

U.D.C 681.782.3

# ステレオカメラによる対象物の情報構築の一考察

## — 建設系産業廃棄物を対象とした形状推定による物体情報の認識 —

遠藤 健\* 後久 卓哉\*

**要約：** 筆者らは、建築物解体現場において必要とされている作業の効率化、安全性向上、廃棄物のリサイクル向上を目的に、新たな解体工法を構築する技術として「次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システム」を提案し、その構成要素について現在研究開発を実施中である。

今回、次世代マニピュレータにより廃棄物を効率的に分離・選別するための要素技術として、対象物の情報をステレオカメラとポインティングデバイスを用いて容易に取得する技術を開発した。またステレオカメラによる一方向からの情報をもとに、形状推定により対象物の体積や重心位置を求める手法を構築し、試作システムを次世代マニピュレータに実装した。

**キーワード：** ステレオカメラ, 建設系産業廃棄物, リサイクル, 形状推定

- 目次：**
- |                 |         |
|-----------------|---------|
| 1. はじめに         | 4. まとめ  |
| 2. 対象物情報取得技術の開発 | 5. おわりに |
| 3. 試作機への実装とテスト  |         |

### 1. はじめに

一般に建設系産業廃棄物は、解体用重機や人力により解体現場や中間処理場において分離選別の工程を経て減容し処理される。中でも建物の上に重機を載せて行う階上解体現場での分離選別作業は、重機による解体作業の近傍で人力による選別作業などが並行して行われ、危険なうえ選別の精度も低く問題となっている。

図1は筆者らが目指している「次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システム」<sup>1)</sup>と称する新たな階上解体システムの構想図である。本システムは、複数の作業アームを備え廃棄物の小割りと分離作業に特化した次世代マニピュレータを解体作業階に導入し、また選別作業に特化した廃棄物選別機を廃棄物搬出階に配置することにより、階上での廃棄物選別作業の低減と解体作業の高速化、分離選別率の向上を狙ったものである。これらの実現により解体作業全体の作業効率の向上、安全性の向上、廃棄物リサイクル率の向上が期待できる。

本報では、次世代マニピュレータの遠隔操作時や将来的な準自律運転時のオペレータ支援に有効と考えている作業対象物の情報を容易に把握するための作業対象物情報取得技術について述べる。

### 2. 対象物情報取得技術の開発

図2は、次世代マニピュレータの遠隔操作時や将来的な準自律運転時のオペレータ支援の例として、対象物

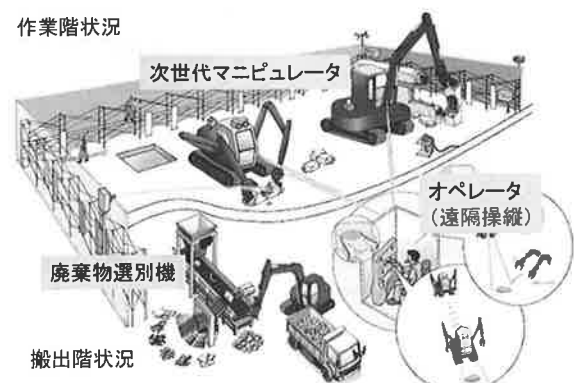


図1 次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システム構想

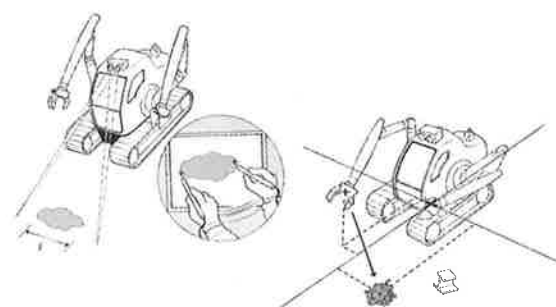


図2 作業対象物情報の取得状況 (左上) と次世代マニピュレータのハンドリングイメージ (右下)

