

平成30年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「革新的技術による探査型ロボットの
省エネ化・小型軽量化・低コスト化の技術開発」

研究開発成果等報告書

平成31年3月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 一般財団法人 地域産学官連携ものづくり研究機構

目次

第1章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-1-1	研究開発の背景	3
1-1-2	研究目的	3
1-1-3	研究目標	4
1-1-4	当初の目的及び目標に対しての実施結果	5
1-2	研究体制	8
1-2-1	研究組織（全体）・管理体制	8
1-2-2	研究者氏名	8
1-2-3	協力者（アドバイザー）	11
1-3	成果概要	11
1-4	当該研究開発の連絡窓口	13
第2章	本論一（1）	13
2-1	本研究開発の内容及び成果	13
最終章	全体総括	20
3-1	複数年の研究開発成果	20
3-2	研究開発後の課題・事業化展開	21

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景

当社は、自動車用重要保安部品のプレス・切削・溶接・熱処理加工、太陽光発電・蓄電ハイブリッドシステムの組み立てと制御盤の部品、並びに組み立て加工、アミューズメント機の部品加工から組み立て加工、及び軽量化した新幹線車両の椅子の生産等、4つの事業領域を主要としている。また、大手自動車部品会社とAGV (Automatic Guided Vehicle)の共同開発を進めている。新事業では、OMCと共同でLED採用の農業温室システムの研究開発と実用化開発をしている。さらに、環境に優しい工場作りを目指して、工場屋根や駐車場に県内でも有数な太陽光発電発電能力 1,950kw を設置している。

当社の関連するコア技術は、種々の筐体の材料の加工技術と小型軽量化技術であるので、これら技術の一層の向上と、川下企業と連携して蓄積した技術を活かし探査型レスキューロボット（以下探査型ロボットと称す）の開発が必須と考えている。

社会的ニーズとして、熊本地震や東日本大震災等の未曾有の災害において、多くの命が失われた救命活動から行方不明者の早期の捜索が必要で、災害発生から72時間以内の救護の有無が人命の生存率を大きく左右する。そのために、全壊・半壊の家屋に対してレスキュー隊、消防・警察の職員が、行方不明世帯の家屋の調査を一軒ずつ行っている現状がある。問題となるのはその作業性と危険性であり、被災地の状況から瓦礫や障害物が散乱した状況下では捜索が困難であり、レスキュー隊の危険性を考えると、効率的かつ安全に各家屋の調査が行える探査型レスキューロボットが強く求められている。しかし、災害時の探査型ロボットに関して、例えば千葉工業大学のレスキューロボット「Hibiscus」は赤外線サーモグラフィやレーザレンジファインダを搭載するなど高性能ではあるが大型であるため、狭小空間では扱いにくく価格も500万円程度と高価格で、しかも実験機しか提供がなく、そのニーズに答えられていないのが現状である。

また、大和ハウス工業の「moogle」はグループ会社内で導入・運用されている。距離センサを搭載し小型・軽量ではあるが整備された環境での使用を目的とされ災害地の悪路を走行することや階段等を昇降することは困難である。

1-1-2 研究目的

従来市場に提供されている狭小空間点検ロボットは、障害物の走破や階段等の昇降が極めて困難であり、移動不全に陥ることも少なくない。また、大学等から提供されている救護用ロボットは、500万円程度と高価格である。

探査型ロボットの機能として、住宅内の階段における急な段差（平均傾斜45度）や転倒家具・瓦礫等の障害物のある環境下で走破が可能で、加えて転倒を未然に防ぐためのセンシング技術が必要である。また、本ロボットは、エンジン駆動でなく、電池で駆動するシステムを採用しており、探索を広範囲に行うためにはバッテリー容量に左右されるので、長時間稼働を実現するためには、省電力化が必須であ

る。

しかし、従来技術では、瓦礫や建物内の中を移動するための特殊な移動機構を採用している報告もあるが、従来の機器は、急な段差や瓦礫等が障害となり、移動不全となる機器が多い例や高機能化を追求したことによる種々のセンサーや機器の追加による本体の大型化や重量の増加、種々のセンサーや機器の制御が起因となる消費電力の増加などの問題がある。本研究では、稼働時間の長時間化や筐体の軽量化、コストの低減などの課題が多く残されているため、これらの課題を解決し実用化を目指した探査型ロボットの研究開発に取り組む。

