

# 高速画像処理による農産加工品等級識別システムの開発 (第2報)

## — 農産品 3次元形状識別システムの開発 —

大村 功, 高橋 裕之, 長尾 信一, 波 通隆  
堤 大祐, 澤山 一博, 新井 浩成, 吉川 毅  
鈴木 慎一, 松村 信良  
関谷 俊治\*, 野口 義夫\*, 福田 秀明\*, 熊谷 誠治\*\*

### Development of Sorting System for Agricultural Products by using High — Speed Image Processing (Part II) — Development of Sorting System for Agricultural Products by Measurement of 3 — D Form —

Isao OHMURA, Hiroyuki TAKAHASHI, Shinichi NAGAO, Michitaka NAMI  
Daisuke TSUTSUMI, Kazuhiro SAWAYAMA, Hironari ARAI, Takeshi KIKKAWA  
Shinichi SUZUKI, Nobuyoshi MATSUMURA  
Shunji SEKIYA\*, Yoshio NOGUCHI\*, Hideaki FUKUDA\*, Seiji KUMAGAI\*\*

#### 抄 録

農産加工品等級識別システム上で稼働する立体形状計測システムを開発した。より細かな等級識別条件へ対応するため、光切断法を用いた3次元計測を行い、厚み分布や表面の凹凸状態など対象物の立体情報を識別情報として利用可能とした。さらに当場で開発した汎用高速画像処理装置により処理の高速化を図り、ほぼ実用的な処理速度を有する等級識別システムを構築した。

#### 1. はじめに

商品品質の向上と消費者からのニーズにより、現在、農産物は厳しい等級選別が行われた上で、市場へと出荷されている。農産物という特性上、選別作業はある短い収穫時期に集中して行うため、この作業の自動化が重要な課題となっている。しかし、選別の基準は長さや幅、重量だけでなく、厚みや色合い、さらにこれらの要素の

分布状態など多岐にわたっている。また、対象物が自然物であるために形状が一定せず、目的の部位の計測は必ずしも容易ではない。このため、すべての条件に対応した識別の自動化は非常に困難であった。

本研究では、このような多様な識別条件へ対応するため、農産物を対象とした立体形状識別システムを開発した。このシステムにより、3次元の計測結果を利用した識別が可能となり、従来の1次元での計測データ、画像処理などによる2次元での識別方法と組み合わせることで、識別誤りの少ない処理が可能となった。また、処理

\* (株) エルムデータ, \*\* (株) 小樽製作所

系は当場で開発した汎用高速画像処理装置へ搭載し、ほぼ実用的な速度での識別を可能とした。

なお、本研究では3次元形状識別システムの応用として、体積計測による等級識別システムを構築し、実際にじゃがいもを対象とした等級識別試験を行った。

## 2. 光切断法による立体形状計測

### 2.1 光切断法

物体の立体形状計測手法として、もっとも容易に実現できるのが、三角測量を利用した方法である。現在使われている光学式の変位センサはほとんどがこの原理を忠実に再現したものである。この種のセンサはレーザなどの微小径のビーム光と反射位置の観測を行う検出素子により、精度の高い計測を実現している。

光切断法では、このような「点」の集合で形状を計測する方法を拡張し「線」の集合として形状を計測する。通常はスリット光を投光し、ビデオカメラにより対象物の投光部分を観測する。この方法は、スリット光により対象物を切断し、その切断面の輪郭線を観測しているのに等しいため、光切断法と呼ばれている。光切断法による計測方法を図1に示す。

