

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2 建築物躯体解体における作業分析 —

後久 卓哉* 中村 宗隆*

要約： 建築物解体における作業の流れを整理し、解体現場での事前調査を実施した結果、解体作業全体のうち時間の占める割合が大きく、取り扱う対象物が大きく重い躯体解体時の作業能力を向上させることが、解体作業での廃棄物選別精度や工期、コストに対して効果が大きいことがわかった。そこで、マニピュレータの仕様策定のため今回ここでは躯体解体時における選別作業に着目し、作業内容を映像で記録し詳細な作業分析を実施した。

調査は、建設機械に注目した集計（作業内容と所要時間、複数の建設機械の関連性、取り扱い対象物について）と作業員に注目した配置、作業内容に関して行った。

本報告では、集計結果をもとに作業分析し、開発を予定している次世代マニピュレータの対象作業を設定するとともに、次世代マニピュレータの主な仕様や必要機能を整理した結果について報告する。

キーワード： マニピュレータ、廃棄物選別、建物解体

- | | |
|--|---|
| <p>目次：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. はじめに 2. 建築物解体作業 3. 躯体解体作業調査 | <ol style="list-style-type: none"> 4. 躯体解体作業分析 5. 開発システム概要 6. おわりに |
|--|---|

1. はじめに

建築物解体作業における選別作業は安全と環境面に課題が残されている。現在、経済産業省の「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト 建設系産業廃棄物処理RTシステム（特殊環境用ロボット分野）」を平成18年度より実施している。前報では、調査研究開発の計画と目標について報告した。¹⁾

開発を進めるにあたり、現場作業の実態調査を実施した。調査は、まず解体作業の工程と取り扱う品目について行った。次に次世代マニピュレータを導入する効果が大きいと思われる躯体解体時の作業状況を複数現場において調査した。

本報告では、作業状況の集計結果をもとに内容を分析し、開発を予定している解体作業を行う次世代マニピュレータが対象とする作業を明確に設定するとともに、次世代マニピュレータの主な仕様や必要機能を整理した結果について報告する。

2. 建築物解体作業

2.1 作業分類と内容

建築物の解体は、大きく内装と躯体の工程に分けることが出来る。内装には、アスベスト含有建材や吹付けアスベストが附着していることが多く、アスベスト処理を一つの工程と捉えることが出来る。

内装解体で取り扱う対象物は、天井、壁、床の石膏

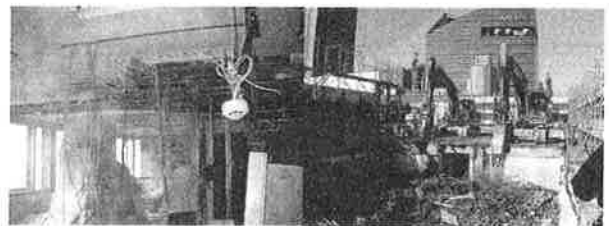


写真1 内装解体作業（左）、躯体解体作業（右）

ボードや軽量鉄骨、木材、タイルカーペットなど軽く小さな部材であり、人力作業が主体となっている（写真1（左））。一方、躯体解体で取り扱う対象は、コンクリートガラや鉄筋、鉄骨など重く、大きい構造部材であり重機を用いた作業が主体となっている（写真1（右））。

また、構造、用途、敷地面積の異なる4つの解体現場から発生する費用を躯体、内装、アスベスト処理、仮設で分類したところ、図1に示すように、躯体解体に関する費用が4割を占めていることがわかった。躯体と内装を比較すると躯体は、内装の約3倍となっている。近年の解体では、吹付けアスベストやアスベスト含有建材は、躯体解体前に除去する必要がある。特に吹付けアスベストでは、管理区域を設けての作業や処理費用の高騰から、解体費用の3割を超える現場もあった。

