

U.D.C 69.059.6

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

－その3 中間成果概要－

後久 卓哉* 遠藤 健* 上野 隆雄* 中村 聡* 柳原 好孝*

要約： 高度成長期に建築され老朽化した建物の、解体需要は年々増加している。解体時に発生する廃棄物は、重機により粗選別された後、細かい廃棄物は人力により選別されている。これらの作業は、生産性が低く、危険を伴う劣悪な環境下で行われている。

筆者らは、建築物の躯体解体現場において必要とされている作業効率向上、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、平成18年度にその1として開発目標と計画について述べた¹⁾。

本稿では、開発した次世代マニピュレータを主体とする統合RT (Robot Technology) システムで用いる各構成要素技術の開発状況概要と最終的に目指す統合システムについて述べる。

キーワード： 建設系産業廃棄物、廃棄物分離選別、材質判別、RT

- 目次：**
- | | |
|-------------|---------|
| 1. はじめに | 5. おわりに |
| 2. 要素技術開発状況 | |
| 3. 中間成果 | |
| 4. 統合システム | |

1. はじめに

高度経済成長期に建築された建物は、現在の耐震基準に合わない場合や、建物用途の変更、地区の再開発などから数多く解体されている。また、それらの解体需要は増加している。²⁾

解体工程は、内装解体、アスベスト除去、躯体解体の順序で進められる。そのうち躯体解体は、工期・工費共に占める割合が最も多く、躯体解体の工程で行われる廃棄物の分離選別作業に関して、効率向上が望まれている⁴⁾。また、都市部における解体は、地上に重機を設置する作業スペースが取れないことから、建物の上に重機を載せて行う、階上解体工法で行われることが多い。スラブ上の囲われた空間で行われる階上解体は、耐荷重不足による重機の崩落や重機と作業員の接触など危険な作業である。

一方、解体工事の発注者からは、安全で周辺住民や環境に配慮した解体工事が望まれている。

これらの課題を解決するため、「次世代マニピュレータによる廃棄物の分離選別システム」を提案し、開発を行っている(写真1)。前報までに、システムに必要な要素技術について報告した¹⁾。本報では、システム実現に必要な、要素技術開発状況の概要と中間成果、筆者らが目指す統合システムについて報告する。

2. 要素技術開発状況

開発実施中の各要素技術について、システムにおけ



写真1 実験状況

る開発目的と機能を表1にまとめた。要素技術は、個別に使用可能なものから、将来の準自律運転で使用するものまで多岐にわたっている。

以下に各要素技術の仕様および開発状況について記す。

2.1 廃棄物材質の判定手法

建物解体時に発生する廃棄物の中で、今回の研究開発で対象とする廃棄物の材質はコンクリート、鉄、アルミ、木、プラスチックの5品目と設定した⁵⁾。廃棄物判定・移送装置は、廃棄物を搬出する場所に設置し、選別率を向上させることにより廃棄物の品質向上、苦渋危険作業からの作業員解放に寄与する。

材料毎に異なる物性値等を、近赤外線、渦電流、蛍光X線等を使用し、個別にセンシングして判定するシステ

*メカトログループ

表1 要素技術の目的と機能

要素技術名	目的	機能	システム内の位置づけ
廃棄物材質の判定	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物の選別率向上 ・苦渋作業の削減 ・オペレータ操作支援 	<ul style="list-style-type: none"> ・建設副産物5品目(コンクリート、鉄、アルミ、木、プラスチック)の判別 	判定・移送装置、マニピュレータで使用
ハンドリングのための作業対象物状態センシング	<ul style="list-style-type: none"> ・オペレータ操作支援 ・マニピュレータの自律化 	<ul style="list-style-type: none"> ・作業対象物の形状・体積推定 ・計測装置と対象物の相対位置計測 	マニピュレータで使用
最適なハンドリング計画	<ul style="list-style-type: none"> ・オペレータ操作支援 ・マニピュレータの自律化 ・作業安全性向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・材質判定結果から把持力を制御 ・質量計測結果から移送速度を制御 	
周辺住民が安心できる技術	<ul style="list-style-type: none"> ・騒音、振動等の抑制 	<ul style="list-style-type: none"> ・騒音、振動等を計測し、規制値超過時マニピュレータに出力 	
施工現場の環境認識	<ul style="list-style-type: none"> ・オペレータ操作支援 ・マニピュレータの自律化 ・作業安全性向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・現場内の自己位置位置、姿勢計測 ・作業員識別 	
多自由度多腕マニピュレータ、多機能ハンド	在来型油圧ショベルの複合廃棄物分離作業性向上	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋等の切断、引き剥がし、曲げ 	
複数腕複数軸の同時操作を容易にする操作系	<ul style="list-style-type: none"> ・双腕マニピュレータの直感的で容易な操作 	<ul style="list-style-type: none"> ・1レバーで1アームを操作 	