1-1-3 研究目標

前述で示した探査型ロボット開発における具体的な取り組みと研究目標を以下に示す。

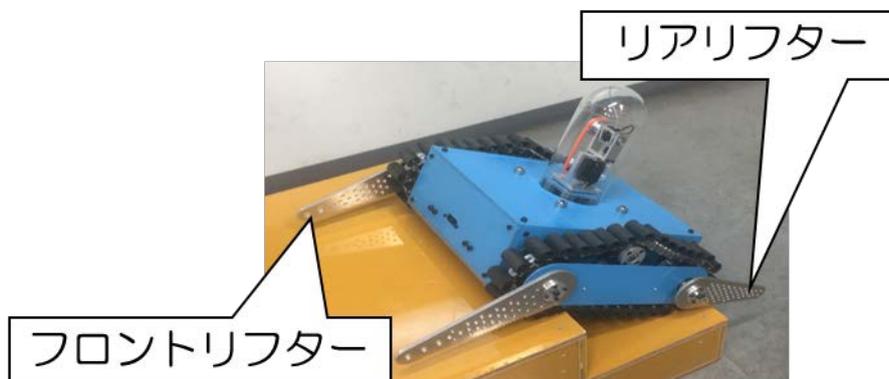


図1 探査型ロボット（試作機）

表1 本体目標仕様と現在の仕様

仕様	研究開発の目標内容	本事業の研究テーマ	試作モデル
寸法 (mm) (長さ×幅×高さ)	400 (リフター収納時)~ 500 (リフター使用時) × 400 × 250 (幅×高さ: カメラ含む)	* 筐体の軽量化技術 * 放熱性シミュレーション 技術	390 (リフター収納時)~ 600 (リフター使用時) 446 × 324
本体重量 (kg)	15 以内		18
最大登坂角度 (度)	45 (階段平均角度)	* クローラーの駆動方式の 研究 * リフター部の研究	33 (試験時の角度)
最大速度 (m/min)	6.6 以上		14.1
活動時間 (min)	60 以上		約 40
駆動	9.6V・22.2V バッテリー ×各 1	* 電池制御技術、 * 駆動力の省エネルギー技 術	9.6V・22.2V バッテリー ×各 1
本体 (モーター類、駆動)	• 駆動用 DC モーター × 2 • リフター制御 × 2 • サーボモーター × 2		• 駆動用 DC モーター × 2 • リフター制御 × 2
コントローラの 到達距離 (m)	20		12
操作モジュール	簡易操作コントローラ (タブレット端末等を使用)	* コントローラの技術 * センサー技術	専用操作コントローラ
カメラ視認範囲 (度)	全方位視認 2 軸 (水平 360、上下 180)		全方位視認 1 軸 (水平 360)

主なセンサー	<ul style="list-style-type: none"> ・測距離センサー ・ジャイロセンサー ・マイクロフォン×1 ・通信機器 (X-Bee) ・探査用カメラ×1 	*センサー技術	<ul style="list-style-type: none"> ・通信機器 (X-Bee) ・ピンホールカメラ
目標の販売価格	200万円以下		

1-1-4 当初の目的及び目標に対しての実施結果

本研究では、1-1-2の研究目的で示したように事業化を可能にするために、省エネ化・小型軽量化・低コスト化を達成した探査型ロボットの高度化に向けて、取り組むべき具体的目標と本体の各要素技術の開発課題として以下に示す。

【1 瓦礫・障害物等の移動システムの開発】

【1-1 クローラーの駆動システムの研究開発】

- ・目標：スプロケットの20%の軽量化

クローラーの動力伝達は、平歯車を用いた構造を適用する。内蔵する電池の能力に限りがあるため、動力損失を少なくするための、動力伝達の設計技術が極めて重要である。特に、伝達効率を上げるためには、クローラーの軽量化とスプロケットとチェーン間の伝達力の損失やモーターの低トルク向上のギアヘッド効率を上げねばならない。

【1-2 階段昇降の能力の研究開発】

- ・目標：階段昇降角度 (max) 45度

災害現場の状況を想定した結果、探査型ロボットを使用する現場では、平坦で活動しやすい状態ではなく、種々の障害物が散乱している状況下や一般家屋を探索環境としているため、障害物の走破や段差及び階段の昇降が必要になる。これを解決するためにはリフターの研究開発が必須で、5種類のリフター形状を試作し、33°～45°の階段の角度を昇降し評価する。

当初、リフター機構を用いて障害物の走破や階段昇降を行うことを想定していたが、研究開発を進めていく過程でリフター機構では障害物・階段昇降が困難と判断し、リフター方式を改め大きく走破性の向上を図る目的で、アーム機構を考案した。

【1-3 駆動システムの省エネルギー化と電池の長寿化の研究開発】

- ・目標：活動時間 1 時間以上

探査型ロボットのクローラー及びアームの動作には、大きなトルクが必要故に大電流が必要である。また、ロボット筐体では、小型軽量化が求められる部品を配置するスペースには限りがある。そのため、大電流が供給可能で小型軽量のLiPoバッテリーの選定をする。

