

3.3.2 建設系産業廃棄物処理RTシステム

3.3.2.1 次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システムの開発

【実施者: 東急建設(株)】

1) 研究概要

本研究開発は、廃棄物材質の判定手法、解体・選別作業の効率化・安全・高信頼性技術、機械本体および施工現場の環境認識技術、多自由度・多腕マニピュレータおよび多機能ハンド、複数腕、複数軸の同時操作を容易にする操作系の研究、およびオペレータ操作支援に最適な情報提示技術等の研究開発を実施した。

・ 研究開発目標

(1) 【最終目標】

「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（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。」

(2) 【中間目標】

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。」

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。

2) 成果詳細

① 建物解体時に発生する廃棄物材質の判定手法

【目標値の達成状況】

実際の解体現場における作業を分析した結果、非木造建物の躯体解体時における小割り、選別作業のRT化が最も効果が高いことが判明。発生する廃棄物を調査し、選別対象とする5品目を、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。設定した5品目の材質を判定するため、近赤外線センサ、渦電流センサ、蛍光X線分析計を採用した。統合化システムにより5品目全て（生材および解体現場から取得した実際の廃棄物サンプル）を判定可能なシステムを構築。また、画像処理による廃棄物一次判定システムを試作、次世代マニピュレータに搭載した。

①-1 「廃棄物解体、選別に関する実態調査」

実際の解体現場で発生している廃棄物の調査（表1）、現場作業の調査（写真1、2）（図1、2）、現場周辺環境に関する調査を実施。将来の波及先として想定される中間処理場3箇所（写真3、4）、最終処分場1箇所、不法投棄処理現場1箇所（写真5）の実態調査も実施。顧客である解体主（ビルの所有者等）、解体工事を専門に実施している解体業者にヒアリングを実施。導入効果的が高いと思われる要素技術を絞り込んだ。

表1 判定対象廃棄物材質

材質名	コンクリート	鉄	アルミ	木	プラスチック
写真					
選定理由	①廃棄物排出割合(第一位) ②特定建設資材	①廃棄物排出割合(第二位) ②解体業者ニーズ	①解体業者ニーズ	①特定建設資材 ②混合廃棄物量削減 ③木造解体への発展性	①混合廃棄物量削減 ②特定建設資材指定の可能性有 ③製造団体の適正処理・再資源化への取り組み



写真1 排出廃棄物調査状況



写真2 作業記録映像

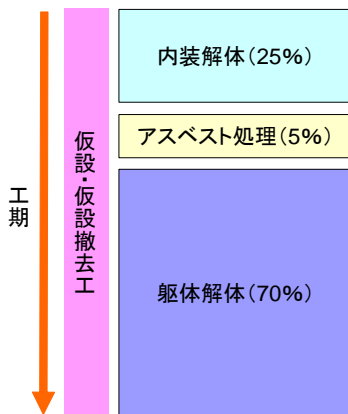


図1 工期の割合

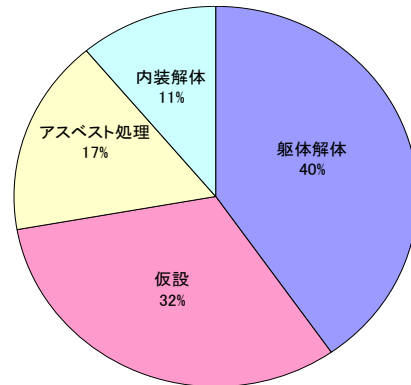


図2 コスト(工事費)の割合



写真3 中間処理場 A



写真4 中間処理場 B



写真5 不法投棄処理現場

①-2 「廃棄物材質の判定手法の研究開発」

廃棄物を判定することが可能な物性を調査するため「超音波センサ(写真6)」、「硬度計(写真7)」、「遠赤外線センサ(サーモグラフィ)(写真8)」、「色彩輝度計(写真9)」、「近赤外線センサ」、「渦電流センサ」、「蛍光X線分析計」の技術調査を実施。技術調査を実施したセンサの中から近赤外線センサ、渦電流センサ、蛍光X線分析計の有効性を確認。平成20年度に3種類のセンサを統合した廃棄物判別用のシステムを完成させ(図3)、5品目の判別精度65%以上の結果を得た。次世代コンピュータに画像処理による廃棄物一次判定システムを試作(図4)、搭載。



写真6 超音波センサ実験状況



写真7 硬度計実験状況

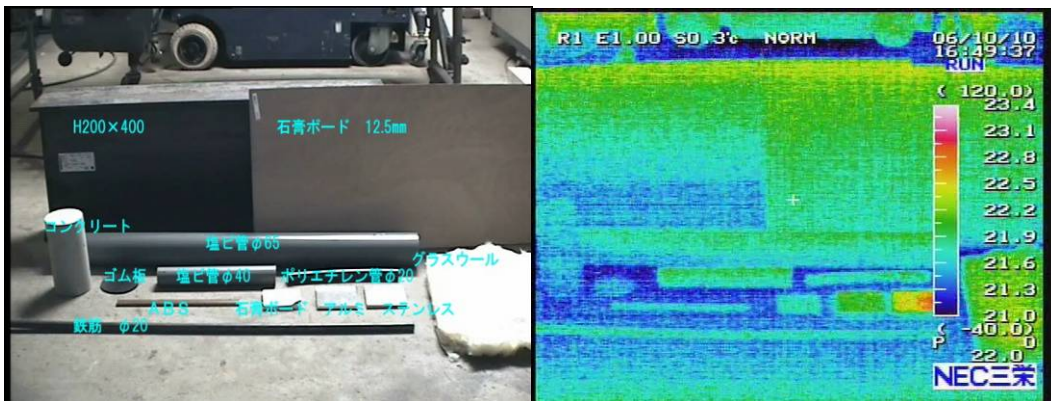


写真8 遠赤外線センサ実験状況



写真9 色彩輝度計実験状況

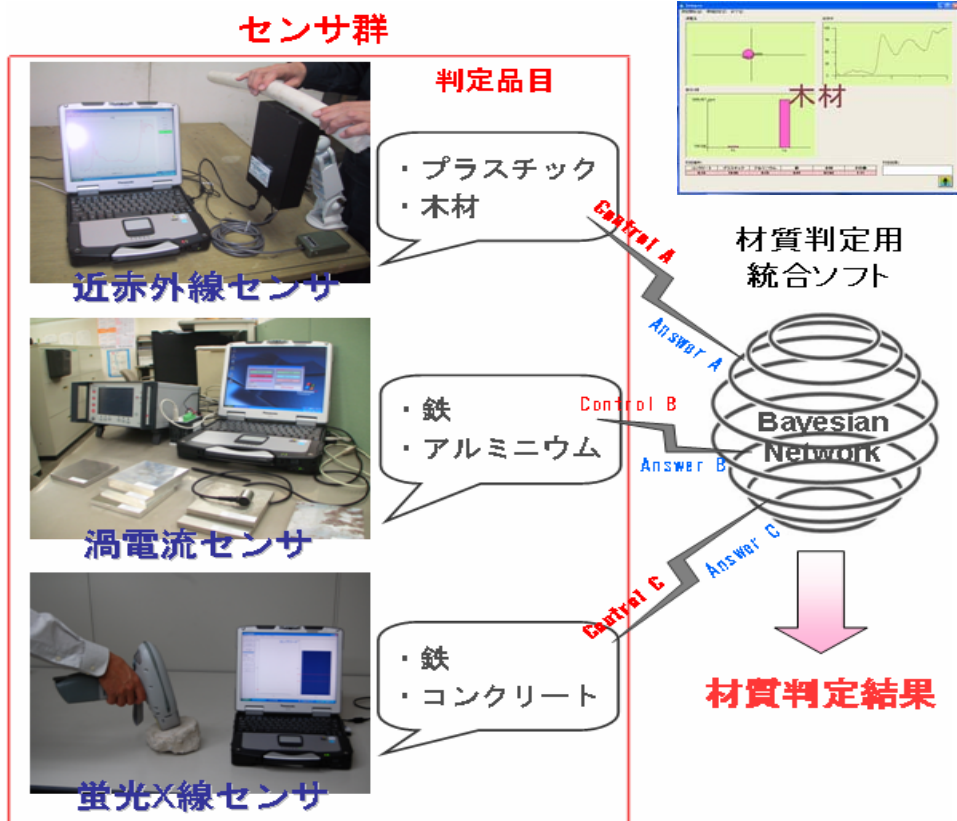


図3 統合材質判定フロー図

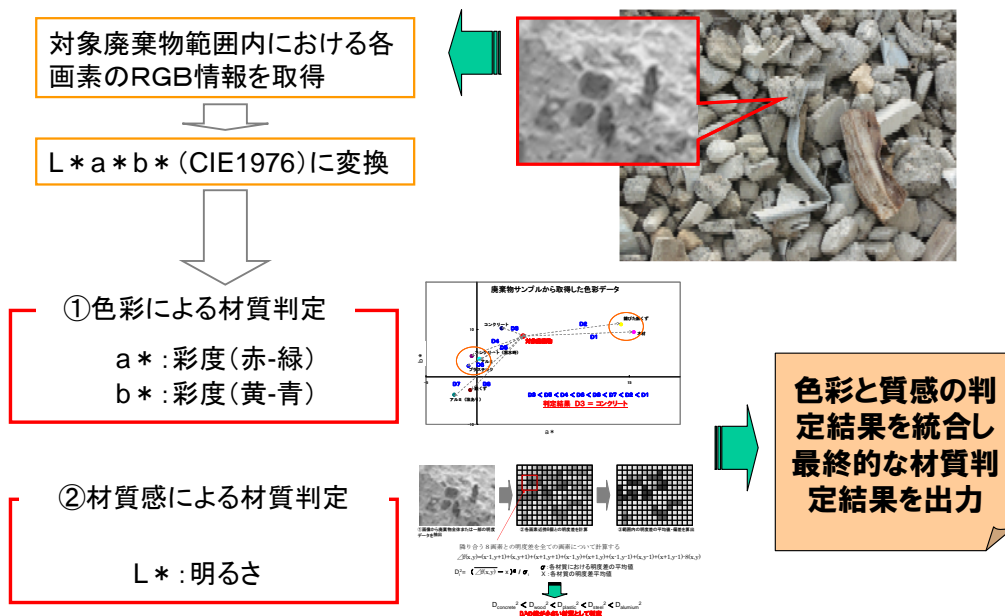


図4 画像材質判定概要図

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

【目標値の達成状況】

各研究開発項目から得られた結果を基に、実証ロボットの仕様を策定。ハンドリングのための作業対象状態センシングを可能とするセンサシステムとしてステレオビジョン方式を採用。また、カメラ映像に直接距離情報を埋込む新たなインターフェース技術、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。施工に必要な作業分析結果を基に機能分析を行い、廃棄物の種類、性状の範囲を決定した。また、把持方法・分離方法、作業速度や目標値を標準的な作業1サイクル当たり30秒以内と決定し、本体設計を実施。自動化、遠隔操縦化を想定した新たなコントロールシステムを開発し、本体に搭載。顧客ヒアリング、ユーザヒアリングを基に解体現場に求められる環境計測システムの開発および解体現場適用によるデータ収集を実施した。

②-1「実証ロボットの仕様策定」

①-1、および各要素技術の開発目標から以下のように、解体選別のモデル現場を想定した(図5)。また、分離対象物を表2に示すものと設定した。

【初期環境条件(非木造建築物、階上解体を想定)】

・周囲状況

建物面積 20m×15m、仮設足場、パネル組み

・床状況

平面、投下用開口部

・対象物

乾燥状態、平置き(重ねない)

・対象物種類

①コンクリート塊：300mm～200mm×1,500mm以下

下、鉄筋入り

②鉄くず：団子状のものφ500程度、H鋼(400

mm×200mm×1,000mm程度)

③アルミくず：サッシ枠(外寸)1,500mm×3,000mm×□100mm程度

④木材：さん木、端太角、(木造(φ400～500mm、1=3,000mmのかたまり))

⑤廃プラスチック：塩ビ管φ100mm×1,000mm以下(灰色)、設備系廃プラスチック、白色断熱材巻き

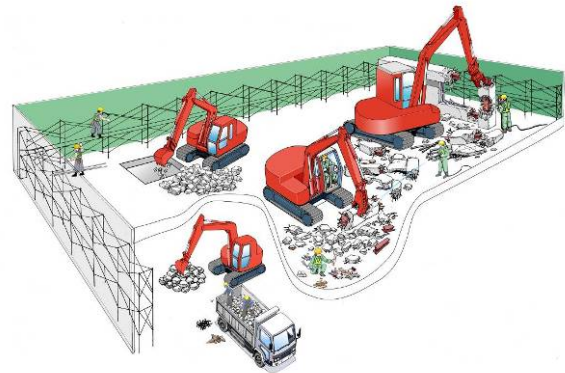


図5 モデル現場イメージ

表2 分離対象物

項目	説明
仕様	プレキャストコンクリート板(PC板) 外形:8,800×1,550×200mm 構成素材:コンクリート、鉄、アルミ、プラスチック 質量:1,200kg
写真	

②-2 「ハンドリングのための作業対象の状態センシング」

3D デジタイザ（レーザスキャン方式）とステレオカメラシステム（ステレオビジョン方式）を用いて基礎実験を実施。計測距離・計測範囲（画角）・環境条件の点で優位なステレオカメラシステム（図6、7、表3）を採用決定。

また、ステレオカメラシステムのレイアウトを検討。ステレオ画像（一方向）から形状を類推し3D解析を行う対象物認識ソフト（形状・体積・重心・慣性モーメントの計算）（図8）、およびタッチペン操作で実行するインターフェースソフト（図9）を試作。



図6 対象物センシングシステムの実装

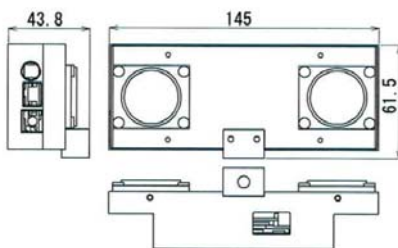


図7 ステレオカメラ寸法

表3 ステレオカメラの諸元

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	52°
基線長	10cm
フレームレート	15fps
ビデオ出力画像	QVGA
静止画出力画像	SXGA×2
静止画出力形式	YUV 4:2:2
出力インターフェース	USB2.0 NTSC
カメラユニット外形寸法	左図参照
カメラユニット質量	約250g
対応OS	Windows2000、XP

