解説

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

Development of the Waste Management System with the use of Next-Generation Manipulator

柳 原 好 孝^{*1} 後 久 卓 哉^{*1} 藤 島 一 雄^{*2} 小 俣 貴 之^{*2}^{*1}東急建設株式会社 ^{*2}日立建機株式会社Yoshitaka Yanagihara^{*1}, Takuya Gokuyu^{*1}, Kazuo Fujishima^{*2} and Takayuki Omata^{*2}^{*1}Tokyu Construction Co., Ltd ^{*2}Hitachi Construction Machinery Co., Ltd

1. は じ め に

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) では「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」[1]において、次世代産業用ロボット分野、サービスロボット分野、特殊環境分野の全7課題の研究テーマが設定され、我々はこのうち、「建設系処理産業廃棄物処理 RT システムの開発」について、「次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システムの開発」を提案し、三カ年研究を推進してきた。

東急建設、日立建機グループでは、建設系産業廃棄物の分離を効率よく実施可能な双腕型の建設作業用のマニピュレータの開発、および解体現場で発生する5品目の建設副産物を選別判定するシステムの研究開発を主として研究を実施した。

プロジェクトの基本計画では、中間目標として、①「建物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」、②「建物解体時に発生する廃棄物を素材ごとくに分離できること」、また、最終目標として「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、建物解体時に発生する実際の廃棄物を選別判定し、廃棄物を移送できること」が設定されている。

これら目標を達成するための開発技術項目として、①建物解体時に発生する廃棄物材質の判定手法、②解体・選別作業を効率よく、安全に、かつ高信頼度で行う技術、③解体現場で使用可能で、かつ、建設機械相当の耐環境性を持つ次世代マニピュレータの開発、④現場作業員でも使用可能なヒューマンインタフェースの開発課題を設定し、それぞれの研究開発を実施した。

本稿では、これら技術を導入するターゲットとした建物

図1 RTによる新建物解体システム

解体現場への導入イメージ（図1）での役割を含め、これら技術の開発概要について述べる。

2. 廃棄物材質の判定手法

実際の解体現場で発生する建設副産物を調査し、選別対象とする5品目を、建物躯体解体時に発生するコンクリート塊、鉄くず、アルミくず、木材、廃プラスチックと設定した。設定した5品目は、搬出階に配備する廃棄物材質判定移送装置で選別することとし、複数のセンサシステムにより性状のまったく異なる材質を判定可能なシステムの開発が要求された。本開発では材質判定のための要素技術として、近赤外線センサ、渦電流センサ、蛍光X線分析計のセンサシステムから成る材質判定統合化システム（図2）を構築し、5品目すべて（素材および解体現場から取得した実際の廃棄物サンプル）を判定可能とした。

また、実用化を前提とした場合、上記方法による判定精度が高いとしても、判定に時間を要するようであれば選別能力に影響がある。このことから、あらかじめ取得した基準画像の特徴と取得した画像の色差と質感（図3）を画像処理により判定する手法についても並行して研究を実施した。

3. 解体・選別作業の効率、安全、高信頼性技術

解体作業においてRT化による作業効率の改善、安全性、および品質の向上はいずれも作業現場から期待される重要

原稿受付 2009年6月30日

キーワード: Construction Robot, Manipulator, Waste Management, Image Processing, Object Recognition

^{*1}〒150-8340 渋谷区渋谷 1-16-14

^{*2}〒112-8563 文京区後楽 2-5-1

^{*1}Shibuya-ku, Tokyo

^{*2}Bunkyo-ku, Tokyo

図2 材質判定統合化システム

図3 画像処理による廃棄物判定手法

な事項である。本開発では、将来の遠隔操縦時のオペレータ支援として廃棄物のハンドリング時の状態をセンシング可能とするセンサシステム、および解体現場に求められる環境計測システムの開発を実施した。

3.1 対象物状態センシング

まず、ハンドリング時の廃棄物の状態（位置、形状、体積、重心、RGB 情報など）を取得するため、ステレオビジョンによる情報取得方式を採用し、カメラ映像に直接距離情報を埋め込む新たなインターフェイス技術、および対象物裏面のデータを推論する手法を考案し、試作した。図4に実装状況、図5にインターフェイス画面の一部（対象指定中）と対象物推定結果を示す。

3.2 環境計測システム

建設現場は、一般的に関係者以外は立ち入りが制限され、内部でどのような作業が行われているか住民に伝わりにくい。特に解体工事を代表とする振動や騒音の発生が多い工種では、安心安全の観点からも施工者側の対応が必須であると言える。

図4 ステレオカメラ

図5 対象物推定結果

図6 現場環境情報提示

本開発では、振動騒音の発生から抑制までの時間を短縮することを目的に、騒音や振動などを複数点で計測し、計測データの集積、演算処理、周辺住民や現場事務所への通知に加え、重機オペレータ、発生源である重機の出力制御を可能とする拡張性を持つシステムを開発した。オペレータへの提示状況を図6に示す。