【1-4 DC モーターのインバータ制御・省エネルギー化の研究開発】

- ・目標：10%以上の省電力化

バッテリーから電力を供給し駆動に多くの DC モータを採用するため、インバータ制御回路を開発し、省電力化を進める。

【2 筐体の軽量化】

【2-1 Al、Mg 合金、鋼のFSW 溶接技術の研究開発】

- ・目標：異種金属接合の実現

探査型ロボットの筐体として異種金属を想定した場合、部品の固定方法としてねじやボルトでの締結があるが部品の増加による重量増の問題がある。また、溶接では熱による歪や割れなどの影響が生じ、同金属の溶接が一般的である。筐体の軽量化を図るためには、Al 合金、Mg 合金、ハイテン鋼などの異種金属同士をFSW を用いて製作する必要がある。そのため、最適条件を模索し、加工技術の確立を目指す。

【2-2 CFRP の筐体への利用技術（試作モデル機はFRP）の研究開発】

- ・目標：筐体の20%の軽量化

試作モデル機の筐体は軽量化を考慮しFRP を採用し製作したが、ポリエステル製の2液品を採用したので、反応時間の終了まで、48 時間以上の養生時間が必要であり、生産性が極めて悪い。この解決策として、軽量で強度があるCFRP を筐体の材料として使用する。しかし従来は、CFRP の成形にオートクレーブ炉方式が使用され、5時間以上の成形時間を要する。生産効率を上げるため、数分で製作可能な温間プレス加工を用いて加工技術の確立を図る。

【2-3 筐体内の放熱の研究開発】

- ・目標：半導体、コンデンサ、モータ等の表面温度60℃以下

部品の発熱が原因による故障を防ぐため、半導体、コンデンサ、モータの表面温度を60℃以下に保つ必要がある。そのためには、異常がない事を確認するためサーミスタを搭載し、温度把握をする。

【2-4 非破壊検査の評価】

- ・目標：材料費のコスト削減50%

弊社では、製品の品質保証のため種々の部品で破壊試験をするケースが多々あるが、本来良品として出荷できた製品を破壊試験しているため、試験後は廃棄となり材料費・製作費が増大してしまう問題がある。そのため、超音波非破壊検査装置を用いて、サブテマ2-1 の異種金属の溶接部の欠陥の有無やサブテマ2-2 のCFRP のプレス成形品の可否判別を行い、製品保証技術の確立を図り材料費のコスト低減をする。

【3 センサー・電子デバイスとコントローラの開発、及び充電ステーションの評価】

【3-1 カメラ撮像の2軸駆動の研究開発】

- ・目標：カメラの視野範囲を水平360度、垂直180度、足元30cm以上

探査型ロボットを操作する上で、水平360度、垂直180度の視野範囲を確保することは必要不可欠で視認できない場合は移動不全に陥ったり、操作性が著しく低下する。また、ロボットの足元は死角となるため、操作性向上を図るためには視認する必要がある。そのため、ロボットの足元は30cm以上の視認が可能なシステムの開発を行う。

【3-2 ジャイロセンサー・マイク活用の研究開発】

- ・目標：転倒防止角度45度、40dBの人の声の検出

探査型ロボットの機能として、障害物の走破や階段昇降時の機体角度の変化によりロボットが転倒する恐れが生じてしまう。そこで、ジャイロセンサーを用いて、その時の状況下での機体角度を検出可能とし45度まで傾いたら転倒を未然に防止する機能を付与する。また、災害現場では多くの騒音が存在することを想定し、ノイズのフィルタリング研究を行い、要救助者を発見した際には意識確認ができるように人の声を聞き取れるようにする。

【3-3 ユーザーアプリケーションの研究開発】

- ・目標：ソフトとタブレットはWi-Fi通信、通信距離20m以上、

ロボットの遠隔操作により、半壊もしくは全壊の恐れがある一戸建て家屋の隅から隅までを探索するためには20mの通信距離が必要と想定し、試作機12mからの通信距離の向上を図る。コントロール機器の操作性は、使い勝手の良い物が求められるため、カメラとタブレットの映像の送受信ではWi-Fiを採用したユーザーアプリケーションソフトの開発をする。

【3-4 停電時の充電ステーションの評価】

- ・目標：充電ステーションの10%以上の販売価格のコストダウン

被災地の停電時を想定して、太陽光発電や発電機で電源を確保して、ロボットへの充電の整合性を評価する。また、電力供給先のソーラーパネルや発電機が一般ユーザが購入可能な価格にコストの低減を目指す。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織（全体）・管理体制

