

「廃炉への道」事業研究会

福島第一原子力発電所廃炉への展望 ～ロボット技術を中心に廃炉技術開発の課題

2014年7月24日

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)

理事 及川 清志

1. 国際廃炉研究開発機構 (IRID)
2. 廃炉に向けたロボット開発
3. 日本のロボット概観

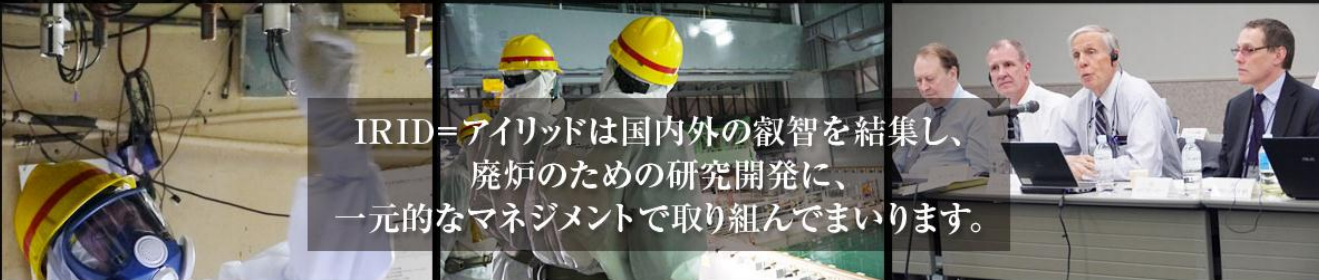
国際廃炉研究開発機構 (IRID)

**技術研究組合 国際廃炉研究開発機構**
International Research Institute for Nuclear Decommissioning

公表資料・プレスリリース > 新着情報 **English**

GoogleTM カスタム検索

組織概要 | 研究開発 | 公募関係 | 国際活動 | 委員会 | 人材育成 | 活動報告



IRID=アイリッドは国内外の叡智を結集し、
廃炉のための研究開発に、
一元的なマネジメントで取り組んでまいります。

IRIDシンポジウムのご案内 > 燃料デブリ取り出しに向けての「冠水工法」CG > 燃料デブリ取り出し代替工法についての情報提供依頼 (RFI) のページはこちら > R&D Topics

● 公開資料・プレスリリース > 一覧

5月 29日

【お知らせ情報】役員人事について **PDF**

5月 29日

【お知らせ情報】株式会社アトックスの組合加入について **PDF**

5月 8日

【お知らせ情報】IRID国際顧問のルイス・エチャバリ氏、春の外国人叙勲の受章について (2014年5月8日) **PDF**

3月 10日

【会見】山名理事長講演資料 (2014年3月7日) **PDF**

2月 19日

【お知らせ情報】ご提供いただいた情報 (公開情報) の一覧の公開について (2014年2月19日)