*機械技術部 メカトログループ

表1 解体現場の分別排出

工事名	所在地	竣工年	構造	従前の用途	階数	建築面積 (m ²)	延床面積 (m ²)	分別による排出品目														
								躯体解体時					内装解体時									
								コンクリート	スクラップ鉄	スクラップアルミ	銅(配線)	混合廃棄物	木くず	石膏ボード	木くず	スクラップ鉄	スクラップアルミ	銅(配線)	蛍光管	畳	アスベスト含有	混合廃棄物
A解体工事	東京都	1971	RC	独身寮	6	430	2,400	○	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○
B解体工事	東京都	1972	S	事務所	10	306	2,856	○	○	○	○	○	-	○	○	△	△	△	○	○	○	○
C解体工事	東京都	1966	RC	宿泊施設	4	300	1,100	○	○	○	○	○	-	○	○	△	△	△	○	○	○	○
D解体工事	東京都	1962	RC	事務所	3	203	610	○	○	○	○	○	-	○	○	△	△	△	○	○	○	○
E解体工事	東京都	1955頃	S+RC	教育施設	4	553	2,017	○	○	○	○	○	-	○	○	△	△	△	○	○	○	○
F解体工事	大阪府	1978	SRC	宿泊施設	12	1,300	19,000	○	○	○	○	○	-	○	○	△	△	△	○	○	○	○
G解体工事	東京都	1962	SRC	事務所、店舗	8	327	2,984	○	○	○	○	○	-	○	○	-	-	-	○	-	○	○
H解体工事	東京都	1960~70	S	工場、事務所	1、2	2,368	2,368	○	○	○	○	○	-	○	○	△	△	△	○	-	○	○
I解体工事	東京都	1963 1964	RC	事務所、店舗	B1F、5F 4F	-	1,774	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	○	○	○	○
J解体工事	東京都	1976	SRC5F+RC	厚生、宿泊施設	10	1,534	8,079	○	○	○	○	○	-	○	○	△	△	△	○	○	○	○
K解体工事	東京都	1972	SRC4F+RC	事務所、店舗	7	665.4	5,884	○	○	○	○	○	-	○	○	-	-	-	○	○	○	○

(凡例) ○:分別後搬出、△:分別のみ搬出無、-:不明、無:発生無し

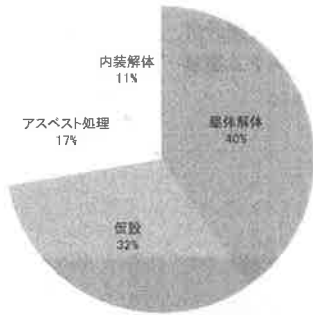


図1 解体時の作業別費用割合

2.2 発生する廃棄物

廃棄物の発生搬出時期を明確にするため、社内解体現場の廃棄物排出品目を調査した(表1)。その結果、内装解体時は内装材を主とした品目を分別搬出しているが、内装解体時に発生するスクラップについては現場内で分別のみを行い各フロアごとに集積し、搬出は躯体解体時に行っていることがわかった。また、躯体解体時はコンクリートガラと、スクラップを主に搬出し、木くずは数量が少ない場合は、混合廃棄物として処理されている。

解体現場内には設備機器等に使用されている廃プラスチックも見受けられるが、分別排出されていない。

また、建築物の解体時に発生する廃棄物の数量は、(社)建築業協会(副産物部会)が行った「解体に伴う廃棄物の原単位調査」²⁾でまとめられている。この調査結果では、発生品目数17のうち躯体解体時に発生するコンクリート85.9%、金属くず10.2%の2品目で全体の96%を超えている。このことから、躯体解体および廃棄物選別作業の能力向上は、コストや環境負荷の低減に大きく寄与する。

表2 解体方法

分類	写真
地上解体 地上から長いブームの重機を用いて行う。敷地面積が広い場合に多い	
中食い解体 建物の内部に重機を入れ行う。重機を順次大型のものに変更して行う。敷地面積の小さい低層建築物に多い	
階上解体 建物の上にクレーンで重機を乗せ順次上階より下階に解体を進める。敷地面積の小さい中層建築物に多い	

表3 調査現場概要

項目	内容
場所	東京都渋谷区
竣工年	1962年
構造	SRC
敷地面積	370 m ²
建築面積	327 m ²
延床面積	2,984 m ²
階数	8階建て
従前の用途	事務所、店舗