●H28年度・H29年度・H30年度

	H28年度・H29年度	H30年度
事業管理機関	一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構	
研究実施機関	オグラ金属株式会社（※主たる研究実施機関）	
	保泉工業株式会社	
	株式会社リアライズコンピュータエンジニアリング	
	国立大学法人群馬大学	
	関東職業能力開発大学校（H28.8.1～H30.3.31）	東北職業能力開発大学校（H30.4.1～H31.3.31）

※研究開発担当者の人事異動により実施体制の変更あり。

統括研究代表者（PL） オグラ金属株式会社 顧問 江良勝夫（H28.8.1～H30.7.31） 技術部部长 須永利明（H30.8.1～H31.3.31）

副統括研究代表者（SL） オグラ金属株式会社 技術部部长 須永利明（H28.8.1～H30.7.31） 技術部 技術Gr ラインリーダー 武田陽（H30.8.1～H31.3.31）

図2 H28年度～H30年度の実施体制

1-2-2 研究者氏名

●一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構

表2 一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構人員表

(管理員)		
氏名	所属・役職	実施内容（サブテーマ番号）
小林豊	常務理事・事務局長	
大須奈緒美	総務担当	

●オグラ金属株式会社

表3 オグラ金属株式会社人員表

(管理員)		
氏名	所属・役職	実施内容（サブテーマ番号）
小倉勝興	代表取締役社長	
小倉乃里子	取締役副社長執行役員	
(研究員)		
氏名	所属・役職	実施内容（サブテーマ番号）
江良勝夫	顧問	・1-①
須永利明（PL）	技術部 部長	・1-②
小倉健一	経営企画室 室長	・1-③
石岩克己	技術部 生産技術 Gr グループリーダー	・2-①
上田朝秋	製造部 第1製造 Gr グループリーダー	・2-②
大橋明央	品質保証部 品質保証 Gr グループリーダー	・2-③

須田昌永	技術部 技術 Gr グループリーダー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2-④ ・ 3-① ・ 3-② ・ 3-③ ・ 3-④
武田陽 (SL)	技術部 技術 Gr ラインリーダー	
江口尚延	技術部 生産技術 Gr	
向田和樹	技術部 技術 Gr	
矢島直登	技術部 生産技術 Gr ラインリーダー	
野中哲哉	技術部 生産技術 Gr	
小倉賢大	品質保証部 品質保証 Gr	
設楽好正	技術部 技術 Gr	
安藤知弘	技術部 生産技術 Gr	
(管理員兼研究員)		
氏名	所属・役職	実施内容 (サブテーマ番号)
築瀬昌文	総務部 部長	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1-① ・ 1-② ・ 1-③ ・ 2-① ・ 2-② ・ 2-③ ・ 2-④ ・ 3-① ・ 3-② ・ 3-③ ・ 3-④

●保泉工業株式会社

表4 保泉工業株式会社人員表

(管理員兼研究員)		
氏名	所属・役職	実施内容 (サブテーマ番号)
保泉裕一	代表取締役社長	・ 2-①
保泉達也	専務取締役	・ 2-②
(研究員)		
氏名	所属・役職	実施内容 (サブテーマ番号)
吉武秀和	技術課	・ 2-① ・ 2-②
(管理員)		
氏名	所属・役職	実施内容 (サブテーマ番号)
西村江美	総務課	

●株式会社リアライズコンピュータエンジニアリング

表5 株式会社リアライズコンピュータエンジニアリング人員表

(管理員兼研究員)		
氏名	所属・役職	実施内容 (サブテーマ番号)
齊藤孝則	代表取締役社長	・1-④ ・3-③
(研究員)		
氏名	所属・役職	実施内容 (サブテーマ番号)
白石洋一	取締役 CTO	・1-④ ・3-③
林明京	取締役	
小林康博		
岡大輔		

●国立大学法人群馬大学

表6 国立大学群馬大学人員表

(研究員)		
氏名	所属・役職	実施内容 (サブテーマ番号)
中沢信明	准教授	・2-③ ・3-① ・3-②

●東北職業能力開発大学校

表7 東北職業能力開発大学校人員表

(研究員)		
氏名	所属・役職	実施内容 (サブテーマ番号)
小林崇	生産技術科 特任職業能力開発教授	・1-① ・1-② ・1-③ ・1-④ ・2-③ ・3-① ・3-② ・3-③

※H28年度、H29年度は関東職業能力開発大学校を研究実施機関とする。(研究員同上)