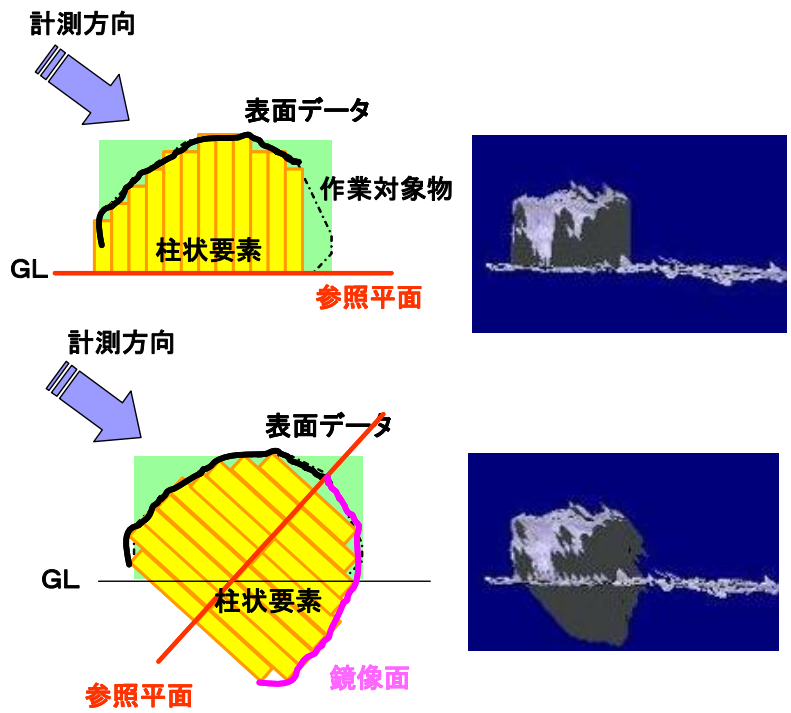


図8 形状推定の手法（上：手法1、下：手法2）

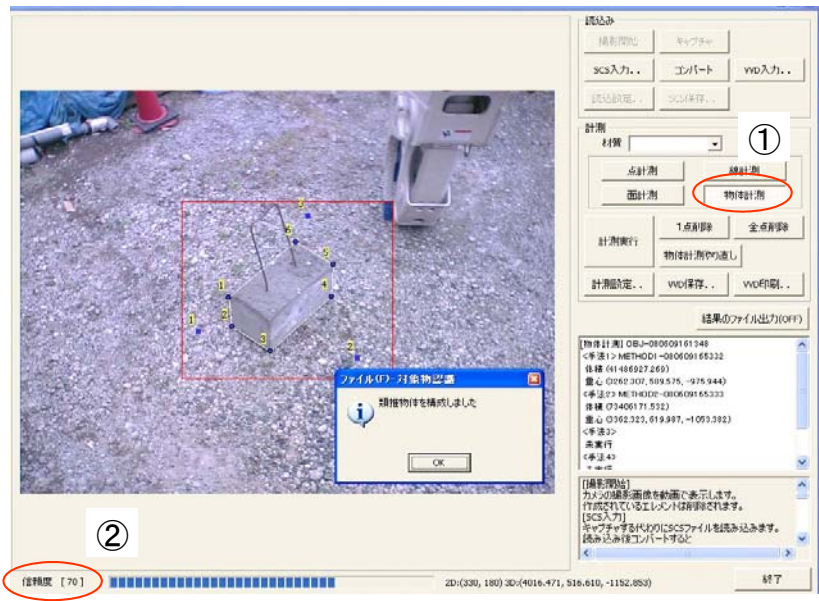


図9 インターフェース画面

②-3 「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」
 廃棄物の種類性状の範囲を基に、把持力、分離方法(図 10)、旋回速度等を明確化。ハンドリング計画機能の策定(図 11、12) 及び最適性の検証を実施。

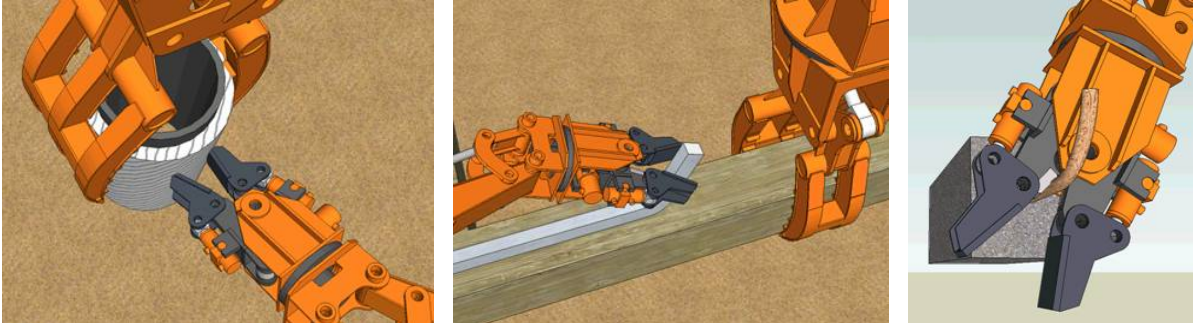


図 10 分離イメージ

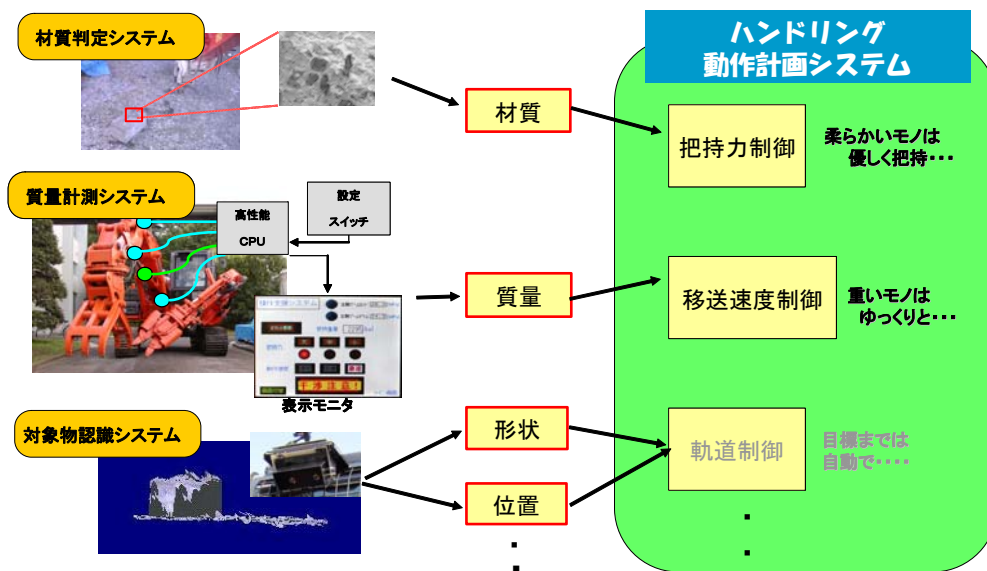


図 11 ハンドリング動作計画システム

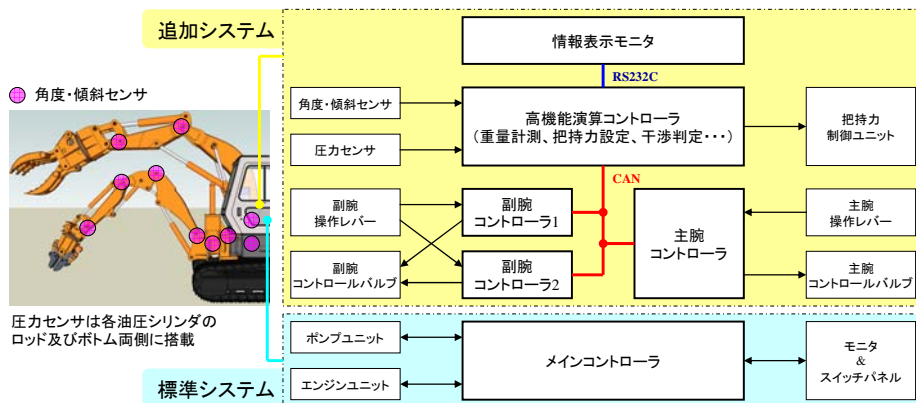


図 12 多機能コントローラ

②-4 「安心安全の技術」

計測データの蓄積方法および処理フローを明確にし(図 13、ネットワーク機器を利用した環境計測システムを設計・製作。現在(平成 21 年 3 月 31 日現在) 4 現場で 8 台が稼働中(図 14、15)(5 現場の実績)。

製造者、販売者及び、使用者、監理者の観点から開発品のリスクアセスメントを実施。

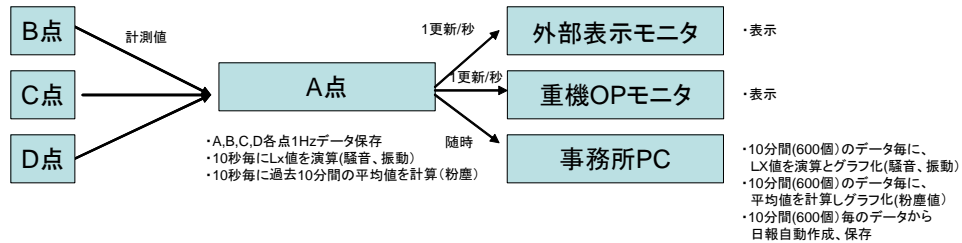


図 13 データの流れ



図 14 現場適用状況

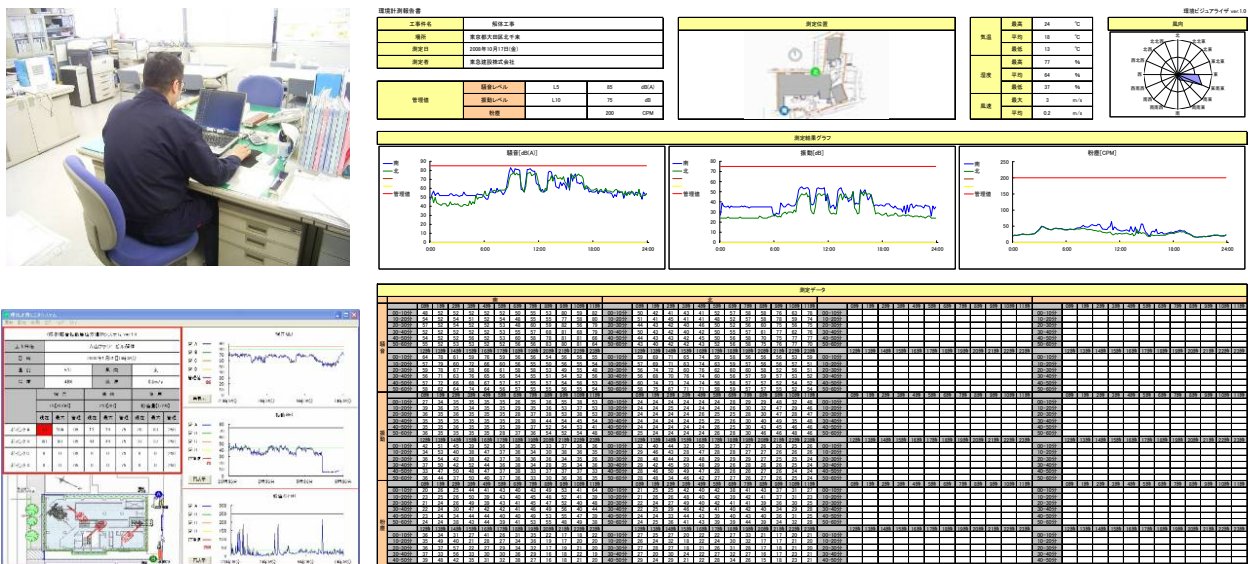


図 15 現場監理者用ソフトウェアと日報

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

【目標値の達成状況】

機械周囲の環境認識技術により作業員を識別するシステムを試作、評価を実施した。掴み、切断等が可能な多機能ハンドを試作した。本体質量 13,400 kg、定格出力 63/1,950 (kW/min-1) の双腕マニピュレータ本体（主腕最大 6 自由度、副腕 9 自由度）を試作。対象物ごとの把持力調整機能、廃棄物質量測定装置の実装、建設機械相当の耐環境性の検証（通常の油圧ショベルの検査レベル）を実施した。

③-1 「施工現場の環境認識（機械周囲、機械本体）」

WAD-GPS（GPS 方式）とレーザポジショナ（回転レーザ方式）を用いて位置計測の基礎実験を実施。計測精度、解体現場における環境条件の点で優位なレーザポジショナの有効性を確認。レーザポジショナを利用した、機械周囲の作業員識別と、機械との位置関係を把握し接近時警告するシステムの試作（図 16、写真 10）、および実装（図 17）、機能確認を実施。