写真2 作業階カメラ（左）、搬出階カメラ（右）

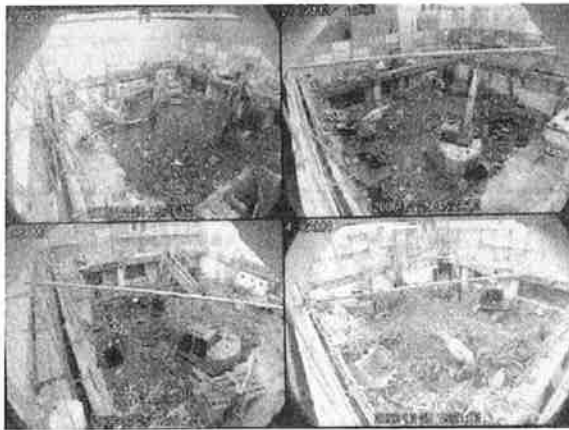


写真3 記録映像

3. 躯体解体作業調査

3.1 調査概要

躯体解体は、表2に示すように地上解体、中食い解体、階上解体と大きく3つに分けられる³⁾。当社では、平成18年度首都圏5階建て以上の解体作業の7割で、階上解体が行われている。

階上解体は、敷地に余裕がない場合に採用されるケースが多く、限られたスペースで効率よく解体、選別、搬出作業を行う必要がある。

また、将来の高層建築物解体においても階上解体の要素が含まれる可能性が高いと思われる。したがって、階上解体の作業手順や内容を調査し、整理することは有益であると考え、現状の階上解体作業内容を調査することとした。

表4 解体作業分類

作業分類	作業内容
大割り	躯体から切り離されたブロック状の解体作業
小割り	鉄筋コンクリートの分離作業
選別	廃棄物を材質別に仮置場へ運ぶ作業
減容(小割り)	小割り機が行う、金属くずを団子状の塊にする作業
減容(大割り)	大割り機が行う、柱の鉄骨や小梁等の減容作業
移送	廃棄物を別の場所へ移動させる作業
移送(投下)	廃棄物を排出のため作業階から1Fへ投下する作業
バケット作業	バケットを用いて行う作業
移動	重機が作業場所を変更するために行う移動
かき寄せ	内部の廃棄物を探す作業
スラブ解体	床スラブの解体
柱解体	躯体から切り離されていない柱の解体
壁倒し	壁を倒すための一連の作業
小梁解体	躯体から切り離されていない小梁の解体
点検/整備	重機の整備、給油等
整地	散乱するコンクリートの整地
停止	重機が停止し作業を行っていない状態

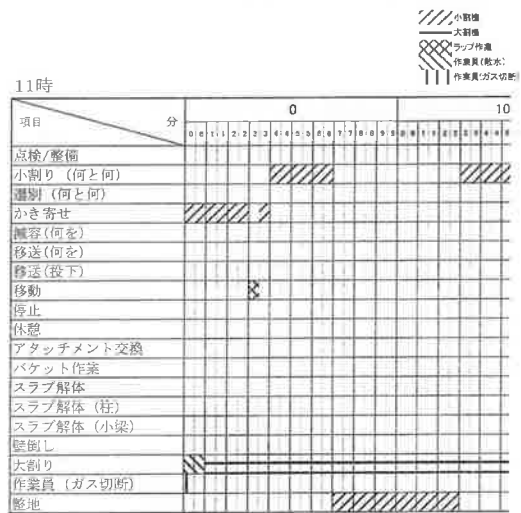


図2 集計チャート例

調査は、表3に示す現場で行った。都心の店舗及び事務所ビルであり、都市部では多い。

3.2 集計方法

データの取得は、作業状況を映像で記録し、後日映像から作業内容を集計する方式とした。1フロアの解体を1サイクルと考え、7、6階の2サイクル延べ13日間行った。

カメラは、作業階の解体作業状況記録用として解体作業階外周仮設の四隅に各1台と、廃棄物の搬出作業状況記録用として1階の搬出状況が確認可能な2階床スラブ先行解体部に2台の合計6台を設置した。

映像の記録は、カメラ個別の映像と、集計作業を容易にするため4台のカメラを1画面にしたものも記録した(写真3)。解体現場の事前調査から作業内容を表4のように分類し、図2に示すようにチャートに記録することで集計した。チャートの最小単位は、移送や減容作業の最短時間である30秒とした。