1-2-3 協力者（アドバイザー）

表8 協力者（アドバイザー）人員表

氏名	所属・役職	具体的な協力内容
瀬川裕明	田淵電機株式会社 主事	ロボットの開発、マーケティング及び充電ステーションの評価
久米原宏之	一般財団法人地域産学官連携ものづくり研究機構 リサーチフェロー	技術指導及び品質管理
尾崎功一	国立大学法人宇都宮大学 教授	ロボット開発のコンセプト、 技術方向等の指導
柏寄勝	国立大学法人宇都宮大学 准教授	ロボット開発のコンセプト、 技術方向等の指導
須齋嵩	工房パートナーズ 代表	技術開発の指導

1-3 成果概要

表9 年度毎の実施スケジュール及び取組内容及び成果

	平成28年度		平成29年度			平成30年度		
	中期	後期	前期	中期	後期	前期	中期	後期
1.瓦礫・障害物等の移動システムの開発								
1-① クローラーの駆動システムの研究開発								
・オグラ金属 ・能開大	スプロケットの選定		スプロケットの試作（材質変更： 機械構造用炭素鋼→MCナイロン）			スプロケットの試作（更なる軽 量化：肉抜き・特注）		
1-② 階段昇降の能力の研究開発								
・オグラ金属 ・能開大	リフター、アームの検討			リフター 試作	アーム試作（アーム長さ・形状を考慮）			
1-③ 駆動システムの省エネルギー化と電池の長寿命化の研究開発								
・オグラ金属 ・能開大	仕様を満足するバッテリーの選定・見直し					バッテリーの小型軽量化		
1-④ DC モーターのインバータ制御・省エネルギー化の研究開発								
・リアライズ ・能開大	DC モーターのモータドライバの製 作（自作）			汎用品モータドライバの活用（開発期間の増大や製品保 証管理の必要性から自作断念）				
2.筐体の軽量化								
2-① Al、Mg 合金、鋼のFSW 溶接技術の研究開発								
・オグラ金属 ・保泉工業	—		加工条件検討・使用ツ ールの準備		FSW を用いたサンプル品の製作（同種金 属：A5052）			

2-② CFRP の筐体への利用技術（試作モデル機はFRP）の研究開発				
・オグラ金属 ・保泉工業	—	軽量化のための筐体設計	ロボット筐体の製作（軽量化） CFRP の成形・打ち抜き加工の確立	ロボット筐体の製作（ロボットサイズの適正化） CFRP の曲面成形加工の確立
2-③ 筐体内の放熱の研究開発				
・オグラ金属 ・能開大 ・群馬大学	—	電子基板のヒートシンクの検討	放熱性を高める筐体構造の検討	温度センサ搭載による温度把握（故障を未然に防ぐ）
2-④ 非破壊検査の評価				
・オグラ金属	—			非破壊検査装置活用によるサンプル品（CFRP）の評価
3. センサー・電子デバイスとコントローラの開発、及び充電ステーションの評価				
3-① カメラ撮像の2軸駆動の研究開発				
・オグラ金属 ・能開大 ・群馬大学	カメラ駆動（機構）の設計		パンチルト機構を用いた視認範囲の確保（水平360°、垂直180°）	360°カメラの搭載（省エネ化・軽量化・操作性の向上）
3-② ジャイロセンサー・マイク活用の研究				
・オグラ金属 ・能開大 ・群馬大学	—		段差や階段昇降時の転倒防止機能（部品試作）	ジャイロセンサ搭載によるロボット機体角度の把握 トランシーバー活用による音声機能の付与
3-③ ユーザーアプリケーションの研究開発				
・オグラ金属 ・能開大 ・リアライズ	—	コントローラー自作	汎用品コントローラーの活用（品質管理や操作性を考慮し自作） 断念）	コントローラーによるLED及び制御信号の操作の実現
3-④ 停電時の充電ステーションの評価				
・オグラ金属	—		バッテリー交換検討（連続運転に向けて）	バッテリー交換作業の効率化 停電時の充電ステーションの立案

※前期：4月・5月・6月・7月とする。

※中期：8月・9月・10月・11月とする。

※後期：12月・1月・2月・3月とする。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

オグラ金属株式会社

技術部 須永利明

〒326-0013 栃木県足利市川崎町1310

連絡先 TEL 0284-91-4117

FAX 0284-91-4130

URL info@ogura-gr.co.jp

第2章 本論一(1)

2-1 本研究開発の内容及び成果

以下に製作した探査型ロボットの大きさ及び性能表を示す。

※青字で記載している箇所は前のロボットに対して性能が向上しているものとする。



図3 探査型ロボット(1号機)

表10 探査型ロボット(1号機)の大きさ及び性能表

項目	大きさ及び性能など
全長×幅×高さ(mm)	400×430×340
重さ(kg)	16.2<18.0(10%軽量)
探索用装備	リフター×4、カメラ×1、コントローラ
最高速度(m/min)	14.1
活動時間(min)	40
登坂角度(°)	33



