

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 開発の計画、目標 －

後久 卓哉* 柳原 好孝* 遠藤 健*
中村 聡* 上野 隆雄** 光永 純一***

要約： 廃棄物処理は、不法投棄や不適正処分、最終処分場の受け入れ残余年数の逼迫などが社会的な問題となっている。社内でも建設系産業廃棄物の分別排出率の向上を目指し、指導や教育を行っているが、全社の混合廃棄物排出率はいまだに大きな割合を占めている。

一方、経済産業省は将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから、国として研究開発の必要性がある「戦略的先端要素技術開発プロジェクト」を平成 18 年度より 5 年間で実施し、課題の一つとして、「建設系産業廃棄物処理 R T システム（特殊環境用ロボット分野）」を設定した。本プロジェクトには、当社も参加しており、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を 9 つの要素技術に分けて調査研究開発を行う。

本報告では、「その 1」として調査研究開発の計画と目標について記す。

キーワード： マニピュレータ, 廃棄物選別, 建物解体

- 目次：**
- | | |
|------------------|------------|
| 1. はじめに | 4. 開発計画と目標 |
| 2. 建設系産業廃棄物処理の現状 | 5. おわりに |
| 3. プロジェクト概要と要素技術 | |

1. はじめに

高度経済成長期に建築された建物は、耐震強度不足や設備の老朽化による建て替えが盛んに進んでいる。また、近年の経済状況を受け、企業のリストラクチャリングにより行われる福利厚生施設や土地売却に伴う、用途の異なる建物への建て替えも、多く行われている。

建物解体時に発生する建設系産業廃棄物は、作業現場や中間処理場で材質別に選別され処理されるが(写真 1)、この選別作業は安全と環境面に課題が残されている。

また、過去には現場から排出された廃棄物が、不法投棄など不正に処理されたこともある。全国の不法投棄のうち建設系の産業廃棄物によるものは、産業全体の 70% を占めるなど問題になっており、国は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃掃法）や建設リサイクル法などにより、廃棄物の適正処分を進めている。

一方、経済産業省はロボット産業を我が国における基幹産業の一つに成長させることを目的とする「21 世紀ロボットチャレンジプログラム」の一環として、「戦略的先端要素技術開発プロジェクト」（以下「本プロジェクト」という。）を平成 18 年度より 5 年間で実施し、研究開発課題の一つとして、「建設系産業廃棄物処理 R T システム（特殊環境用ロボット分野）」を設定した。

本プロジェクトは、当社の環境に対する取り組みと一

致しており、プロジェクトに応募したところ採択された。

本報告では、当社の廃棄物処理の現状を把握し、経済産業省が設定した課題を複数の要素技術に分けどのよう

2. 建設系産業廃棄物処理の現状

2.1 社会状況

国土交通省は、「循環型社会形成に関する国土交通省の取り組みの事例」の中で「建設産業からの産業廃棄物は、全産業のうち排出量で約 2 割、最終処分量で約 4 割



写真 1 解体時に発生する廃棄物

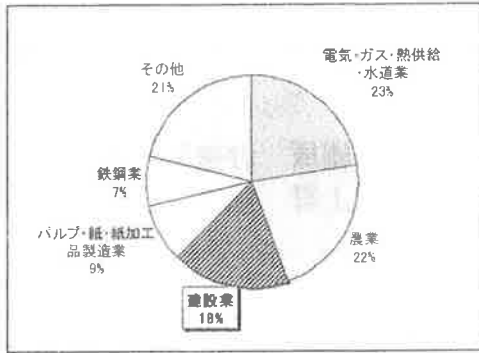


図1 産業別廃棄物排出割合(平成15年度)