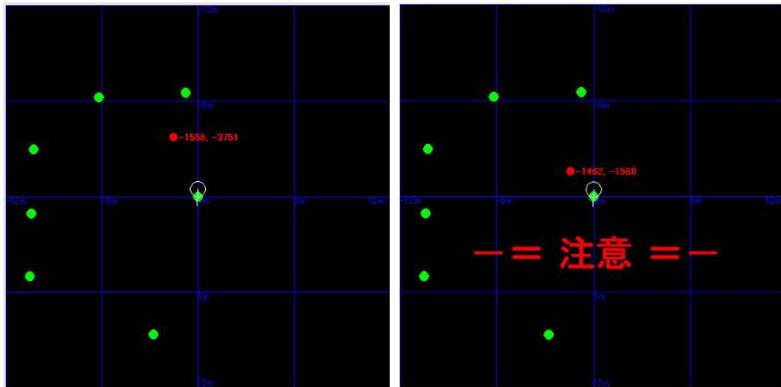


図 16 監視画面（左：警告半径外、右：侵入時）

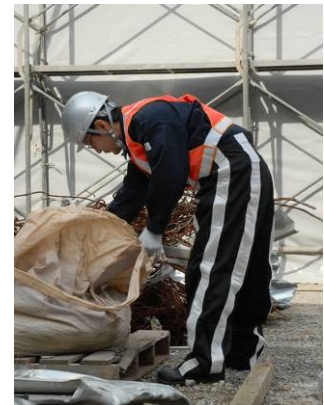


写真 10 リフレクティブウェア

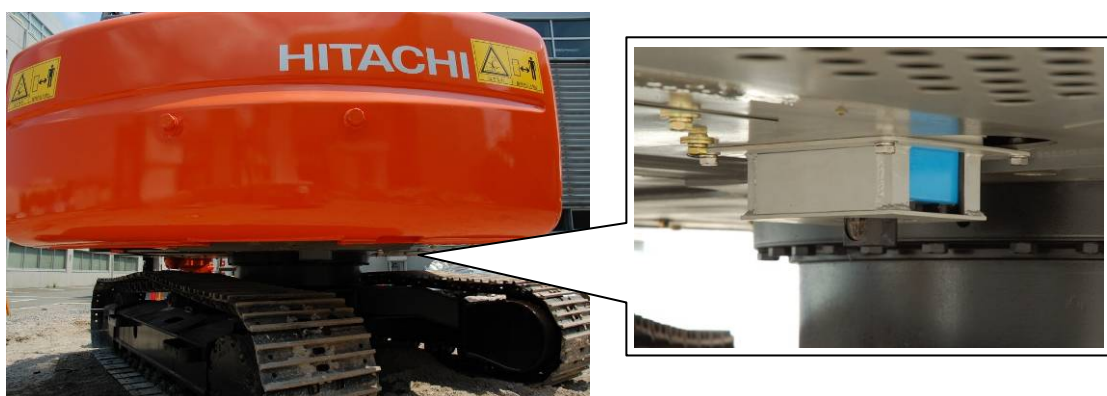


図 17 レーザポジショナの実装状況

③-2「多自由度、多腕マニピュレータ、多機能ハンドの開発」

細かな、把持分離作業及び切断作業が可能な、多機能ハンドの設計製作。位置・姿勢の計測が可能な多自由度、多腕マニピュレータ本体の設計製作を実施（図 18、19、表 4、写真 11）。把持物質質量測定機能（図 20）を装備し、精度を検証。質量 200kg 程度のサンプルで誤差範囲 20%を達成。多機能ハンド付き多自由度多腕マニピュレータの廃棄物の分離実験を実施（写真 12）し、目標機能を確認。

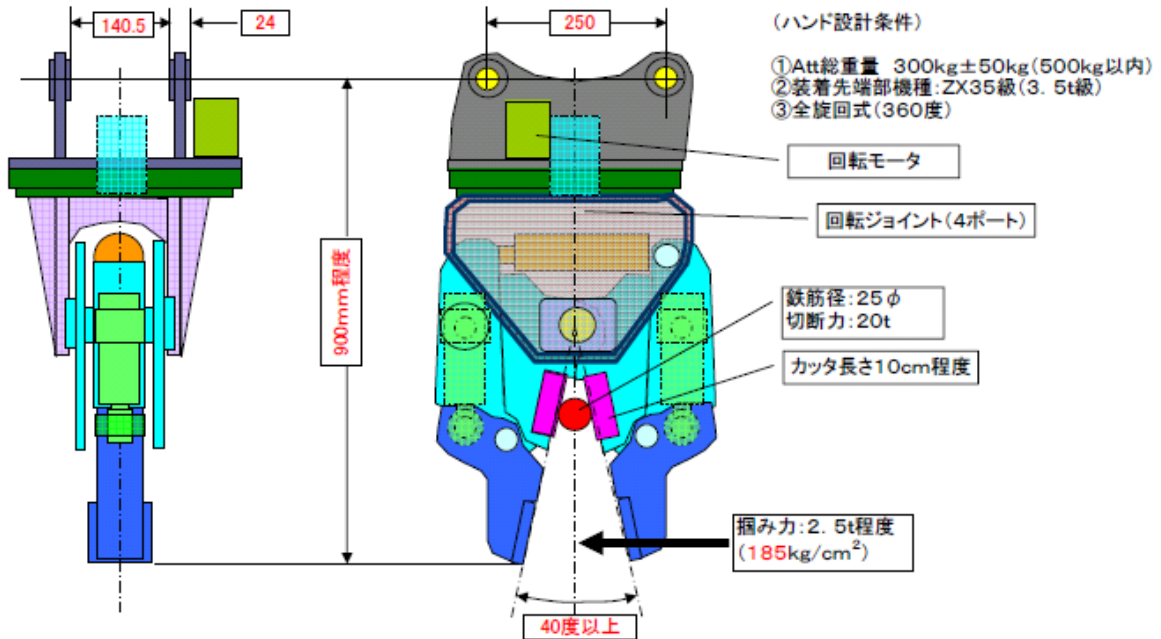


図 18 多機能ハンドの機能と仕様

表 4 マニピュレータの自由度

	Front DOF			Attachment DOF	Total DOF
	Roll	Pitch	Yaw		
Main	3	0	3	2	5
Sub	6	1	4	3	9

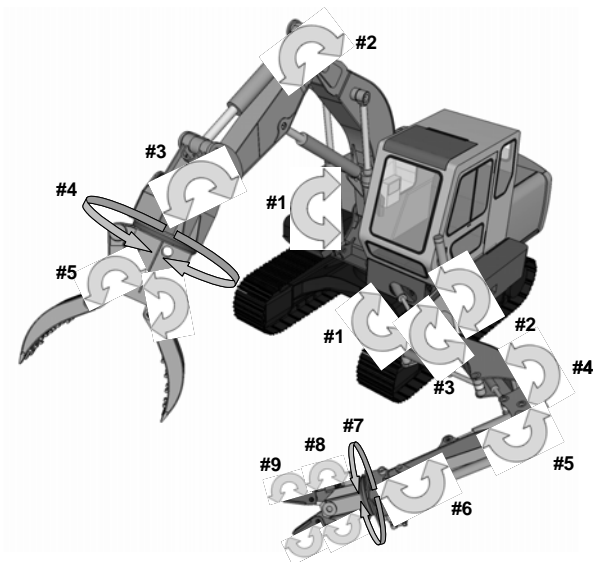


図 19 マニピュレータの自由度構成

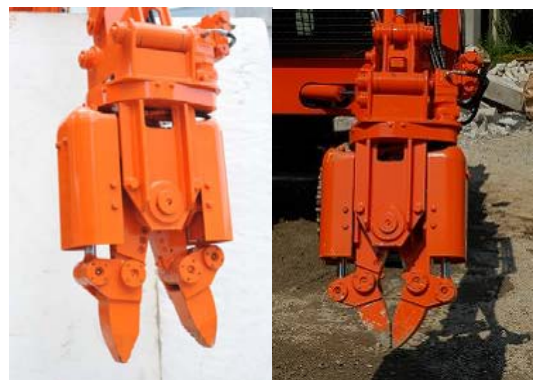


写真 11 製作した多機能ハンド

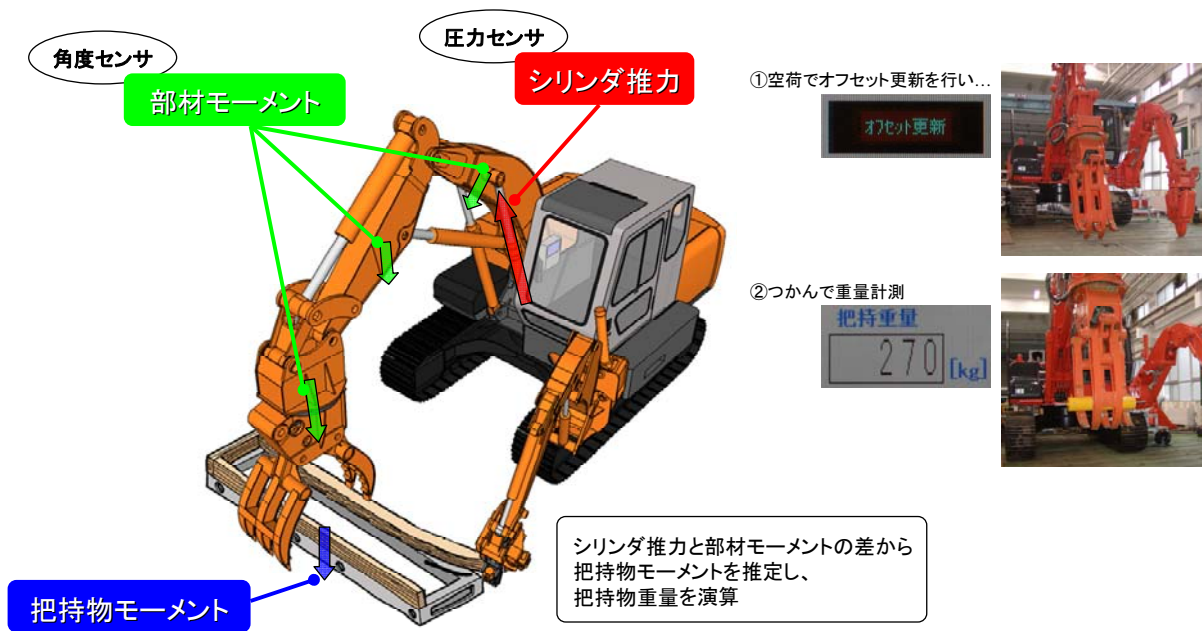


図 20 質量計測の概要



写真 12 廃棄物分離実験

③-3 「耐環境性能の検証」

主要使用機器について建設機械相当の耐環境性検証（通常の油圧ショベルの検証レベル）実験を実施し、基準を満足。

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（複合操作、操作感覚、力制御、ビジュアルサーボ等）

【目標値の達成状況】

複数腕、複数軸の同時 8 自由度操作を容易にする操作系を試作。具体的には、主腕、副腕、走行、旋回等の同時動作が可能。また、複数腕の干渉防止システムを試作した。

④-1「複数腕、複数軸の同時操作を容易にする操作系」

多自由度多腕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 21)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(写真 13)の機能の確認。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、開発。油圧ショベル同等の乗り降りが可能な運転席、室内環境を採用。協調作業時の主腕・副腕の干渉による機械の損傷を縮減する干渉防止機能(図 22)の開発と搭載(図 23)。

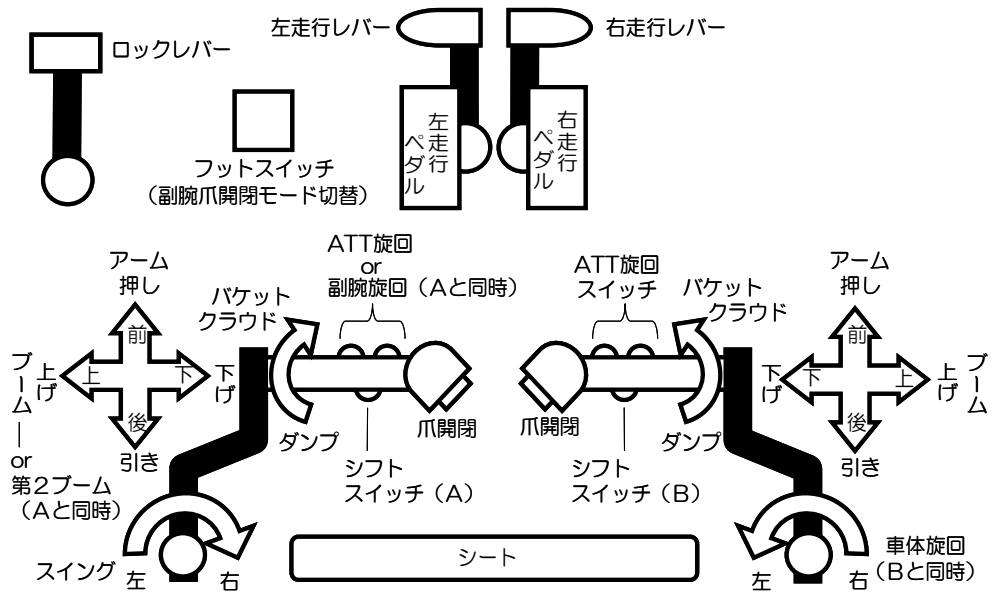


図 21 各操作レバーの機能



写真 13 搭載した操作レバー

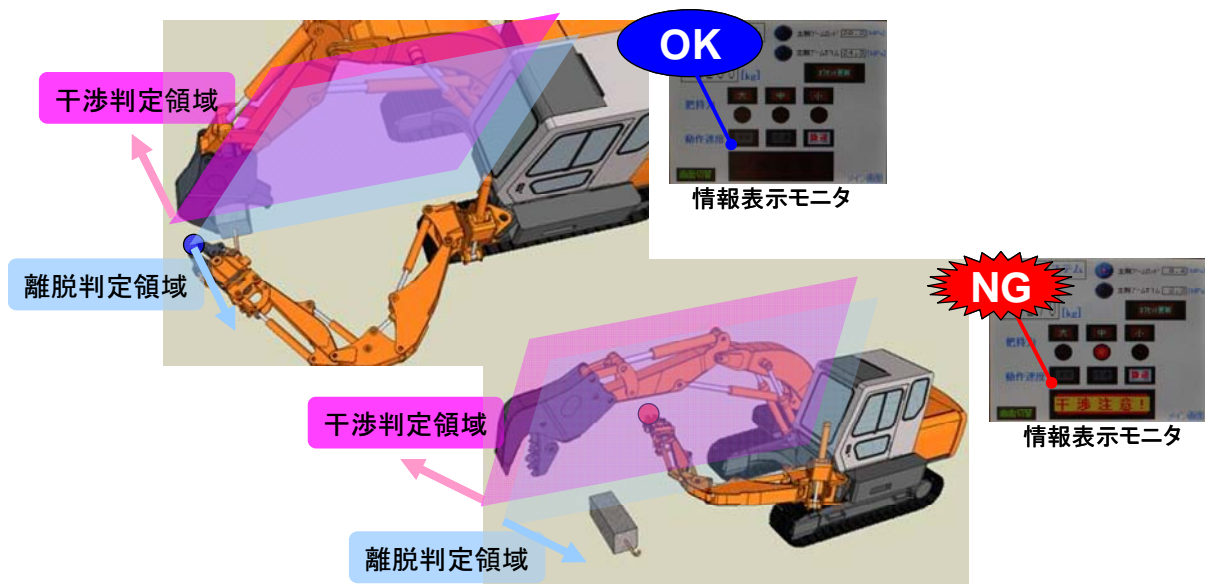


図 22 干渉防止機能



図 23 干渉防止等インターフェース

⑤達成状況

異なる 5 種類の廃棄物を判定可能な統合化システムを試作した。また、廃棄物一次判定システム、対象物センシングシステム、把持力調整機能、廃棄物質量測定装置、作業員識別システム等を双腕マニピュレータに試験的に実装し、中間評価実験（写真 23、24）を実施した。



