



# **「災害対応無人化システム研究開発プロジェクト」 における研究開発成果**

**平成25年2月20日**

**独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構**

# 【目次】

プロジェクト概要	1
----------	---

開発成果物一覧	4
---------	---

(1) 作業移動機構の開発	5
---------------	---

- 小型高踏破性遠隔移動装置の開発
  - 狭隘空間先行調査型移動ロボットSakura「櫻」の開発
  - 重量物計測器搭載型移動ロボットTsubaki「椿」の開発
  - 移動ロボット遠隔自動充電システムの開発
  - 小型移動ロボット遠隔除染システムの開発
- 通信技術の開発
- 遠隔操作ヒューマンインターフェースの開発
- 狭隘部遠隔重量物荷揚／作業台車の開発
- 重量物ハンドリング遠隔操作荷揚台車の開発

(2) 計測・作業要素技術の開発	13
------------------	----

- ガンマカメラの開発
- 汚染状況マッピング技術の開発
- 災害対応ロボット操縦訓練シミュレータの開発
- 水陸両用移動装置の開発

(3) 災害対策用作業アシストロボットの開発	17
------------------------	----

- 災害対策用ロボットスーツHAL®の開発

# プロジェクトの概要

## 概要

1. 期 間:平成24年2月23日～平成25年2月28日

2. 予 算:9.96億円(平成23年度第3次補正予算)

3. 概 要:

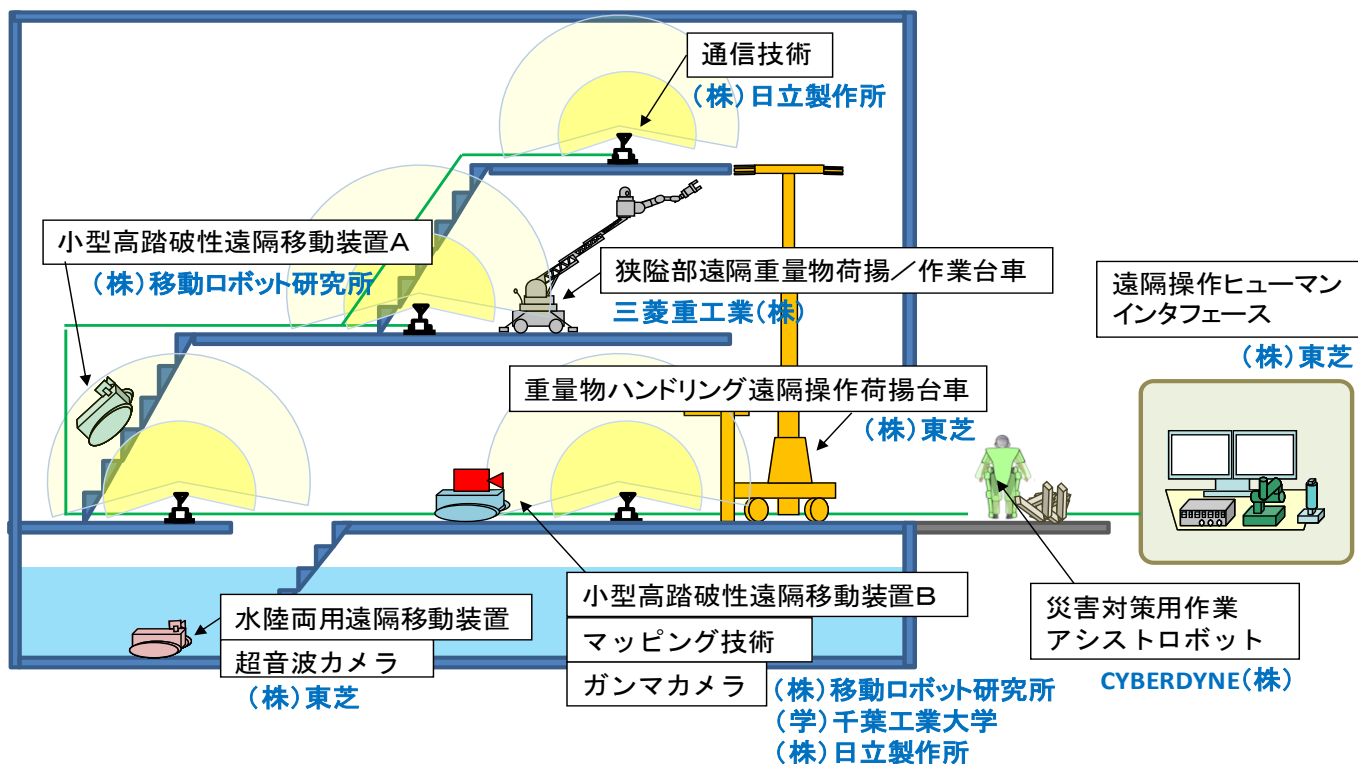
(1)災害等によって家屋や産業施設等※が被災し、作業員の立ち入りが困難となった状況において、速やかに状況把握、機材等の運搬、復旧活動等を行うための災害対応無人化システムの研究開発。




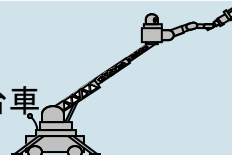
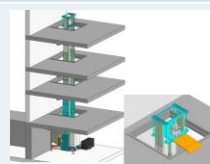

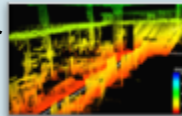
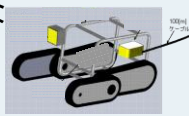