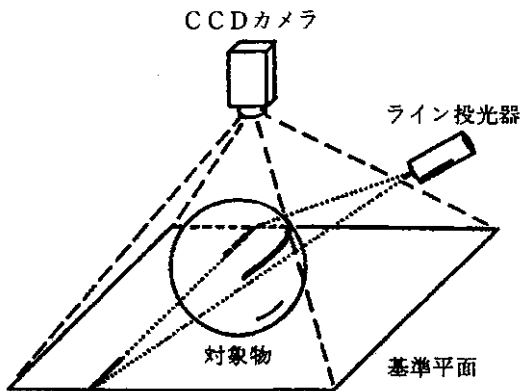


図1 光切断法による立体計測

光切断法は、次のような特徴を有している。

- ①光学系が単純である。
- ②特徴抽出などの複雑な処理が不要であるため、画像処理が比較的簡単となる。
- ③スリット光の角度により、高さ成分の感度を大幅に変化させることができる。

④大型物体の計測が可能である。

このような特徴から、形状計測方法としては比較的容易に実現が可能で、また、対象物の制限も少ないため、農産物を含めて広い範囲での適用が可能である。

### 2.2 光切断法における計測データ処理

光切断法では、対象物に投影されたライン光の位置のずれ量を高さに対応したパラメータ値として計測している。各計測点の3次元座標の算出方法は次のように行う。

対象物の置かれた平面を基準平面と呼ぶことにすると、光切断法では、カメラによる観測はこの平面に対し垂直上方(z方向)から、またスリット光は一定の角 $\theta$ となるように配置する。

このとき、投光器、カメラ、対象物の位置する平面と平行な面では、図2に示す幾何学的関係になっていることから、三角測量と同じ原理で式(1)により計測点の高さ $z$ が求められる。

$$z = x' \cdot \tan \theta \cdot \tan \phi / (\tan \theta + \tan \phi) \dots \dots (1)$$

ここで、 $x'$ はカメラからの観測による、基準平面上での

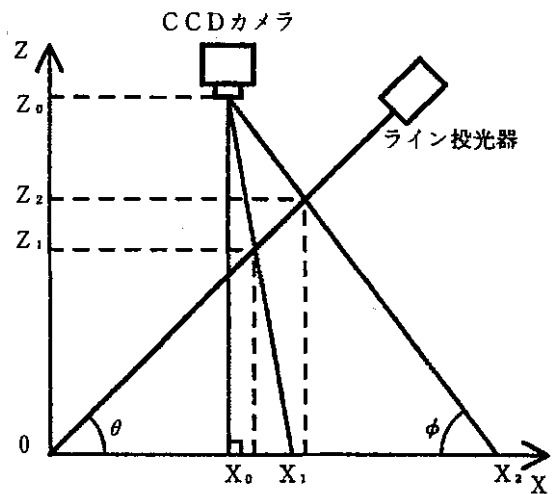


図2 光切断法の原理

見かけ上の位置である。実際の位置 $x$ とのずれは、カメラからの観測が有限の位置から行われるために生じるもので、パースペクティブ効果と呼ばれている。実際の位置 $x$ は、式(2)で求められる。

$$x = z / \tan \theta \dots \dots \dots (2)$$

また、 $\tan \phi$ は、カメラの高さ $z_0$ を用いて式(3)で求めることができる。

$$\tan \phi = z_0 / (x' - x_0) \dots\dots\dots (3)$$

カメラ、投光器等の位置関係はできるだけ高精度に決めることが望ましいが、生産ライン中では振動、経年変化などにより、初期の精度を保てないことが多い。上式で用いた  $\theta, \phi$  はこれらの位置関係により決定されるため、基準物体を利用してこれら計測処理に必要なパラメータを求めておく必要がある。

光切断法では、次の3つのパラメータを必要とする。

- ①カメラ～基準面間距離  $z_0$
- ②観測画像と実距離の変換係数  $s_0$
- ③投光角度  $\theta$

これらのパラメータは高さ、幅の既知なる物体を観測することにより、求めることができる。ただし、光切断法による計測だけでは画像の縦横比を求めることは容易ではないので、ここでは画像の縦横比は1:1であるとして、②の変換係数を求めることにする。