ムと、一括推定する統合ソフトウェアを開発し、対象とした廃棄物5品目の判定を実現した。

使用する近赤外線センサは、有機物の材質判定に有効性があり、主に廃プラスチックおよび木材の判定に用いる。渦電流センサは主に金属類（鉄、アルミニウム、一部ステンレス類）の判定に使用する。蛍光X線センサは、コンクリートを判別するためのCa成分を検出でき、かつ鉄も検出できるセンサとして採用した⁶⁾。

統合ソフトウェア（図1）は、各センサの判定結果をベイズ推定法により最終推定結果として導き出す手法とした。

またこれとは別に、解体時に発生する廃棄物を効率よく選別するためには、排出量の85%を占めるコンクリート塊とその他廃棄物をはじめに選別することが効果的であると考え、非接触で連続処理が可能な画像による識別方法を開発した⁷⁾。

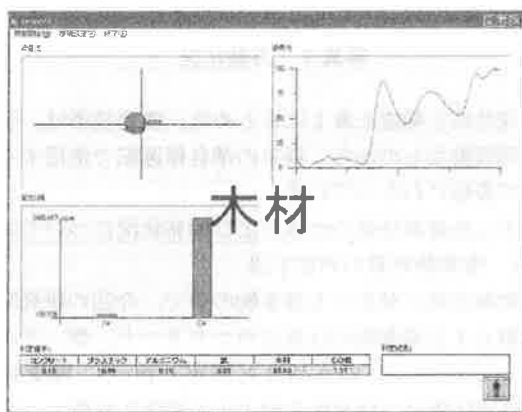


図1 統合ソフトインターフェース

2.2 ハンドリングのための作業対象物状態センシング

作業対象物状態センシングシステムは、ステレオカメラ（写真2）による一方向取得画像から、形状推定（写真3）が可能な構成とした。形状推定は、射影による形状推定と包込み形状推定（図2）の2手法を可能とした。計測した形状推定データから廃棄物の重心位置を演算し、結果を後述する最適なハンドリング計画システムへ受け渡す。さらに、将来目指している準自律運転に必要な、対象物と計測装置の相対位置関係もあわせて計測している⁸⁾。

2.3 最適なハンドリング計画

建設機械を動作させるアクチュエータは、一般的に油圧装置が使用されるが、柔軟かつ適切なハンドリングを行うには、応答性などを考慮した制御系を適切に設計する必要がある。



写真2 ステレオカメラ



写真3 推定結果

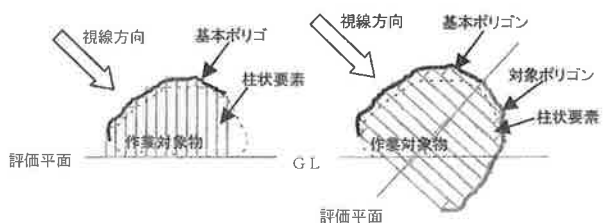


図2 射影による推定（左），包込み形状推定（右）

そこで、把持対象物の状態センシングシステム、材質判定システムと操作支援システムから得られた把持対象物の質量情報から把持力や移送速度の制御を行う。これにより、オペレータの操作支援および作業の安全性を向上させる信頼性の高いシステムを実現した。