※原子力災害に特化した開発ではなく、自然災害や、産業施設全般の事故、災害等を想定した無人化システムの開発。

(2)福島第一原子力発電所に対しても、今後の燃料棒取り出し、原子炉や建屋の解体・廃炉等の作業に向けて、事前の環境調査、機材の搬入、除染、工事等に広く活用できる。

## 実用イメージ

小型高踏破性遠隔移動装置、狭隘部遠隔重量物荷揚／作業台車、重量物ハンドリング遠隔操作荷揚台車、災害対策用作業アシストロボット等の各技術が、共通の通信技術、ヒューマンインタフェース等により連携し、先行調査、機材の搬入・設置、工事、有人作業等を行うことが可能。



開発項目	実施者	概要
<b>(1) 作業移動機構の開発</b>		
小型高踏破性 遠隔移動装置	株式会社 移動ロボット研究所	過酷環境下でも使用可能な 狭隘空間先行調査型の小型移動装置や 重量計測機器搭載可能な移動装置 他 
通信技術	株式会社 日立製作所	過酷環境下で使用可能な 汎用性の高い通信技術 
遠隔操作ヒューマン インタフェース	株式会社東芝	汎用性の高い ヒューマンインタフェース 
狭隘部遠隔重量物 荷揚／作業台車	三菱重工業 株式会社	作業員の立ち入り困難な建屋内の 高所の作業が可能な荷揚／作業台車 
重量物ハンドリング 遠隔操作荷揚台車	株式会社東芝	建屋各階(最上30m)へ機器等の 搬入が可能なスーパーリフター 
<b>(2) 計測・作業要素技術の開発</b>		
ガンマカメラ	株式会社 日立製作所	小型高踏破性遠隔移動装置への搭載 により高線量下での計測が可能なカメラ 
汚染状況 マッピング技術	学校法人 千葉工業大学	周囲の構造物や環境等の情報を統合 して3次元表示するマッピング技術 他 
水陸両用移動装置	株式会社東芝	水中の構造物や水流の調査が可能な 水中調査センサとそれを搭載可能な 水陸両用の遠隔移動装置 
<b>(3) 災害対策用作業アシストロボットの開発</b>		
災害対策用作業 アシストロボット	CYBERDYNE 株式会社	過酷環境下で作業員の安全に配慮した有人 作業を可能にする作業アシストロボット 他 

※イメージ図については説明の都合上、便宜的に作成したものであり、実物と異なる場合がございます。  
成果物の詳細は次ページ以降をご覧ください。

# 開発成果物一覧

# 小型高踏破性遠隔移動装置の開発

## — 狭隘空間先行調査型移動ロボットSakura「櫻」の開発 —

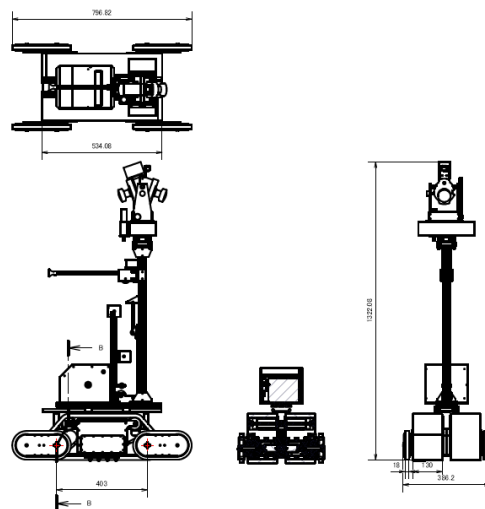
### 概要

災害時に、人が立ち入り困難な原子炉建屋内や地下施設設備等の保全状態と線量の調査を行える狭隘空間先行調査型移動ロボットSakura「櫻」を開発。

### 基本機能・性能

Sakuraは、階段や段差などの不整地の走行性能を損なうことなく小型化している。例えば、原子炉建屋内の地下に通じる階段は、幅が70cm、傾斜角度は42度あり、地上部分より20cm狭く、2度急峻な場所である。

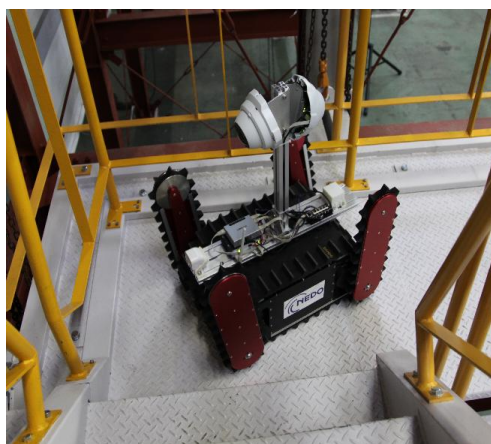
この環境に適応するために、低重心設計、前方のサブクローラ先端プーリをステンレスにして、重心位置の適正化をしている。



### 実用イメージ

Sakuraには、長さ300mのケーブルを保有する自動通信ケーブル巻き取り装置が装備されており、ロボットは、安全な場所から遠隔操作可能である。得られた線量データや施設設備の保全状況などは大型モニターにより確認することができる。期待されるミッション例として以下が想定される。

- ① 圧力抑制室の保全状況(映像・音)
- ② 高機能移動カメラ「目」として無人化施工建設機械の支援
- ③ 狭隘空間の線量マップ作製



幅70cmの階段踊り場で  
旋回するSakura

### お問い合わせ先

株式会社 移動ロボット研究所 担当:小柳 栄次  
TEL:047-478-4470  
FAX:047-478-0588



# 小型高踏破性遠隔移動装置の開発

## ー重量計測器搭載型移動ロボットTsubaki「椿」の開発ー

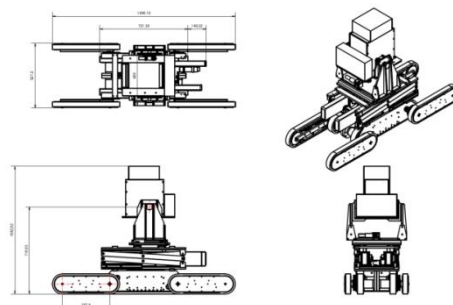
### 概要

放射線源を特定できるガンマカメラを搭載可能な重量計測器搭載型移動ロボットTsubaki「椿」を開発。本ロボットを使用して計測情報を収集することで、建屋内の汚染状況マップを作製することが可能。