階上解体では、床面積により編成は異なるが、カン爪状のアタッチメントを装着した「大割機」とペンチ状の

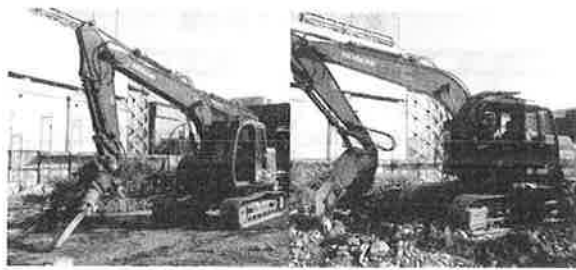


写真4 大割機（左），小割機（右）

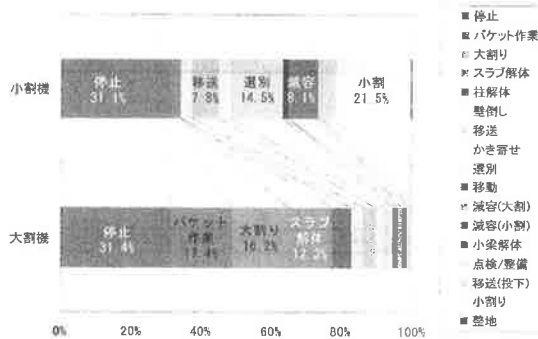


図3 大割機・小割機の作業割合

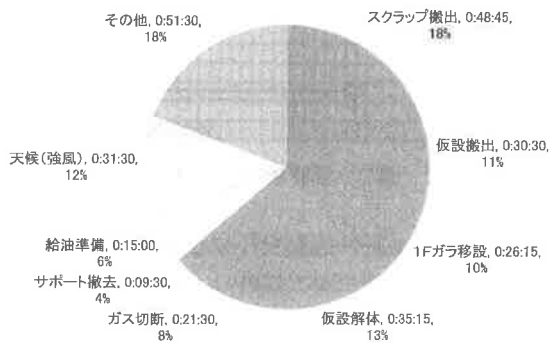


図4 2台の重機が停止する要因

アタッチメントを装着した「小割機」とバケットを装着した重機の3台一組または、バケットを「大割機」「小割機」どちらかの重機にアタッチメント交換して使用する2台一組で行われることが多い(写真4)。今回の調査対象現場では、大割機と小割機の2台体制で行われていた。

その他のアタッチメントとして、ブレーカ、スクリーンバケットを重機と共に作業階に配備していた。集計サイクルの区切りは、壁倒し作業とし、壁倒し完了後の作業から、次のフロアの壁倒し完了までとした。2サイクル分の作業時間を収集した結果、1サイクルの平均作業時間は約36時間であった。

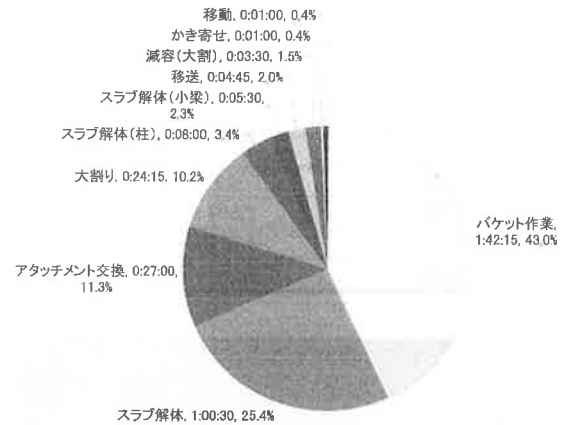


図5 小割機停止の要因となる大割機作業

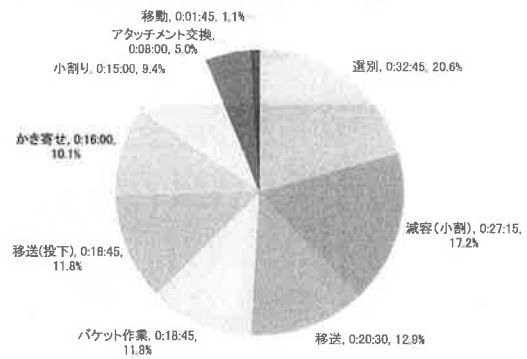


図6 大割機停止の要因となる小割機作業

4. 躯体解体作業分析

4.1 作業内容

大割機と小割機の作業内容は、図3に示すように、大割機、小割機共通して停止時間が約3割を占める。大割機は、バケット、大割、スラブ解体作業を主に行っている。一方、小割機は小割、選別、減容、移送作業を行っている。これらから、躯体をブロック状に解体する大割機と大割機がブロック状にしたものを、小さく割り砕き素材の選別を行う小割機、小割機が割り砕いたコンクリートガラを大割機がバケットで処理する。2台の重機が、分担して解体作業を実施しているのがわかる。

