

2 板式カメラによる農作物の認識

藤浦 建史*・並河 清**

Crop Recognition by TV Camera with Two Image Sensors
Tateshi FUJURA and Kiyoshi NAMIKAWA

Synopsis

A TV camera with two image sensors was made by trial to recognize the agricultural crop and was tested. This camera consisted of two monochrome TV cameras, a lens and a spectroscopic optical device. Each monochrome camera had a MOS type image sensor and was synchronized each other by an external synchronizing signal. Two images of different wavelength formed on these image sensors and their video signals were compared by a dividing circuit to recognize the agricultural crop. The output signal of the dividing circuit was fed to a computer and the crop image was obtained.

I. 緒 言

ロボットを農作業に適用するためには、対象となる作物やほ場条件が一定でないため、外界を検知するための認識装置を持つロボットが必要である。著者らは、従来から果菜類やカンキツ類を対象とした収穫ロボットや間引きロボットの試作研究を行ってきた^{1,2)}。このようなロボットの視覚部として、モノクロームのテレビカメラを用いると、野外では日陰や逆光などがあり、照明条件が一定していないため、映像信号が対象物の反射率だけでなく明るさによっても変化し、認識が困難である。このため、これらのロボットでは、固体撮像素子を用いた単板式カラーテレビカメラを用いて、背景との色の違いにより果実や苗を識別するようにした。しかし、一般のカラーテレビカメラは、人間の視覚に合わせて赤、緑、青の三原色の信号を得るようになっており、各信号の分光感度は、必ずしも作物の認識に適しているとは限らない。このため、果実などの作物を識別し易い2つの波長の映像信号を得る2板式カメラを試作し、2つの映像信号を比較することにより作物を認識する実験を行った。カメラから得られるそれぞれの映像信号をコンピュータに入力し、ソフトウェアで対象物を認識することも可能と考えられるが、認識の高速化をはかるため、本研究では、

アナログ除算器を用いて両映像信号の比に対応する映像信号を得、その映像信号を高速 A-D 変換器を用いた画像入力装置により、コンピュータに入力するようにした。今回の実験では、対象物として、温州ミカン及び聖護院大カブの苗を用いた。なお、本研究には、伊藤昌哉君(現・特許庁)の協力を得た。記して謝意を表する。

II. 方 法

1. 対象物の反射分光特性

2波長の映像信号を比較することにより、作物を認識するためには、対象物の反射分光特性を考慮し、作物の認識に適した波長の像を得るような分光光学系を用いる必要がある。このため作物などの反射分光特性を測定した。反射分光特性の測定は、ダブルビーム分光光度計と積分球を用いて行い、反射率の基準となる標準白板として硫酸バリウムを突き固めたものを用いた。

図1に温州ミカンの果実と葉(表、裏)の、また図2に聖護院大カブの苗(表、裏)と土(砂質ローム)の反射分光特性を示す。温州ミカンの果実は、520 nm 以下の波長で反射率が5%位と小さく、それより長波長側では急に反射率が大きくなり、近赤外では80%に達した。葉の表、裏では560 nm 前後の緑色の光の反射がやや大きいほかは、680 nm 以下の光の反射率は比較的小さく、それを越えると80%前後に増加した。670 nm 前後の波長で葉部の反射率が小さいのは、葉緑素により吸収