\*メカトログループ

の近傍に準律自律でマニピュレータを素早く移動させる、あるいは把持操作のために把持装置の向きや開閉量を制御するイメージを示している。ここで作業対象物の情報とは、これらマニピュレータや把持装置が取扱いの対象とする廃棄物の位置、形、材質、重量などの情報に他ならない。したがってハンドリングの際にこれらの情報を生かすためには、ハンドリング操作の前にごく短時間で取得することが必要である。

このような用途を想定し情報取得の手段を考案する場合、次のような前提条件を列記することができる。

- ①対象物は不定形である
- ②対象物位置は機体原点との相対関係で特定可能
- ③対象物位置・形状精度はd m単位でよい
- ④情報取得方法は機体側から非接触で行う

以上を考慮して、オペレータが扱いやすく簡単な機器構成で実現できる情報取得手段の構築を試みた。

図3は、ステレオカメラや三次元レーザスキャナを用いて対象物の形を取得する場合の一般的な概念図である。対象物は例えば円や球といった単純な形で構成されるものを考える。図中の対象物の着色した部位は計測器の設置点から一度に取得できる三次元形状範囲を示している。

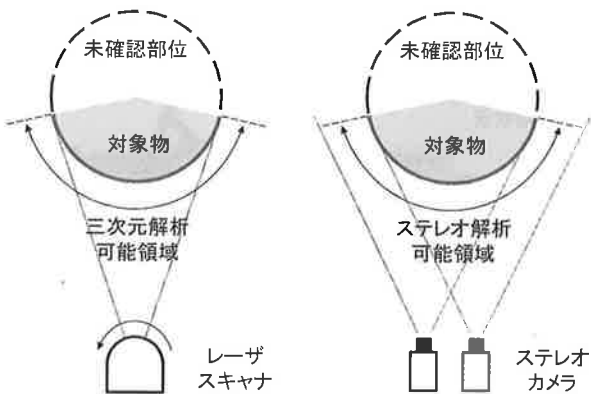


図3 物体の形状計測による一般的な概念

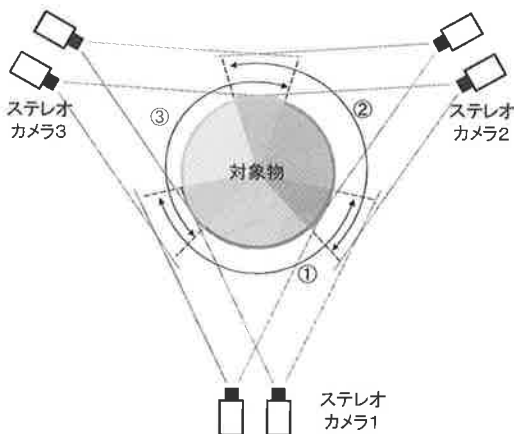


図4 複数設置点からの計測による対象物形状計測

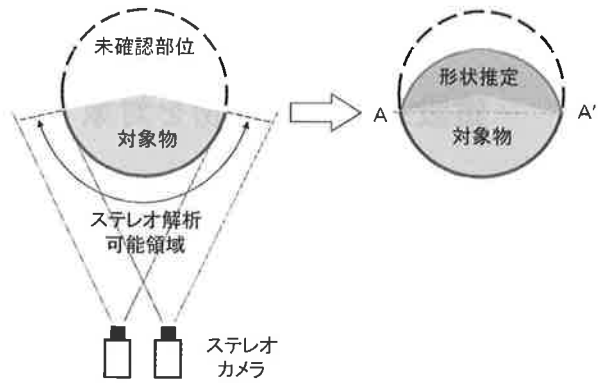


図5 単一設置点からの計測による対象物形状計測

通常は単一の設置点から対象物の全体形状を把握することはできないため、計測器に正対した部位が計測の対象となり破線部のように未確認部位が生じる。したがって図4に示すように多数の設置点からの計測により未確認部位が生じないように取得した三次元形状を結合し全体を把握する方法<sup>2)</sup>が一般的である。ステレオカメラ1は領域①、ステレオカメラ2は領域②、ステレオカメラ3は領域③をそれぞれステレオ解析処理し、求めた三次元形状情報を互いに重なるようにつなぎ合わせ全体の形を把握する。図示したケースでは、対象物の全体を把握するのに三箇所の設置点が必要であることを表している。