写真 23 中間評価実験試験フィールド



写真 24 現地実査状況

中間評価実験の結果、以下の中間目標を達成した。

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。」

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した。

②「建物解体時に発生する廃棄物を素材料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した。

最終成果目標

「中間目標で開発した要素技術を適用したプロトタイプ・マニピュレータ等を開発し、建物解体時に発生する実際の廃棄物（主として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。」

具体的には、マニピュレータにより複合廃棄物の分離作業を行い、5種類以上の材質を選別し、選別の精度（素材ごとの抽出率）は60%以上とする（図24）。開発にあたっては実際の現場において実証実験を2回以上実施する。

最終的にはプロジェクト終了後3年を目処にプロジェクトの成果を活用し、事業化を行う。
を達成するため、

①「廃棄物材料の判定手法の研究開発」

廃棄物解体、選別に関する実態調査、および廃棄物材質の判定手法・移送装置の研究開発を実施する。

②「解体・選別作業の効率化、安全、高信頼性技術の研究開発」

実証ロボットの仕様策定、ハンドリングのための作業対象の状態センシング、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、および安心安全の技術に関し研究開発を実施する。

③「建設機械相当の耐環境性能を持つ次世代マニピュレータの開発」

機械本体および施工現場の環境認識技術、多自由度、多腕マニピュレータ、多機能ハンドの開発、耐環境性能の検証を実施する。

④「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の開発」

複数腕、複数軸の同時操作を容易にする操作系、および操作者への最適な情報提示技術の研究開発を実施する。

⑤「実証実験・作業性評価」

システム統合、中間評価実験、最終評価実験を実施する。

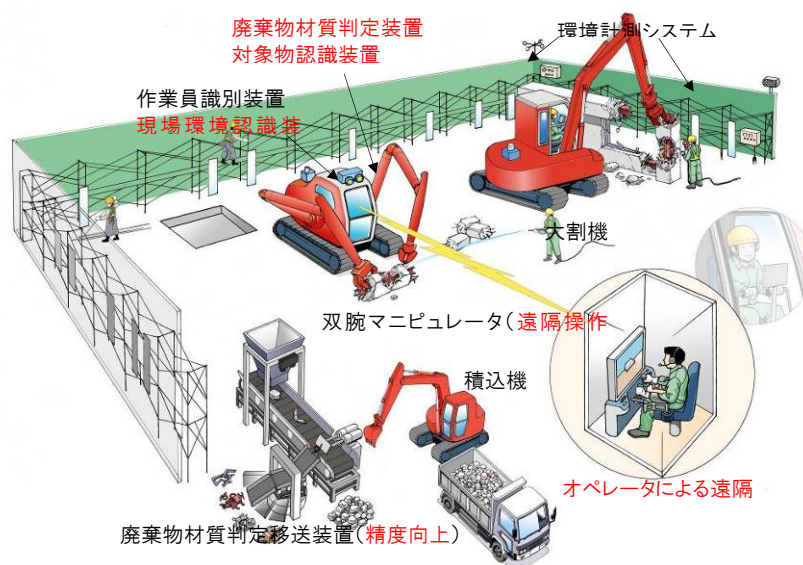


図24 最終試験フィールドのイメージ

3) 成果の意義

本研究開発の成果は、廃棄物の分離を行う次世代マニピュレータと、廃棄物の選別を行う判定移送装置からなる RT 技術を駆使した新たな建物解体工法であり、現場への普及を図ることにより資源循環型社会を形成し地球環境保全に貢献する。

次世代マニピュレータは、従来の建設機械を多自由度、多腕化し、RT 技術を活用することでこれまでにない細やかな分離選別作業が可能となる。廃棄物判定移送装置は、不純物混じりで排出していたリサイクル材料を高精度で選別し、廃棄物の純度向上、再資源化の促進を図る。

本成果は、建物解体現場だけでなく産業廃棄物中間処理場や最終処分場などの廃棄物処理関連作業はもとより、激甚災害時の救助や復興などへの波及効果も期待できる。

4) 特許の取得状況

特許の名称	特徴・強み・新規性
双腕マニピュレータ 4 件	従来の油圧ショベルと同等の力を持つ主腕と根本部分で旋回、スイング動作を可能とする副腕を協調作業させることで、作業対象に対して任意の位置から作業を行うことが出来る。また、対象物の荷重計測結果を反映した移送速度や材質に合わせた把持力制御が可能である。副腕の先端には、鉄筋などの切断と細かいものを掴む二つの作業を可能とするアタッチメントを取り付けている。また、装置については、意匠登録済み。
廃棄物材質判定装置 1 件	画像による色差および明暗の差とエッジ抽出による形状の情報から、対象とする廃棄物の材質を判定する。非接触で可能であり、連続高速処理を可能性とする。
環境計測システム 1 件	建設解体作業時に発生する騒音や振動など値を発生源である建設機械へリアルタイムで通知し設定値超過時には出力を行い、騒音、振動等を抑制することが出来る。建設現場内をネットワーク化し、現場事務所と現場、近隣住民間の情報伝達を円滑に行うことが出来る。
空間情報表示装置及び支援装置 1 件	遠隔操作時に不足する対象物の情報を、ステレオカメラで取得した映像から体積を推定し、重心等を表示する。空間情報に関連付けられた画像情報を操作する方式でロボット又はオペレータの支援を行うことが出来る。

添付資料用 国内出願・国外出願

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1	平成20年3月31日	特願2008-092957	環境情報監視管理システム	東急建設(株)
2	平成20年6月3日	特願2008-146192	把持装置及び作業機	東急建設(株) 日立建機(株)
3	平成20年6月3日	特願2008-146230	解体作業機	東急建設(株) 日立建機(株)
4	平成20年8月4日	特願2008-200890	廃棄物の材質判別方法および材質判別装置	東急建設(株)
5	平成20年8月4日	特願2008-200896	作業機械	東急建設(株) 日立建機(株)
6	平成20年9月2日	特願2008-224340	空間情報表示装置及び支援装置	東急建設(株)
7	平成21年1月30日	意匠第1352404号	自走式双腕機	東急建設(株) 日立建機(株)

5) 成果の普及

学会発表

番号	発表者	タイトル	発表先	発表年月
1	後久卓哉、他5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 開発の計画、目標—	東急建設株式会社技術研究所報 No. 32	2007.2
2	後久卓哉、他9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	ロボット学会学術講演会	2007.9
3	後久卓哉、他3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—開発の計画と目標—	東急建設株式会社環境発表会	2007.11
4	後久卓哉、他1名	次世代マニピュ	東急建設株式会社技	2008.2

		レータによる廃棄物分離・選別システムの開発ーその2 建築物躯体解体における作業分析	術研究所報 No. 33	
5	中村 聡、他1名	建設系産業廃棄物選別の要素技術研究(その1)ー近赤外線分光法による廃棄物材質判定ー	東急建設株式会社技術研究所報 No. 33	2008.2
6	柳原好孝、他9名	解体現場における廃棄物分離・選別システムの開発	建築施工ロボットシンポジウム	2008.3
7	後久卓哉、他5名	建設現場における作業環境計測IRTシステムの開発	日本機械学会ロボテイクス・メカトロニクス講演会	2008.6
8	石橋英人、他3名	解体・スクラップ処理に適した双腕型作業機械の提案	日本機械学会ロボテイクス・メカトロニクス講演会	2008.6
9	中村 聡、他4名	建物解体現場における廃棄物選別システムの開発	日本ロボット学会学術講演会	2008.9
10	上野隆雄、他4名	建設現場における作業環境認識技術の開発	日本ロボット学会学術講演会	2008.9
11	遠藤 健、他4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	日本ロボット学会学術講演会	2008.9
12	後久卓哉、他5名	解体・スクラップ処理に適した双	日本ロボット学会学術講演会	2008.9

		腕型作業機械の開発		
13	柳原好孝、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2報 統合化システム構成要素技術の確立	日本ロボット学会学術講演会	2008.9
14	加藤晃敏、他4名	無線による建設環境モニタリングシステム	東急建設(株)第9回環境発表会	2008.11
15	後久卓哉、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	計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	2008.12
16	中村 聡、他1名	建設系産業廃棄物選別の要素技術研究(その2) -L*a*b*表色系を使用した廃棄物材質判定-	東急建設株式会社技術研究所報No.34	2009.3
17	後久卓哉、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3 中間成果概要-	東急建設株式会社技術研究所報No.34	2009.3

プレス発表

番号	タイトル	掲載紙	発表年月
1	無線通信による建設環境モニタリングシステム「環境ビジュアライザ」を開発	日経産業新聞、建設通信新聞、建設工業新聞他	2008.05.22
2	次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システムを開発	建設通信新聞, 建設工業新聞, 建設産業新聞, 日刊工業新聞, 産業機械新報, 建設技術新聞, 日経産業新聞, 建築技術(雑誌)2009年1月号P56, 積算資料(雑誌)2009年2月号前文P20 ロボット Watch (Web サイト) ロボナブル (Web サイト)	2008.11.18

6) 実用化・事業化の見通し

1. 事業化シナリオ

昨今、ビル等の建築物は、耐用年数に達しているものや、耐震構造問題等により、その解体需要は年々増加してきている。現在は地上部からのロングブーム仕様の解体機による解体が一般的であるが、今後はより高層化すること、また、地上の敷地スペースが少ないことから、階上に機械を載せ順次上層階から解体を行う階上解体工法の比率が高くなっていく。解体工事は低コスト、短工期化に加え、安全性に優れ、周辺環境に配慮した新工法が求められている。当事業は、新たに開発した双腕マニピュレータと、廃棄物材質判定移送装置等を用いた新階上解体工法にて解体工事を実施するものである。事業は、要素技術毎の開発進捗に合わせて3つのフェーズに分けて行なう予定である。

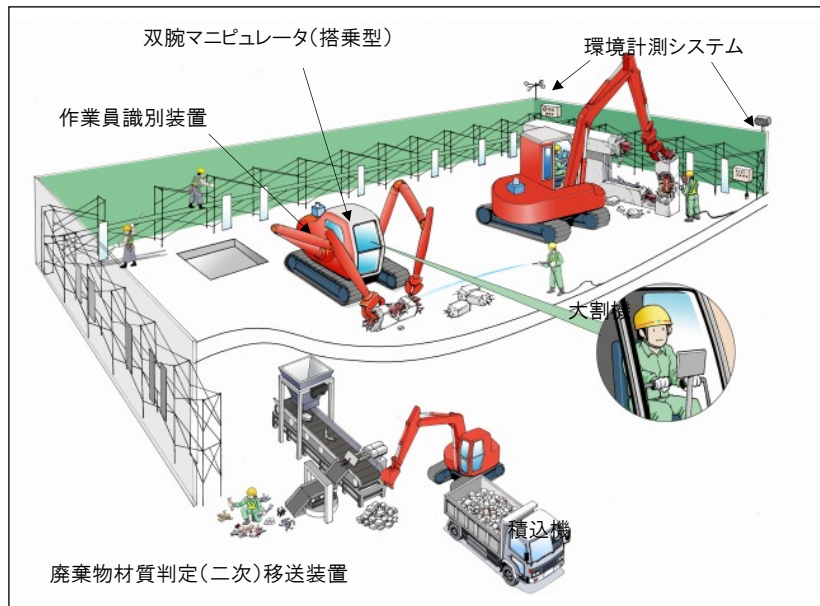
事業化商品 = 新階上解体工法を用いた解体工事

<第1フェーズ>

まず最初に、当該プロジェクト終了後の平成24年より、

- ・ 双腕マニピュレータ（搭乗型）
- ・ 廃棄物材質判定（二次）移送装置
- ・ 環境計測システム
- ・ 作業員識別装置

の4つの要素技術を統合システム化し、次世代の階上解体工法として東急建設が事業者（元請）となり解体工事を受注していく計画である。



第1フェーズ解体イメージ図

当工法は、今までの階上解体工事（在来工法）と比較し、工期短縮、コスト削減が可能であり、安価で安全、環境に配慮した施工を顧客（解体主）に対し提供することができる。顧客は工期の短縮とコストダウンが図れ、施工者は利益額の向上と安全が確保できる工法である。

また、平成 26 年には、建設業者、解体業者を中心とした工法協会を発足させ、実施料を支払うことで当工法が誰でも使用できる仕組みとし、解体業全体に広く展開させる方針である。

(第 1 フェーズ最終年度の平成 31 年には、市場の約 15% のシェアを想定する)

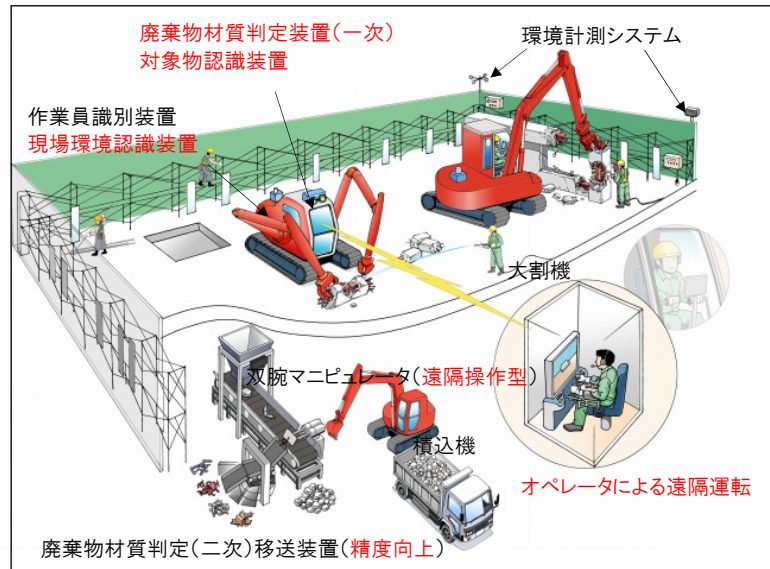
<第 2 フェーズ>

平成 32 年頃には、第 1 フェーズで適用した要素技術に加え、

- ・ 廃棄物材質判定装置 (一次)
- ・ 対象物認識装置
- ・ 現場環境認識装置

等の要素技術を準じ開発し、オペレータによる遠隔運転が可能な解体工法とする予定である。また、廃棄物材質判定の精度も向上させ、作業員の削減を図る。

第 1 フェーズと比較し安全性、環境面がさらに向上し、工事受注金額の増加が期待できる。市場の 20% ~30% のシェアを想定する。

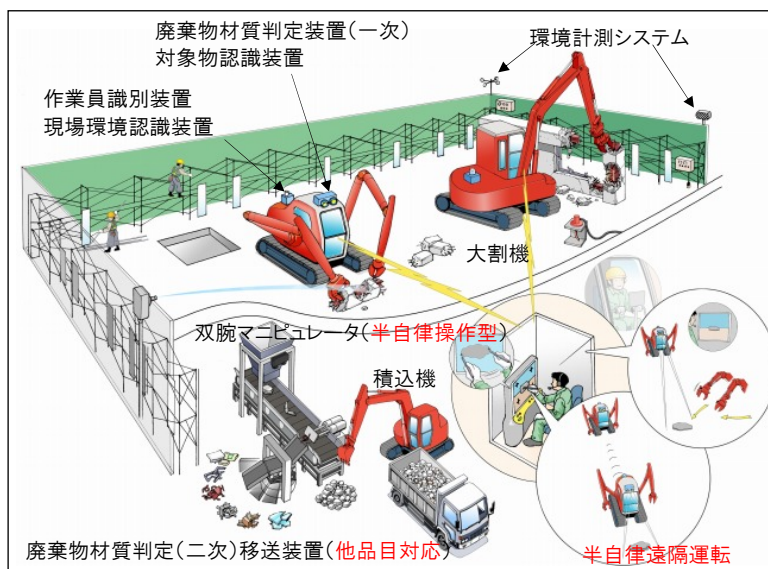


第2フェーズ解体イメージ図

<第 3 フェーズ>

平成 37 年を目安に半自律遠隔運転により、オペレータ 1 人で複数台の機械を遠隔操作できる解体工法を実現させる。さらなるコストダウンと安全性を向上させ、市場の 30% 以上のシェア獲得を目指す。

