

## ファイバーカメラによる3次元物体の再構成表示

新井康平\*・皆良田淳二\*\*

### 3D image reconstruction acquired with arrayed optical fiber

By

Kohei Arai and Junji Kairada

**Abstract:** An operation in the abdominal cavity lends is an operation that make a few small hole in the abdomen, inserting the abdominal cavity lends and a long, narrow tool and perform looking a monitor. It is one of the exceedingly watched methods of operation, because it is little pain, and early recovery of after operation as compared with an abdominal operation. But an operation man needs quite a skill, because he doesn't touch an internal organs on direct, and he can get information only 2 dimensions. So the purpose of in this study is reconstruction the shape of 3 dimensions of the affected part. The 3D shape measurement approach is various methods. That is being able to measure high accuracy to use especial device necessarily, but measurement system expense on the approach to reconstruct 3D shape. The reconstruction 3D shape to use some images that to solve this problem. The reason is necessary that camera catches a complete shape of object. Still more, these methods can't get the information how pattern drown for surface. As a result of solve these problem, in this method is that searching for 3D coordinates by dint of trigonometry to use a parallax of between images, reconstructing 3D shade, to make mapping to use 3D shade and photographic image, and to make possible to look every angle for rendering.

**Key words:** 3D image reconstruction, optical fiber array,

#### 1. はじめに

腹腔鏡手術とは腹部に5~10ミリの穴を数個開け、内視鏡の一種でレンズがついた腹腔鏡と細長い器具を挿入し、腹腔内に二酸化炭素を注入して腹腔内を広げ、モニターを見ながら行う手術である。開腹手術に比べ傷が小さいことから、術後の痛みが少なく、術後回復が早いという特徴と術後の傷がめだたないので美容的な特徴がある。しかし、一方で臓器を直接触らない上に、モニターか

らは2次元の情報しか見られないために熟練が必要とされ、日本内視鏡外科学会は1992年、執刀するには「助手として10例以上の経験をつんでいること」など5項目の条件をあげている。腹腔鏡手術の欠点は手技的に難しいことが上げられる。その理由として、

- ・手を腹腔に挿入できないため糸で縫合したり、出血部を結紮したりすることが困難
- ・人間の指などのような触覚がない
- ・見える方向が一方向で、見える範囲が限られている
- ・一般的には立体的な3次元映像が得られない(人

平成19年11月1日受理

\*理工学部知能情報システム学科

©佐賀大学理工学部

間は通常二つの目を持って立体的なものを見ているが、腹腔鏡はテレビと同様本当の3次元ではない)

・腹腔に挿入できる手術器械に制限がある  
などが挙げられる。本論文では特に上述の条件を満たし、かつ、3次元映像を見ながら手術計画の立案が可能のようにリトラクタに工夫を施した方法を提案する。

医療分野における3次元物体再構成は、CTスキャンやMRIなどが代表的なものとして挙げられる。これらは体の外部から内部の3次元形状を得ることができるが、コストと処理時間に問題がある。また、これを解決した複数の画像による3次元形状の再構成手法も提案されているが、この場合はすべての画像に対象物の全形が写し出される必要があり、体の内部で行う場合には向いていない。また、CTスキャン、MRIなどと同様に再構成した形状の表面のテクスチャ等の情報が得られない。これら問題を解決するため、撮影した画像間の対応点より3次元座標を導き、3次元形状を再構成し、形状と撮影した画像によるマッピング[2]によってレンダリング[3]することによりあらゆる角度から見た3次元映像を表示できるようにした。

## 2. 提案システム

### 2.1 ファイバー付きリトラクタ

本論文で提案するファイバー付きリトラクタは、ループ型リトラクタに複数ペアのファイバーを取り付けたものであり、新規性に富むものである[1]。リトラクタには様々な種類がある。内視鏡手術に用いられるリトラクタの一つに Mini loop retractor というリトラクタがある。これは、内蔵のループワイヤーで牽引鉗子としても把持鉗子としても利用できる器具である。このリトラクタに複数ペアのファイバーを挿入し、患部の周囲にて展開し、一方のファイバーから患部の表面に光