● 新着情報 > 一覧

6月 25日

IRIDシンポジウムの申し込みを開始いたしました。

6月 19日

「平成26年度 IRIDシンポジウム「廃炉への道」を切り拓く」のご案内 (7月18日開催) を掲載いたしました。

6月 12日

「原子炉格納容器 (PCV) 漏えい箇所調査装置の開発状況について [東芝] (2014年5月16日)」を掲載いたしました。
写真 **動画**

6月 5日

文部科学省「廃止措置等基盤研究・人材育成プログラム委託費」に関するお問い合わせについて **PDF**

5月 30日

【R&D TOPICS】「研究開発中の「PCV (格納容器) 下部補修技術」試験の進捗状況についてお知らせします」を掲載いたしました。

国際廃炉研究開発機構 ホームページ
<http://www.iris.or.jp/>

IRID

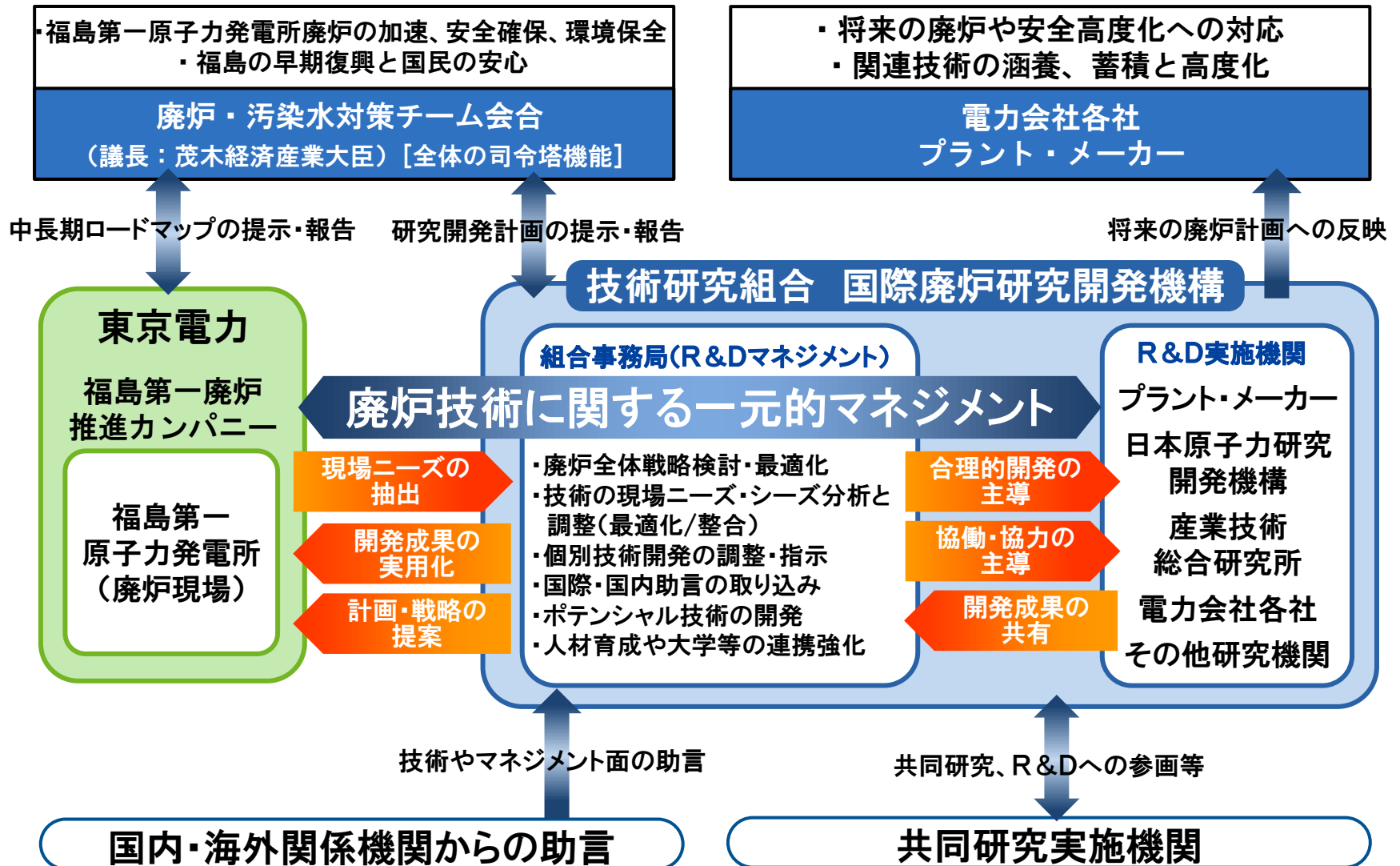
3

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

IRIDの概要

- **使命** 将来の廃炉技術の基盤強化を視野に、当面の緊急課題である福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術の研究開発に全力を尽くす
- **名称** 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (略称：IRID「アイリッド」)
(International Research Institute for Nuclear Decommissioning)
- **設立** 2013年8月1日(認可)
- **事業**
 - ・ 廃止措置に関する研究開発
 - ・ 廃止措置に関する国際、国内関係機関との協力の推進
 - ・ 研究開発に関する人材育成
- **組合本部** 〒105-0004 東京都港区新橋5-27-1 パークプレイス6F
(電話番号) 03-6345-3801 (代表)
(ホームページアドレス) <http://www.iris.or.jp>
- **組合員**
 - ・ 独立行政法人
(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)、(独)産業技術総合研究所(AIST)
 - ・ メーカー
(株)東芝、日立GEニュークリア・エナジー(株)、三菱重工業(株)、(株)アトックス
 - ・ 電力会社等
北海道電力(株)、東北電力(株)、東京電力(株)、中部電力(株)、
北陸電力(株)、関西電力(株)、中国電力(株)、四国電力(株)、
九州電力(株)、日本原子力発電(株)、電源開発(株)、日本原燃(株)

IRIDの役割



研究開発プロジェクト

使用済燃料プール燃料取り出しに係る研究開発

使用済燃料プールから取り出した燃料集合体他の長期健全性評価

使用済燃料プールから取り出した損傷燃料等の処理方法の検討

燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発

格納容器漏えい箇所特定技術の開発

格納容器補修技術の開発

原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発

燃料デブリの臨界管理技術の開発

格納容器内部調査技術の開発

過酷事故解析コードを活用した炉内状況把握

圧力容器／格納容器の健全性評価技術の開発

燃料デブリ性状把握・処置技術の開発

放射性廃棄物処理・処分に係る研究開発

汚染水処理に伴う二次廃棄物の処理・処分技術の開発

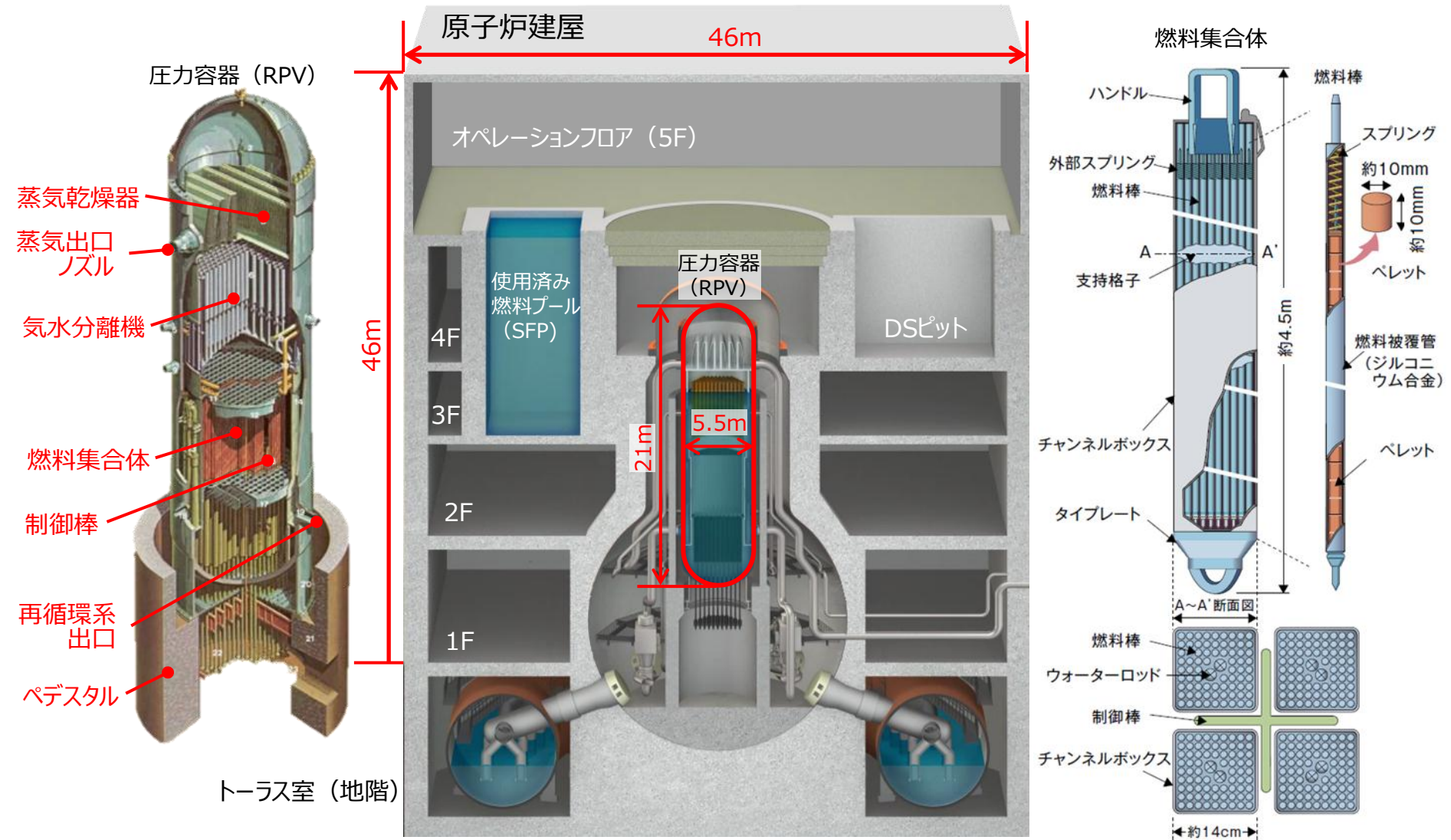
放射性廃棄物の処理・処分技術の開発

IRID>人材育成>文科省、IRID共済東京電力第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発計画と基盤研究に関するワークショップ