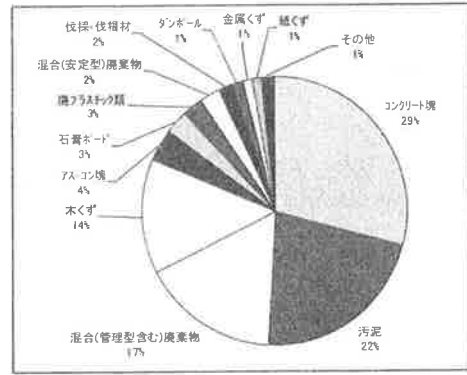


図3 全社建設副産物(2005年度)

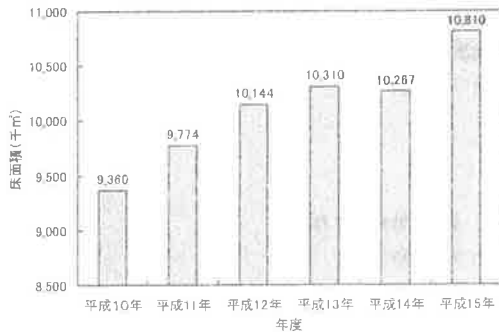


図2 近年の滅失建築物数推移

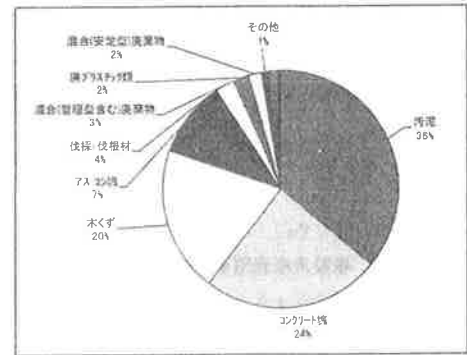


図4 土木建設副産物(2005年度)

とし¹⁾、環境省の発表によると不法投棄件数の70.4%、投棄量の83.3%を占めている」としている²⁾。

この廃棄物の排出量に関しては、平成15年度総排出量約4億1,200万トン(前年度約3億9,300万トン)であり、総排出量の約8割を上位6業種で占め、1位:電気・ガス・熱供給・水道業約9,225万トン(22.4%)、2位:農業約9,059万トン(22.0%)、3位:建設業約7,501万トン(18.2%)以下、4位:パルプ・紙・紙加工品製造業約3,660万トン(8.9%)、5位:鉄鋼業約3,072万トン(7.5%)と続いている³⁾(図1)。

一方、建設系産業廃棄物を多く排出する建築物(非木造)の解体件数は、増加の傾向があり平成17年の統計⁴⁾では35,864棟、床面積では10,810(千㎡)となっている(図2)。平成14年から施行されている「建設リサイクル法」に基づき、コンクリート塊等の建設廃棄物のリサイクルの推進や、アスベスト等有害物質の処理等、解体工事に求められる技術は高度化・複雑化してきている。さらに国土交通省は、建築物解体による廃棄物排出量は、平成12年度の1,800万トンから平成22年度には2,800万トンに今後急増すると予測している⁵⁾。

これらから、廃棄物のリサイクルや適正処理は建設業にとって今後重要な課題のひとつになるといえる。

2.2 社内状況

社内における平成17年度の建設副産物(廃棄物)の発生状況は土木157,359㎡、建築188,600㎡、総量345,959㎡、であり、その分別排出率(汚泥、コンクリート塊、アスコン塊を除く)は、土木85.3%、建築44.2%、全社平均56.3%である。

全社の排出物の割合(図3)を見ると、コンクリート塊、汚泥で全排出量の50%を超えていることがわかり、3番目には分別しきれなかった混合廃棄物となっている。

作業所では分別率向上への取り組みとして、産業廃棄物中間処理業者の指導員による社員と協力業者をあわせて教育を継続的に行い進めているが、社内全体の分別排出率は、56.5%に留まっているのが現状である。

また、建設副産物(廃棄物)の発生割合(特別管理廃棄物を除く)を土木、建築で分けると、土木ではコンクリート塊と汚泥が全体の60%を占め、混合廃棄物は、安定型・管理型を合わせて5%となっている(図4)。一方建築では、コンクリート塊と汚泥で全体の43%を占めているが、混合廃棄物は、安定型・管理型を合わせて