さらに今後は、マニピュレータの腕間接角度情報と作業対象物状態センシングからの情報を用い、マニピュレータの腕を目的に応じ準自律で軌道制御する予定である。

2.4 周辺住民が安心できる技術

解体現場から発生する騒音や振動などを複数点で計測し、現場内に構築した LAN で計測データを集積し、周辺住民、重機オペレータと現場事務所へ通知するとともに、発生源である重機の出力制御を行う拡張性を持つシステムを開発した⁹⁾。写真3に重機オペレータへの通知状況を示す。本システムは、当社の独自技術「環境ビジュアライザ」としてすでに5現場の実績があり、周辺住民への迷惑を防止するシステムとして活用されている。

2.5 施工現場の環境認識

準自律運転を行う場合の、マニピュレータ本体の位置・姿勢、周辺の環境情報（開口、障害物、作業員等）、を把握する技術である。これまでに解体現場での使用に有効なセンサの選定を行い、実験の結果レーザポジショナ方式が自己位置と方向を計測するセンサとして最適と判断した¹⁰⁾。また、設置したリフレクタ（反射板）以外の反射する物を異物として認識可能なことから、反射ベストを着た作業員を検出するシステムも開発し、重機との接触災害に有効であることを確認した。

2.6 多自由度多腕マニピュレータ、多機能ハンド

多自由度、多腕マニピュレータは、躯体解体時の廃棄物分離、選別作業を効率よく実施することを目標に本体仕様を策定した。

次世代マニピュレータ（多自由度多腕マニピュレータ）は、主腕5自由度、副腕9自由度（表1）、旋回、走行を含めて全16自由度を有する。出力は、主腕60kw、副腕20kw（主腕11tクラス、副腕3tクラス）とした（写真4）。

調査の結果³⁾主腕側の機能としては、コンクリート塊の小割りなど、既に市場で評価されているハンドを100%の能力で動作可能なことが求められている。また、副腕側に求められる機能は、引き剥がしや曲げなど従来の油圧ショベルでは難しい、横方向への力を発生させる構造が求められていることが明らかとなった。また、先端はつかみ、切断、曲げなど細かな作業が可能かつ、主腕との協調動作に対応する必要があったため、新たな多機能ハンド(図4)を開発した¹¹⁾。