### 基本機能・性能

床面の汚染状況を正確に得るには、カメラを高い位置に固定し、俯瞰視する必要がある。

そのため、「Tsubaki」には約90kg近くの重さがあるガンマカメラをリフトアップするパンタグラフ機構と、カメラをパン・チルトする機構が装備している。一方で、ロボットが大きくなると機動性が劣ることになるため、小型化にも配慮している。



### 実用イメージ

原子炉建屋内の床面、壁面、天井、各種装置、配管などすべての資材から放射される線量マップを作製。このマップ情報により、除染可能資材を除去する。また、できない部材は遮蔽することになる。

建屋内の除染や遮蔽の施工が終了した後も、ガンマカメラで再調査することにより、人が立ち入ることのできる作業環境を構築することを支援できる。



#### 【主な使用】

長さ:1500mm、幅:530mm、高さ:710mm

ロボット本体の重量:72kg

パンタグラフ機構の重量:41kg

カメラのパン・チルト機構:20kg

ガンマカメラの重量:90kg

### お問い合わせ先

株式会社 移動ロボット研究所 担当:小柳 栄次

TEL:047-478-4470

FAX:047-478-0588



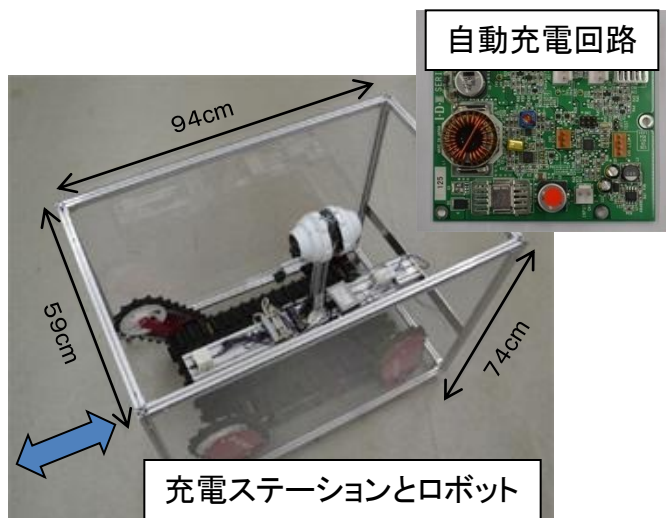
# 小型高踏破性遠隔移動装置の開発 ー移動ロボット遠隔自動充電システムの開発ー

## 概要

ロボットに触れることなく、バッテリーを充電できる移動ロボット用遠隔自動充電システムを開発。

## 基本機能・性能

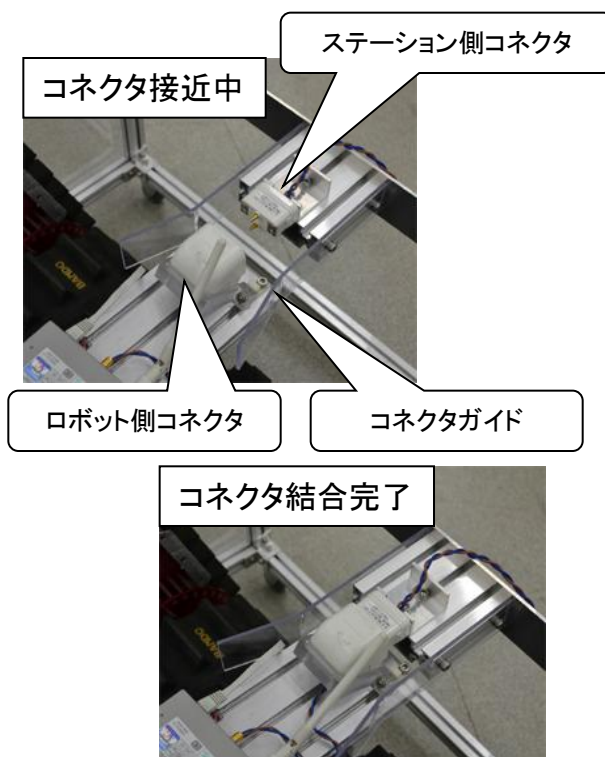
- ①小型移動ロボットに、自動充電回路と電源ソケットを装備し、遠隔操作で充電ステーションに進入し停止する。
- ②自動充電回路は、バッテリーの安全性を確認しつつ、充電電流を制御するように作られている。
- ③4～6時間充電を行い、自動的に充電を終了することが可能。



## 実用イメージ

災害対応ロボットには、防水、防塵機能が求められる。このため、バッテリーの交換作業はかなりの時間を要し、例えば、高放射線という状況下では、その間に人は被曝することになる。

自動充電ステーションは、人の被曝をゼロにするとともに、充電中のロボットも遮蔽することが可能である。また、原子炉建屋内にステーションが設置されると、ロボットに搭載されている高機能カメラは、定点観測装置として24時間のモニタリングが可能になる。