これに対し、図5は一つの設置点から取得した情報をもとに対象物の全体を推定して情報を取得する概念図である。図の例ではカメラ1により領域①に求めた三次元形状情報を線A-A'に対称となる位置に新規に求め、これと領域①の情報との間にできた領域を未確認部位に占める対象物の領域として推定している。さらに幾何的计算により対象物の体積や重心の情報を求める。

図5の方法は、取得する対象物の情報を計測器の単一設置点からの情報に限ることから、即時性や設備の軽減などに優れる半面、全体形状の把握が不可能である点や高精度な情報が期待できないなどの欠点も有する。よって実用を考えた場合、対象物が集積されたがれきの一部や地山に露出した岩石であるなど、もともと部分的な情報しか得られない場合に有効な手段であると考えられる。

今回実現すべき情報取得手段は先に記した前提条件により、速度重視、計測器設置点の制限、対象物の特殊性を考慮して単一設置点からの計測方法を採用した。また主計測器にはステレオカメラを採用し、一方向からの撮影で取得した三次元形状をもとに対象物全体の形を推定し各種情報を算出する手法を考案した。

図6はステレオカメラを用いた作業対象物情報取得装置の一例で、機器構成と情報の流れを示している。ステレオカメラは左右のカメラで作業空間を捉え、このうち基準カメラ(左側カメラ)の映像をタッチパネルディスプレイ上に表示しオペレータに提示する。オペレータは

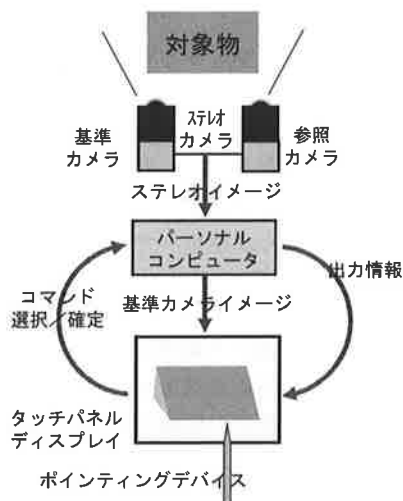


図6 作業対象物情報取得技術の装置構成(例)

表1 ステレオカメラの仕様

	諸元
撮像素子	1/3.3型 1.3M画素カラーCMOSセンサ
光学系	f=4.4mm
画角	垂直40mm×水平52mm
フレームレート	15fps
静止画像出力	SXGA(1280×960)
出力	USB2.0
寸法/重量	W145×D44×H62/約250g

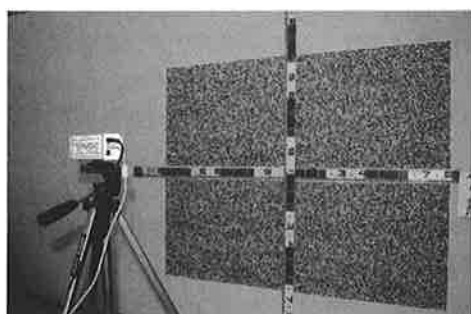


図7 ステレオカメラの画角検証状況

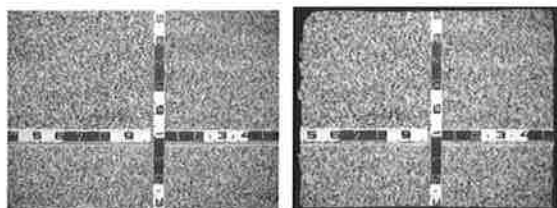


図8 基準カメラの視野範囲とステレオ処理範囲の比較(左:基準カメラ画像,右:ステレオ処理後)