較正用の基準物体としては、同一の幅  $w$  を持ち、高さ  $h_1, h_2$  であるような2つの物体を用いる。この2つの物体を光切断法で観測することで、高さ  $h_1, h_2$  における画像の画素長  $s_1, s_2$  は物体上に投影されたライン光の長さ(画素数)から容易に求められる。

また、カメラからそれぞれの物体および基準面までの距離と画素長との間には式(4)で示す関係が成り立っていることから、カメラと基準面間の距離  $z_0$ 、および基準面での画素長  $s_0$  は式(5)、(6)で求められる。

$$(z_0 - h_2) : s_2 = (z_0 - h_1) : s_1 = z_0 : s_0 \dots\dots (4)$$

$$z_0 = (h_2 \cdot s_1 - h_1 \cdot s_2) / (s_1 - s_2) \dots\dots\dots (5)$$

$$s_0 = (h_2 \cdot s_1 - h_1 \cdot s_2) / (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (6)$$

したがって、 $\tan \theta$  は、高さ  $h_1$  の基準物体を計測したときの  $x_1'$  を用いて、式(1)、(3)から、式(7)で求められる。

$$\tan \theta = z_0 \cdot h_1 / \{x_1' \cdot z_0 - h_1(x_1' - x_0)\} \dots\dots (7)$$

以上でパラメータ  $\tan \theta, z_0$  および  $s_0$  が決まり、計測時は光切断画像中の各計測点について、これらのパラメータを用いることで3次元座標値を求めることができる。

計測点の  $z$  座標は、式(1)から、式(8)で求められる。

$$z = x' \cdot \tan \theta \cdot z_0 / \{\tan \theta \cdot (x' - x_0) + z_0\} \dots (8)$$

$x$  軸座標、 $y$  軸座標については、基準ライン上中央を原点として、式(9)、(10)で求められる。

$$x = z / \tan \theta \dots\dots\dots (9)$$

$$y = y' \cdot (z_0 - z) / z_0 \dots\dots\dots (10)$$

体積  $V$  については、計測された  $y, z$  の各座標値および物体の移動量  $\Delta x$  を用いて、式(11)で求められる。

$$V = \Delta x \cdot \sum z_i (y_i - y_{i+1}) \dots\dots\dots (11)$$

なお、この体積  $V$  は計測された範囲での見かけ上の体積である。

### 3. 立体形状計測システムの開発

#### 3.1 試験システムと処理方法

光切断法による計測手法および処理方法の検討を行うため、パーソナルコンピュータ上で処理を行う試験計測システムを試作した。

試験システムはモノクロカメラ、画像メモリボードからなる光切断画像の取り込み部とパーソナルコンピュータ上で動作するデータ処理部とから構成される。計測処理はすべて、画像メモリボード上の画像メモリを介し、パーソナルコンピュータ上で行った。構成機器を表1に示す。

画像取り込み部は、投光器、カメラ、対象物を載せるトレイから構成され、トレイは前述した基準面上をガイドにより平行移動するように設置した。このトレイを手動により一定量順次スライドさせることで複数枚の光切断画像を計測し、3次元形状データを得た。投光器は、光量が高く、直線性の良いラインを得るために、レーザー

表1 試験システム構成機器

ビデオカメラ	ソニー CCDカメラ XC-77 RR	解像度768×493 モノクロ
投光器	日本科学エンジニアリング ラインマーカー NAL-3 FL	出力3 mW 線幅約2 mm
画像メモリ	フォトン 画像処理ボード FRM 2-512	容量512×512×2画面 モノクロ256階調
データ処理装置	日本電気 パーソナルコンピュータ PC-9801 RA	

光源によるライン投光器を利用した。

データ処理部は取り込んだ光切断画像のライン光部分の抽出処理と、抽出された計測点の3次元座標値を求める処理、および3次元座標値を立体形状として再構成する処理からなっている。