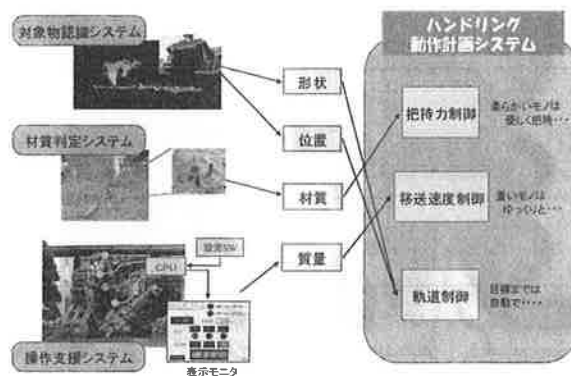


図3 ハンドリング動作計画システムの構成



写真3 オペレータ通知状況

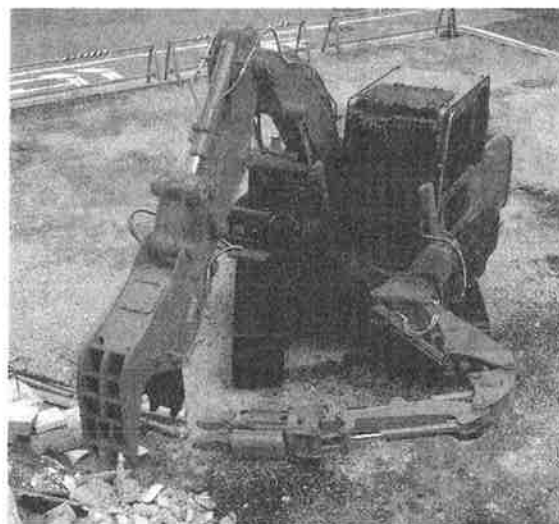


写真4 多自由度多腕マニピュレータ

表1 マニピュレータの自由度

	Roll	Pitch	Yaw	アタッチメント	合計
主腕	0	3	0	2	5
副腕	1	4	1	3	9

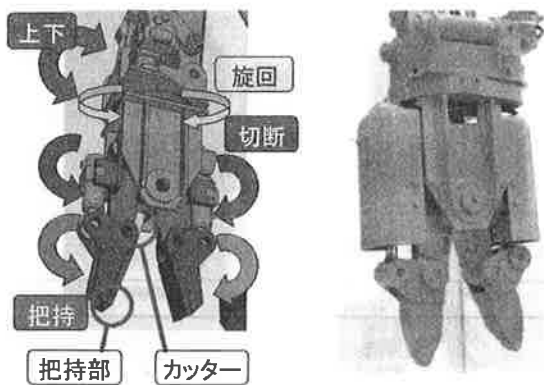


図4 多機能ハンドの機能と自由度



写真5 操作レバー



写真6 レバー自由度

2.7 複数腕複数軸の同時操作を容易にする操作系

複数腕複数軸の双臂マニピュレータを操作する新たな操作系の基本コンセプトを、①直感的に操作し易く、疲労が少ない操作系とする、②左右の操作方式を均一化するとした。なお、主腕を右腕、副腕を左腕で操作する。操作自由度は、直交3軸をベースとした。また、2自由度分のアタッチメント操作を想定し、グリップ先端に1軸のアナログレバー、グリップ中腹にスイッチ(2個)を配した(写真5)。片腕で操作可能な自由度は、操作レバーの5自由度にレバー全体をスイングする自由度を加え、合計6自由度とした(写真6)。副腕に関しては3自由度分が不足するため、グリップ中腹にスイッチを設け、シフトスイッチとして用いることで対応した。

3. 中間成果

前項で開発した個別の成果を組合せ、中間評価を行った。

3.1 廃棄物分離

分離対象は、実際の解体現場より移送したサッシ枠付きのPC板とした。多機能ハンド付き次世代マニピュレータの操作は、解体業者の重機オペレータが行った。オペレータは、新しい操作方式に始め戸惑っていたが、約一週間で操作を習熟した。分離対象物のPC板で分離実験を行い、PC板からアルミのサッシ枠を分離可能なことを確認した(写真7)。また、多機能ハンドの切断機能についても、異形鉄筋(D35)が切断可能なことを確認した。

3.2 廃棄物材質判定

材質判定の対象は、実際の解体現場で発生した廃棄物5品目を使用した。実験は、実際の使用環境に近い屋外で行った。その結果、画像による判定では概ね30%の精度、3種類のセンサによる判定(写真8)では材質によりばらつきがあり58-86%であった。

3.3 その他技術の実験

作業対象物の状態センシングは、次世代マニピュレータに搭載したステレオカメラからの情報を処理し対象物の体積、重心位置、マニピュレータからの相対位置を求められることを確認した。なお、インターフェースについては、操作が容易なタッチパネル式操作パネルとした。

周辺住民が安心できる技術では、騒音、振動等の測定値を双臂マニピュレータに無線通信し、設定した管理値超過時にブザーおよびランプでオペレータに通知可能なことを確認した。

施工現場の環境認識では、実験ヤード内での自己位置計測が可能であることを確認した。さらに、リフレクタを取り付けたウェア着用の作業員のみを識別し、キャビン内のオペレータに作業員の位置を通知可能であることを確認した。

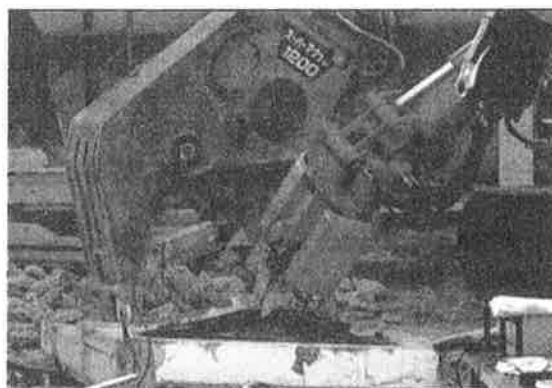


写真7 サッシ枠分離状況



写真8 3種類のセンサによる判定

4. 統合システム

統合システムは、現在単独で機能している各要素技術を統合して盛り込んだ最終的なものであり、技術の完成時期を考慮した3つのフェーズからなる。

システムは、「廃棄物の判定・移送システム」と「分離・選別マニピュレータ」の2種のシステムで構成される。本システムの目標は、階上解体工法でのRTシステム構築である。