## お問い合わせ先

〒 千葉工業大学

furo  
Future Robotics Technology Center

千葉工業大学未来ロボット技術研究センター

担当: 先川原正浩

TEL: 047-478-0567

FAX: 047-478-0568

# 小型高踏破性遠隔移動装置の開発 ー小型移動ロボット遠隔除染システムの開発ー

## 概要

クローラ表面に付着した放射性物質を超音波と気泡により洗い落とすことが可能な小型移動ロボット遠隔除染システムを開発。

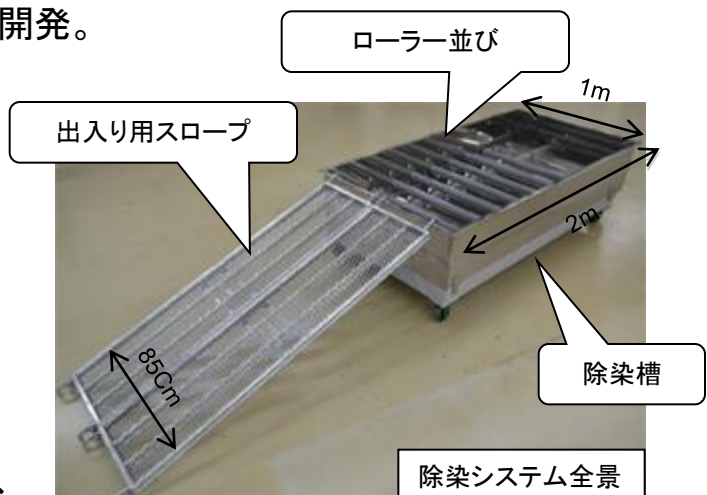
## 基本機能・性能

原子炉建屋内で活動するクローラ型移動ロボットは、クローラの表面に放射性物質が付着し、作業員さんらの被曝とロボットのメンテナンスを著しく困難にしている。

本装置では、ロボットのクローラ部分を集中的に「洗う」ことにより除染し、放射性物質に起因する経年劣化を低減する。

## 実用イメージ

ロボットの汚染の大部分は、クローラに付着した放射性物質である。本装置ではロボットが自走して除染槽に入り、ローラー上をゆっくりと空走することにより、一様にクローラ表面を洗浄する。洗浄後、ロボットは自然乾燥させ、メンテナンスや必要なオプション機材の装着などの作業を、安全に行うことが可能となる。



## お問い合わせ先

千葉工業大学



千葉工業大学未来ロボット技術研究センター  
担当: 先川原正浩  
TEL: 047-478-0567  
FAX: 047-478-0568

# 通信技術の開発

## 概要

災害対応無人化システムにて開発される遠隔操作型移動装置が、長期的・安定的に制御・操作可能となるよう、多重性・多様性を有する無線通信システムを開発。

## 基本機能・性能

- ①無線LAN規格に適合する周波数から異なる2種類の周波数(5.2GHz、4.9GHz)で相互バックアップ可能な通信システム。
- ②無線通信中継局の運搬・設置・ケーブル接続を無人にて行い、電源供給、通信信号の安定的供給が可能。
- ③無線通信中継局間のケーブル断線が生じた場合でも無線でバックアップする有線／無線ハイブリッド方式を採用。またバッテリーにより通信環境を維持することが可能。
- ④無線通信中継局の故障、中継局間のケーブル断線等の故障事象を管理用コンピュータにてモニタリングが可能。
- ⑤ロボット搭載通信機器を1BOX化。



無線通信中継局



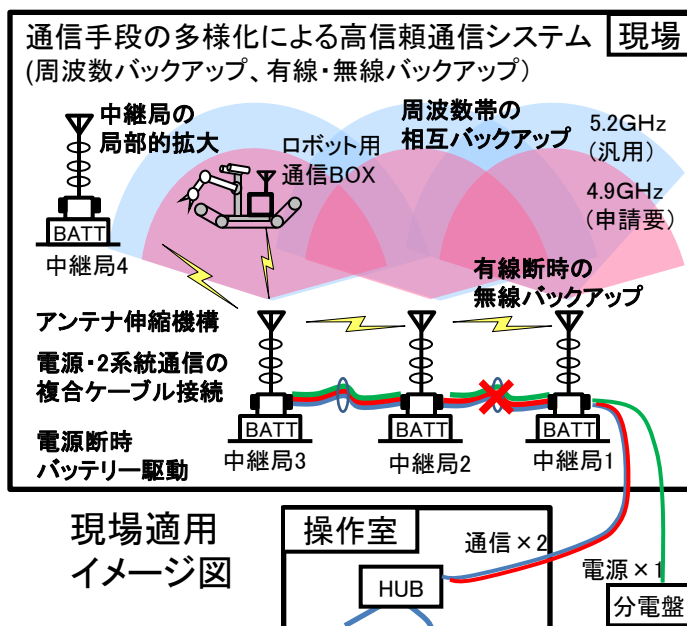
ロボット用通信BOX(縦型)



ロボット用通信BOX(平型)

## 実用イメージ

- ①災害現場において、複数の無線通信中継局の設置、ケーブル接続により、広域の無線通信可能エリアを構築する。
- ②中継局の追加設置(無線中継)により、遠隔操作型移動装置の稼動エリアの局所的な拡大が可能となる。
- ③中継局の故障、接続ケーブルの断線等の発生時には、故障箇所の取替えにてシステムの維持が可能となる。



## お問い合わせ先

株式会社日立製作所 原子力事業統括本部  
 担当: 米谷 豊  
 TEL: 0294-55-5473  
 FAX: 0294-55-9703



# 遠隔操作ヒューマンインターフェースの開発

## 概要

ロボット操作の品質確保とロボット操作員リソースの有効活用のため、共通化した遠隔操作ヒューマンインターフェース(HIF)を開発。

## 基本機能・性能

### 基本機能：

- ①操作方法の共通化(図1)
- ②複数カメラからの画像やレーザの距離計測値を画像合成で提供

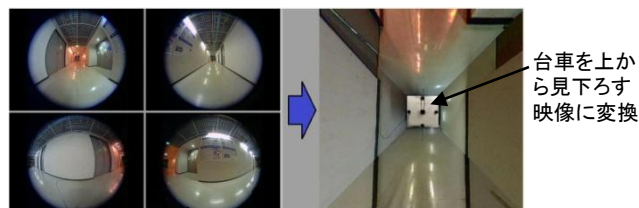
### 特長：

- ①ゲームパッドによる前後進、旋回、停止操作、カメラ操作方法を統一
- ②前後左右4ヶ所の魚眼カメラの画像合成で、真上からの全周囲俯瞰画像を生成(図2)
  - 停止位置ずれ10cm以下に改善(図3)
  - 計測領域:周囲1m(前後左右)
  - 計測速度:2フレーム/s
- ③距離センサ情報をカメラ画像に重畳し、障害物までの奥行き距離を表示(図4)
  - 計測領域:周囲30m(前方、左右)
  - 計測速度:30フレーム/s