当事業のターゲットは、統合システムとしては階上解体工事をメインとするが、技術の開発に合わせ、要素技術毎に中間処理施設、災害復旧現場、再資源化プラント等へ機器を導入していくことも視野に入れていく。



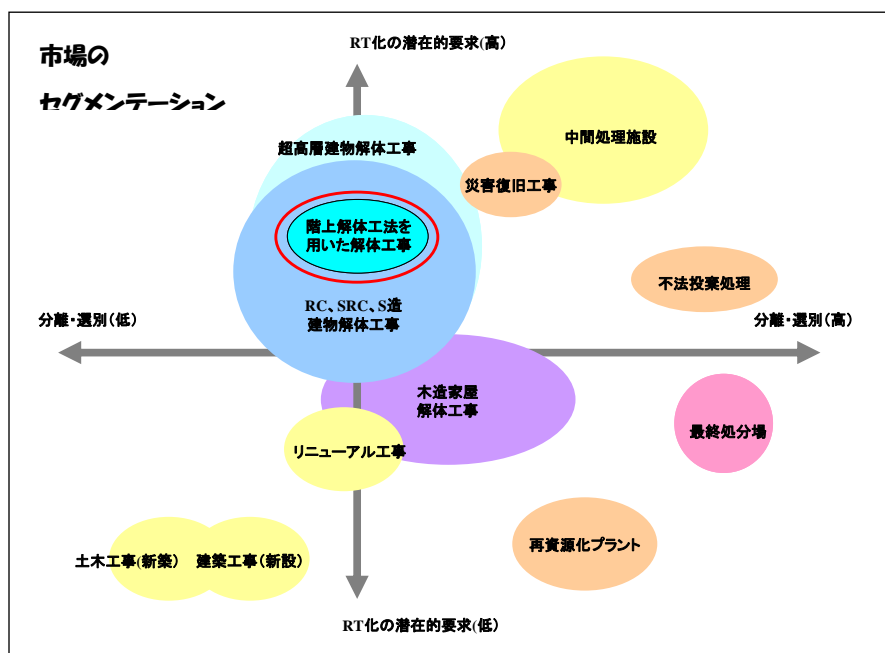
第3フェーズ解体イメージ図

2. 想定顧客・市場

(1) 想定顧客のセグメンテーション

■市場：階上解体工法を用いる建築物解体市場

システム全体としての市場は、建築建物の解体工事が想定され、その中でも階上解体工法を用いた解体工事が中心となる。しかし、双腕マニピュレータや廃棄物材質判定移送装置等個々の要素技術は、建物解体工事以外の中間処理施設、災害復旧、再資源化プラント等への導入も可能であり、市場の拡大は十分期待できるものである。



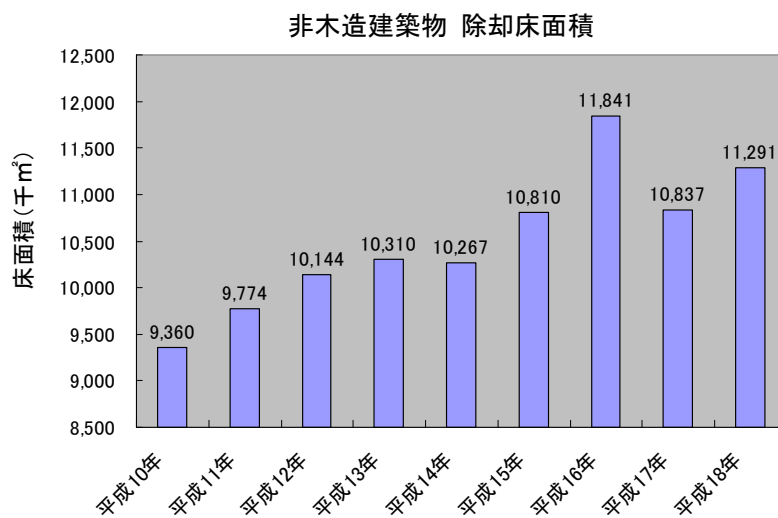
■潜在的ニーズおよびウォンツ

- ・ 工期の短縮
- ・ 工事費のコストダウン
- ・ 環境負荷の低減（騒音、振動、粉塵）
- ・ 安全性の向上
- ・ 機械の能力UPと軽量化
- ・ 多機能機械の開発
- ・ 廃棄物の選別が重要

（2）市場規模と根拠

非木造建築物の解体市場の推測

非木造建築物の解体市場は年々増加傾向にあり、平成18年には、11,291千㎡の除却床面積になっている。



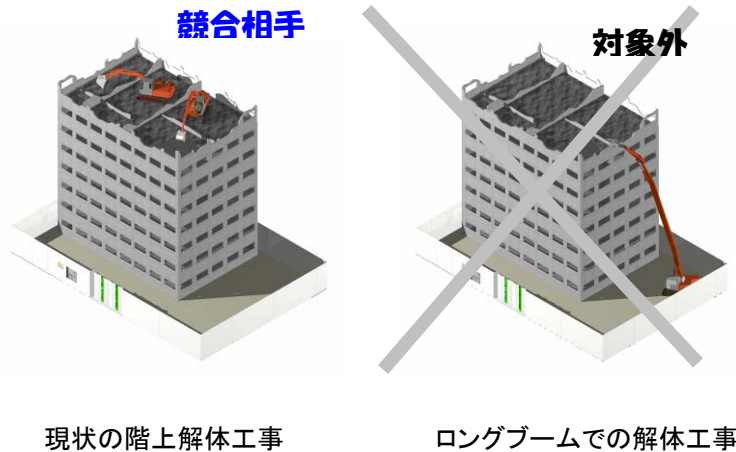
出典：「建設統計要覧」国土交通省総合政策局情報管理部建設調査統計課監修

平成10年から平成18年までの平均増加率は約2.5%であり、事業化開始予定の平成24年の除却床面積は、同率で増加すると約13,000千㎡に達しているものと想定される。

(3) 競合状況

■競合相手：現状の階上解体工事（在来工法）

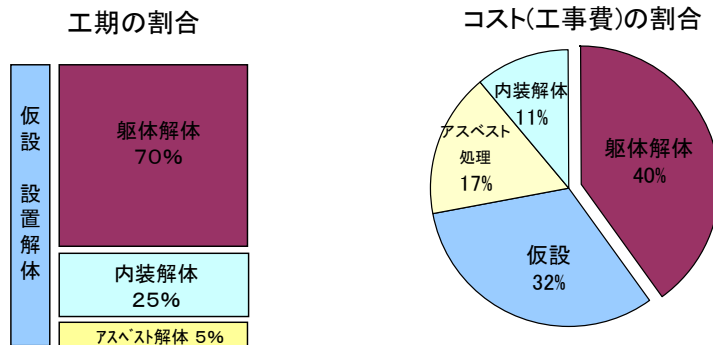
当事業（新工法を用いた解体工事）は、階上解体市場をターゲットとするため、ロングブーム仕様の解体機を用いての解体工事や大型機械を導入しての土間解体工事等は直接的な競合相手とはならない。



■競合技術の分析

<作業分析>

解体作業における一般的な工種は、仮設工、アスベスト除去工、内装解体工、躯体解体工（階上解体＋地下解体）等である。その工期およびコストの割合は下図のとおりであり、工期、コスト共に**躯体解体作業の比率が大きく、作業の効率化が望まれる。**



- ・仮設の設置解体は、他工種と平行作業で行われることが多く、割合からは除いている
- ・工期、コスト共に東急建設の解体工事 4現場の平均値にて算出

躯体解体における現状の階上解体工法の技術は、汎用機械である油圧ショベル（バックホウ）に油圧ブレーカや油圧破碎機等のアタッチメントを付け替えながら実施する。

作業は一般的には、大割作業、小割作業、選別作業に大きく区分でき、大割機、小割機、選別機、積込機の4台の重機および5名の作業員にて実施される。（オペレータ4名を加えると作業員数は9名）

3. 波及効果

①次世代マニピュレータ

- ・自動化、ロボット化が進まない建設業での RT 浸透の起爆剤として期待。労働生産性向上を目指す。
- ・地震、津波時の災害復旧作業や、このとき発生する大量の廃棄物処理への適用による、危機管理、環境、衛生面での社会貢献

②判定システム

細かな材質判定の実現により、ゴミ拾いロボット等サービスロボットへの技術供与。

3.3.2.2 廃材分別を考慮した環境対応型解体作業支援ロボットの研究開発

【実施者：名城大学、(独)産業技術総合研究所、大阪大学、清水建設(株)】

1) 研究概要

(1) 目標

ロボット技術による解体・廃材選別作業のシステム化を実現することで、建物内装リニューアル解体の効率化、作業員の作業環境改善、安全性確保、および、周辺住民の安全性向上を実現する。また、急速に進展している少子高齢化時代の社会を支えるロボットシステムとして、省人化作業システムのひな形を示す。

(2) 全体システム

事業化の要点は、機能と価格である。したがって、図 1-1 人・ロボット協調解体システム コスト、速度、省人化、安全のすべてにわたって現状を超えることを目指した。施工法を詳細に検討し、実作業者の意見も集約した結果、人手による現行法を機械化したのでは目的を達することができないことが判明した。そこで、IDタグ導入による廃材の分別とロボットへの作業計画支援、ウォータージェットによる天井ボードの高速切断、人とロボットの作業分担協調制御、アクティブキャスターキャリアを組み合わせた、新解体・ロボットシステムを構築した。そして、目標実現性をモックアップ実験によって確認した。



図 2-1 モックアップ実験

(3) IDタグによる廃材情報化

人・ロボット協調作業の一環として、IDタグの設置・情報入力を行うことで、廃材管理(廃棄物取扱情報)とロボット作業計画(作業点と方法教示)ための環境情報化する手法を明確にした。

(4) 省エネルギー型多機能水圧ロボット

現場ニーズである汎用性、頑強性、軽量性、省エネルギー性を有する4軸水圧マニピュレータを開発試作した。そして、全方位・全方向移動機能を有する移動ロボットに実装し、検証試験によってプロトタイプ機の開発見通しを得た(設計手法の定量化)。

(5) 人・ロボット協調制御

遠隔操作・自律作業システム、人・ロボット協調作業システムの制御系を構築し、天井設置物撤去、天井ボード解体・ネジ除去等のモックアップ実験によってその効果を検証することで実用性を確認した(図 2-1)。

2) 成果詳細

2)-1 目標仕様

目標は、事業化を可能とするシステムの構築とそのシステムを構成する主要要素技術を開発し、システム実現性見通しを得ることにある。構想システムより抽出した個別目標を以下に示す。

(1) システム構築と事業性

- ・事業化のコンセプトである“現状作業よりも早く・安く・高速に”を実現可能な作業システム・作業工法を構成する根幹構成要素の実現性を検証する。
- ・工数削減 60%削減（省人化：5人を3人に）、工期削減 30%（人作業よりも高速化）、標準稼働率で償却可能な装置価格

(2) ID タグによる廃材情報化

ID タグに実装する廃材情報の構築方法の明確化、および、ロボット・人・ロボット協調作業のための環境情報化手段を明確にする。そして、5種類以上の廃材分別の情報化（蛍光灯：ガラス、蛍光灯枠：鉄板、石膏ボード：石膏、ネジ：鉄クズ、エアコン吹き出し：アルミ）を行う。

(3) 省エネルギー水圧ロボットの開発

汎用性、頑強性、機動性と省エネルギー性を有する建設機械をベースとした移動式水圧マニピュレータの要素技術を開発する。おもな仕様は以下である。

- ・形状・重量：900mmx1200mm、300kg（エレベータ移動可能）
- ・切断速度：0.5m/s-1m/s（使用条件で変化）
- ・自律制御要素の実現性明確化：位置決め精度（10mm）、天井倣い、軽鉄検出・倣いの実現。
- ・システム統合可能性：移動ロボット・工具・マニピュレータの協調制御手法の実現性検証。

(4) 人・ロボット協調制御

ロボットに不慣れな作業員を想定した協調手法の明確化と自律制御要素の実現性を明確化する。

- ・協調作業効果の確認：蛍光灯、エアコン吹き出し口の撤去と軽量鉄骨上ネジの自律的除去

2)-2 目標達成状況

(1) 達成概要

新工法を創出し、実用化のコンセプトである“現状作業よりも早く・安く・高速に”を実現できる作業システムを構築した。そして、提案の ID タグによる廃材情報化、および、人・ロボット協調作業システムが安全上も有効なことを明確化した。併せて、必要要素技術の要求目標を実験室で達成するとともに、その代表的項目についてはモックアップ試験で検