4.2 停止時間

停止時間は、サイクルの中で多くの割合を占めている。この割合を減少させれば、サイクルの作業時間短縮を図ることが可能となる。

停止時間の中には、2台の重機が停止、他の重機が要因で停止とその他の要因で停止の3パターンがある。

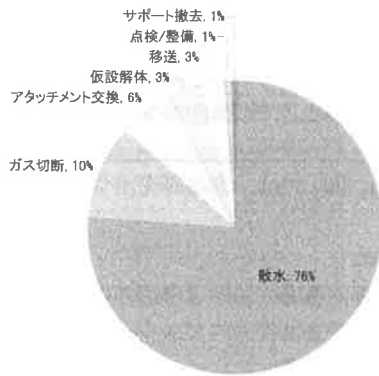


図7 作業員の作業時間の割合

4.1.1 両重機停止時間

2台の重機が停止している要因を図4に示す。要因には、搬出階の作業に起因するもの(39%)、解体作業階の作業員による作業に起因するもの(25%)、天候を含むその他の要因(36%)に大きく分けられる。

搬出階の作業は、作業階から投下されたものを、効率よく最終選別し、外部へ搬出することが求められている。搬出階の作業が滞ることにより作業階が廃棄物過剰になり作業を行えなくなる。これらを削減するためには、コンパクトで効率の良い選別積込装置が必要である。

作業階の作業員の作業は、壁倒し後のパネル、足場等の撤去と作業階直下のサポート材撤去などの仮設材の撤去や鉄骨や鉄筋などのガス溶断作業があり、重機と近接して行うことから重機を停止させて作業を行うことが多い。これらを削減するためには、小割作業と切断作業を行う機能を有する重機が必要である。

4.1.2 他の重機が要因となる停止

小割機停止の要因となる大割機作業を図5に、大割機停止の要因となる小割機作業を図6に示す。

小割機が大割機の要因で停止している時間は、約4時間である。小割機停止の要因となる大割機の作業は、バケット作業が43%であり最も多い。これは、作業階のコンクリートガラが多くなりすぎたためバケット作業でコンクリートガラを投下している状況で、小割機が次の作業を行うことが出来ないため停止している。その他は、小割機が、大割機からスラブや柱が大割され廃棄物がブロック状になるのを待つ時間が多くを占めている。

大割機が小割機の要因で停止している時間は、2時間40分である。大割機停止の要因となる小割機の作業は、選別、減容やそれに付随するかき寄せ、小割で57%を占めている。これらは、小割機の選別、減容作業が完了しないと次のブロックを小割機へ送ることが出来ず、停止して待機している時間である。停止時間を削減するためには、小割機の選別、減容作業能力を高めることが必要である。