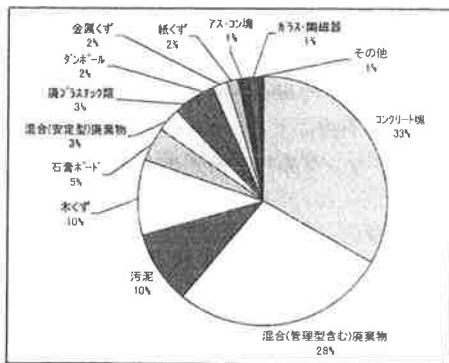


図5 建築建設副産物排出割合(2005年度)

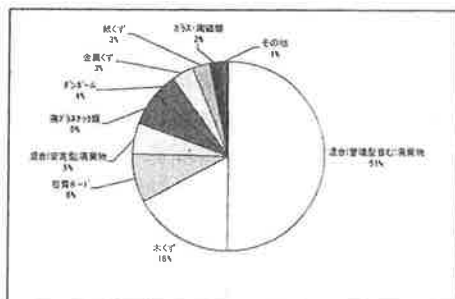


図6 建築建設副産物(コンクリート塊、アスコン塊、汚泥を除く)排出割合

31%と大きな割合を占めていることがわかる(図5)。

建築工事現場から発生する建設副産物(廃棄物)は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律(廃掃法)および建設リサイクル法等によりコンクリート塊、アスコン塊、汚泥の分別排出率が高い。

分別排出率の向上を進めていくためには、図6に示すように51%を占めている混合廃棄物のさらなる分別排出の必要があることが判る。

この、建築建設廃棄物のデータは、新築時に発生する廃棄物と、新築前に行う既設建築物の解体時に発生する廃棄物が、混在している。新築時には、作業所内に分別ボックスを置き、細かい品目ごとに分別排出しているが、解体時は作業開始直後に複数の材質が混在した状態になり、汚れや破損がひどく、リサイクル品として扱えず、混合廃棄物として排出している傾向がある。

また、金属に関しては、有価物として取り扱うことでマニフェストが必要にならないことから、集計より多くの金属が排出されているものと思われる。

3. プロジェクト概要と要素技術

3.1 プロジェクト概要

経済産業省は、将来の市場ニーズ及び社会的ニーズから、ロボット産業を我が国における基幹産業の一つに成長させることを目的とする「21世紀ロボットチャレンジプログラム」の一環として、国として関与すべき「ミ

ッション」を必要とするロボットシステム及び要素技術を開発するプロジェクト「戦略的先端要素技術開発プロジェクト」を立ち上げた。本プロジェクトの目的は、要素技術を活用することで、達成し(=アウトプット)、もって当該ニーズを満たす一助となること(=アウトカム)である。

「ミッション」は、技術戦略マップを踏まえて「製造分野」、「サービス分野」、「特殊環境下での作業分野」の3分野に設置され、本プロジェクト終了時点(平成22年度末)に達成されるべき作業内容とされている。

3.2 ミッション

国内の最終処分場残余年数が逼迫していることや、廃棄物を分別排出しリサイクル率を高めることは、環境負荷の低減、資源の有効活用を図ることとなる。そのためにも廃棄物が発生する川上での廃棄物選別が重要であると考えられた。そこで、特に、分別排出率の低い建築構造物解体時に発生する廃棄物に着目し、高効率の選別作業を可能とするロボットシステムの研究開発をミッションの一つとして掲げられた。

本開発におけるミッションは、次のように設定されている。

[最終目標](5年後)

「中間目標で開発した要素技術を適用したプロトタイプ・マニピュレータを開発し、建物の解体時に発生する実際の廃棄物(中間目標で対象とした材質)を選別判定し、廃棄物を移送できること。」

[中間目標](3年後)

①「建物の解体時に発生する廃棄物のうち、異なる5種類以上の材質を選別判定できること」

解体作業を対象とした建物で使用されている物性の異なる材質(コンクリート塊、廃プラスチック、木くず、金属くず、紙くず等)を特定し、特定された材質を選別するための判定手法を開発する。