証した。また、モックアップ試験で抽出された実用化上の設計課題を定量化した。

(2) システム構築と事業性

- ・天井部解体作業を主体に検討し、人・ロボット協調方式、超高压ウォータージェットによる天井ボード解体手法を導入することによって、工数削減 60%削減、工期削減 30%、コスト同等以下となるロボット解体システム実現見通しを得た (図 2-2)。そして、実物大部分モックアップ試験でその実現性を検証した。操作の簡素化 (システムアップの完成度向上) と運用方式の最適化が今後の課題である。

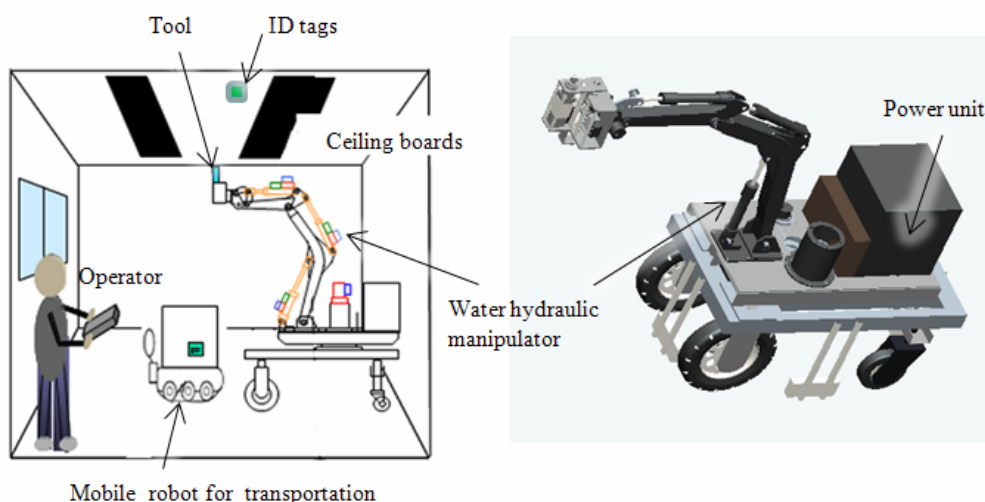


図 2-2 ロボットシステムと操作概念

(3) ID タグによる廃材情報化

作業による ID タグ貼付工程を配置することで、工程を遅らすことなく廃材情報入力が可能となることを確認した。また、入力情報として、廃材の種類・履歴、ロボットへの作業指示情報、および、ロボット移動ランドマークとしての活用の有効性を確認した。

(4) 省エネルギー水圧ロボットの開発

4 軸水圧ロボットマニピュレータと全方位全方向移動ロボットを組み合わせた移動作業ロボットを開発した (図 2-3)。このロボットに WJ 天井や天井ボードを保持する軽量鉄骨を検出走査可能な WJ 走査支援工具 (天井倣い、軽鉄検出・倣い、軽鉄ネジ検出、) を試作開発 (精度 10mm 以内) し、工具先端にシングル、回転のいずれかの WJ ノズルを実装した。

これらの機能の性能評価を行うとともに、移動作業ロボットでモックアップ天井を走査切断し、天井ボードを容易に除去できることを確認し (図 2-4)、実用機の設計手法を定量的に明確化した。

実験を通じて設計仕様の妥当性を併せ確認するとともに、追従精度向上、配管・配線処理、シール構造、工具の頑強性等のプロトタイプマニピュレータに必要な要求仕様と設計

手法を明確化した。

全体のシステムバランスと WJ システム等、本工事用に適性化された周辺機器の開発が
残課題である。

(5) 人・ロボット協調システムの開発

人・ロボット協調システムコンセプトを構築し、蛍光灯撤去、エアコンダクト取り外し
の作業を市販マニピュレータで機能代用したモックアップ試験で検証し（図 2-5）、協調
制御手法の有効性を明確にした。また、同様に、モックアップ実験によって、軽量鉄骨ネ
ジ除去のための基本機能（軽鉄とネジ検出）が実現できることを検証した（図 2-6）。

これらの技術はプロトタイプマニピュレータに実装し、1台の汎用的ロボットとして完
成させることによって、実対象に適用可能であると判断される。



図 2-3 移動作業ロボット



図 2-4 天井ボード切断状況



図 2-5 蛍光灯パネル撤去状況

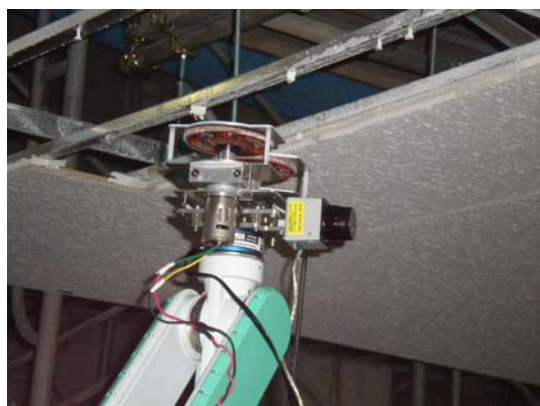


図 2-6 ネジ除去状況

2) 成果詳細

2)-1 建物解体時に発生する廃棄物材質の判定手法

解体後に様々な材質が混在した廃材を分別するのではなく、材質ごとに順番に解体することで解体作業と同時にリサイクルやリユースのために廃材分別を行うための廃材の積極分別する方式を基本コンセプトとして提案し、解体対象に貼付された ID タグの情報を活用することで解体分別の同時処理を可能とする廃材情報化技術を使った解体工法を案画した(図 3-1)。

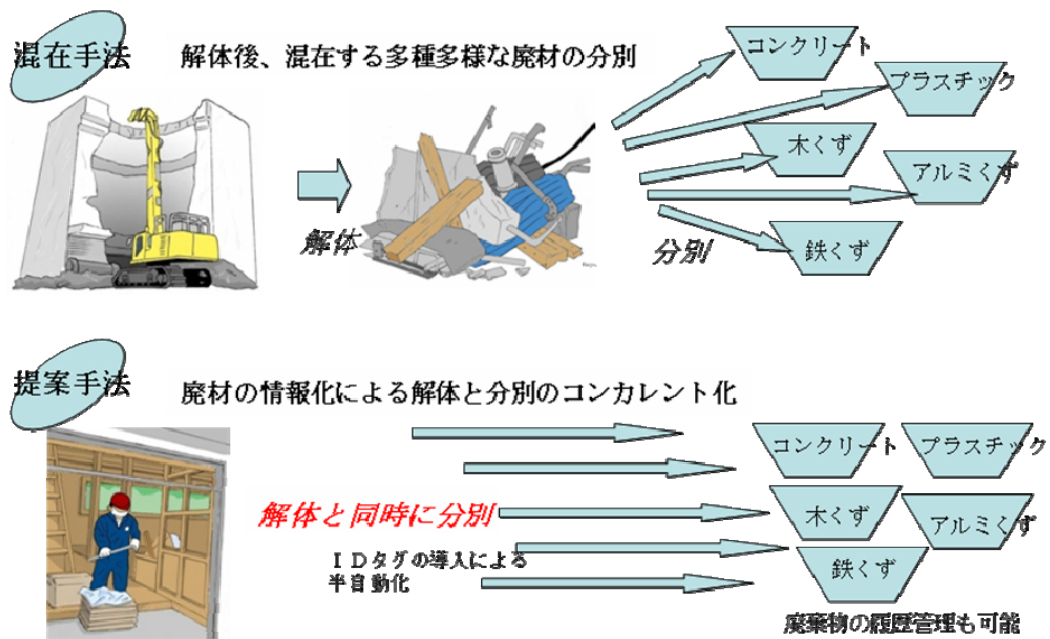


図 3-1 廃材分別のコンセプト

将来的には、すべての建材や設備に ID タグが埋め込まれる時代が来ることが将来予想されていることを想定すれば、この方法はリユース、リサイクル社会を構築する重要な技術であると考えられる。

しかし、現状では、対象には廃材の情報がないため、熟練作業者が作業に先立ち、解体物を判定して作業指示を含めた情報を持つ ID タグを解体物に貼付する、事前作業準備を行うシナリオが協調作業効果を高めるために有効であることを確認した。これらをまとめると、以下となる。

- (1) ID タグの材質情報により廃棄物材質を判定し廃材を情報化し、管理する手法を構築した。
- (2) 解体作業検証実験のための要素技術として、RT ミドルウェアを使ったコンポーネント群を組み合わせて ID タグを使った解体情報データベースシステムを構築した。
- (3) タグリーダーが付けられた携帯端末を使って非熟練作業者に作業指示情報を提供でき

ることを確認した。

2)-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

ID タグを用いた解体作業支援として、解体物に貼付された ID タグ情報により、非熟練作業者への作業指示や解体作業ロボットの自動化を支援する作業情報を提供して、人間と機械の協調作業システムによる新しい解体工法を提案した。

- (1) 作業指示と微調整や細かな作業は人間に任せ、単純な繰り返し作業や力作業を作業支援ロボットでサポートするのが基本コンセプトとするのが、現実的・現場的であることを検証した。
- (2) 事務所ビルの改装作業を想定し、天井ボードと照明器具を具体的なターゲットとして、具体的な解体工法を検討し、人と機械が協調して、効率性（高速性）・省人性・低コスト性に優れる分別システムを開発した。
- (3) 熟練作業者が事前配置した ID タグ情報をもとにして、解体作業ロボットを自動誘導したり、照明機器の取り外しに際しては非熟練作業者に機器の取り外し方の情報を提示すると同時に解体作業ロボットに機器重量を支えるための情報を伝える手法を明確化した（人の能力活用）。

2)-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

以下の設計方針に基づき開発を行い目標を満足する水圧駆動マニピュレータを世界に先駆けて試作完成した。

- (1) 耐環境性
ビル内装解体現場の劣悪な環境（頑強性、粉塵、噴霧水）に耐えられるものとして、市販パワーショベルをベースとした液圧駆動マニピュレータを開発した（図3-2）。
- (2) 省エネルギー性
作動液として水道水を活用し、省エネルギー性と清浄性、高精度位置決め性を備えた水圧マニピュレータを実現可能なことを計算で示した（従来比1/2以下）。
- (3) 高精度位置決め性
テーパースプールを有する小流量直動式水圧サーボ弁の機構と制御方法を開発し、サーボ位置決め精度1（5-10）mmを実現した。（ ）内は要求仕様値である。



図3-2 試作マニピュレータ

(4) 設計の妥当性検証

試作の移動式マニピュレータが実用的であることをモックアップ実験で確認した。また、このマニピュレータは重量物の操作能力が 300 (300) N と大きく、天井走査工具や WJ ノズルの搭載にも十分耐えられることを検証した。すなわち、天井ボード解体をはじめとする多様な作業に適用できることが検証された。特に、移動ロボットの高速性 0.5 (0.5) m/s とマニピュレータの置決め性を組み合わせることで、広範囲と狭隘部両方の作業ができることが示せたことも大きな成果である。

2)-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

ロボットは重量物等の支持等の人のできにくい作業を、細かい作業は人が分担し、省人化を図るシステムを開発した。下記に概要をまとめる。

(1) 操作性

現場作業員がロボット操作に習熟していることは期待できないことから、人とロボットが協調作業を行いやすいインタフェースとして、直観的で操作性の高いインタフェースが望まれる。女性、高齢者も含めた操作性評価に基づき、确实かつ高速に対象物を教示できる手法としてトラックボールによる教示方法を提案した。トラックボールでのロボットアームの操作により作業目標を大まかに指示するだけで、ロボットアームのエンドエフェクタが対象物を保持するように位置決めされる。これにより、高齢者や非熟練者でもロボットアームが対象物を保持するように位置決めできるようになった。ロボットアーム手先搭載型カメラの取得画像を作業者に提示することにより、容易に対象物の確認と指示ができるようになった (図 3-3)。



図 3-3 作業者による対象物の指示

(2) 低負荷性

解体対象とするランプパネルやエアコン吹き出し口が天井に設置されていることから、作業者は作業中上向きになることが多く、多数の機材を撤去・回収する場合には非常に身体的負荷の高い作業となる。

作業者の身体的負荷を軽くし天井の作業目標を教えるため、遠方から大まかな作業位置を手



図 3-4 蛍光灯パネルの回収

先搭載のレーザポインタで指示し、これを同じく手先搭載型カメラでレーザ位置を検出することで、上向き作業を軽減している。ロボットアームによって撤去・回収物を保持することによって作業者の高負荷な作業を軽減した（図 3-4）。

(3) 耐光環境性

ビル内装解体現場では設置されている照明器具は利用できず、昼間であっても薄暗い室内環境となる。開発したロボットアーム手先に搭載する可変照明機構により、薄暗い環境においても作業対象を画像処理によって安定確実に認識することが可能となった（図 3-5、図 3-6）。



図 3-5 可変照明機構による照明



図 3-6 位置姿勢推定結

2)-5 その他の開発技術

次に段階は開発機能を実環境で実証することが必要であるが、そのためにはシステムが統合できる技術が先行的に織り込まれる必要がある。また、新工法の開発を通じて開発した技術は単独で応用できるものがある。その主たるものを記載する。

(1) RT ミドルウェアを活用したネジ回収ロボット制御システム

既存のアーム(PA-10)制御コンポーネント、力センサコンポーネント、レーザレンジファインダコンポーネントを活用することでラピッドプロトタイピング的なシステム構築し、ネジ取り工具に合わせた制御コン

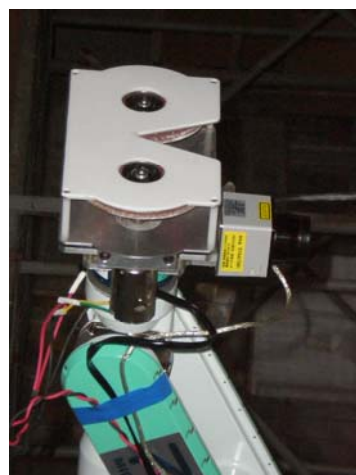


図 3-7 ネジ取り工

ポーネントを開発した。

開発の過程で、RTC-Link を使ったシステム情報の保存・回復ツールのバグを発見した。この問題に対処するために、システム情報を使ってシステムを再起動させるスクリプトを開発した。RT ミドルウェアを使ったシステム構築を実際に行うことで、RT ミドルウェアの改善に貢献するとともに、開発した各種機能モジュールは類似システムを構築する際に再利用可能である。

(2) ネジ取り工具

天井石膏ボードを取り外した軽量鉄骨には 20cm から 30cm 間隔で大量の固定ネジが頭を出して残っており、これを効率的に取り外す必要がある。これを解決する工具を開発した (特許出願)。