を照射し、その反射光を他方のファイバーから取り込むようにした。

ファイバーの開口は20度とし、隣り合うファイバーペアとのオーバーラップが60%になるように配置した。その様子を図1に示す。

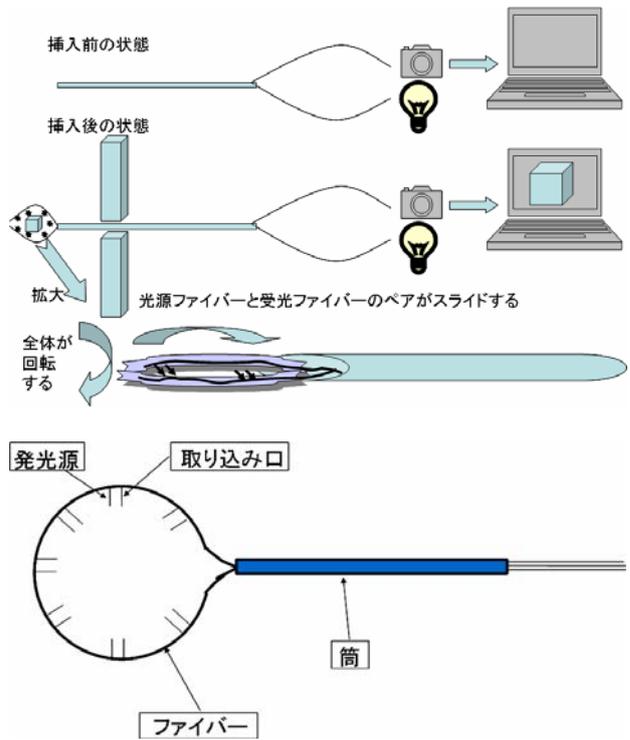


図1 提案システムの概要

ファイバー付きリトラクタとはこの図のようにリトラクタの先に輪が付いており、後方から広げたり締めたりできるようになっている。この輪にファイバーを用いて発光源と取り込み口を設けることにより、輪の中の物体を周囲から撮影できるようにしたものを想定したものである。これを患部付近まで挿入し、展開して患部を取り囲むようにすると、20度の視野幅での2次元平面画像を構成することができる。この平面を患部を中心に1回転させることにより、3次元画像の取得が可能になる。これら取得データから3次元座標を決定し、3次元形状を復元し、マッピング用の画像を生成し、3次元形状にレンダリングすることにより、3次元画像の再構成が可能になる。

## 2.2 撮影方法

撮影の様子を図2に示す。まず、円形状の輪に一定の角度  $\theta$  毎にカメラを配置する。その輪を垂直方向に回転させながら  $\theta$  毎に撮影する。

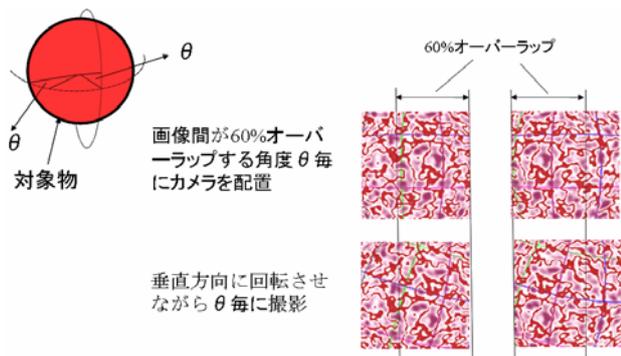


図2 撮像方法

### (1) 特徴抽出[4]

取得画像の3次元座標を決定するため、特徴抽出を行う。特徴点の作成は、相隣る2本のファイバーから得られた画像間での同一点と思われる点を抽出した。この時、撮影画像と特徴点作成後の画像の差分画像を求める。次に、差分画像をある閾値で2値化して2値画像にラベリング処理を施し、それぞれの連結成分を抽出する。抽出した連結成分の中点を特徴点とする。

特徴点作成後の画像において、抽出された特徴点の座標のR, G, B輝度を成分とした3次元の特徴ベクトルとする。画像間のそれぞれの特徴点の市街地距離を求め、最も距離が近いものを同一点とみなす。