図4 探査型ロボット（2号機）

表 11 探査型ロボット（2号機）の大きさ及び性能表

項目	大きさ及び性能など
全長×幅×高さ (mm)	645 (※830) × 565 × 278
重さ (kg)	21.0
探索用装備	アーム×2、無線カメラ×2、LED、 タブレット×2、コントローラ
最高速度 (m/min)	14.1 < 16.7 (18%増速)
活動時間 (min)	40 < 60 (50%増大)
段差踏破高さ (mm)	なし < 160 (踏破可)
登坂角度 (°)	33 < 34 (パレットの段差)
付加機能	なし < 速度制御機能

※寸法はアームを伸ばした状態の寸法とする。



図5 探査型ロボット（3号機）

表 12 探査型ロボット（3号機）の大きさ及び性能表

項目	大きさ及び性能など
全長×幅×高さ (mm)	760 (※1060) × 665 × 310
重さ (kg)	40.0

探索用装備	アーム×2、無線360°カメラ×2、LED、 タブレット×2、コントローラ
最高速度 (m/min)	16.7<20 (19%増速)
活動時間 (min)	60
段差踏破高さ (mm)	160<180 (20mmUP)
登坂角度 (°)	34 (階段角度)
付加機能	速度制御機能

※寸法はアームを伸ばした状態の寸法とする。

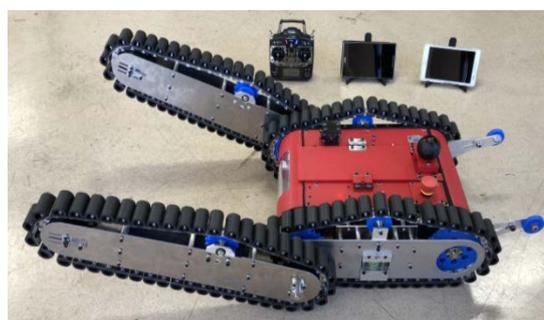


図6 探査型ロボット (4号機)

表 13 探査型ロボット (4号機) の大きさ及び性能表

項目	大きさ及び性能など
全長×幅×高さ (mm)	730 (※1225) ×640×300
重さ (kg)	37.0
探索用装備	アーム×2、無線360°カメラ×2、LED、 タブレット×2、コントローラ
最高速度 (m/min)	16.6
活動時間 (min)	60
段差踏破高さ (mm)	180<200 (20mmUP)
登坂角度 (°)	34 (パレットの段差) <41 (階段角度)
付加機能	速度制御機能

※寸法はアームを伸ばした状態の寸法とする。



図7 探査型ロボット（5号機）

表 14 探査型ロボット（5号機）の大きさ及び性能表

項目	大きさ及び性能など
全長×幅×高さ (mm)	730 (※1240) ×630×310
重さ (kg)	35.0<37.0 (5%軽量)
探索用装備	アーム×2、無線360°カメラ×2、LED、タブレット×2、コントローラ
最高速度 (m/min)	16.6
活動時間 (min)	60
段差踏破高さ (mm)	200
登坂角度 (°)	41 (階段角度)
付加機能	速度制御機能

※寸法はアームを伸ばした状態の寸法とする。

【1 瓦礫・障害物等の移動システムの開発】

【1-1 クローラーの駆動システムの研究開発】

- ・目標：スプロケットの20%の軽量化

スプロケットの材質を炭素鋼から樹脂にすることで目標の20%の軽量化は達成した。障害物の走破や階段昇降を優位にするため、チェーンサイズを模索しながら変更を実施し、最適なチェーンサイズを選定した。

表 15 各探査型ロボットのスプロケット詳細

項目	試作機	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機
チェーンサイズ		RS40		RS60		RS50
材質	炭素鋼	樹脂				
スプロケット個数 (メイン)	4					
スプロケット個数 (アーム)	なし		4			

スプロケット重量 (kg)	3.18	0.56	1.7	5.6	2.4	2.1
※合計個数						
減量率 (%)	100	-83減	-46減	+76増	-25減	-34減
最高速度 (m/min)	14.1		16.7	20.0	16.6	

【1-2 階段昇降の能力の研究開発】

- ・目標：階段昇降角度 (max) 45度

一般家屋の階段の平均角度 45 度を昇降するためには、探査型ロボットの課題を解決する必要がある。実施した内容を以下に示す。

表 16 探査型ロボットの課題及び評価

探査型ロボット	前の探査型ロボットに対する課題	試作した探査型ロボットの評価	階段昇降角度 (°)
1号機	リフター形状の変更	リフター機構では目標の階段の昇降が困難	33
2号機	アームの実装、ロボットサイズの適正化	45度の階段昇降不可。	34
3号機	アームの長さ及び大きさの変更		34
4号機	アームの長さ・重心位置の変更		41
5号機			