試作システムでの検討の結果、処理の高速化と精度の向上から、ライン光の抽出処理は画像の2値化と微分処理で行い、対象物上のラインと基準面上のラインの分離

は高さ成分にしきい値を設定して処理する方法を採用した。また、高さ方向の計測精度と画像横方向の計測精度を一致させるため、ライン光の投光角度は約 45° とした。

光切断法では、一般にカメラ等の画像取り込み処理系の分解能と、ライン光の幅が精度に影響する。開発したシステムでは、分解能の高い画像処理を行う他、ライン光のエッジ部分のみを抽出する方法により、ライン光の幅による影響を最小に抑えた。この方法によりライン光が傾斜面に当たって広がってしまう場合でも精度の劣化を最小に抑えることができた。

じゃがいもにおけるライン光の投光状態を図 3 に示す。投光は写真右方から行っているため、トレイ左側のライン光の位置を基準として、じゃがいもに当たった部分では高さに応じて右へずれている。この画像では芽のある部分が凹みとして、ライン光の位置が左へずれている。

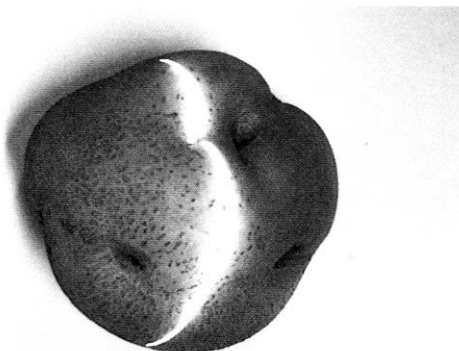


図 3 じゃがいもの投光状態

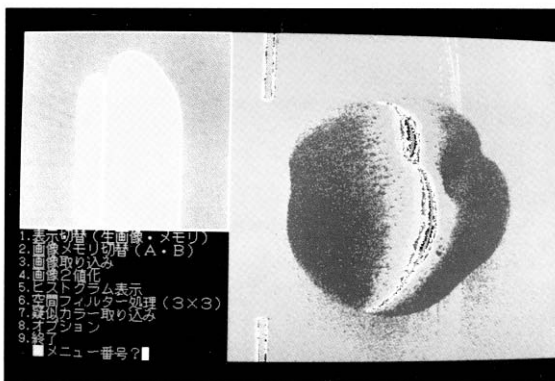


図 4 高さ成分の抽出処理

得られた画像データからじゃがいもの高さ成分を算出しグラフ化したディスプレイ画面を図 4 に示す。画面左上が高さのグラフ、右が取り込んだ画像を疑似カラー表示したものである。

画像取り込み毎のトレイの移動量は、じゃがいもの芽の大きさが周辺の凹みを含めて 3mm 程度以上あることから、2.5mm に設定し、計測データとしてじゃがいも 1 つあたり 30~40 枚の画像データを得た。1 画面を処理して得られた立体形状データはじゃがいもを約 45° の角度でスライスしたものであるから、計測したデータを合成すると、じゃがいもを斜め 45° 方向から観測した疑似立体画像が得られる。この画像を図 5 に示す。