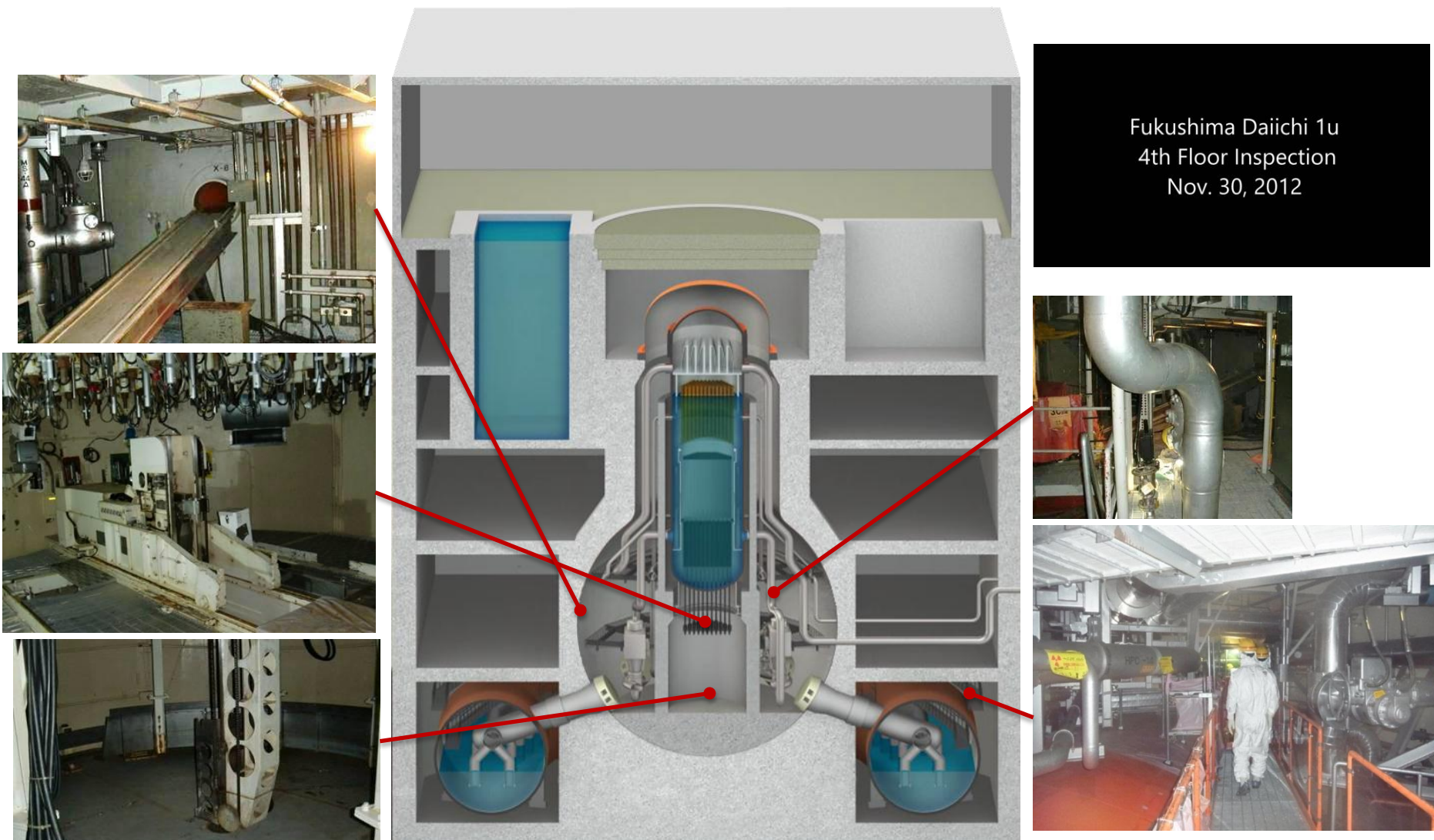
http://www.iris.or.jp/human_resources/

「研究組合 国際廃炉研究開発機構と福島第一原子力発電所廃止措置に向けた研究開発における課題」

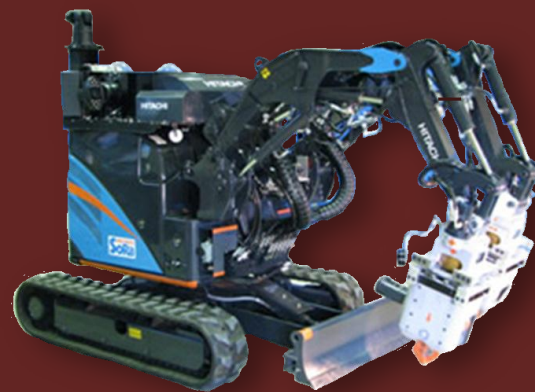
原子力発電所の構造



原子力発電所の構造



廃炉に向けたロボット開発



東京電力ホームページ>写真・映像ライブラリー>写真・動画
<http://www.tepco.co.jp/tepconews/library/index-j.html>

福島第一に投入したロボット

名称		投入時期	役割	適用回数
T-Hawk		2011 Apr.	目視調査（上空より）	3
Packbot		Apr.	目視調査、放射線量計測	17
Warrior		Jun.	障害物（ガレキ）除去	2
Quince		Jun.	階上階調査	13
JAEA-3		Sep.	放射線量計測(ガンマカメラ)	1
サーベイランナー		2012 Apr.	トラス室内部調査	2
4足歩行ロボット		Dec.	トラス室内部調査	6
FRIGO-MA		2013 Apr.	エアロック室内部調査	1
高所調査ロボット		Jun.	高所・狭隘部の調査	2
ASTACO-SoRA		Jul. ~ Aug.	障害物（ガレキ）除去	1
磁気クローラ装置		Sep.	S/C 内水位計測	1
水上ボート		Nov.	トラス室内部調査	2

米国産ロボット

T-Hawk



3号機上空 (2011.4.15)



Warrior

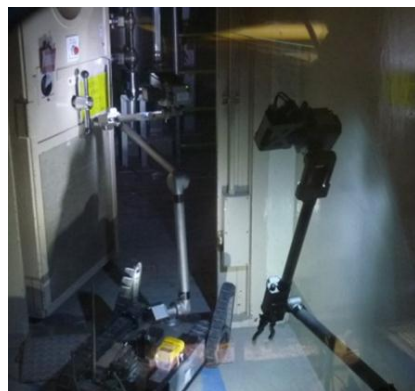


3号機大物搬入口のガレキ撤去 (2011.11.3)