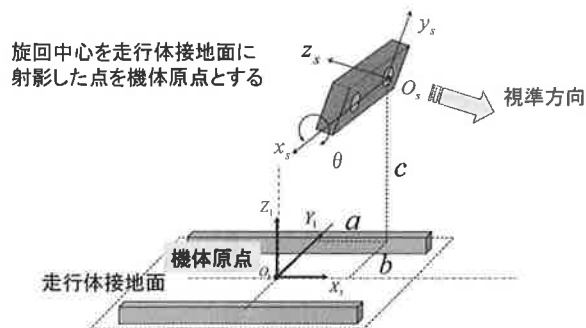


図9 ステレオカメラ座標系と機体座標系

表示映像により作業空間の状況を把握するとともに、情報取得用のインターフェースソフトにより任意のタイミングで映像をキャプチャし、ステレオ解析処理を経て三次元形状情報に変換する。

### 2.1 ステレオカメラについて

映像取得用のステレオカメラには、滝田ら<sup>3)</sup>の位相限定相関法をカスタマイズしたコニカミノルタオプト社製のステレオカメラを用いた。特長として精度が高い、低コントラストやカメラ間の特性の違いなどのノイズに対しロバストなステレオ対応処理ができる点などがある。2台のカメラに輻輳角<sup>4)</sup>は設けられておらず平行に配置されている。ステレオカメラの仕様を表1に示す。

車載にあたってはステレオカメラ用チャートを用いてあらかじめ画角の検証を行い取り付け位置の検討を行った。図7はチャート紙を用いたステレオ解析範囲の確認状況、図8左は基準カメラの視野範囲、図8右はステレオ解析の処理範囲である。上下方向は視野範囲とほぼ同等の範囲でステレオ処理が行われている。左右方向は基準カメラが118cmであるのに対しステレオ範囲が107cmと、2台のカメラ間距離(10cm)の分だけステレオ処理の範囲が狭くなっていることが確認できた。また画像上にあるスケール値と解析値を対比させ、dm精度を十分満たしていることを確認した。

以上の検証や撮影条件等を総合的に判断し、取り付け位置を運転席の上方に決定した。図9はステレオカメラの座標系と機体の座標系の関係を表している。ステレオカメラ系は基準カメラのレンズを中心として、機体原点に対し(a, b, c)の平行移動量を有し、また機体のY<sub>1</sub>軸に対しθの回転量を有する。以上の関係をもとにステレオカメラ系で求めた三次元座標は、全て機体座標系の座標値に変換して取得する。車載に際して取り付け位置や角度の変更を考慮し(a, b, c)およびθを座標変換用のパラメータとして入力設定できるようにした。

### 2.2 情報取得インターフェースソフトについて

オペレータとのインターフェースとして、モニタや情報取得を可能とする情報取得用インターフェースソフトを用意した。本ソフトはモニタ用にステレオカメラの基

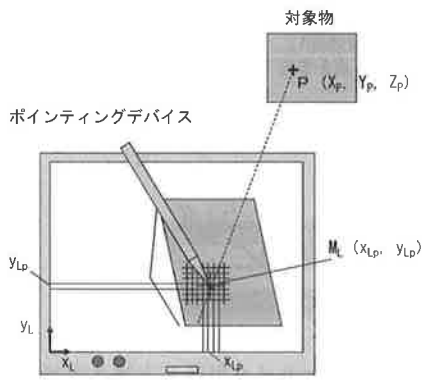


図 10 対象物の座標とモニタ画像との対応

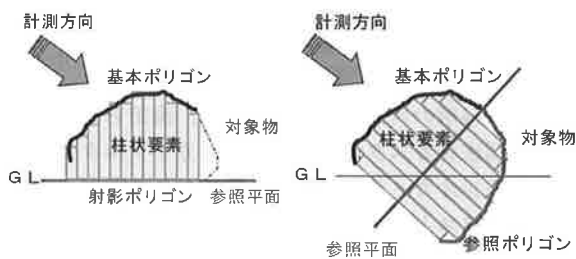


図 11 形状推定概念図  
(左図：射影法，右図：包込み法)