②「建物の解体時に発生する廃棄物を素材毎に分離できること」

建設機械レベルの大きさ、力を持つマニピュレータの開発を想定し、上記技術項目に関する要素技術を開発する。

3.3 要素技術

3.2項の実証に必要と想定されている要素技術を以下に示す。

①廃棄物材質の判定手法の開発

- ・最低5種類の廃棄物の判別技術(95%の選別が目標)
- ・廃棄物発生場所での対策としての廃棄物対象へのマーク付け技術

②解体・選別技術

- ・作業対象の状態センシング(位置、姿勢、形状)、材質の違いを特定できる項目(固さ、重さ、剛

性、色等)

- ・廃棄物の解体・分解

③解体現場で使用可能な次世代マニピュレータを開発

- ・施工現場の環境認識（機械周囲・機械本体）
- ・多自由度、多腕マニピュレータ、多機能ハンド
- ・施工に必要な作業分析を基にし、作業状況との関係で柔軟な作戦を策定できる知能化
- ・複数腕、複数軸の同時作業を容易にする操作系
- ・対象物の把持、ハンドリングを容易にする操作感覚の付加

④安全技術

- ・使用される機器類は、一般建設機械で用いられる電子機器の使用環境（温度、振動、湿度、粉塵）に耐えられること
- ・周辺住民が安心できる技術（例えば、振動、騒音、粉塵、飛散防止対策 等）

4. 開発計画と目標

3. 項のミッションと要素技術を満足するため、本開発で行う調査と要素技術開発項目および目標を、次のように設定した。

4.1 廃棄物解体、選別に関する実態調査

まず、判定対象となる廃棄物材質を特定するために、実際の構造物解体およびリニューアル工事現場で発生している廃棄物の調査を実施する。具体的には、廃棄物の分類品目と排出割合、選別難易度、作業環境、品目別の排出形状、寸法、質量および安全性に関しての調査を実施する。調査結果を基に、中間および最終目標となる、異なる5種類以上の材質を特定するとともに、解体選別のモデル現場を想定する。

解体現場周辺住民が求める周辺環境に関する要望等を調査し、安心安全技術として適切な情報を明らかにする。

また、将来の実用化技術の波及先の一つとして想定される産業廃棄物中間処理場や最終処分場の実態調査についても実施する。

4.2 廃棄物材質の判定手法の研究開発

人間が眼で見たり、手で触れたりして物体を推定、識別するように、材質ごとに異なる物性値を利用し、廃棄物材質の判別を行う要素技術の研究開発を実施する。

材質を判定するためには、それぞれの物性値を各種センサにより取得する。人間が触れた時と同様にセンサによる接触方式で取得可能な情報は、電気抵抗（導電性）、比誘電率、超音波反射率、反響音、磁性、光反射率（光沢度）、温度、熱伝導率、含水率等がある。また、眼で見たと同様にセンサにより非接触で取得可能な情報は、色、温度、形状（体積）等がある。また、持ち上げることにより質量および形状変化の情報が取得可能である。

また、精度、計測時間、計測の容易さ、保護等級等の技術的側面とコスト、実現性（実用化）などの条件を加

味し、4.1 で設定する5種類廃棄物の材質を特定に最も適したセンサの組み合わせと取得したデータがもたらす判定の有効性について順位付けを行い、センサによる廃棄物判定手順を明確にする。

4.3 ハンドリングのための作業対象の状態センシング

廃棄物の形状は、様々であるためハンドリングを行う箇所もそれぞれ異なる。ハンドリングを行う箇所を誤ると、ハンドから対象物が滑り落ち、振動や騒音の原因となるほか、危険性がある。本研究開発では、対象物の姿勢及び形状を計測し、適切なハンドリング箇所を導き出す。