Packbot

3号機建屋への進入 (2011.4.17)



iRobot社では『Packbot』を4500台以上生産



クローラタイプ・ロボット

Quince



CBRNE災害（科学、生物、放射性物質、核、爆発物）の際に、消防等の隊員に代わって現場に進出し、状況調査を行うことを目的に開発

（国際レスキューシステム研究機構、千葉工業大学、東北大学が共同で開発）

ロボカップ2007、2009世界大会運動性能の部で優勝したクローラ型ロボットKenafを改良



サーバイランナー



FRIGO-MA



高い運動性能（階段、段差、ガレキ走破性）をもとに、映像撮影、環境モニタリング、軽量物のハンドリングに威力を発揮

田所諭「閉鎖空間内高速走行探査群ロボット」2011

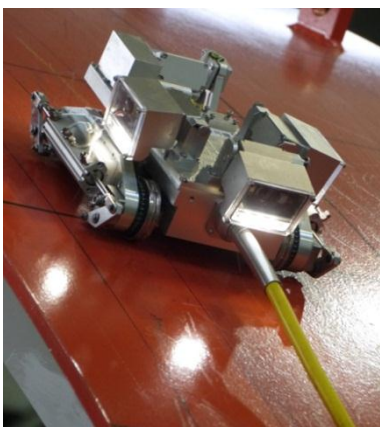
田所諭「国際レスキューシステム研究機構の活動」2011

千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター(fuRo) <http://www.furo.org/>

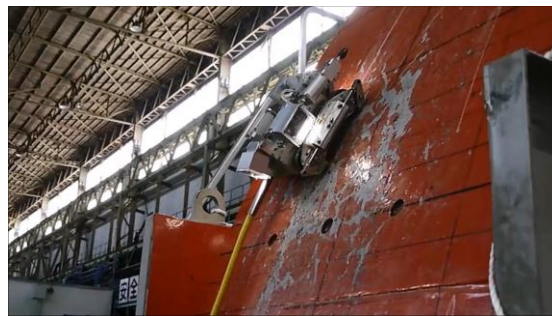
磁気クローラ

サプレッションチェンバ（S/C）やベント管上の漏えいなどの調査を行うため、磁力で鋼鉄製壁面に吸着し、全面を移動可能なクローラを開発。

SC-ROV



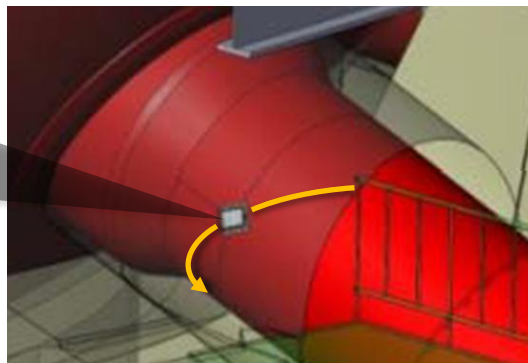
S/C上の亀裂、漏えいを調査



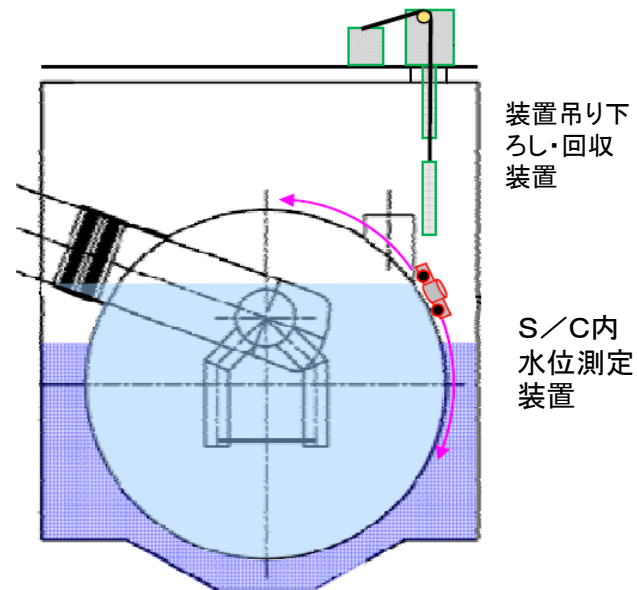
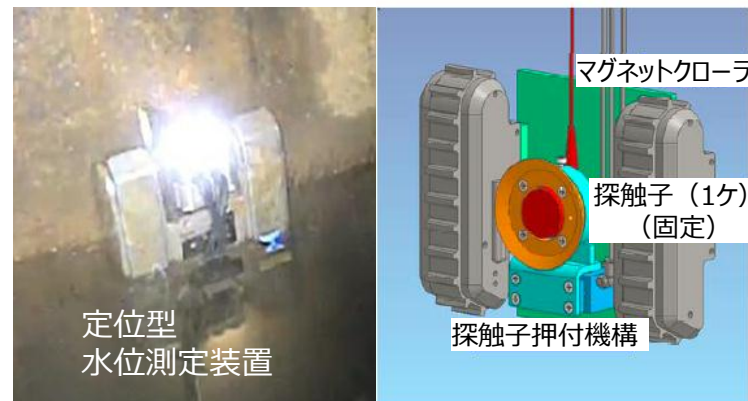
VT-ROV



ベント管上を移動し、PCV接合部の漏えいを調査



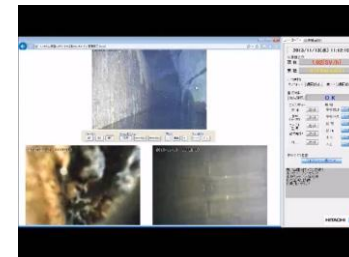
S/C内水位をS/C外面より超音波で測定する



水上ボート

ケージに格納し天井孔から滞留水中に着水させる

漏えい箇所調査の水
上移動機構の長尺
ケーブル操作技術を
確立するため、ベント
管下部周辺の状態を
確認



光ケーブル

ケーブル処理装置

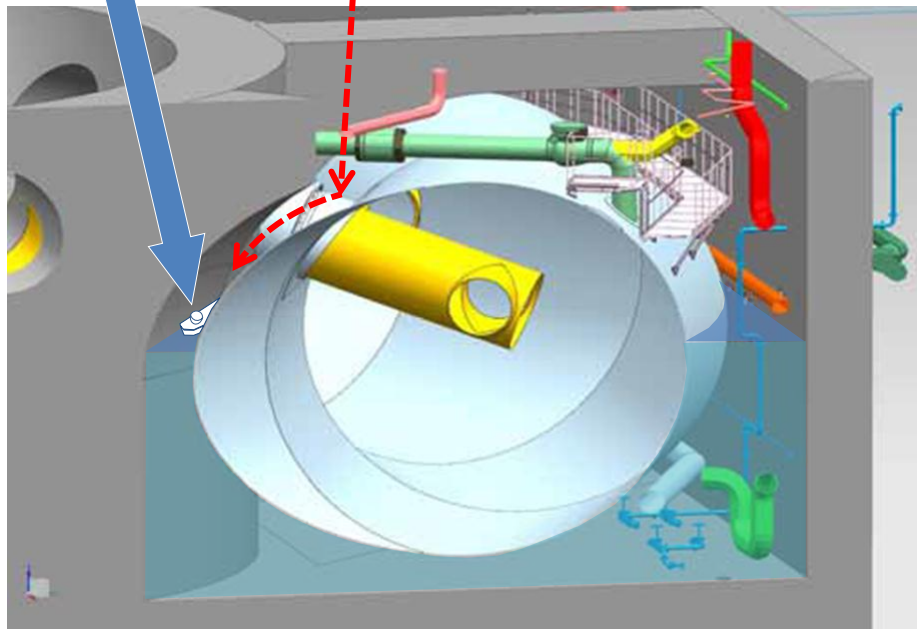


調査カメラ

監視カメラ



水中カメラ



1号機ベント管/サンドクッション
ドレン漏えい(2013.11.13)