準カメラの映像を表示し、情報取得用のコマンドやステレオ解析処理コマンドなどを備え、必要な時に映像をキャプチャすることができる。また撮像範囲の全ての三次元形状情報は、モニタ用のキャプチャ映像の各画素と対応付けて整理され、ポインティングデバイスでタッチしたディスプレイ上の画素に対応する三次元の座標を即時に取得することができる。図 10 はステレオカメラで求めた対象物の三次元座標と、モニタ表示画面の映像情報の対応について図示したものである。図中のポインティングデバイスでディスプレイ上の映像に直接入力する点を  $M_L (X_{LP}, Y_{LP})$  とすると、対象物上の対応する座標  $P (X_p, Y_p, Z_p)$  を特定することができる。

今回、このような直感的な入力方法と、点・線・面といった空間要素や領域特定を可能とする各種の計算コマンドを利用して、対象物の表面情報から形を推定し、推定した物体を対象物とみなして体積や重心位置といった様々な情報を簡単な操作で求めることを考案した。

以下に一例として対象物の形を推定する二通りの方法について説明する。

### 2.2.1 射影による形状推定

図 11 左は対象物と周囲の情報を利用して形状推定する方法を図示したものである。例えば対象物が平面上に置かれているなど周囲と比較的区別しやすい場合に有効と考えられる手法で、周囲の情報から特定したある面

(以下：参照平面) に対し、対象物の表面情報を射影することによって形状を推定する方法 (以下：射影法) である。

形状推定の手順は、まず範囲指定コマンドを用いて映像上での対象物の輪郭を囲み、対応する対象物の三次元点群情報で構成された基本ポリゴンを確定する。次に対象物周囲の任意点から点指定コマンドを用いて3点以上選択し参照平面を特定したのち、対象物の基本ポリゴンの各点を参照平面に垂直に射影することによって射影ポリゴンを形成する。続いて基本ポリゴンの外周エッジを求め、これらとその射影点同士をつないで四角形ポリゴンを形成し、これを推定の側面ポリゴンとすることにより推定した形を確定する。体積は基本ポリゴンごとに対応する射影ポリゴンとの間に柱状要素を構成し、これらの積算により求める。

### 2.2.2 包込みによる形状推定

図 11 右は対象物のみから形状推定する方法を図示したものである。対象物が積上げられているような場合に有効と考えられる手法で、計測方向と直行する参照平面に対し、対象物の表面情報を対称に構成し、元の表面情報と対称面情報とで包込むように囲って形を推定する方法 (以下：包込み法) である。

形状推定の手順は、射影による形状推定と同様にまず範囲指定コマンドを用いて映像上での対象物の輪郭を囲み、対応する対象物の三次元点群情報で構成された基本ポリゴンを確定する。このとき計測方向から見て最遠点にある三次元点を通りかつ計測方向に直交する位置に参照平面を設け、基本ポリゴンの各点を参照平面に対し面対称の位置に用意 (以下参照ポリゴンと呼ぶ) する。続いて基本ポリゴンの外周エッジを求め、これらと対応する参照ポリゴンの一致点をつないで四角形ポリゴンを形成し、これを推定の側面ポリゴンとすることによって推定した形を確定する。体積は射影による形状推定と同様に、基本ポリゴンごとに対応する参照ポリゴンとの間に柱状要素を構成し、これらの積算により求める。

## 3. 試作機への実装とテスト

図 12 は次世代マニピュレータに搭載したシステムの様子である。ステレオカメラを運転席の正面上方に配置し、45度下向きに傾斜させ設置した。また運転席にタッチパネルディスプレイを設け、実験中にコマンド操作が容易にできるようにした。図 13 は実装状態でキャプチャしたモニタ画像で、双腕マニピュレータの主な作業範囲をほぼ確認できるようになっている。

図 14 は図 13 の円内に位置する標本 (コンクリート塊) を対象として射影法と包込み法で推定した三次元形状である。それぞれを比較すると形状に差異はあるが、形状推定機能自体は設計概念どおりに推定できていることを確認した。



