンを走査した結果

考えられる。しかし、果実、葉、茎の種別に関係なく、実測距離ごとに同じ傾向の誤差となっており、再度補正すれば、どの部位についても精度よく距離が検出できるものと考えられる。

図9に、形状計測の基礎実験として直径76 mm の白色円筒を走査したときの水平走査線の例を示す。図より円筒形であることがわかる程度に対象物の形状が計測できることがわかる。しかし滑らかに変化すべきところが段になっており、その場合の中央付近の差は、距離に対して5%程度であった。

図10は、予備実験として温州ミカンの果実(黄色)と葉をカラーテレビカメラに映し、画像入力装置によりコンピュータに入力したときの、赤信号  $R$  と緑信号  $G$  の関係を示す。この予備実験の結果をもとに、果実と葉部など背景との識別は、 $(R-G)$  の値が一定の基準以上のときに果実と判断して行った。

図11の供試ミカンを撮像し、上記の条件によって果実の2値画像を求めた結果を図12に示す。なお、コンピュータへの入力画素数は上記の通りであるが、光電センサが水平・垂直方向とも0.9°きざみで走査したので、この図でもほぼ0.9°の画角ごとにプロットした。この結果をみると、果実と他の部分の識別がほぼ正確に行われているのがわかる。

図13は、図11の温州ミカンを光電センサで走査したときの、水平走査線を示す。この結果より大まかであるが作物の形状を計測できることがわかる。なお、走査点の抜けているところは、枝の隙間を走査したため、距離が遠すぎて測距できなかった部分である。図12に示した果

実の2値画像と図13の距離画像により、比較的近くにある対象物について、何であるかと形状及び位置の認識が行え、農業用ロボットの視覚部として有効に使えと考えられた。

#### IV. 結 言

室内の基礎実験では、試作した光電センサは比較的近距离にある対象物の形状を計測することができ、またカラーテレビカメラと組み合わせることにより、色情報も得ることができ、農業用ロボットの視覚部として有効であることがわかった。しかし正確な距離情報を得るためには、PSDの出力電流を増幅する回路のゲインの安定度やS/N比を改善する必要があると考えられた。また、

対象物までの距離が遠い場合、対象物に反射して受光器に帰ってくる光が小さくなるので、大きい出力を持つLEDを用いることが必要と考えられた。

#### 参考文献

1. 川村 登・並河 清・藤浦建史・浦 元信：農機学会誌46(3)：353-358, 1984.
2. 川村 登・並河 清・藤浦建史・浦 元信：農機学会誌47(2)：177-182, 1985.
3. 藤浦建史・浦 元信・川村 登・並河 清：農機学会誌52(2)：35-42, 1990.
4. 藤浦建史・並河 清：島根大学農研報 23：76-79, 1989.