従来は、効率化のために電動ドライバを使い、きちんとネジの位置合わせをして大量のネジをひとつひとつ取り外すしかなかった。しかし、頭を出して残したネジを取る際には、ネジとドライバの精密な位置合わせをする必要はなく、飛び出した頭をローラで挟み込み回転させ緩めることが可能と判断し、この原理を用いたネジ取り工具を試作開発した。この機構には、機械による自動化に対応するために、ガイドに沿ってネジを回転ローラに誘導するための位置誤差を吸収する機構を装備したことで、粗雑に並んでいるネジを効率よく除去することが可能となった。

(4) ウォータージェットによる天井ボード解体技術

天井ボードや取り付け金具である軽量鉄骨の物性と設置構造 を分析することにより、超高压ウォータージェットを用いることで、軽量鉄骨を傷つけることなく、天井ボードの高速解体が可能なることをしめした。その要点は以下である。

①石膏ボードの切断条件の明確化 (

軽量鉄骨を損傷せずに天井石膏ボードのみを高速切断 (最大 1m/s) を可能とする切断条件を明確化した。

②切断走査方法の開発

天井ボードの切断走査方法を考案し、ボードの回収方法を含めて実用的切断方法を階層的に整理した (線切断、回転のノズル、揺動、ネジ部切断の利用)。切断方式の組み合わせによって、室内のほぼすべての領域における切断作業を可能とした (図 3-8)。

③埋設軽量鉄骨・ネジの検出方法の開発

天井ボード下にあり、視認できない軽量鉄骨とボードを固定しているネジを検出する方法を開発した (磁石の垂直・水平方向力の検出)。図 3-9 にその外観を示す (特許出願)。



図 3-8 ウォータージェット切断状況



図 3-9 軽鉄検出センサー

(5) 全方位前方向移動ロボットと重畳階層制御

2WD2WS 方式の全方位全方向移動ロボットと既開発の環境知覚階層重畳制御を実装したロボットを開発し、その有効性をモックアップ試験で検証した。

(6) モジュール化とRTミドルウェア分散機能モジュール化とOMG標準IOの導入

移動ロボットと水圧マニピュレータのソフトウェア構成は分散機能モジュールのアーキテクチャをもとに階層化した。また、モジュールIOはOMG標準に基づき設計した。この技術の適用によって、ロボットのすべての設計を短期間(4ヶ月)に設計・製作を実現することができた。

(7) ネットワークプラグインアクチュエータ

アクチュエータのハードウェアもモジュール化した。すなわち、CANを用いてすべてのセンサー、アクチュエータがネットワークにプラグイン的に結合されている。このことによって、プロトタイプロボットの機外配線はCAN(指令コマンドのみ)1本、水圧用2本、電源1本、および、WJフレキシブル配管1本に簡素化され、実用的なケーブル捌きが実現可能となる。

(8) アクティブキャスター

建築現場では、資材の搬送だけでも専属の人手が取られている。そこで、建築の資材搬送に使われる台車をRT化したものとして、従来の台車のキャスターにアクチュエータを付加したアクティブキャスターを開発した。アクティブキャスターは自律分散処理で制御されていることから、台車の様々な場所に適当に設置でき、設置後、簡単な自動キャリブ



図 3-10 アクティブキャスター付ゴミ台車

レーション操作を行うことで、すぐに動作可能となる。また、パッシブキャスターとアクティブキャスターを併用して使用できることから、積載重量によって、フレキシブルにキャスターの数や構成を変更できるシステムとして（図 3 - 10）。

2)-6 実証ロボット（プロトタイプロボット）の開発及び実証実験

プロトタイプでは、システム機能検証、解体工具の開発を実施するとともに、要求ロボット価格の実現性も含め、事業性を確認する。開発体制はロボット製作企業と使用企業の協調方式とする。現有技術と開発技術を統合することによって、実用システムが実現可能と判断した。

2)-6-1 基本機能検証

モデルビルを選定し、一連の天井解体作業（蛍光灯等の照明機器撤去、天井ボード解体撤去、軽量鉄骨固定ネジ除去、廃材回収等）を実施し、プロトタイプロボットの要素技術、および、システムの実現性を検証した。また、装置コストの目途付を行う必要がある。

2)-6-2 4軸水圧マニピュレータ移動作業ロボットの開発

マニピュレータ：これまでに明らかにされた移動ロボット、汎用水圧マニピュレータの設計手法に基づき、以下の改良を行う。

- (1) 剛性向上：汎用性を重視し、市販パワーショベルのシリンダ径や構造を踏襲したが、高速制御（市販品には不要）下の剛性が不足することが分かり、駆動系剛性向上を図る（シリンダ径の大径化）。
- (2) 配線・配管簡素化：マニピュレータ本体への機器実装（サーボ弁、センサーアンプ、PC等）によるロボットへの配線簡素化（AC 100V 1本）、配管（WJ用 1本、水圧サーボ用 2本）、ロータリジョイントと専用フレキシブルホースの適用によるWJホースの低拘束化による運動性向上を図る。図 4-1 にその構想図をしめす。サーボ弁においては、これまでの知見によって、省エネルギー効果の高めるための極小リーク化も可能であることが分かり、開発した設計手法に沿って改良を実施する。

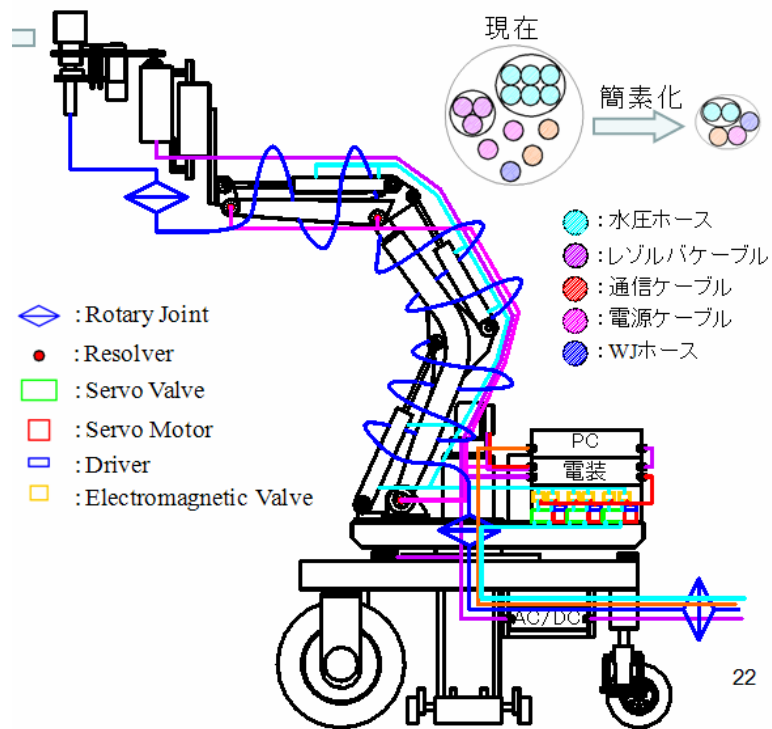


図 4.-1 機動性のための省配線と省配線

- (3) 工具信頼性：天井との衝突事故も考慮して、頑強性を向上するとともに、シール構造化によって完成度を向上させる。
- (4) 操作簡易化：人・ロボット協調制御システムの実装を行う。これによって、マニピュレータの手先工具を交換することで、重量物保持、ウォータージェット切断工具の案内等、多様な作業に適用が可能となる。

主仕様：質量	350 (350) kg
負荷能力	30 (25) kg 以上
速度	0.5 (0.3) m/s (マニピュレータ)
	1(1)m/s (移動ロボット)
精度	5(2)mm (マニピュレータ)
	5 (3) cm (移動ロボット)

() 内は SG での実現値

2)-6-3 性能向上と機器低コスト化

キー要素は、本工事に適正化された超高压ポンプ（小流量化）、水圧サーボ弁の製作方法、移動ロボット電源であり、加工の容易な構造や瞬間パワー補償電源を設計する

(移動ロボット)。

2)-6-4 実証対象と事業化ための機能目標

- ① 1フロア 1、000 m²程度の事務所ビルを施工し、以下を実作業環境下で検証する。
- ② 主仕様：工期 4日(現状6日) 人員 3名(5名)

2)-7 その他の項目

2)-7-1 安全性の検討状況

本システムには、人とロボットの協調作業を含むため、本質的安全性を考慮して、以下の安全設計コンセプトを導入する。

(1) 優先度1 (原則)：ロボット作業領域からの人の排除

人のロボット操作をロボット近傍からの遠隔化することで、ロボット作業領域への作業員の立ち入りを禁止する。この作業モードでは人とロボットが接触する作業は排除され、作業安全性は保証される。

(2) 優先度2 (人・ロボット接近作業時)：ロボット電源停止による本質安全の確保

人とロボットが協調作業の基本は、重量物の保持作業である。この機能は水圧ロボットが液圧システムであることを考えれば、ノーマルクローズ型の電磁弁を用いることで容易に実現できる。

(3) 優先度3 (人・ロボット近傍作業時)：センサによる接近距離計測と安全確保

超音波を利用した人とロボット間の相互位置を検出するセンサの搭載を検討しており、人の危険エリア侵入を検知しロボットの動作を抑制する。

2)-7-2 開発技術の波及

開発技術には波及効果の高いものがある。代表的なものを以下に示す。

(1) ウォータージェット切断工法

従来のウォータージェット切断は、低速、水浸しのイメージが強く、適用されてこなかった。本開発によれば、超高速、微小濡れ程度で内装品切断作業が実現可能で、石膏ボードや木製パネル、仕上げ材等の様々な材料の切断工法を大きく変革できる可能性がある。本開



図 5-1 人手による天井ボードの解体

発では、人に負けない速度の天井ボード解体手法を採用するための切断条件（圧力 280Mpa、水量 3l/min、回転・揺動ノズル）を世界に先駆けて明確化した。この方法によれば、高速（1m/sec 以上）、幅広切断（0.5-20mm）の切断が可能であり、天井ボード固定部の高精度検出や走査を不要とし、ロボット化の実現性を容易化することができる（特許出願）。

なお、この工法は人でも利用（図 5-1）することができるが、切断位置の同定、上向き作業、切断分の落下等の疲労要因が多いこと、不注意による事故も想像され、ロボット化が有利な手段ではあるが、一部の狭隘部等への適用はロボット化の実用性を高める観点では注目に値する。

（2）省エネルギー水圧システムの波及

環境問題解決の観点から、建設機械等の油圧機械の省エネルギー性向上は急務である。開発の水圧システムはこれらの機械への適用が有望であり、新しい省エネルギー環境対応機械への展開が期待できる。また、開発するサーボ弁の製造は通常の企業でも製作容易に可能であり、サーボ弁の再国産化にも寄与でき、国際競争力強化に繋がる。

（3）ネジ取りの工具の応用

開発したネジ取り工具は、ロボットを使った自動化用に設計したものであるが、ロボットに装着するためのコンプライアンス機構を取り除いた本体機構に両手で持てるような取手を付けることで、便利なハンドツールとしても活用が可能になる（特許出願手続き中）。

（4）一般作業者の作業確実化と容易化

ID タグによる作業ガイダンスと操作性の良い遠隔操作器の組み合わせによって、高齢者や非熟練者の RT 機器操作が大幅に改善され、様々なシステムに広く活用が期待できる。

2)-8 結論

研究開発の結果、以下の結論を得た。

- （1） 少子高齢化時代の社会を支える省人化作業システムのひな形となるロボット作業システム
- （2） を提言した
- （3） その作業システムが事業化可能であることを示した。
- （4） ロボット作業システムを技術的に可能であることをモックアップ実験によって実証した。
- （5） 構成するロボットを実現するための以下の要素技術を開発した。
 - ・ ID タグシステム

- ・ 省人化のための人・ロボット協調作業制御
- ・ ウォータージェット工法
- ・ 水圧マニピュレータと小流量水圧サーボ弁
- ・ 天井ボード下の軽量鉄骨検出センサー
- ・ 高速ネジ取り装置
- ・ アクティブタグ移動台車

(6) 開発要素技術が波及性の高いものであることをしめした。

表 2)-8-1 に上記をまとめる

表 2)-8-1 成果まとめ

研究項目 (基本計画 内容)(*1)	目的	本開発の目標	成果	達成度
①建物解体時に発生する廃棄物材質の判定手法	(1) 建設廃材の分別	(1) 5種類の廃材の分別	(1) 人・ロボット協調方式の仕組みの中で人が判別し、IDタグに入力[001]	(1) 目標達成
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	(1) 解体廃材のリサイクルの促進	(1) 廃材のリアルタイム分別を可能とする。 (2) 5種類以上の廃材の分別	(1) ID タグを用いて解体廃材のリアルタイム分別を可能とする手法を開発[002] (2) カラス、鉄板、アルミ、石膏、鉄屑の 5 種類を分別[003]	(1) 目標達成 (2) 目標達成
③解体现場で使用可能で、かつ、建設機械相当の耐環境性	(1) 汎用性、頑強性、機動性、省エネルギー性を併せ持つマニピュレータの実現	(1) 建設機械相当の耐環境性	(1) 市販ミニショベルをベースマシンとした水圧マニピュレータを実現[004]	(1) 目標達成 世界初

<p>を持つ次世代マニピュレータの開発</p>	<p>(2) 人と協調可能な安全な作業環境の実現</p> <p>(3) 天井解体作業を可能とする。</p> <p>(4) 省エネルギー作業システムの実現</p>	<p>(2) 人の作業時の本質安全を可能とする。</p> <p>(3) 自律遠隔融合対応と高精度位置決め</p> <p>(4) 液圧省エネルギーマニピュレータ</p>	<p>(2) 人作業時の停止ロックを実現。本質安全の実現[005]</p> <p>(3) 自律制御、遠隔制御の基本操作方式を実現[006]。</p> <p>(4) 低漏洩水圧マニピュレータの実現。油圧並みの制御性と内部漏洩を実現[007]</p>	<p>(2) 目標達成</p> <p>(3) 目標達成</p> <p>(4) 目標達成 世界初</p>
<p>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 (複合操作、操作感覚、力制御、ビジュアルサーボ等)</p>	<p>(1) 人とロボットの共存作業システムの実現</p> <p>(2) 非熟練工のロボット捜査を可能とする。</p> <p>(3) 安全性確保</p>	<p>(1) 人・ロボットの安全な協調システム</p> <p>(2) 操作性の良い操作器の実現</p> <p>(3) 安全コンセプト立案</p>	<p>(1) ロボット作業を重量物保持に特化し、人が簡便にロボットを捜査する制御システムを実現[008]。</p> <p>(2) エンコーダージャoystickと自律制御の併用によって、容易な操作方式を実現[009]</p> <p>(3) 階層的安全の実現[010]</p>	<p>(1) 目標達成 世界初</p> <p>(2) 目標達成</p> <p>(3) 目標達成</p>
<p>⑤その他の技術</p>	<p>(1) 時代の要請に基づく事業の創出</p> <p>(2) 波及性の高い技術の創出</p>	<p>(1) 少子高齢化対応事業</p> <p>(2) 現状をしのぐ作業工法開発</p>	<p>(1) 作業人員を半減するシステムの開発[011]</p> <p>(2) 超高压ウォータージェット</p>	<p>(1) キーコンセプトを提言</p> <p>(2) 新工法を提言</p>