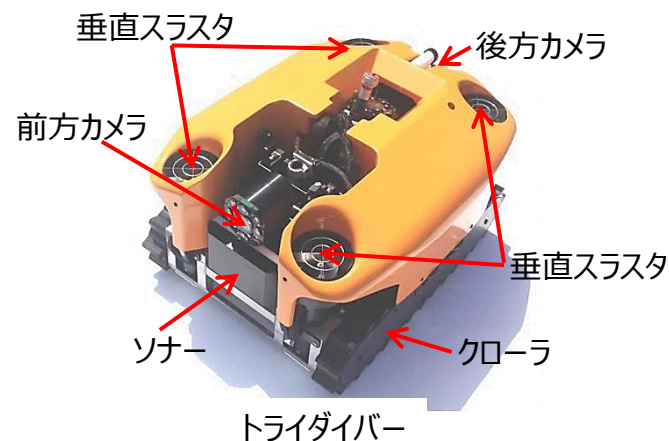
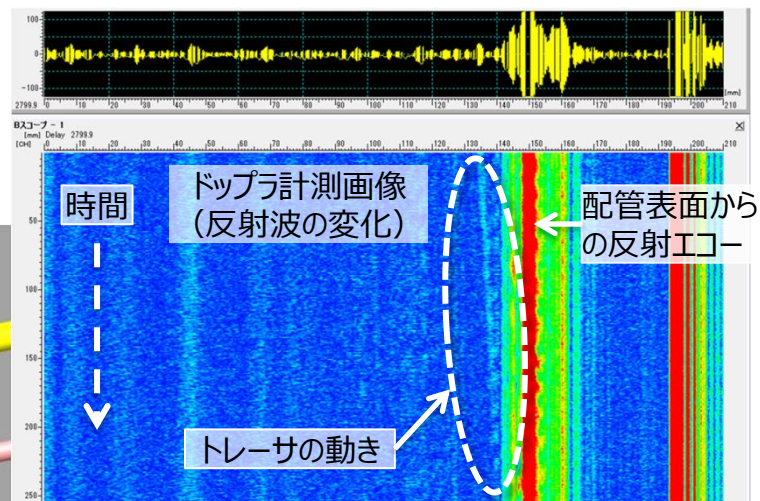
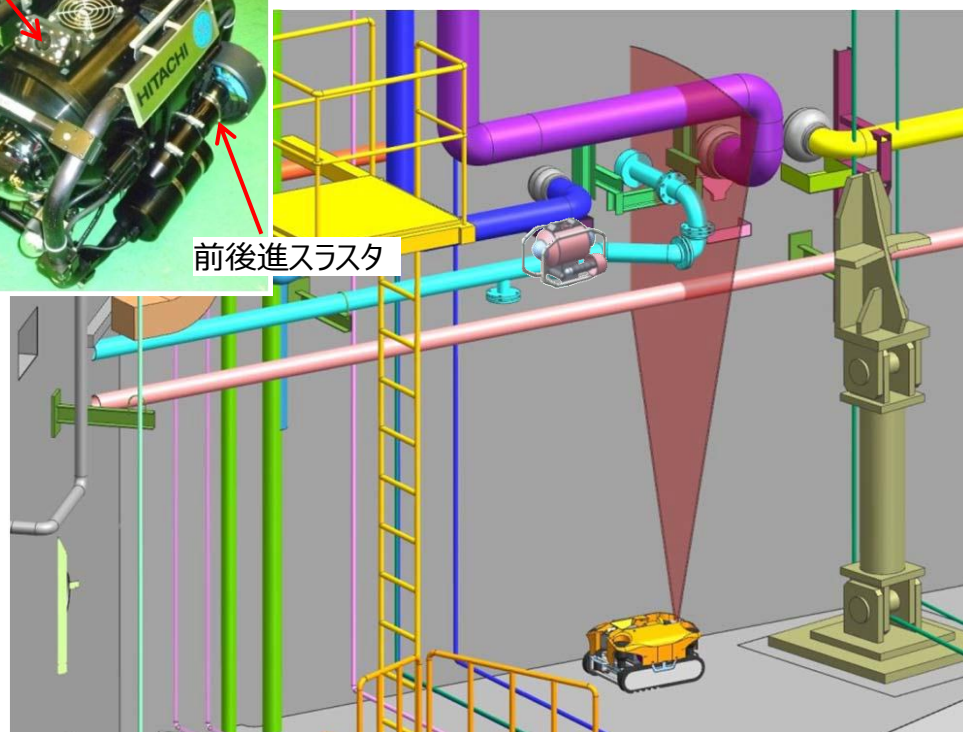
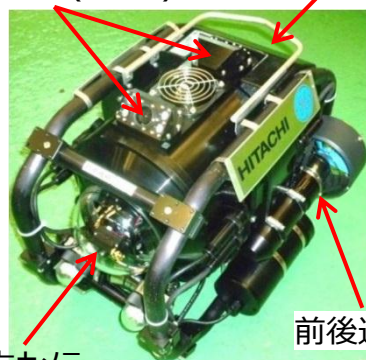


東京電力「福島第一原子力発電所 1号機ベント管下部周辺の調査結果について(1日目)」2013.11.13
遠隔技術タスクフォース WG2「遊泳調査ロボットの技術開発 実証試験の実施について」2013.10.31