選択スイッチ

図1 遠隔操作HIFの基本構成と操作画面



台車を上から見下ろす映像に変換

図2 4つの魚眼カメラによる全方位俯瞰画像

全方位俯瞰画像有無による停止位置ずれ量

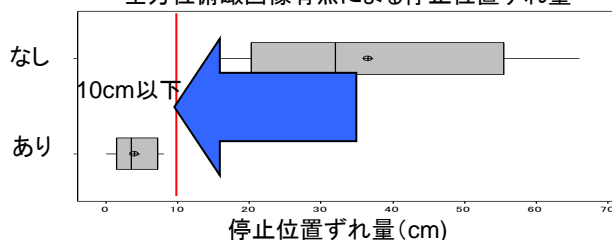


図3 停止位置ずれ評価試験(被験者6人)

## 実用イメージ

- ・全方位俯瞰画像を取得・変換して操作者に距離感と周囲の状況を提供し、周囲の障害物に接触させるリスクを低減し、ガイド表示付きの前方監視カメラを併用することで、移動方向に対する位置決め精度も向上
- ・操作ボタン位置等を共通化したHIFを用いることにより、習熟訓練を削減

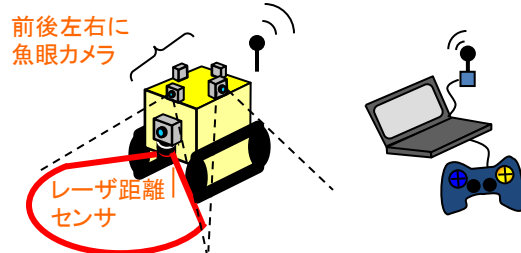


図4 距離センサ値の画像重畳によるガイド表示

## お問い合わせ先

株式会社 東芝 原子力企画室  
TEL: 03-3457-3717  
FAX: 03-5444-9191

# 狭隘部遠隔重量物荷揚／作業台車の開発

## 概要

原子力発電所災害や過酷事故等、人が近づけない現場を自由に移動し、7個の関節を持つロボットアームで高さ8mまでの高所作業が可能な遠隔作業ロボットを開発。

## 基本機能・性能

寸法：全長2350[mm] 幅800[mm] 高さ2000[mm]

質量：4[ton]

移動方式：4輪駆動4輪操舵方式

走行性能：50mm段差、15度傾斜走行可能

荷揚げ機構：5段テレスコピック梯子構造

ロボットアーム：7関節 可搬質量20[kg]

バッテリー：リチウムイオンバッテリー\*1

稼働時間：5時間

操作方式：無線遠隔操作

\*1：三菱自動車工業のEV(電気自動車)用バッテリー技術を  
本ロボット用にカスタマイズ。高性能と高信頼性を両立。



15度傾斜走行



8m高所作業の1例  
(バルブ操作)



バルブ操作ツール 拡大

## 実用イメージ

4輪駆動4輪操舵方式により、その場旋回や真横への移動が可能。狭い場所での機動性に富み、目的の場所へ容易にアクセスできる。作業時はアウトリガでロボットを固定し、高所での安定した作業を実現。作業用ロボットアームは人の腕と同等な7個の関節を持ち、先端部の専用ツールを交換することにより、複雑かつ多様な作業に対応する。また、モジュール構造を採用しており、必要なモジュールを開発し交換することで、将来の多様なニーズに対応可能。

## お問い合わせ先



この星に、たしかな未来を

三菱重工業株式会社

TEL: 03-6716-3111

<http://www.mhi.co.jp/discover/pickup/giraffe/index.html>

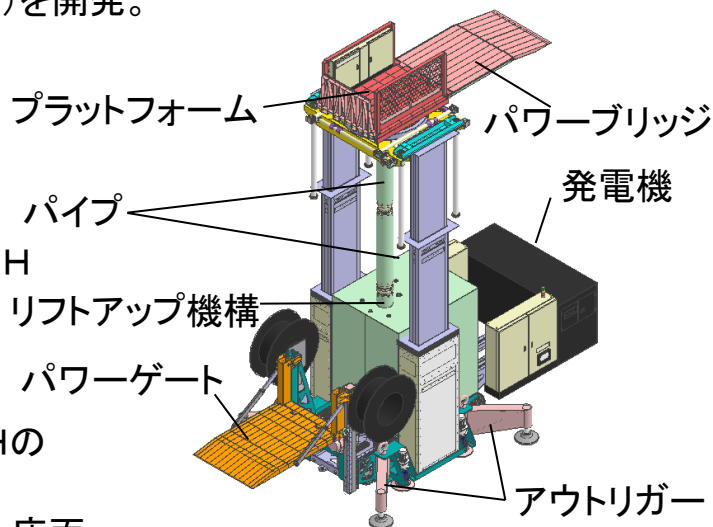
# 重量物ハンドリング遠隔操作荷揚げ台車の開発

## 概要

作業員が立ち入り困難であり、空間が制限された場所まで走行し、遠隔作業装置や重量物(最大約4トン)を最高約30mの高所まで持ち上げ上階フロアに送り込む作業を、遠隔操作で行う台車(スーパーリフタ)を開発。