* 農林システム学講座,

** 京都大学農学部

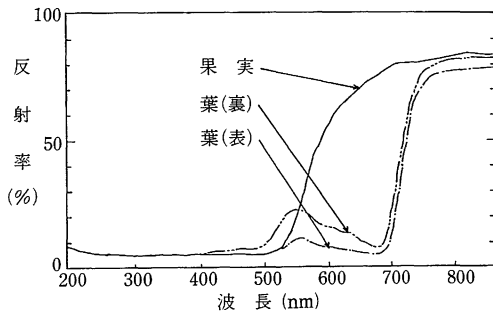


図1 温州ミカンの反射分光特性

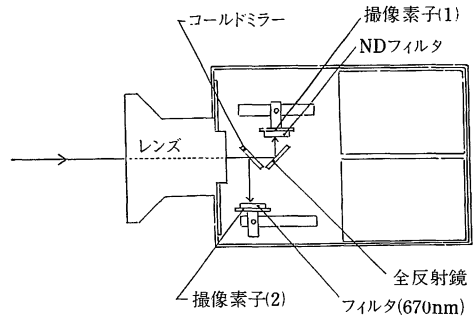


図3 2板式カメラ

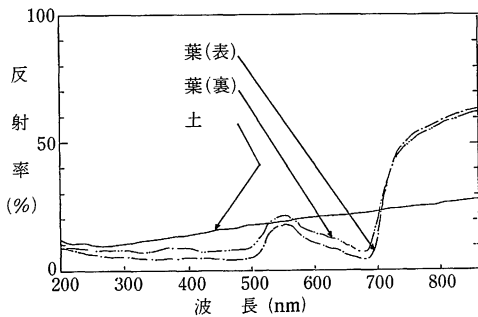


図2 聖護院大カブの苗と土(砂質ローム)の反射分光特性

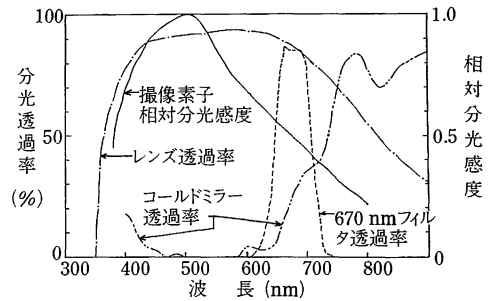


図4 レンズ、コールドミラー、フィルタの分光透過率及び撮像素子の相対分光感度

されるためであろう。聖護院大カブの苗と土(図2)を比較すると、土は波長の増加とともに反射率が漸増するのに対し、苗の反射率は550 nm前後の緑の波長で大きく、680 nm前後の赤色の波長では小さく、また近赤外の波長では大きくなった。以上のことから、2波長比較方式で用いる2つの波長として、670 nm前後の波長と、近赤外光を用いることにした。

2. 2板式カメラ

図3に試作した2板式カメラを示す。このカメラでは、同じ位置を走査しているときの映像信号を実時間で直接比較するため、2個の固体撮像素子を同期させて駆動し、鏡とフィルタからなる分光光学系を用いることにより、各撮像素子に異なる波長の光の像を結ばせた。撮像素子はMOS形固体撮像素子で、画素数は384(水平)×485(垂直)、イメージサイズ(受光面の大きさ)は8.8(水平)×6.6(垂直)mm²である。レンズと撮像素子の間に分光光学系を入れるためには、レンズと像点の距離の長いレンズが必要であったので、一眼レフカメラ用のレンズ(焦点距離28 mm, 手動絞り, F = 2.8~22)を用いた。

レンズから入射した光は、まずコールドミラーで可視光と近赤外線に分けられる。コールドミラーに反射した

可視光は、撮像素子(2)の前に取り付けられたフィルタ(670 nm)を通過し、670 nm前後の赤い光が撮像素子(2)に入る。またコールドミラーを透過した近赤外線は、全反射鏡に反射し、ND(Neutral Density)フィルタにより1/8に減光され、撮像素子(1)に入る。このNDフィルタは、撮像素子(1)と(2)で得られる映像信号の大きさに、著しい違いを生じないようにするため用いた。レンズ、コールドミラー、670 nmのフィルタの分光透過率及び撮像素子の相対分光感度を図4に示す。なお、図のようにコールドミラーは波長700 nm前後の可視光も多少透過するため、撮像素子(1)には、可視光も少し入る。

2つの撮像素子で、対象物上の同一点を同時に走査するためには、両撮像素子の相対位置を正確に合わせる必要がある。しかし、使用した撮像素子の画素は、水平23 μm, 垂直13.5 μmの細かいピッチで配列されており、機械的な調整だけでは正確な位置合わせが困難であった。このため、まず機械的な調整によってできるだけ正確な位置に合わせたあと、同期信号を用いた走査タイミングの微調整により、対象物上の同一点を同時刻に走査するようにした。走査タイミングの微調整は、撮像素子の水平方向のずれがある場合は、一方の水平同期信号を