水中ロボット

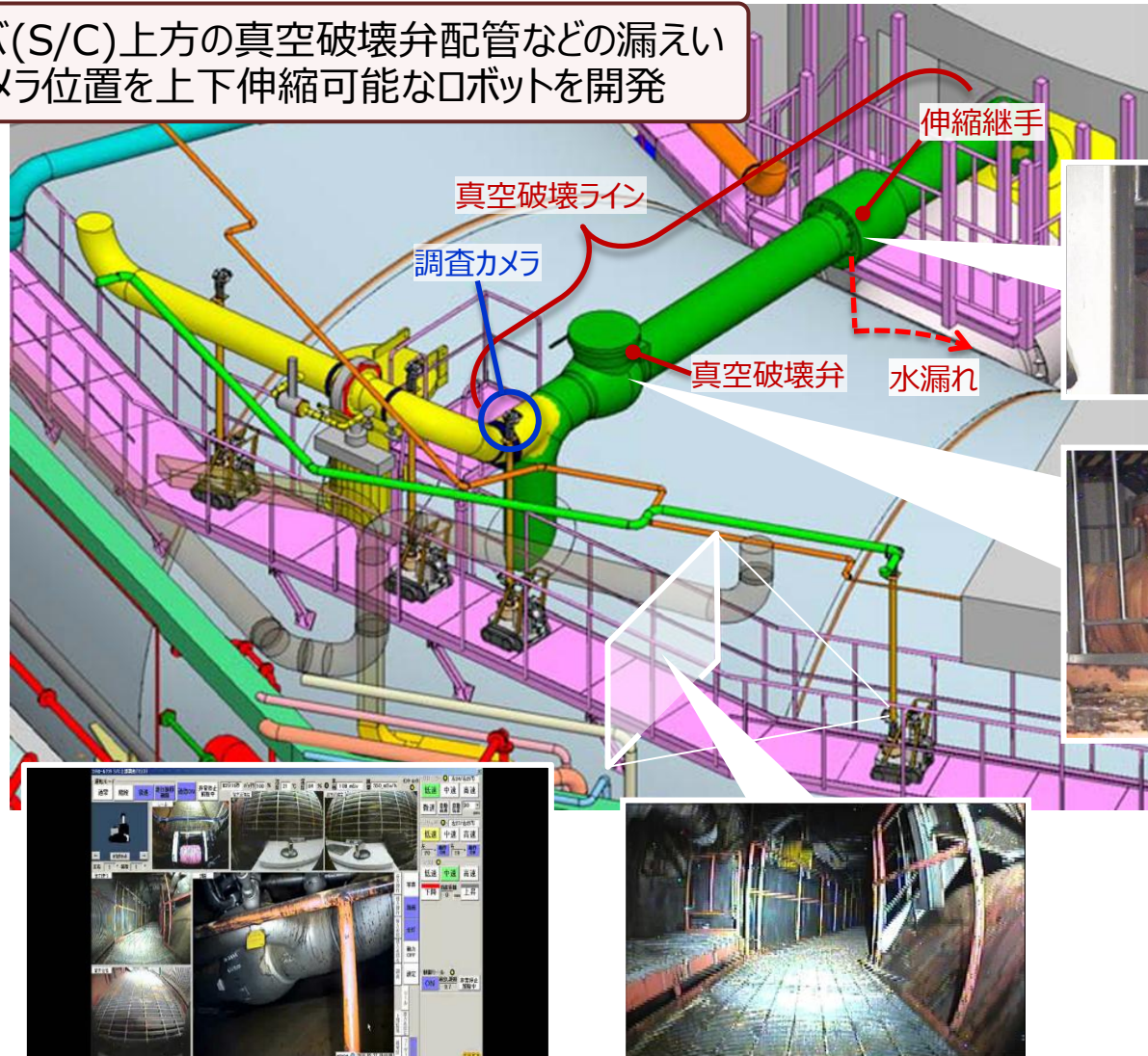
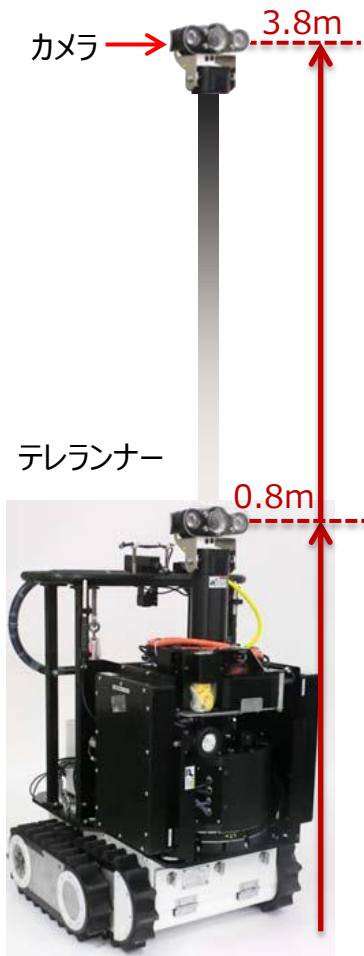
トラス室壁面の水没したペネ貫通部の漏えいを調査するための水中調査ロボットを開発。水中の漏えいを調査するために、超音波ソナーによるドップラ計測機能を装備する。

上方カメラ(前/後) 後方カメラ



S/C上部調査装置

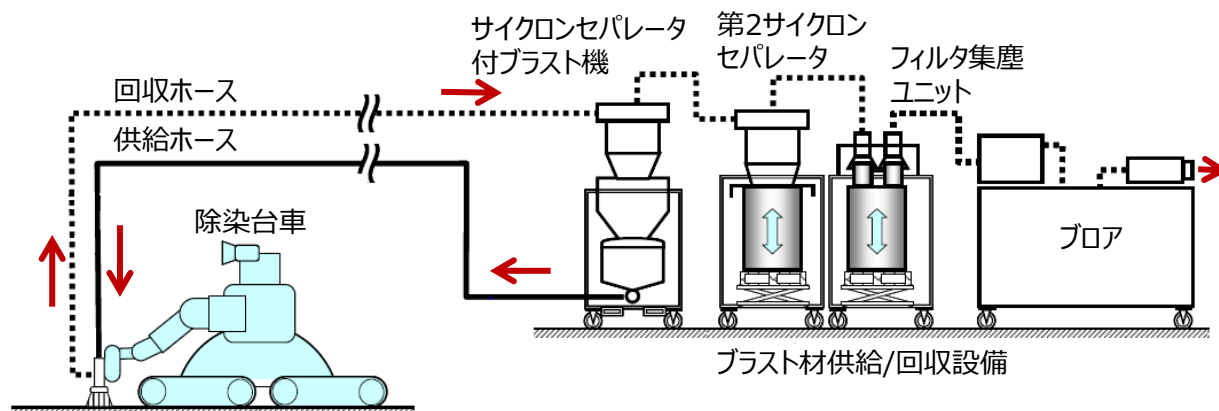
サプレッションチェンバ(S/C)上方の真空破壊弁配管などの漏えいを調査するため、カメラ位置を上下伸縮可能なロボットを開発