開発されたマニピュレータは、在来型の油圧ショベルのアタッチメントに破碎機を装着した大割機と呼ばれる重機から、建物を大きくブロック状で解体された複合部材を受け渡され、これらを素材材料ごとに分離、選別する役割を担う。マニピュレータについては、①搭乗運転、②遠隔操縦、③半自律運転の技術ステップを順に構築する計画である。

廃棄物は、現場から搬出する前に搬出階に新たに配置した廃棄物材質判定移送装置により、精度良く選別される。

5. おわりに

今回報告した中間成果は、本研究開発当初に設定した

謝 辞

本研究開発の再委託先である日立建機株式会社関係各位には、多大なご指導ご協力を頂きました。末筆ながら厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 後久卓哉・柳原好孝他4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（その1），東急建設技術研究所報，No. 32，pp. 81-86, 2007年2月
- 2) 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.
- 3) 社団法人建設業協会：建築物の解体に伴う廃棄物の原単位調査報告書，2004.3
- 4) 後久卓哉・中村宗隆：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（その2），東急建設技術研究所報，No. 33, pp. 69-74, 2008年2月
- 5) 中村聡・後久卓哉：建設系産業廃棄物選別の要素技術研究（その1），東急建設技術研究所報，No. 33，pp. 75-76, 2008年2月
- 6) 柳原好孝・後久卓哉他7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2報，第26回日本ロボット学会学術講演会，2D2-05, 2008.9
- 7) 中村聡・後久卓哉：建設系産業廃棄物選別の要素技術研究（その2），東急建設技術研究所報，No. 34，2009年
- 8) 遠藤健・後久卓哉他3名：建物解体現場における作業対象物情報取得技術の開発”，第26回日本ロボット学会学術講演会，2D2-03, 2008.9
- 9) 後久卓哉・加藤晃敏他4名：建設現場における作業環境計測IRTシステムの開発，ロボティクス・メカトロニクス講演会'08，2P1-B12，2008.6
- 10) 上野孝雄・遠藤健他3名：建設現場における作業環境認識技術の開発，第26回日本ロボット学会学術講演会，2D2-02, 2008.9
- 11) 後久卓哉・柳原好孝他4名：解体・スクラップ処理に適した双腕型作業機械の開発，第26回日本ロボット学会学術講演会，2D2-04, 2008.9

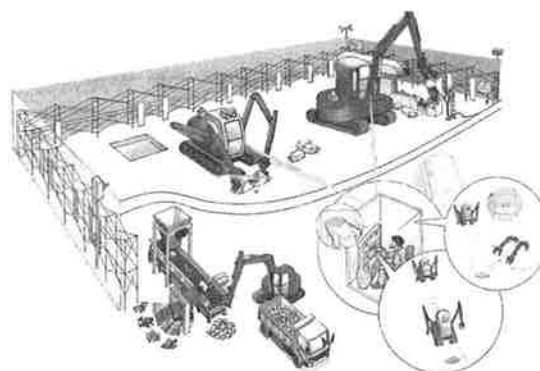


図5 統合システム構成

目標を満たしており、統合システムに向けた要素技術開発を行うことが出来た。また、開発した個別の技術は、順次現場に適用していく。今後は、各要素技術の精度および速度向上とシステム全体の統合を行い、さらに遠隔操縦や準自律行動を行うシステムへと研究開発を進める。

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。

DEVELOPMENT OF WASTE SEPARATION AND SORTING SYSTEM
BY THE NEXT-GENERATION MANIPULATOR (PART3)
- TECHNICAL ELEMENT AND SYSTEM INTEGRATION-

T.Gokyyu, K.Endou, T.Ueno, S.Nakanura, and Y.Yanagihara,

Authors are researching and developing the Construction Waste Separation and Sort System with the use of Robot Technology which is trusted from NEDO.

We had suggested the “Construction Waste Divide and Select System by a Next-generation Manipulator” in order to improve work efficiency, safety and recycling rate of building demolition, also developed element technologies.

This paper shows contents of development technologies, “Next-generation Manipulator”, “Handling Planning System”, “Environment Monitoring System for Construction Site” and shows function and performance of those. A result of field tests and effectiveness of these technologies based on a test result are also explained.