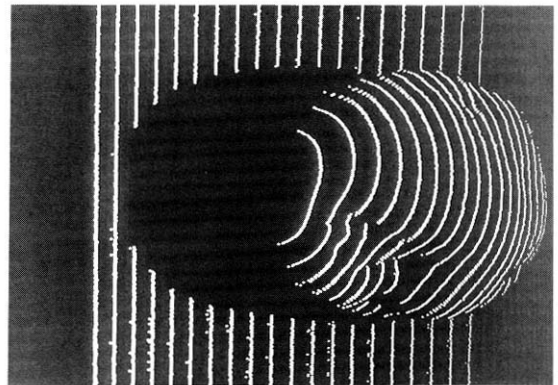


図 5 じゃがいもの立体形状表示

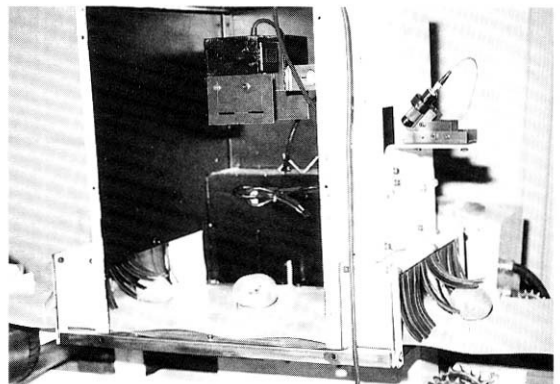


図 6 じゃがいも等級識別システム計測部

### 3.2 じゃがいも等級選別システムの開発

試験システムで検討した計測方法および処理方法を汎用高速画像処理装置上で実現し、じゃがいもを対象として 3 次元形状により等級識別を行うシステムを開発し



た。

このシステムは、実際の等級選別システムを想定して、コンベア上で搬送を行いながら計測を可能としたものである。計測部の外観を図6に示す。

開発したシステムでは、将来カラー処理を可能とするためにカラーカメラを使用した画像の取込みを行っている。取り込まれた赤、青、緑の3つの画面の内、本システムではライン光の波長(632nm)にもっとも感度のある赤色の画面のみを利用して処理を行った。

また、カメラは基準面となるベルト面に対し垂直に設置し、搬送ベルトの色は白色とした。ライン光の投光角度は試験システムと同様に45°とした。

対象物の検出は処理の高速性を生かし、常時計測を続けて、一定以上の高さを検出した場合に処理を開始する方法とした。画像取込みは画像処理装置の持つ画像用メモリ11画面分を続けて取り込む方法とした。

形状の計測は処理の高速性を優先し、パースペクティブ効果などの補正は行わずにライン光のずれ量を高さに対応したパラメータとしてそのまま利用した。また、搬送ベルトの移動量についても常に取り込んだ画像間で一定量の移動があるものとして、処理している。体積計算は高さに対応したパラメータをじゃがいも1個分についてすべて加算する方法を採用した。