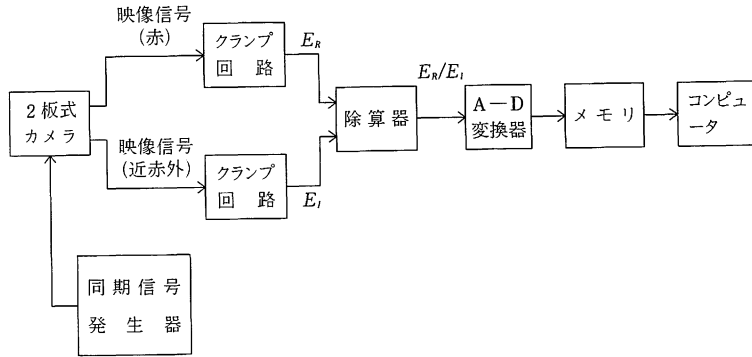


図5 ブロック図

ずらせることにより行い、垂直方向のずれがある場合は一方の垂直同期信号をずらせることにより行った。

3. 画像入力

この2板式カメラからは、赤色光と近赤外線との2種類の映像信号が出力されるが、これらの波長の光を比較するために、除算器を用いて2つの映像信号の比に対応する電圧を得、その電圧をA-D変換してコンピュータに入力した。図5に実験装置のブロック図を示す。同期信号発生器は、前述のようにタイミングをずらすことができるものを作成し、カメラに接続した。カメラから出力される映像信号は、DCレベルが一定でないので、図のようにクランプ回路を通してDCレベルの変動を抑え、暗いところを走査したときに両映像信号が0Vになるように調節した。除算器には、高速除算用IC(AD539)を用い、赤色光の映像信号 E_R を分子、近赤外線の映像信号 E_I を分母として入力し、次の出力信号 E_O を得た。

$$E_O = \frac{E_R}{E_I}$$

除算器の出力 E_O は、0~5Vに電圧制限する回路を通した後、A-D変換器(入力電圧範囲0~5V, 6ビット)に入力し、A-D変換結果を画像として16ビットのパーソナルコンピュータに取り込んだ。画像入力時間は1/60s、入力画素数は256(水平)×242(垂直)である。なお、A-D変換器と画像メモリとして、パーソナルコンピュータ用に市販されている画像取り込みボードを一部改造して用いた。

III. 作物認識実験

実験対象として、果実収穫作業を想定して温州ミカン、苗の間引き作業を想定して聖護院大カブを用いた。実験は室内で行い、デイトライトカラー用リフレクタランプ(色温度5500K, 500W)を用いて照明した。また、カメラの視野角が小さかったので、倍率0.6倍のワイド

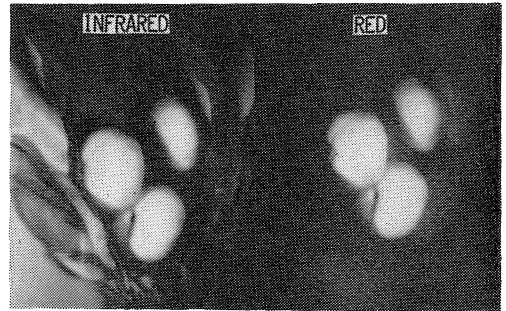


図6 近赤外線と赤色の映像(温州ミカン)



図7 CRTディスプレイに表示した除算結果(温州ミカン)

アタッチメントレンズを用いた。

図6は、温州ミカンとその茎葉を撮像したときの、赤色光と近赤外線による映像をモニターテレビに映したものである。照度は5000lxであった。2つの映像を比べると、果実の部分は赤色光、近赤外線とも明るく映っているが、茎葉の部分は赤色光の方は暗く、近赤外線の方は比較的明るく映っている。これは、茎葉の部分では、赤色光の反射率が小さく、果実部では赤色光、近赤外線とも反射率が大きいためである。このように両画像の違

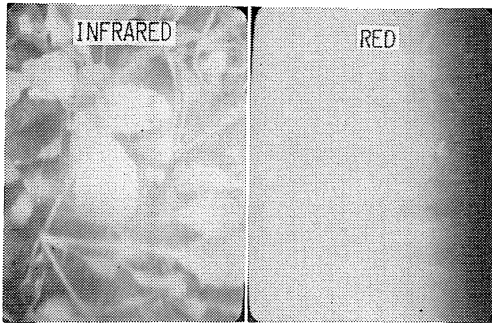


図8 近赤外線と赤色の映像
(聖護院大カブの苗)