### (2) 座標変換

物体座標系  $X, Y, Z$  から画像座標系  $X_d, Y_d$  への変換は以下の式で表される。この  $C_{11}$  から  $C_{34}$  をカメラパラメータと呼ぶ。

$$Hc \begin{bmatrix} X_d \\ Y_d \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$X, Y, Z$ : 物体座標系の座標  
 $X_d, Y_d$ : 画像座標系の座標

カメラパラメータは一般的にはキャリブレーションを行い決定するが、腹腔内ではそれが困難と考えられるので今回は物体座標系におけるカメラの位置、姿勢、および焦点距離などによりカメラパラメータを決定する。

2台のカメラA, Bのパラメータと画像A, Bについての対応点の座標が既知であれば先ほどの式からこのような4つの式が導出できる。未知数3つに対して式が4つなので最小二乗法により  $X, Y, Z$  を求めることができる。

$$\begin{aligned} C_{A11}X + C_{A12}Y + C_{A13}Z + C_{A14} &= C_{A31}XX_d + C_{A32}YY_d + C_{A33}ZZ_d + C_{A34}X_d \\ C_{A21}X + C_{A22}Y + C_{A23}Z + C_{A24} &= C_{A31}XY_d + C_{A32}YY_d + C_{A33}ZY_d + C_{A34}Y_d \\ C_{B11}X + C_{B12}Y + C_{B13}Z + C_{B14} &= C_{B31}XX_d + C_{B32}YY_d + C_{B33}ZZ_d + C_{B34}X_d \\ C_{B21}X + C_{B22}Y + C_{B23}Z + C_{B24} &= C_{B31}XY_d + C_{B32}YY_d + C_{B33}ZY_d + C_{B34}Y_d \end{aligned}$$

### (3) レンダリング

テクスチャーをマッピングする手法としてUVマッピングがある。標準的なマッピング(平面、円筒、球体のマッピング)は、表面形状が変則的な箇所では制限されてしまう場合がある。通常これらのテクニックは、2つの軸に沿って線形補間法を使用し、テクスチャ画像全体をグローバルにマッピングできる場合においてのみ有効に使える。そこで、UVマッピングを使うと、表面上の点にあたかも画鋲で要所を止めていくように、テクスチャ画像の領域が割り当てられる。UとVはテクスチャマッピング軸に相当し、UVマッピングとはオブジェクト表面上の3つの座標  $X, Y, Z$  と画像の2つの座標  $U, V$  との関係を確認するプロセスである。本研究ではUVマッピングを行うにあたり、図3のように  $Y=0$  の平面で上下半分に分け、上下それぞれにあったテクスチャーをマッピングする。

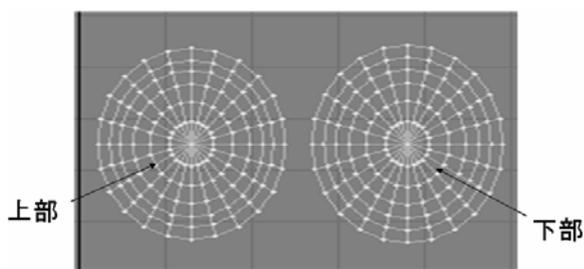


図3 UV展開

撮影画像からマッピング用画像への変換は本来、あらゆる形状に対応するよう、正射影変換を用いて行うが、今回物体の形状が球なので、球の特性を利用した変換を行った。このように撮影画像を変換すると図4の画像が得られる。このとき、この画像の黒い部分はマッピングに使用しないため、実際に使用するときはこの部分をカットした画像を使用した。

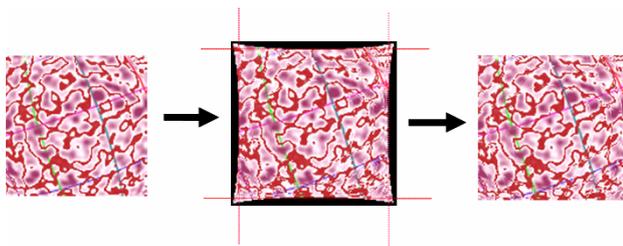


図4 マッピング用の図の作成

#### (4) 二次元剛体変換

垂直方向の画像の合成は2次元剛体変換を用いて行った。2次元剛体変換は以下の式で表される。

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & xt \\ \sin \phi & \cos \phi & yt \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$x_1, y_1$ : 変換前の座標