汎用高速画像処理装置を利用した立体形状計測の処理手順を図7に、また、じゃがいもの等級識別での計測表示例を図8に示す。

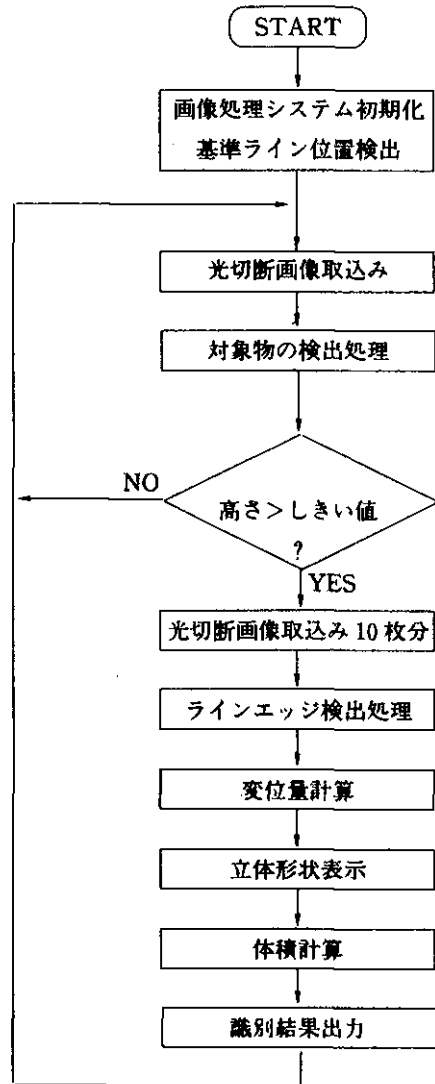


図7 立体形状計測の処理手順

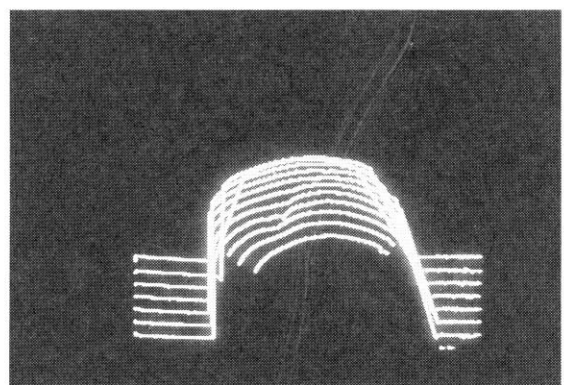
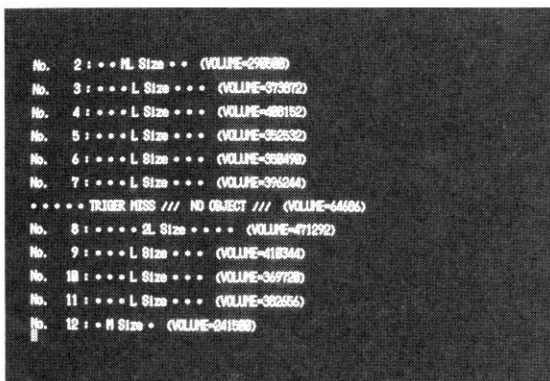


図8 識別システム計測表示

### 3.3 識別実験と結果

計測精度を検証するため、2種の球および実際のじゃがいもを対象に、計測実験を行った。

計測は、搬送ベルトを動作し、じゃがいもの等級識別を行う場合と同じ条件で行った。評価は10回の計測から、その測定値のばらつきを調べ、平均値、ばらつきの最大値、標準偏差を算出して比較した。結果を表2に示す。また、計測に使用した球を図9に示す。

計測結果から、対象物のサイズが大きいほどばらつきが大きくなるのが分かる。また、じゃがいものサイズの種別による体積差は、計測結果のばらつきに比較してかなり大きな値となっており、じゃがいもの等級識別を行う上では十分な精度であることがわかる。

実際に連続動作による識別試験を行った結果、等級識別の境界付近の大きさのじゃがいもについては若干の識別誤りを生じたものの、その割合は小さく、全体としては実用上十分な識別結果が得られた。

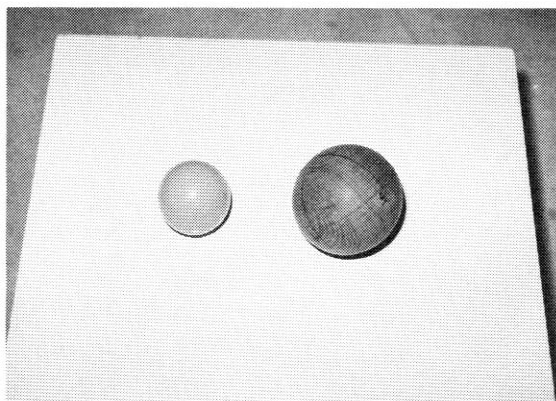


図9 試験用球体

表2 体積計測結果のばらつき  
(単位：千画素)

対象物	球		じゃがいも		
	A	B	LM	L	LL
計測体積の平均値	204	550	294	427	548
ばらつきの最大値	10	43	22	41	74
ばらつきの標準偏差	5	27	16	22	33

### 4. 考察

#### 4.1 体積による識別

光切断法を選別ライン上で利用する場合には、処理時間の制限から、1つの対象物に対し十分な数の光切断画像を得られないことが多い。このため、体積計算では、対象物が直方体の集合であると仮定して、計測データ間の移動距離分を補間処理している。しかし、この方法では対象物が球形であるような場合に実際の対象物の体積とのずれが大きくなるのが考えられる。特に搬送ベルト上での計測においては、振動や取込み開始タイミングのずれなどから、ライン光の投光位置が変化し、同一対象物においても算出した体積値が大きく変化する。