			導入し、作業時間、速度を現状より短縮。水圧源のコストダウン検証を残す[012]。	世界初
		・ L G S 検出センサー	・ 磁石式センサーを開発[013]	・ 簡易で安定
	(3) 作業効率性の向上	(3) 高速ネジ除去	(3) 摩擦式ネジ取り手法の開発。安定性検証を残す[014]	(3) 画期的高速化
	(4) 設計効率化	(4) 設計コストの低減。多様ロボットの統一設計法	(4) R T ミドルウェア、N P A, I C N の導入によって短期間設計を実現[015]	(4) 多様ロボットの統一設計が可能なことを検証
	(5) 付帯システム機器の実現性	(5) 自在搬送キャリアの実現	(5) アクティブキヤスター搭載[016]キャリアの実現	(5) 自在性を検証

3) 成果の意義

本研究の成果の意義を下記の観点でまとめる。

① 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。

研究開発の狙う市場は、拡大しているビルのリニューアル工事であり、現状工法の代替え市場が期待される。特に、今後の少子高齢化時代に適合する提案のRTシステムは、少子化社会の進展とともに必須となっていくと判断する。

② 成果は、世界初或いは世界最高水準か。

従来方式と同等以上の施工能力を半分の人員で実現したことは画期的である。技術的にも、解体作業における人・ロボットの協調施工実現、ウォータージェットを用いた天井ボード切断解体方法等、世界最初の成果である。

③ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。

IDタグを活用した人・ロボット協調のRT解体技術、ウォータージェットの新施工技術、省エネルギー水圧技術など更なる進展が期待できる。

④ 成果は汎用性があるか。

開発した要素技術は単独でも利用可能であり汎用的技術である。特に、省人化RT作業の概念は少子高齢化時代の作業システムのひな形として活用可能である。

⑤ 投入された予算に見合った成果が得られているか。

当初計画予算の50%で、計画になかった天井解体ロボット検証まで実現することができた。予算以上の成果が得られた判断する。

4)特許の取得状況

表1 特許の取得状況

特許の名称	特徴・強み・新規性
ねじ取り工具 1件	高速除去、自動検出倣い
天井解体工法 1件	高速、ウォータージェットの活用、埋設物センサーとロボット走査方式との組み合わせ。
下地センサおよび下地検出機構ならびに内装工事用ロボット 1件	長距離非接触・高速検出。高速習い、頑強性の確保。簡便機構で安価。

添付資料2 国内出願

番号	出願日	出願番号	名称	発明者
1	平成20年12月3日	特願2008-308664	「ねじ取り工具」	神徳 徹雄（ 前田 純一郎
2	平成21年2月27日	特願2009-046548	「天井解体工法」	大道 武生 新井 健生、 前 泰志 神徳 徹雄 谷川 民生 前田 純一郎
3	平成21年2月27日	特願2009-046551	「下地センサおよび下地検出機構ならびに内装工事用ロボット」	大道 武生 新井 健生 前 泰志 神徳 徹雄 谷川 民生 前田 純一郎

5) 成果の普及

研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2006. 12	計測自動制御学会部門講演会 SI2007	空間機能化のための分散型アクチュエーションモジュール	友國 伸保 谷川 民生（産総研） 金 奉根 大場 光太郎 平井 成興
2006. 12	SICE / RSJ / JSME 合同ミニシンポジウム	廃材分別を考慮した環境対応型解体作業支援ロボットの研究開発	大道 武生（名城大） 新井 健生（大阪大） 神徳 徹雄（産総研） 前田 純一郎（清水建設）
2007. 04	日本機械学会	Development of Network Plug-in Actuator	井土 卓也（名城大） 堀田 宗利（名城大） 大道 武生（名城大） 関 重夫（多摩川精機） 小山 順二（ハーモニック・ドライブ・システムズ）
2007. 05	日本機械学会 Robomec 2007	廃材分別を考慮した環境対応型解体作業支援ロボットの研究開発	大道 武生（名城大） 新井 健生（大阪大） 井上 健司（山形大） 神徳 徹雄（産総研） 谷川 民生（産総研） 前田 純一郎（清水建設）
2007. 05	日本機械学会 Robomec 2007	ICN を用いた水圧システムの機能評価	福森 聡哲（名城大） 小阪 正朋（名城大） 鬼頭 順也（名城大） 大道 武生（名城大）
2007. 05	日本機械学会 Robomec 2007	液圧システムの効率評価	鬼頭 順也（名城大） 小阪 正朋（名城大） 福森 聡哲（名城大） 大道 武生（名城大）

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007.05	日本機械学会 Robomec 2007	人・ロボット協調解 体システム（第1報 基本構想）	新井健生（大阪大） Rolando CRUZ(大阪大) 石塚裕介（大阪大） 田窪朋仁（大阪大） 井上健司（山形大）
2007.05	日本機械学会 Robomec 2007	Dismantling System by Human Robot Collaboration - 2nd Report Preliminary Experiment	Rolando CRUZ(大阪大) 新井健生（大阪大） 田窪朋仁（大阪大） 井上健司（大阪大） 石塚裕介（大阪大）
2007.8	計測自動制御学 会論文集	モジュール型高信 頼性移動ロボットの システムアーキテク チャ開発と応用	大道 武生（名城大） 永井 建（名城大） 森 和弘（名城大） 足立 佳儀（名城大） 手嶋 高梓（名城大）
2007.09	第25回日本ロボ ット学会学術講演 会	Dismantling System by Human Robot Collaboration -3rd Report Ceiling Lamp Frame Disassembling Task-	Rolando CRUZ(大阪大) 石塚裕介（大阪大） 新井健生（大阪大） 前泰志（大阪大） 田窪朋仁（大阪大）
2007.09	第25回日本ロボ ット学会学術講演 会	遠隔教示用入力デ バイスのユーザビリ ティ評価	石塚裕介（大阪大） Rolando CRUZ(大阪大) 新井健生（大阪大） 前泰志（大阪大） 田窪朋仁（大阪大）

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007.12	計測自動制御学会部門講演会 SI2007	資材情報化による 建築内装材の解体シ ステム（ニーズの整理 とシステム構想の提 案）	前田純一郎（清水建設）
2007.12	第8回計測自動制 御学会システムイ ンテグレーション 部門講演会	Dismantling System by Human Robot Collaboration Pose Measurement of Light Gauge Steel	Rolando CRUZ(大阪大) 石塚裕介（大阪大） 前泰志（大阪大） 田窪朋仁（大阪大） 新井健生（大阪大）
2007.12	第8回計測自動制 御学会システムイ ンテグレーション 部門講演会	IDタグを活用した 解体作業支援	神徳徹雄（産総研） 谷川民生（産総研） 金奉根（産総研） 大場光太郎（産総研）
2007.12	計測自動制御学 会部門講演会 SI2007	4軸水圧アームの 設計	坂井 裕（名城大学） 田部井 聡（名城大学） 鈴木 浩章（名城大学） 大道 武生（名城大学）
2007.12	計測自動制御学 会部門講演会 SI2007	水圧ロボットのサ ーボ系設	小阪 正朋（名城大学） 坂井 裕（名城大学） 大道 武生（名城大学）
2007.12	計測自動制御学 会部門講演会 SI2007	水圧システムの効 率評価	鬼頭 順也（名城大学） 稲山 智一（名城大学） 大道 武生（名城大学）
2007.12	計測自動制御学 会部門講演会 SI2007	空間機能化のため の二車輪型のアクテ ィブ・キャストの運動 モデル	李 在勲 金 奉根 谷川 民生 大場 光太郎
2007.12	計測自動制御学 会部門講演会 SI2007	分散アクチュエー タの運用環境とアク ティブ・キャストの実 装	富沢 哲雄 高木和貴（芝浦工業大学） 谷川 民生 大場 光太郎 水川 眞

発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.03	第17回建設施工ロボットシンポジウム	廃材分別を考慮した環境保全型解体作業ロボットの研究開発	大道武生 (名城大学) 新井健生 (大阪大学) 神徳徹雄 (産総研) 谷川民生 (産総研) 前田純一郎 (清水建設)
2008.05	2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation	Dismantling Interior Facilities in Buildings by Human Robot Collaboration	Rolando CRUZ(大阪大) 前泰志 (大阪大) 石塚裕介 (大阪大) 田窪朋仁 (大阪大) 新井健生 (大阪大)
2008.6	日本機械学会 ROBOMECH 2008	廃材分別を考慮した環境対応型解体作業支援ロボットの研究開発 (その2)	前田 純一郎 大道 武生 新井 健生 神徳 徹雄 (産総研) 谷川 民生
2008.06	日本機械学会 ROBOMECH 2008	直動型サーボ弁の開発	稲山 智一 (名城大) 秋田 知英 (名城大) 小阪 正朋 (名城大) 鬼頭 順也 (名城大) 大道 武生 (名城大)
2008.06	日本機械学会 ROBOMECH 2008	水圧マニピュレータの制御手法の研究	鈴木 浩章 (名城大) 田部井 聡 (名城大) 坂井 裕 (名城大) 大道 武生 (名城大)
2008.06	日本機械学会 ROBOMECH 2008	ウォータージェットによる天井ボード高速解体手法の開発	脇田 昌明 (名城大) 名和 徹夫 (名城大) 浅田 輝彦 (名城大) 大道 武生 (名城大)
2008.06	日本機械学会 ROBOMECH 2008	Detection of Screws on Metal Ceiling Structures for Dismantling Interior of Building	Rolando CRUZ(大阪大) 石塚裕介 (大阪大) 前泰志 (大阪大) 田窪朋仁 (大阪大) 新井健生 (大阪大)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.06	日本機械学会 ROBOMECH 2008	ID-tag based information system for a building demolition robot	Biggs Mark Geoffrey 谷川 民生 神徳 徹雄
2008.06	日本機械学会 ROBOMECH 2008	空間分散アクチュ エーションモジュー ルの開発	高木和貴 (芝浦工大) 富沢哲雄 谷川民生 大場光太郎 水川真 (芝浦工大) 安藤吉伸 (芝浦工大)
2008.06	25 th International Symposium on Automation and Robotics in Construction	Detection of Screws on Metal Ceiling Structures for Dismantling Systems	Rolando CRUZ (大阪大) 前泰志 (大阪大) 石塚裕介 (大阪大) 田窪朋仁 (大阪大) 新井健生 (大阪大)
2008.09	2008 International Symposium on Flexible Automation	Usability of Interface Devices for Human Robot Collaboration	石塚裕介 (大阪大) Rolando CRUZ (大阪大) 前泰志 (大阪大) 田窪朋仁 (大阪大) 新井健生 (大阪大)
2008.09	第26回日本ロボ ット学会学術講演 会	Changing Illuminant Pose for Model-based Object Recognition in Interior Dismantling Tasks	S. Rolando Cruz-Ramirez Yasushi Mae Tatsuo Arai Tomohito Takubo Kenichi Ohara
2008.09	第26回日本ロボ ット学会学術講演 会	動的物体地図の容 易な生成法	石塚 裕介 前 泰志 大原 賢一 田窪 朋仁 新井 健生

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008.09	The 2008 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems	Detection of Screws on Metal-Ceiling Structures for Dismantling Tasks in Buildings	S. Rolando Cruz-Ramirez Yasushi Mae Tomohito Takubo Tatsuo Arai
2008.12	第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	Human-Robot Collaboration for Removing Interior Appliances in Office Renewal	CRUZ-RAMIREZ S. Rolando MAE Yasushi ARAI Tatsuo TAKUBO Tomohito OHARA Kenichi
2008.12	第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門後援会(SI2008)	環境情報化によるリニューアル天井解体作業システムの開発	前田 純一郎 (清水建設) 大道 武生 (名城大学) 新井 健生 (大阪大学) 神徳 徹雄 (産総研) 谷川 民生 (産総研)
2008.12	第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門後援会(SI2008)	ウォータージェットによる天井ボード高速解体手法の開発その2	脇田 昌明 (名城大学) 名和 徹夫 (名城大学) 芦澤 怜史 (名城大学) 稲葉 一哉 (名城大学) 黒宮 裕介 (名城大学) 渡辺 聖也 (名城大学) 大道 武生 (名城大学)
2008.12	第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門後援会(SI2008)	直動型水圧サーボ弁の開発その2	稲山 智一 (名城大学) 渡辺 聖也 (名城大学) 黒宮 裕介 (名城大学) 大道 武生 (名城大学) 脇田 昌明 (名城大学)
2008.12	第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門後援会(SI2008)	環境情報化によるリニューアル天井解体作業システムの開発	前田純一郎 (清水建設) 大道武生 (名城大学) 新井健生 (大阪大学) 神徳 徹雄 谷川 民生

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008. 12	第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門後援会 (SI2008)	IDタグを用いた解体作業支援システム,	神徳 徹雄 谷川 民生 Biggs Mark Geoffrey 金 奉根 大場 光太郎
2008. 12	第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門後援会 (SI2008)	動的物体地図を用いた教提示インタフェース	石塚裕介 前泰志 大原賢一 田窪朋仁 新井健生
2009. 02	The 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics	Simple Method for Generating Dynamic Object Map	Yuusuke Ishizuka Yasushi Mae Kenichi Ohara Tomohito Takubo Tatsuo Arai
2009/05/25 (発表予定)	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009	Ceiling beam screw removal using a robotic manipulator	Geoffrey Biggs Tamio Tanikawa Tetsuo Kotoku