4. 次世代マニピュレータ

4.1 双腕マニピュレータ

次世代マニピュレータ（以下、マニピュレータ）の概観

図 7 次世代マニピュレータ

図 8 多機能ハンド

を図 7 に示す。マニピュレータ本体には対象物の素材料ごとの分離、選別といった高出力でかつ器用な動作ができる機能と性能が要求される。筆者らはこれらの要求を解決する一手法として双腕型のマニピュレータを装備したハンドリング専用機を提案した[2]。双腕型のマニピュレータを選出した理由として、両腕の作業で、①引き剥がし、曲げなどの細かな選別が可能、②交換手間を要さず、機能の異なるアタッチメントを同時に複数装備できる、③長尺物の移送が可能、など長所が多く存在することが挙げられる。なお自由度構成は、ハンドを含め主腕（右腕）5、副腕（左腕）9である。

4.2 多機能ハンド

主腕に求められる機能はコンクリート塊の小割りなど、すでに市場で評価されているハンドで十分な作業性があることが判明した。しかし、副腕ハンドに求められる機能は、つかみ、切断、曲げなど細かな作業で、しかも主腕との協調動作に対応する必要性があり、新たな多機能ハンドを開発した。

開発したハンドを図 8 に示す。このハンドは、 $\phi 25$ [mm] 相当の鉄筋や鉄骨など長尺ものを切断する機能、およびアルミサッシ枠や木材を躯体から剥がすなど、先端で細かな作業を行える機能を有する。さらに主腕との協調動作で引き抜き、折り曲げ、捻りなどの作業が可能である。

図 9 ハンドリング動作計画システム

図 10 操作システム

4.3 ハンドリング動作計画システム

マニピュレータを安全に動作させる、さらには遠隔操縦時や準自律運転時のオペレータ支援に有効な情報技術として、「ハンドリング動作計画システム」のマニピュレータへの実装を目指している。図 9 にシステム構成を示す。

ハンドリング動作計画とは、双腕マニピュレータを動作させる際、各種内外界センサにより情報を取得、動作制御を行うことを指し、以下の三つのシステムの実装を想定している。

- ①把持対象物の材質判定による把持力制御
- ②把持対象物の質量計測による移送速度制御
- ③軌道生成のための把持対象物幾何学推定

①は、把持対象物の強度に合わせマニピュレータの把持力を制御するもので、例えばコンクリートは強く把持することで移送中の落下を防ぎ、プラスチックは把持するときに壊さないなどの細かなハンドリングが可能となる。

②は、把持対象物の質量を計測することで最適な移送速度を制御するもので、重量物である鉄はゆっくり、軽量である木材は速くなどの制御を行う。

③は、把持対象物の位置、姿勢、体積、形状などの幾何学情報を取得し、把持対象物までのマニピュレータの走行、ハンドリングを準自律で行うための技術と位置付けている。

図 11 干渉防止システム

5. ヒューマンインタフェース

次世代マニピュレータを同時に簡便に動かすための操作システム（図 10）を開発。事前シミュレーションの実施と実機に搭載した操作レバーの機能を確認し、長時間運転しても疲労を感じないレバー操作力と配置を検討、マニピュレータに実装した。また、主腕・副腕の同時動作時にそれぞれの構造部材が干渉し、機械損傷を来さないための干渉防止機能を搭載した（図 11）。

6. 実 証 実 験

図 12 にテストフィールドでの実証実験状況を示す。油圧ショベルに専用のアタッチメントを取り付けた大割機（写真奥）と呼ばれる破碎機が、梁、柱、壁などの躯体をブロック状に分解し、次工程を担当するマニピュレータ（写真手前）に受け渡す。マニピュレータは、廃棄物を素材ごととに分離、選別する作業を行う。この実際の解体現場と同様の作業を繰り返し行うことで、マニピュレータの不具合箇所の抽出を行った。

図 12 実証実験状況

判定手法については、センサ群による詳細判定が現状、屋外環境でどの程度の判別精度かを測定した結果、条件により異なるがおよそ 65% 以上の判定精度を得ることができた。

7. お わ り に

本研究開発はプロジェクトの基本計画の目的のなかで、「地球環境保全」における諸課題をロボット技術活用により解決することが期待されている分野として設定された。我々は、この目的を達成すべく、現在開発中の RT 技術を駆使することで循環型社会の推進に寄与していきたいと考えている。

参 考 文 献

- [1] 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト, <http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p06023.html>
- [2] 後久, 柳原, 石橋, 富田, 小俣, 藤島: “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予稿集 CD-ROM, 2D2-04, 2008.

柳原好孝 (Yoshitaka Yanagihara)

1988 年熊本大学工学部生産機械工学科卒業。同年東急建設（株）入社。現在、技術研究所メカトログループリーダー。建設メカトロニクス、建設機械の遠隔操縦、ヒューマノイドロボット、マン・マシンシステムの研究開発に従事。技術士（機械部門）。日本機械学会会員。（日本ロボット学会正会員）

藤島一雄 (Kazuo Fujishima)

1987 年東北大学資源工学科卒業。同年日立建機（株）入社。現在に至る。超音波顕微鏡による物性計測システム、油圧ショベルのフロント軌跡制御、建設作業用ロボットの研究開発に従事。

後久卓哉 (Takuya Gokuyuu)

1992 年桐蔭横浜大学工学部制御システム工学科卒業。同年東急建設株式会社入社。基礎工事用機械、壁面塗装ロボットなど土木建築用施工機械の自動化、工事環境計測システムの研究開発に従事。（日本ロボット学会正会員）

小俣貴之 (Takayuki Omata)

1997 年東京理科大学工学部機械工学科卒業。同年、日立建機（株）入社。油圧ショベルの応用製品開発を担当。現在、新製品開発関連の研究に従事。