まず、実現性（実用化）を重視し、市販されている非接触ビジョン系センサ（例えばステレオビジョンや、レーザスキャナ等）を使用し、3次元形状データを取得する。3次元形状データを取得するためには、対象物に対する計測装置の位置と姿勢を、多自由度、多腕マニピュレータ本体からの姿勢等のデータとあわせて取得する。上記2種のデータから、廃棄物の重心位置演算を実行する。また、求めた重心位置演算結果データは、ヒューマンインターフェースへ受け渡す。

4.4 施工に必要な作業分析結果を基にし、作業対象の状態との関係で最適なハンドリング計画の策定

建設機械を動作させるアクチュエータとして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、応答性を考慮した制御系の適切な設計を行う必要がある。

本研究開発では、把持した廃棄物を破壊、落下させないことを前提に、ハンドリングする廃棄物の質量、材質に応じた把持力等を、たとえば油圧制御により実現するロードセンシング回路等を採用し、操作指令値に応じた流量が各軸において出力されるようシステム構成する方法等、効率的、安全で高信頼性なシステムを実現する。

また、自己位置および姿勢計測結果を基に、マニピュレータの動作範囲規制あるいは、オペレータへの通知等の安全機能を付加する。

4.5 周辺住民が安心できる技術

建設現場の環境計測器として、騒音計、振動計が使用され、常時計測が行われている場合がある。近年では、解体時に飛散する恐れのある有害物質を監視するため、粉塵計を備え計測を行うこともある。

本研究開発では、機械本体が発生する騒音、振動を抑制する技術を開発するとともに、振動、騒音、粉塵を各計測機器により測定し、例えば測定データの蓄積とデータ傾向の推測を演算により求め、システムおよび次世代マニピュレータのオペレータへ通知する。

4.6 施工現場の環境認識（機械周囲、機械本体）

機械本体情報取得技術は、選別作業を行う場所の座標系におけるマニピュレータ本体の位置情報・姿勢情報を

把握するものである。マニピュレータの位置情報は、位置情報取得技術により機械原点座標（3次元座標）を取得し、マニピュレータ姿勢情報は、姿勢情報取得技術により機械の姿勢角（ピッチング角、ローリング角、ヨーイング角）を取得する。選別作業を行う場所における取得した機械本体情報と、機械原点座標系のマニピュレータ姿勢情報を統合して、選別作業を行う場所におけるマニピュレータの現在姿勢を把握し、現場作業員でも使用可能なヒューマンインターフェースヘデータを受け渡す。

マニピュレータ周囲の情報取得技術は、選別作業エリアの範囲および作業対象となる廃棄物の集積位置・形状を認識し、機械本体の情報と統合する技術である。選別作業を行う場所は固定値の入力、あるいは3次元情報取得技術などによるセンシングにより取得するものとし、廃棄物の集積位置・形状は、3次元情報取得技術などによるセンシングにより取得した座標情報から生成し現場作業員でも使用可能なヒューマンインターフェースヘデータを受け渡す。

4.7 多自由度、多腕マニピュレータ、多機能ハンド

本研究開発では、建設機械相当の移動体に旋回体を設け、多機能ハンド付きの多自由度多腕マニピュレータを搭載することを前提とする。マニピュレータは、片腕で6自由度以上、さらに本体旋回、左右走行を含め、15自由度以上とし、必要に応じ補助的に動作するアクチュエータおよび機能の搭載を検討する。

多腕マニピュレータは、腕同士の干渉に対する安全性検討が必要である。干渉に対する機器の損傷を回避する機構、制御等安全性について検討、適切な対策を施したシステムを開発する。

また、油圧シリンダのストロークまたは各軸廻りの回転角度を検出して、多腕マニピュレータ及び多機能ハンドの姿勢検出を可能とする。さらに、マニピュレータを駆動する油圧シリンダにかかる圧力、あるいはロードセル等のセンサをマニピュレータに組み込むことにより、廃棄物の判定に使用する把持物の質量計測が可能な構成とする。