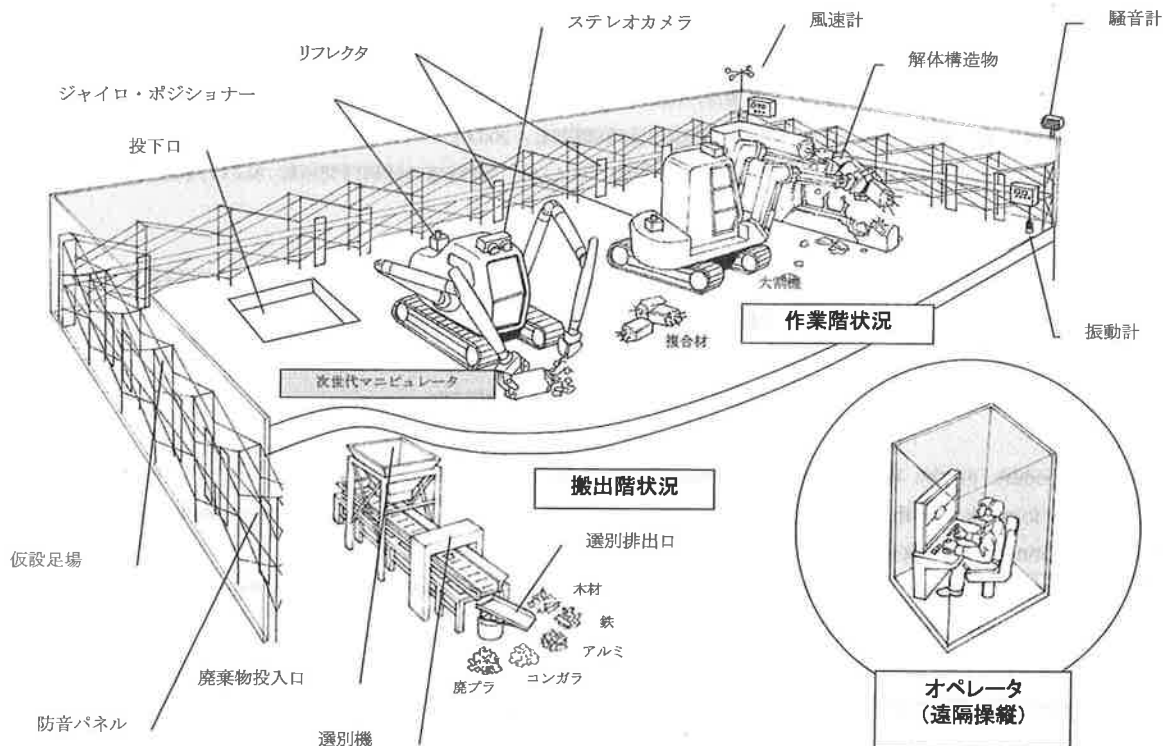


図8 次世代マニピュレータシステム構成

4.2 作業員

作業員の延べ作業時間割合は、解体時の粉塵抑制で行う散水作業に76%と最も時間を費やしている。ヒアリングの結果からも、現場作業員や重機オペレータの自動散水への要求は高かった。次に鉄筋鉄骨などのガス溶断10%と続く。仮設解体やサポート撤去は、前項で重機を停止させる要因となっていたが、作業員の作業としては、4%と少ない(図7)。

5. 開発システム概要

前項の分析結果から、分離選別搬出作業を高精度で能力を向上するためには、図8に示すように一つのアイデアとしてマニピュレータと選別機を使用することが効果的である。

マニピュレータの主な仕様としては、分離、選別、減容作業を一方の腕で押さえながら他方の腕で作業が可能な、双腕方式とした。これは、人間が一本の腕で作業を行うことが難しいことと同様である。また、階上解体機をターゲットとしたことから、作業階以下3階程度仮設されるサポート材の数量減少と吊荷重の小さい揚重クレーンの使用を可能とするため、総質量を10t以下と設定

謝辞

本論文をまとめるにあたり、協力業者および社内関係者各位に調査協力いただきました。ここに、感謝の意を表します。

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.32，2007
- 2) 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
- 3) 解体工法研究会：新・解体工法と積算，p.94，財団法人経済調査会，2003.6
- 4) 中村聡・後久卓哉：建設系産業廃棄物選別の要素技術開発(その1)，東急建設技術研究所報，No.33，2008

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

T.Gokyyu and M.Nakanura

The procedure of the building dismantlement work was investigated. It takes long time to the building frame dismantlement to work, and the object is large and heavy. When the work of the building frame dismantlement is the best for the next generation manipulator, it has understood.

Then, it paid attention to the selection work of the building frame dismantlement. The content of work was recorded by the image and a detailed analysis was executed.

This report describes research of building frame dismantlement at construction machinery side and worker side. The size and the function of the Next-generation Manipulator were clarified.

した。

選別機は、調査結果からまずコンクリートガラ、鉄、アルミ、木材、プラスチックの5品目を選別可能なシステムとした。将来的には、建設系産業廃棄物中間処理場や不法投棄現場などでの選別作業も視野に入れ開発を進める。

要素技術に関しては、現在研究中である。⁴⁾

6. おわりに

建築物の解体現場における現状の作業方法を調査分析し、開発を行う次世代マニピュレータの行う作業および主な仕様を設定した。

調査を実施している中で解体作業は、作業計画と重機オペレータの能力により、工程が大きく左右されることがわかった。解体作業も新築同様に自社の解体技術を確立する必要がある。今後の解体工事に本技術が活用されることを目指し、今後も調査研究開発を進めていきたい。

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。