$\phi$ : 画像の回転角度

$xt, yt$ : 画像の平行移動量

$k$ : スケール

画像の回転角度はカメラの回転角度から求めることができる。また、平行移動量は画像間の特徴点

の位置から求めることができる。2次元剛体変換を用いてこのような2つの画像を合成すると図5の画像が得られる。

図6の画像は垂直方向の画像合成を行った例である。この $\theta$ はカメラの配置位置を表す。画像の傾きを補正し、中心付近の特徴点の位置より水平方向の合成を行い、マッピング用画像を作成する。

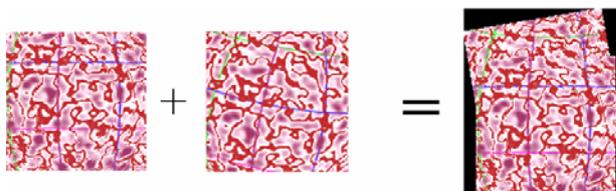


図5 二次元剛体変換による2画像の合成

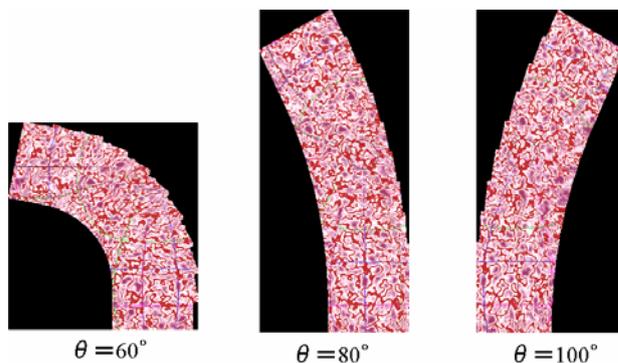


図6 二次元剛体変換による複数画像の合成

#### (5) 正射影変換

ファイバーの取得する映像は三次元物体表面を斜めから撮影したものであるので当該斜視画像から図7の正射画像を生成する。その際、撮影した画像をメッシュに切り、メッシュ内は平面であると仮定した。

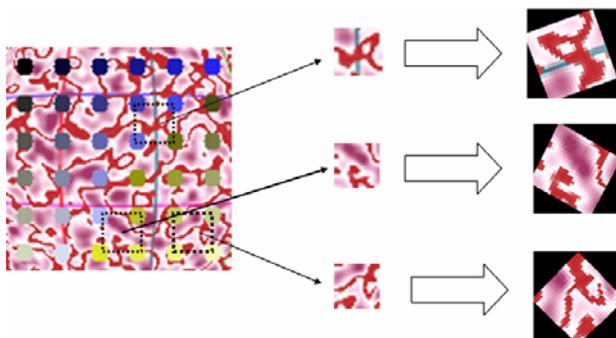


図7 正射影変換

### (6) 三次元物体再構成

3D 物体再構成までの流れを示す。3次元座標抽出の後、3D形状の構成、マッピング用画像作成、マッピング・レンダリングと3つの段階があるが、今回、3D形状の構成で半径10cmの球が構成できたものとして以降のマッピング用画像作成、マッピング・レンダリングを行った。

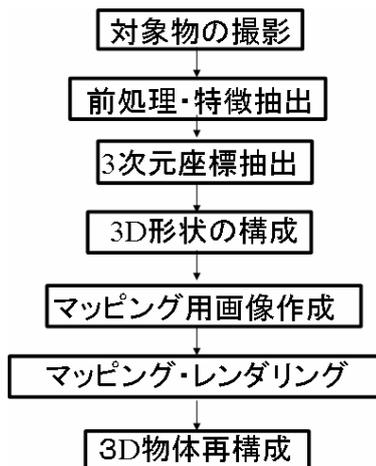


図8 三次元物体再構成の方法

## 3. 実験

### 3.1 実験方法

今回、LightWave3D というソフトを用いてシミュレーション実験を行った。対象物は半径10cmの球に模様が付いているもの、光源はカメラと同じ位置にあるライトのみとし、焦点距離33.8mm、開口角度25°のカメラを使用し、物体との距離20cm、水平方向に20°毎にカメラを配置したとして行った。画像間の特徴点の対応付けは手動で行った。