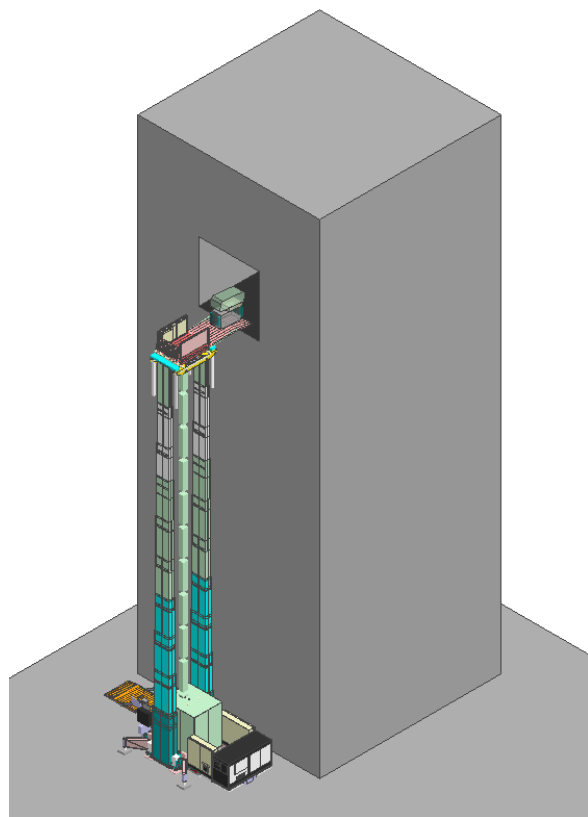
## 基本機能・性能

- ・積載重量 : 最大約4トン
- ・荷揚げ高さ : 最高約30m
- ・外形 : 約4mW×約9mL×約4mH  
(走行時)
- ・特長 :
  - ①遠隔操作が可能
  - ②約6.5mW×約12mL×約6.5mHの  
空間内での垂直昇降作業を実現
  - ③水平レベル調整機能により、傾斜した床面  
(最大傾斜4度)での使用が可能



## 実用イメージ

- ・共通ヒューマンインターフェース(HIF)を適用し、移動と作業を遠隔操作で実施
- ・プラットフォームに設置した複数のカメラで全方位俯瞰画像を提供し、プラットフォーム上昇時に周囲状況を確認可能
- ・回転機構付きプラットフォームにより、搬送物の移送方向を前後左右に設定可能
- ・建物との間は、突っ張り機構あるいはアンカー等で固定し、転倒を防止
- ・カメラにより着座目標位置を確認して、パワーブリッジを展開。センサにより着座を検出



## お問い合わせ先



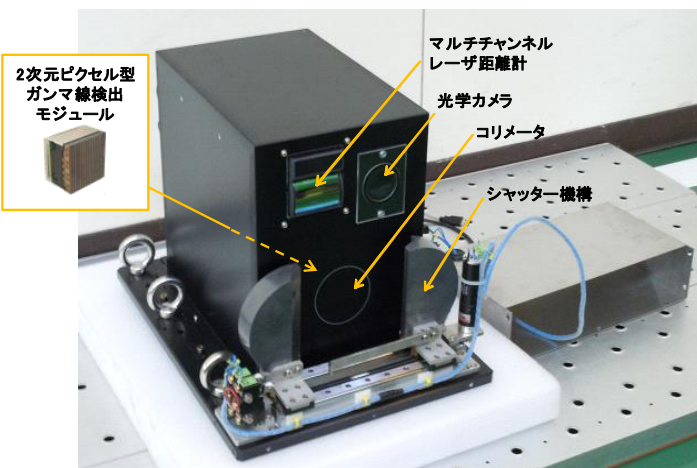
# ガンマカメラの開発

## 概要

災害時に放射線環境化となった施設内等においてホットスポット位置等の確認を可能とする移動台車へ搭載可能な高放射線場対応型ガンマカメラを開発。

## 基本機能・性能

- ①同プロジェクトで移動ロボット研究所が開発した小型高踏破性遠隔移動装置(Tsubaki)に搭載可能。
- ②高放射線環境場(300mSv/h 雰囲気)でも使用可能。
- ③ガンマカメラの撮影範囲の対象物との距離測定を行い、距離の影響を補正した線量率分布を算出可能。
- ④光学カメラ画像に放射線分布情報を重ね合わせた表示とし、放射線分布を可視化することが可能。



ガンマカメラ外観写真

## 実用イメージ

- ①災害現場において、小型高踏破性遠隔移動装置(Tsubaki)に搭載し、放射線環境場での放射線分布情報の採取を遠隔で実施する。また、多角的な視点からの放射線情報の採取が可能となる。
- ②遠隔移動装置(Tsubaki)の無線通信機能にて、ガンマカメラの映像、操作信号を伝送し、遠隔操作で情報収集可能となる。
- ③災害現場での放射線分布情報を地図情報と重合せることで、線量分布の視覚化が可能となる。