除染ロボット

原子炉格納容器漏えい箇所の調査・補修等の作業環境改善のため、
現場の汚染状況にあった遠隔除染装置を開発

ブラスト・吸引除染装置



研磨剤を除染対象に噴射、表面を研削する工法。
噴射後の研削材（スチールグリット）を回収し、セパレータで汚染と分離後再利用。

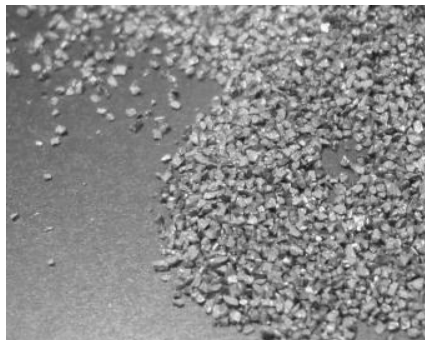
高圧水除染装置



ドライアイスブラスト除染装置



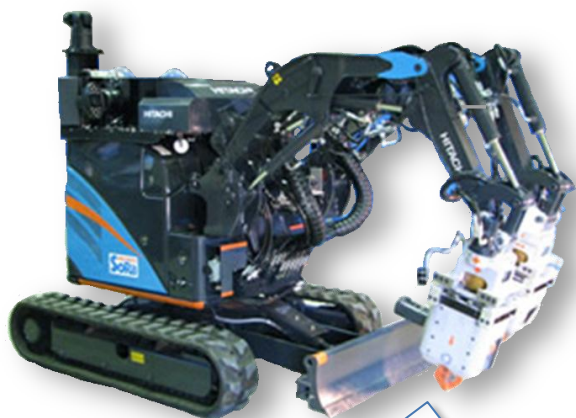
ブラスト（径0.3mmスチールグリット）



作業ロボット

除染装置およびPCV内部調査のアクセスルート確保、ならびに線量低減のために、無人重機を活用

双腕作業ロボット
ASTACO-SoRA



交換先端工具



3号機大物搬入口周辺の障害物除去
(2013.7.25-8.23)



建設作業機器のロボット化

破碎ロボット
BROKK(スウェーデン)



Bobcat



PCV内部調査ロボット

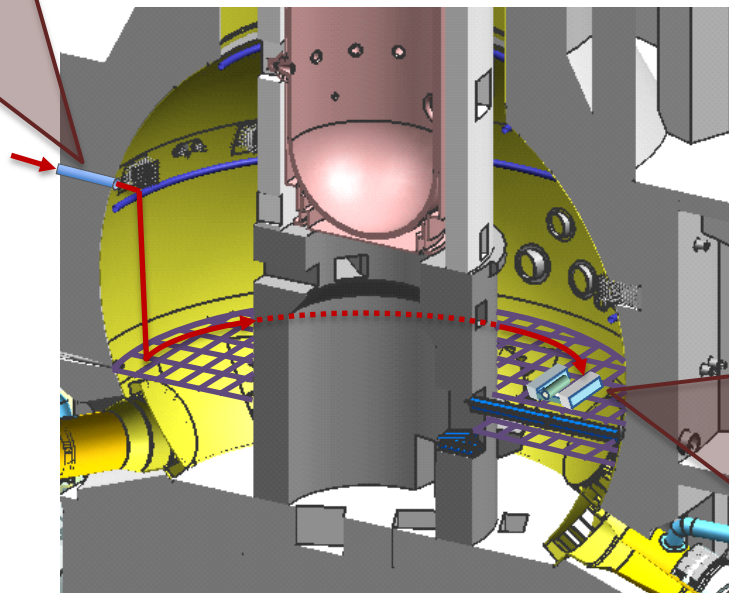
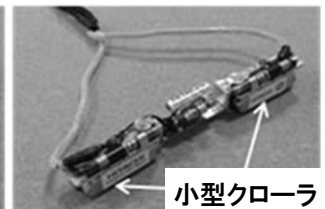
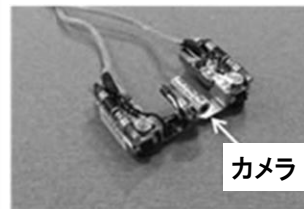
PCV内部調査のため、100mmの配管の通過、グレーチング（格子状の鋼材）平面の走行、凹凸のある面上の安定走行可能な、形状変化型ロボットを開発中



平面走行時

形状変化

配管通過時



廃炉作業用ロボット開発の要件

目視調査

(放射線)計測

ガレキ除去

除染

補修(止水)

デブリ取り出し

デブリ輸送

□ 機能要件

● 移動能力

- 階段昇降
- 狭あい部の通過
- 水中遊泳
- 曲面上移動
- 高所への到達

● 作業能力

- 視覚情報、放射線情報、温湿度等環境情報の収集
- 試料サンプリング
- 除染
- ハンド機能（把持、切断、運搬、工具操作…）

- 遠隔制御（オペレータが安全な場所から、過酷な環境にあるロボットを操作する）

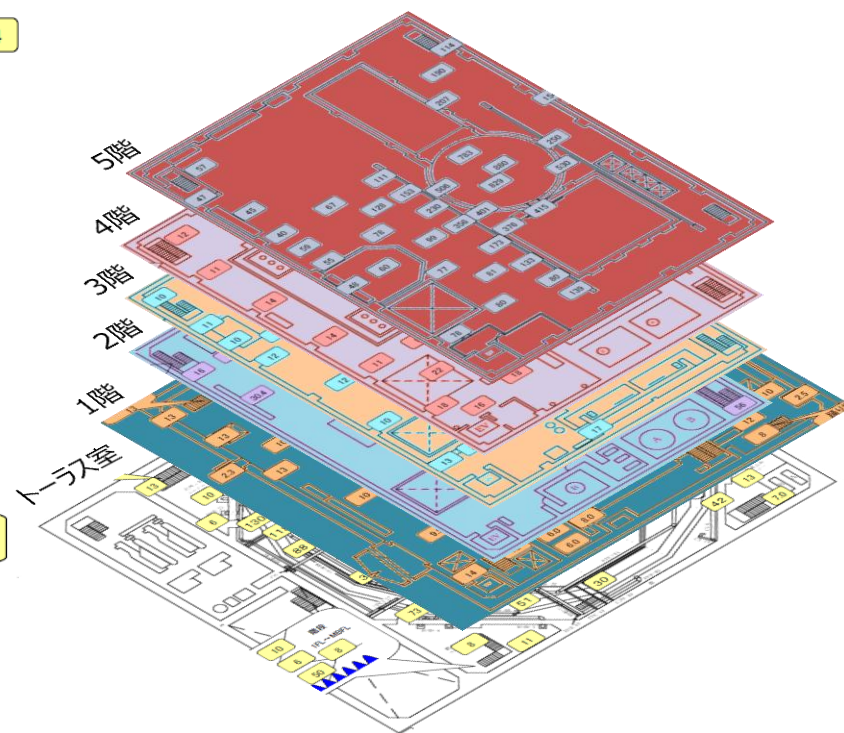
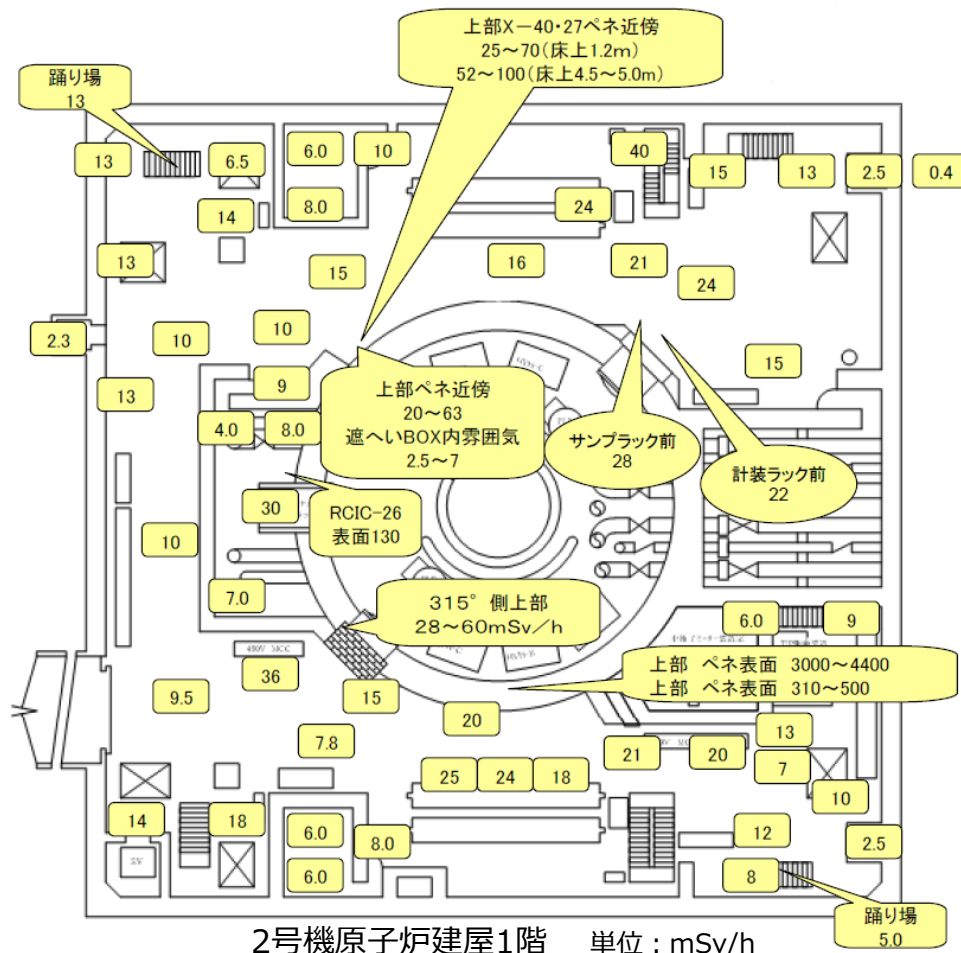
□ 過酷環境において安全に使命を達成すること