走破性向上のため、ロボットの機構の変更内容及び障害物の走破の評価結果を以下に示す。

表 17 探査型ロボットの機構及び評価

項目	試作機	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機
ロボット (前)	リフター	アーム				
ロボット (後)	リフター	-				
段差踏破高さ (mm)	-	-	160	180	200	

階段昇降の結果としては、33度~41度までの階段の昇降は可能とした。

【1-3 駆動システムの省エネルギー化と電池の長寿化の研究開発】

- ・目標：活動時間60分以上

探査型ロボットの活動時間 60 分を満足するためには、活動時間に見合った最適な電池容量を模索する必要がある。下記に各探査型ロボットで選定したバッテリーの内容を示す。

表 18 バッテリー選定内容

用途	項目	試作機	1号機	2号機	3号機	4号機 5号機
駆動用バッテリー	電池の種類	LiPo				
	電圧 (V)	22.2				
	容量 (mAh)	10000				
	重さ (g)	1250			1247	
基盤用バッテリー	電池の種類	NiMH	NiMH	-	LiFe	LiPo
	電圧 (V)	9.6	9.6	-	6.6	11.1
	容量 (mAh)	1600	4200	-	1800	850
	重さ (g)	185	500	-	92.2	68
送信機用バッテリー	電池の種類	NiMH	NiMH	LiFe		
	電圧 (V)	12	12	6.6		
	容量 (mAh)	2200	3800	2100		
	重さ (g)	275	575	105		
	活動時間 (分)	40	60			

駆動用・基盤用・送信機用のバッテリーの小型軽量化を進めるとともに、活動時間60分を満足した。

【1-4 DC モーターのインバータ制御・省エネルギー化の研究開発】

- ・目標：10%以上の省電力化

開発当初は、DC モーターの制御基盤を自作していたが（試作機・1号機）、事業化においてはメンテナンスが困難などの問題が見出された。2号機からは開発期間の短縮や汎用品活用を取り入れた場合の製品保証を含む管理面から優位性が確認できたので、汎用品のスピードコントローラを活用し、50%の省電力化を達成した。

表 19 試作機と1号機～5号機までの比較（省電力化）

項目	試作機・1号機	比較	2号機・3号機・4号機・5号機
バッテリー容量 (mAh)	10000	=	10000
活動時間 (分)	40	<	60

【2 筐体の軽量化】

【2-1 Al、Mg 合金、鋼のFSW 溶接技術の研究開発】

- ・目標：異種金属接合の実現

FSW を用いて下記の内容で突合せ接合を実施し、回転速度 (rpm)、送り速度 (mm/min)、切り込み量 (mm) を変化させ最適な加工条件を模索し、加工技術の確立を図った。

表 20 実施した FSW 実験内容

寸法 (mm)	t1.5×50×180
材質	A5052

【2-2 CFRP の筐体への利用技術（試作モデル機は FRP）の研究開発】

- ・目標：筐体の 20% の軽量化

CFRP の研究開発では、金型温度を一定の温度に管理した温間プレスによる CFRP の成形加工方法として、板の成形や打ち抜き、曲面成形加工を実施し加工技術の確立を図った。

筐体の軽量化では、試作機の材質を見直し、1号機を下記の内容で製作することで、ロボットの総重量として、約 10% の軽量化を達成した。

表 21 筐体詳細一覧表

項目	試作機	1号機
筐体材質	A5052+FRP	CFRP
筐体重量 (kg)	3.8	0.6
ロボット総重量 (kg)	18	16.2

【2-3 筐体内の放熱の研究開発】

- ・目標：半導体、コンデンサ、モータ等の表面温度 60℃ 以下

制御部発熱によりロボットに搭載された各素子への熱影響による故障を未然に防ぐために、筐体内外に温度センサを搭載し素子へのダメージを抑制するために筐体内外の温度を数値化させ温度表示を可能にした。下記に温度センサの設置箇所を示す。

表 22 温度センサの詳細一覧

項目	設置箇所
モータ温度	各モータの表面
筐体内部温度	ロボット筐体（内部）
筐体外部温度	ロボット筐体（外部）

【2-4 非破壊検査の評価】

- ・目標：材料費のコスト削減 50%

弊社では、製品の品質保証のため破壊試験を行い強度試験を実施していたが、超音波非破壊検査装置を用いて、サブテーマ 2-2 で製作した CFRP の板成形品や完成品を有効活用し溶接部の接合部/未接合部の判定を可能にしたことで、100% のコスト削減（材料費）を達成した。