ガンマカメラ操作画面【イメージ図】

## お問い合わせ先

株式会社日立製作所 原子力事業統括本部

担当: 米谷 豊

TEL: 0294-55-5473

FAX: 0294-55-9703

**HITACHI**  
Inspire the Next



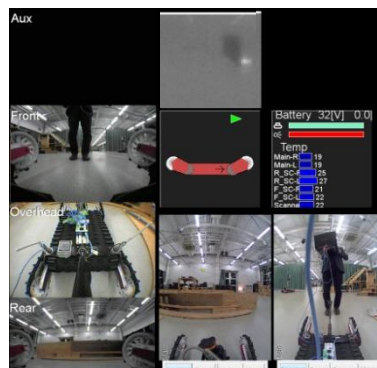
# 汚染状況マッピング技術の開発

## 概要

環境の3次元形状と、サーモグラフィー及びガンマカメラの計測値を可視化するマッピング技術を開発。

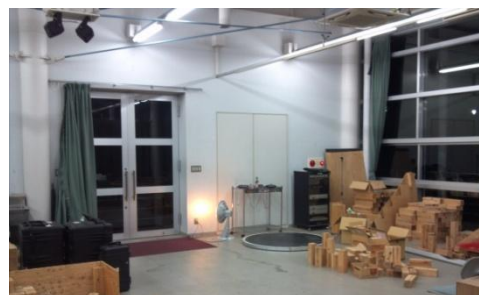
## 基本機能・性能

- ①レーザスキャナやセンサ(サーモグラフィーやガンマカメラ)により収集したデータをオフラインで処理することにより、三次元形状や汚染状況を可視化することが可能。
- ②三次元の汚染状況マップはPC画面上でインタラクティブに視点を変更しながら閲覧することが可能。

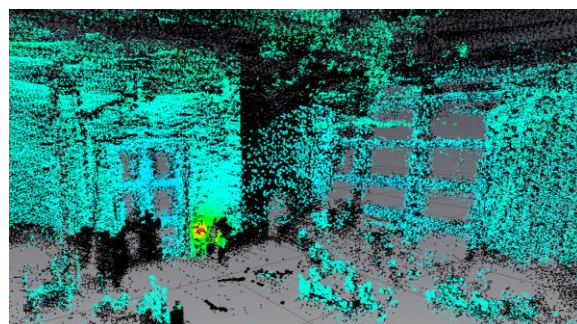
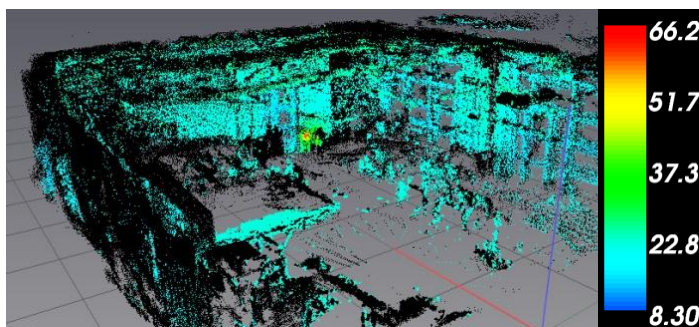


## 実用イメージ

移動ロボットにレーザスキャナやセンサを搭載し、遠隔操縦で対象環境を走行することにより、情報を収集する。実験室ではサーモグラフィーでの動作を確認している。今後、ガンマカメラを使った検証を進めていく予定である。



測定されたデータを元に可視化



## お問い合わせ先

〒千葉工業大学

furo  
Future Robotics Technology Center

千葉工業大学未来ロボット技術研究センター

担当: 先川原正浩

TEL: 047-478-0567

FAX: 047-478-0568

# 災害対応ロボット操縦訓練シミュレータの開発

## 概要

災害対応ロボットの操縦練習が可能な災害対応ロボット操縦訓練シミュレータを開発。

## 基本機能・性能

オープンソースのOpenHRP\*<sup>1</sup>をベースにした、クローラー型レスキューロボットの走行シミュレータで、操縦PCとそのまま接続、模擬操縦が可能。階段昇降、段差走行などの練習が可能。

今後、練習メニューの追加や訓練ガイドブックを充実させて行く予定。

\*1:ロボットのソフトウェア開発・シミュレーションのための統合ソフトウェアプラットフォーム。



## 実用イメージ

いきなり実機を用いた操縦練習では、高価な実機を壊す恐れがあるため、シミュレータを活用することにより、事前の操縦訓練が可能。

練習メニューとして、操縦器の操作方法、ロボットの各動作機能の制御方法、ロボット搭載カメラからの画像の見方などがあり、典型的なプラント内走行において基本となる操縦技術をあらかじめ身につけることができ、実機でのトラブルを予防に役立つ。

何回でも繰り返し練習が可能で、その他、実機の開発にも利用できる。



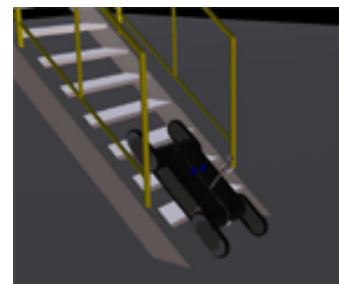
階段のモックアップ



実機による階段昇降



シミュレータの操縦画面



シミュレータでの階段昇降

## お問い合わせ先

千葉工業大学

furo  
Future Robotics Technology Center

千葉工業大学未来ロボット技術研究センター  
担当: 先川原正浩

TEL: 047-478-0567

FAX: 047-478-0568

# 水陸両用移動装置の開発

## 概要

水中構造物からの漏水箇所調査を想定し、漏水箇所把握のためのモニタリングデバイスと、そのモニタリングデバイスを搭載することが可能な水陸両用移動装置を開発。

## 基本機能・性能

水陸両用移動装置に多様なモニタリングデバイスをコンパクトに実装。  
 <水中モニタリングデバイス>

### ①ドップラー流速計(図1)

- ・広がり角度 $50^{\circ}$ の円錐状領域の平均流速計測
- ・流速計測レンジ:  $\pm 10\text{m/s}$
- ・流速計測精度:  $\pm 25\text{mm/s}$
- ・流速計測領域:  $0.06\text{m} \sim 5\text{m}$

### ②超音波カメラ(図2)

- ・解像度:  $20\text{mm}$ (距離 $1\text{m}$ )
- ・計測速度: 約 $1\text{フレーム/s}$

<水陸両用移動装置(図3)>

- ・幅:  $650\text{mm}$ 、最小旋回径 $\phi 900\text{mm}$
- ・走行速度:  $0.3\text{m/s}$ (気中)、 $0.1\text{m/s}$ (水中)
- ・中性浮力化で水中遊泳も可能