4.8 耐環境性能の検証

一般的な建設機械相当の耐環境性能を有するマニピュレータを開発する。

一般の建設機械における使用環境検証項目は、温度、湿度、振動、塵埃であるが、これに加えて電子機器や電子部品を使用することから電気・電波・磁気等による誤動作等の確認を実施する。

環境により機能保全や誤動作の懸念がある場合においては、バックアップ機能やセフティ回路等を組み込み対

参考文献

- 1) 国土交通省：「循環型社会形成に関する国土交通省の取り組みの事例」, 2001,5
- 2) 産業廃棄物の不法投棄等の状況（平成17年度実績）, 環境省 HP

環境における安全が損なわれないようにする。

確認に当たっては、技術的に裏付けされる項目や机上設計段階で確認できる内容を除いて、実機で確認検証する。

4.9 複数腕、複数軸の同時操作を容易にする操作系

本研究開発では、開発する多機能ハンド付き多自由度多腕マニピュレータと本体旋回、左右走行を含めた操作を、両手、両足、および音声等で同時動作を実現する。

操作装置は力制御の反力提示が可能な機構とする。また、安全機能として、手、足を操作系から離れた場合、全ての動作が停止する機構とする。

さらに、オペレータの長時間操作を可能とするため、操作装置にアームレストを設置するなどの対策を施すものとする。

4.10 オペレータ操作支援に最適で高臨場な情報を提示技術

多機能ハンド付き多自由度多腕マニピュレータ操作中のオペレータが、容易に周辺機器からの情報取得を可能とする情報提示を開発する。

廃棄物の材質、ハンドリングのための重心位置、安心安全のための環境情報、マニピュレータ周辺情報など得られた情報を的確にオペレータへ知らせるために、音や光、文字、映像、振動等を複合的に利用した提示技術を確立する。例えば、新たな情報を得たときに、最新の情報があること（情報そのもの）を音声で通知するとともに、バイブレータ等で操作シートが振動し、映像や文字表示装置により情報を伝え、オペレータが了解したことを意思表示するまで通知を続ける情報提示技術。

5. おわりに

建設業にとって、廃棄物の処理は本業において切り離すことのできない事項である。また、CSRの観点からも廃棄物の適正処理はもちろん、分別排出率の向上は重要課題であり、業界として先導的な研究開発を行い、その成果を早急に作業所へフィードバックし、全社の分別排出率向上に寄与したい。

今回報告した、プロジェクトでは多くの技術課題を解決する必要があり、計画的な研究開発を実施し、高い評価で目標を達成したい。

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り、次世代マニピュレータのハードウェアおよび制御、操作系の開発に関しては、日立建機株式会社へ再委託を行っている。

- 3) 環境省：産業廃棄物の排出及び処理状況等（平成 15 年度実績），環境省 HP
- 4) 国土交通省総合政策局情報管理部建設調査統計課：建設統計要覧平成 17 年度版，PP.252-253，(株)建設物価調査会，2005
- 5) 国土交通省：「建設リサイクル推進計画 2002」，PP.6，2002

DEVELOPMENT OF WASTE SEPARATION AND SORTING SYSTEM BY THE NEXT-GENERATION MANIPULATOR

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

There are social problems, such as illegal abandonment and unsuitable disposal of waste and prospective shortage of the acceptance capacity of the last disposal place, in waste processing. Although instruction and education are performed aiming at improvement in the rate of sorted discharge of construction waste, the rate of discharge of mixed waste is still high in our company.

On the other hand, the Ministry of Economy, Trade and Industry is carrying out the "Project for Strategic Development of Advanced Robotics Elemental Technologies" which has the necessity for research and development as a country in five years from 2006 fiscal year from future market needs and social needs.

"Industry Waste Disposal Handling RT Systems in the Area of Special Environment Robots" is in one of the subjects of the project concerned. Our company has also participated in this project and our company does investigation research and development of nine component engineerings about "Development of Waste Separation / Sorting System by the Next-generation Manipulator." This report describes the plan and target of this research and development.