- ・対象物・・・半径10cmの球に模様が付いているもの
- ・光源・・・カメラと同じ位置にあるライト
- ・焦点距離33.8mm、開口角度25°のカメラ
- ・物体との距離20cm、水平方向に20°毎に配置されたカメラで撮影
- ・画像間の特徴点の対応づけは手動で行う

また、画像取得用ファイバースコープとして図9に示すものを使用した。



(a)ファイバー出射光口 (b)ファイバー入射光口

図9 イメージスコープの概観

### 3.2 実験結果

#### (1)座標変換

図10に実験結果を示す。上から見た図、正面から見た図、右側から見た図、斜めから見た図である。ほぼ正確な座標が求められたといえる。

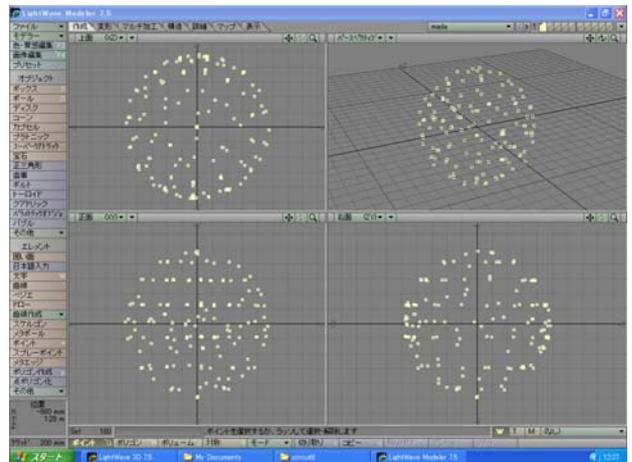


図10 実験結果

#### (2)レンダリング

レンダリングした結果、図11の画像が得られた。画像のつなぎ目に不自然な部分はあまり見られないうが、この画像を見てわかるように上下でつなぎ目が一致していない部分が残っている。

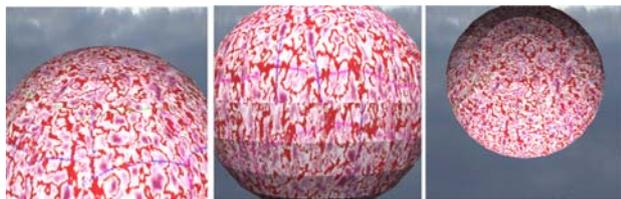


図 11 レンダリング結果

#### 4. おわりに

3次元座標抽出は、ほぼ正確な座標が得られた。従って、画像間の特徴点の対応がつかならばこの3次元座標抽出法は有効な方法とすることができる。しかし、レンダリング結果を見ると、上下のつなぎ目が不自然であった。これはマッピング画像を合成する段階で貼り合わせや、UV展開したオブジェクトとマッピング画像との対応が正確でないなどが原因であると思われる。従って、マッピング画像の作成とマッピング方法はさらに検討する必要がある。

今回、腹腔鏡手術における患部の3D物体を再構成することにより手術を行い易くするため、3D形状をあらゆる角度から見ることを可能とし、手術の計画策定の詳細化、成功率の向上が期待できる。

#### 参 考 文 献

- [1] 発明者:新井康平、皆良田淳二、出願者:佐賀大学、PCT出願番号:PCT/JP2005/1198、三次元画像検出装置(2005)
- [2] 新井康平、画像処理アルゴリズムの基礎理論、学術図書出版(2001).
- [3] 新井康平、画像処理のためのベクトル解析、学術図書出版(2001)
- [4] 新井康平、Javaによる地球観測衛星画像処理法、森北出版(2003)