上述のような誤差を低減する方法として、観測画像間の移動距離を短くし、対象物1つ当たりの光切断による計測数を増やすことが考えられる。しかし、一般のビデオカメラではビデオ信号の規格により画像データの取り込み周期が30分の1秒に規定されている。したがって画像データの取り込み回数を増やすことは、計測時間の増大となり、選別ラインでは処理量の低下につながる。現在のシステムでは11画面の取込みに約1秒、画像処理等に約2秒程度必要としているため、計測回数の増大には、実用性の点から処理系の高速化が不可欠である。

#### 4.2 計測可能範囲

光切断法における計測範囲は、ライン光の角度が45°、対象物が球体で、平行移動による計測を行うとすると、図10に示すように最大でも全表面の8分の3を計測するのが限界となる。特にカメラを近接して観測を行うような場合では、対象物が大きいほど計測可能な範囲が狭くなり、一度の計測で完全な体積を求めることはできない。

したがって、光切断法を利用して算出した体積値は見かけ上の体積であり、対象物の本来の体積を計測したものではないことに注意しなければならない。

#### 4.3 形状認識への応用

本研究では、光切断法を体積の計測に利用し、じゃがいもの識別システムを構築したが、より高度な応用として、得られた立体形状データから、対象物の整列状態や不要部分などの認識を行うことが考えられる。このような認識にはさらに精度の高い計測を行う必要があるが、

画像処理などの2次元処理と組み合わせることで、実用レベルに近い認識が可能となる。

に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 上杉満昭；「イメージエンコーダを用いた三次元曲面形状計測」, センサ技術, Vol.11, No.9 (1991)
- 2) 大村功ほか；「北海道地域人材不足対策技術開発事業実績報告書」 pp.43 - 52 (1993)
- 3) 井口征士, 佐藤宏介；「三次元画像計測」, 昭晃堂 (1990)

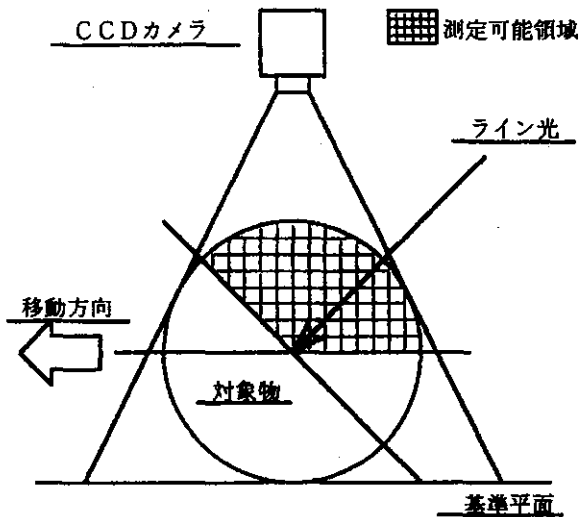


図10 光切断法における測定可能領域

5. まとめ

本研究では、光切断法を用いた3次元形状計測技術の農産品識別システムへの応用について検討した。

光切断法は比較的实现が容易で、選別システムに適した立体形状計測手法といえる。実際に構築したじゃがいもの立体形状識別システムでは、光切断法を利用したシステムとして、ほぼ実用的な識別精度と処理速度を実現した。また、農産品の識別手法として3次元情報を利用することで、2次元情報だけでは識別できなかった対象物を扱うことが可能となり、さらに2次元情報で識別可能だった対象物においても識別精度の向上を図ることが可能となった。

今後は、ハード面での処理速度向上、他の計測手法との組み合わせなどで、3次元形状識別システムとして実用性の向上を図っていく予定である。

6. 謝辞

本研究は北海道地域人材不足対策技術開発事業の一環として行ったものです。本研究を進めるに当たりご尽力いただいた(社)北海道機械工業会、並びに関係者の方々