いは明瞭であり、両映像信号の比較により果実の像を得ることが可能と考えられる。

図7は、除算器により赤色光の映像信号 E_R を近赤外線の映像信号 E_I で除して得た電圧 E_O を、コンピュータに入力したものである。A-D変換値が小から大になるに従い、黒、青、赤、紫、緑、水色、黄、白に対応させて CRT ディスプレイに表示させた。果実部では白、黄、水色を示すことが多く(図の白黒写真では白くなっている)、除算器の出力電圧が大きかったことを示している。なお、葉部でも一部で除算結果が大きいところがあった。より確実に果実を認識するためには、映像信号回路や撮像素子の位置合わせ方法などを検討する必要があると思われた。

図8は、苗を撮像したときの両映像で、背景は砂質ロームの土である。照度は 7500 lx であった。赤色光による映像は、苗と土の反射率がともに小さいため暗かった。一方、近赤外線による映像は、苗の反射率が土の反射率に比べてかなり大きいので、苗が明るく映っている。除算器には、近赤外線を分母とし、赤色光を分子として入力したので、A-D変換値に対応して表示させた結果(図9)は、土では明るい色となり、苗では暗い色となった。なお画面の左に垂直方向にあらわれている白い線は、走査タイミングの微調節のため、前述のように垂直同期信号をずらせたため、一方の撮像素子のみが走査中で、他方の撮像素子は有効画素を走査していないときのものである。

図10は赤色光による映像信号、近赤外線による映像信号、及び除算結果を、オシロスコープに映したもの(水平走査線約1本分)である。赤色光による映像信号は、供試苗と土の赤色光の反射率が小さかったため、電圧が小さく、差も小さかった。近赤外線による映像信号は、全体的に電圧が大きく、特に苗を走査しているときの電圧が大きかった。このように2つの映像信号は、その特徴がはっきりあらわれていることがわかる。

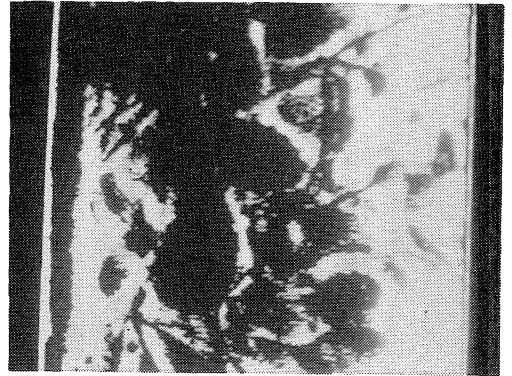


図9 CRT ディスプレイに表示した除算結果
(聖護院大カブの苗)

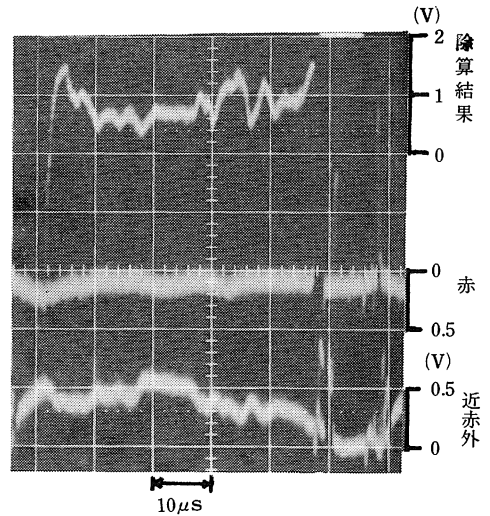


図10 苗撮像時の赤色、近赤外の映像信号と除算結果(水平走査線1本分)

IV. 結 言

作物の認識に適した2つの異なる波長の映像信号が得られる2板式カメラを試作し、撮像実験を行った。2つの映像信号をモニターテレビに映した結果、両画像の違いは明瞭であり、両信号を比較することにより作物を認識できると考えられた。より確実に作物を認識するためには、映像信号回路や撮像素子の位置合わせ方法などを検討する必要があると考えられた。

参 考 文 献

1. 川村 登・並河 清・藤浦建史・浦 元信：農機学会誌 47(2)：177-182, 1985.
2. KAWAMURA, N., NAMIKAWA, K., FUJURA, T. and URA, M.: 京都大学農学部紀要 129: 29-46, 1986.