【3 センサー・電子デバイスとコントローラの開発、及び充電ステーションの評価】

【3-1 カメラ撮像の2軸駆動の研究開発】

- ・目標：カメラの視野範囲を水平360度、垂直180度、足元30cm以上

1号機・2号機ではサーボモータを使用しパンチルト機構を用いて水平360°、垂直180°のカメラの視野範囲を確保していたが、視認方向を変えるには回転が必要で時間を要していた。3号機～5号機では360°カメラを使用することで、無回転による視野範囲を確保した。これにより、省エネ化、軽量化、操作性の向上が確認できた。

【3-2 ジャイロセンサー・マイク活用の研究開発】

- ・目標：転倒防止角度45度、40dBの人の声の検出

ジャイロセンサを搭載し、ロボットの機体の傾きを数値及び図で表示を可能とし、ロボットの機体角度を把握できたので、段差の走破や階段昇降時のロボットの転倒防止として操作を可能とした。

要救助者発見の際の意識確認のため、トランシーバーをロボットに搭載及び操作者の手元に用意し、音声認識を可能にできたことから探索状況下での要救助者の声を認識可能とした。

【3-3 ユーザーアプリケーションの研究開発】

- ・目標：ソフトとタブレットはWi-Fi通信、通信距離20m以上、

1号機ではコントローラーを自社製作していたが、開発期間の短縮や製品保証管理の必要性などから2号機以降では汎用品のコントローラーを使用した。その結果、タブレットとカメラの通信距離は37mまで拡大できた。また付加価値として、暗闇対応用のLEDの点灯や制御信号をコントローラーで操作可能とし、操作性の向上が図れた。

【3-4 停電時の充電ステーションの評価】

- ・目標：10%以上の販売価格のコストダウン

開発当初は停電時の電力供給先として、太陽光発電や発電機から電力を供給する方法を検討していたが、近年の技術の進歩により電気自動車（EV）やプラグインハイブリッド車（PHV）などから電力を供給する方法が注目されている。ACコンセント（1500W）が装備されているため、停電時の電力供給先としての立案を行った。

また、バッテリーは交換方式を採用し、予備電池を準備しておけば連続運転が可能となる。交換作業をスムーズに行うため、取付ねじの着脱数を減らす工夫を実施した。

最終章 全体総括

3-1 複数年の研究開発成果

探査型ロボット（試作機）を基に従来の課題を解決する研究開発を実施し、以下のように探査型ロボットを試作した。1号機では、軽量化を図るため、ロボットの筐体の材料をCFRPで製作し10%の軽量

化を達成した。2号機では、リフター機構を廃止し、アームの付与やカメラを前方・後方の2コ搭載することで視野範囲を確保し、走破性の向上と操作性の向上が図れた。3号機では、2号機の問題点を改善するため、チェーン・スプロケットをサイズアップさせ、34°の階段を昇降可能にした。4号機では更なる階段角度の昇降のため、全長を伸ばすことで41°の階段の昇降性能を得た。5号機は、4号機を5%軽量化した。以上のように複数年に渡って探査型ロボットに改良を重ねることで、掲げた目標を概ね達成することが出来た。一部のサブテーマの項目でニーズの調査結果からの仕様変更や試行錯誤を繰り返し研究開発を実施したが目標未達となってしまった項目もあるが、全体を通して本プロジェクトを効率的に進めることができた。

また、製作したロボットは、展示会に出展し探査型ロボットをPRするとともに、来場者の方々から具体的なニーズを調査したり、販売想定先の消防署とは、フィールドテストやロボットの無償貸出を行い、実際に使用して頂いてのロボット操作や実用的な課題を提案して頂き、事業化に向けた探査型ロボットの製作ができニーズを反映させることができた。

以上のように実用化を想定し、実際の災害現場で使用できる探査型ロボットの開発を進めた。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

戦略的基盤技術高度化支援事業で従来技術を高度化させる目標を掲げ、試作機を基に研究開発を行い目標の一部を除いて満足する探査型ロボットの開発は出来たが、事業化に向けた製品化への取り組みは未だ初期段階である。特に、災害現場を想定した走行実験評価や本体構造や仕様を裏付ける公的機関での試験の実施はこれからの課題である。しかし、製作した探査型ロボットを販売想定先に無償貸出を行いニーズを調査しながら、製品化を目指して本研究開発に取り組んだため、実用化できれば需要はあると考える。今後も探査型ロボット開発プロジェクトは引き続き進め、事業化を目標にロボットの改良・性能評価を実施していく。