図 12 次世代マニピュレータへの実装



図 13 搭載システムのキャプチャ画像  
(円内は標本としたコンクリート塊)

なお位置精度に関しても実装時のスケールで求めたシステムの出力値が d m 精度を満たしていることを確認した。表 2 は図 14 に示したそれぞれの推定で求めた体積の比較である。射影法では標本の 76%、包込み法では標本の 146%で、一方向からの取得情報でかつ d m の精度をもった情報を取得することが実証できた。今回のように標本が直方体状であれば射影法がより真値に近く、標本が球体状であれば包込み法がより真値に近くなることは容易に想像できる。今後は本方式による情報取得技術の実用化に向けて、様々な標本を検証していきたい。

謝 辞

本論文作成にあたり、日立建機㈱、コニカミノルタテクノロジーセンター㈱の関係諸氏に大変お世話になった。感謝申し上げます。



図 14 形状推定機能による対象物の形状取得  
(左：射影法，右：包込み法)

表 2 推定による体積値比較

	標本	射影法	包込み法
寸法 (cm)	30×30×60	—	—
体積 (cm <sup>3</sup> )	54,000	41,269	65,981

4. まとめ

建設系産業廃棄物を対象とした情報取得技術を開発し、次世代マニピュレータの試作機に実装して基本機能の確認を行った。その結果、以下の点について知見を得た。

- 1) 次世代マニピュレータの作業対象物の認識における前提条件を整理した。
- 2) ステレオカメラとタッチパネルディスプレイおよびポインティングデバイスを用いた構成で、単一設置点からの計測による情報取得技術を開発した。
- 3) 単一設置点からの計測による情報取得のために対象物の形状推定に関する手法を考案した。
- 4) 開発した情報取得技術を次世代マニピュレータに実装して検証実験を行い、単一設置点からの計測による情報取得手段の有効性を示した。

5. おわりに

開発した対象物情報取得技術については、今後も多数の標本を用いた情報取得に関する検証とさらなる形状推定法の考案、インターフェースの操作性に関して検討を重ねていく予定である。また取得した情報を次世代マニピュレータの遠隔操作や準自律運転に利用するために、マニピュレータ側のハンドリング操作に反映するための仕組みの構築についても研究を進めていきたい。

なお、本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO 技術開発機構) からの委託研究で実施中のものである。

#### 参考文献

- 1) 後久卓哉・遠藤健他 8 名：次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システムの開発, 第 25 回日本ロボット学会学術講演会, 1K24, 2007
- 2) 大石岳史・増田智仁他 2 名:創建期奈良大仏及び大仏殿のデジタル復元, TVRSJ Vol10 No. 3, 2005
- 3) K.Takita・M.A.Muquit・T.Aoki・T.Higuchi:A Sub-Pixel Correspondence Search Technique for Computer Vision Applications,IEICE TRANSACTIONS ON INFORMATION AND COMMUNICATIONS,FUNDAMENTALS,VOL.E87-A,pp.1913-1923,NO.8 AUGUST 2004
- 4) 柳原好孝：人にやさしい建設ロボット遠隔操縦技術の研究（その 1）,東急建設技術研究所報,No.25,pp.153-156,1999 年 7 月

## A CONSIDERATION TO BUILDING OBJECT'S INFORMATION DERIVED FROM IMAGE OF 3D SHAPE MEASURED BY STEREOSCOPIIC CAMERA

- PRESUMING THE SHAPE OF CONSTRUCTION WASTE -

K.Endou and T.Gokuyuu

Authors have been researching and developing the Construction Waste Separation and Sort System with the use of the next generation manipulator as a new method of destruction with high safety, high efficiency, and low environment load.

We have developed the technology to get object's information easily using a stereoscopic camera and a pointing device, as the elemental technology to separate and sort the waste efficiently.

Moreover, we have built the method to get the object's volume and the object's center of gravity by presuming the shape based on the information that was measured from one-way by stereoscopic camera, the system that it was made experimentally was mounted on the next generation manipulator.