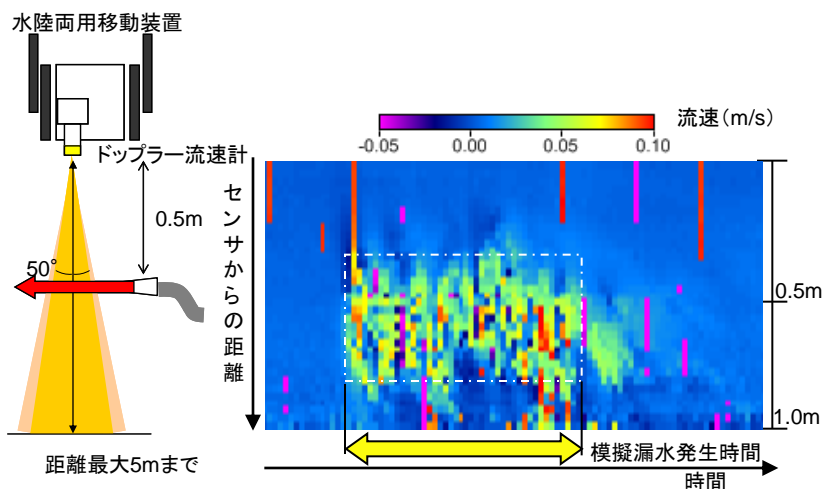


図1 ドップラー流速計

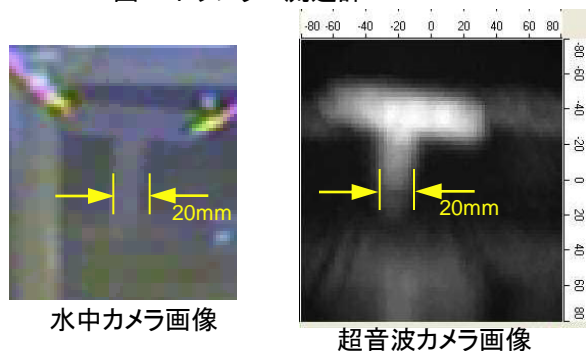
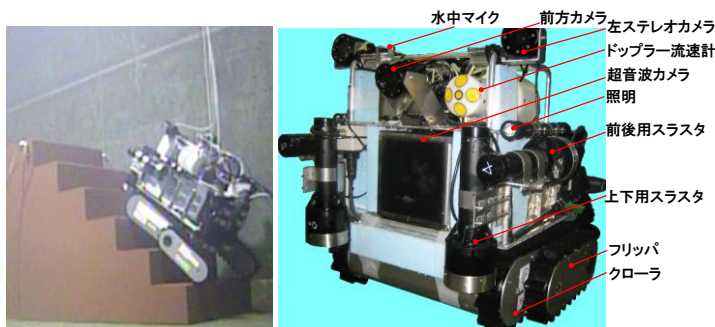


図2 超音波カメラ

## 実用イメージ

- ・水陸両用移動装置で構造物の表面に沿って移動しながら、ドップラー流速計で構造物近傍の流速を計測
- ・流速が検出される構造物表面に接近し、超音波カメラと水中カメラで当該部の形状を確認。形状不連続部、割れ等の状況により構造物の損傷状況を特定



水中階段昇降

装置概要

図3 水陸両用移動装置

## お問い合わせ先



# 災害対策用ロボットスーツHAL®の開発

## 概要

例えば福島第一原発のような放射線や高温多湿な極限環境下において、過酷な復旧作業を行う場合、作業員の安全や健康を確保することが喫緊の課題となっている。この問題を解決するために、災害対策用ロボットスーツHAL®を開発。

## 基本機能・性能

### ● 放射線防護装備

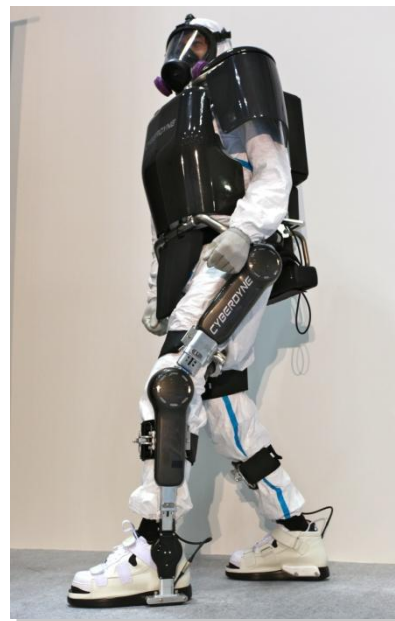
タングステン等の防護装備により作業員のガンマ線被ばく線量を低減。

### ● クーリングシステム

タイベック内へ冷気を直接送風することにより、作業員の体温上昇を抑え熱中症を未然に防ぐ。

### ● バイタルセンサ

作業員の胸に取付けたセンサによりバイタル情報（心拍、体温、加速度）をモニタリング可能。



## 実用イメージ

### ▶ 放射線被ばく量の低減

放射線被ばく量を押さえながらの復旧・点検作業ができる。

### ▶ 熱中症対策

クーリングシステムにより高温多湿な環境下でも作業ができる。

### ▶ 作業員の安全管理機能

作業員のバイタルモニタリングにより遠隔からの作業管理ができる。



\*実用化のイメージ写真です。

## お問い合わせ先



CYBERDYNE

CYBERDYNE株式会社 研究開発部 担当:市橋 史行  
TEL:029-855-3189 FAX:029-855-3181  
〒305-0818 茨城県つくば市学園南D25-1