- 高放射線環境
- 劣悪な無線通信環境
- 高温多湿、塵埃環境
- 照明のない暗がり
- 電力供給がない



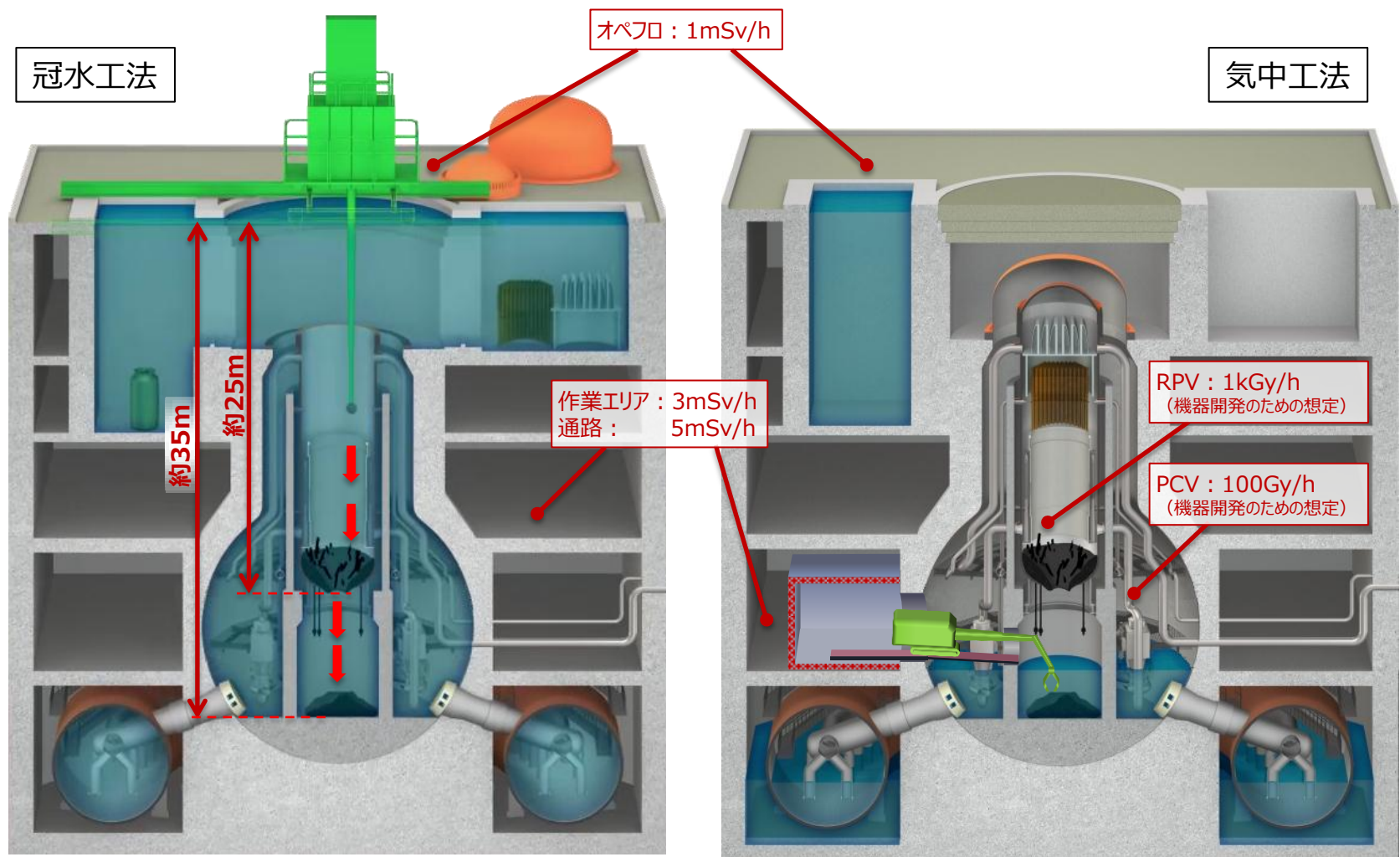
実環境と同等な環境(モックアップ)を準備し
・機器の機能/動作確認、
・作業者の操作訓練を実施することが重要

放射線量の把握



- 1号機: 原子炉建屋内線量: 1階約数ミリ~約4000mSv/h以上(南側)
- 2号機: 原子炉建屋内線量: 1階約数ミリ~約30mSv/h、オペフロ最大880mSv/h
- 3号機: 原子炉建屋内線量: 1階約20ミリ~約4000mSv/h以上(北側の一部)、オペフロ最大約2000mSv/h

燃料デブリ取り出し(想定放射線量)

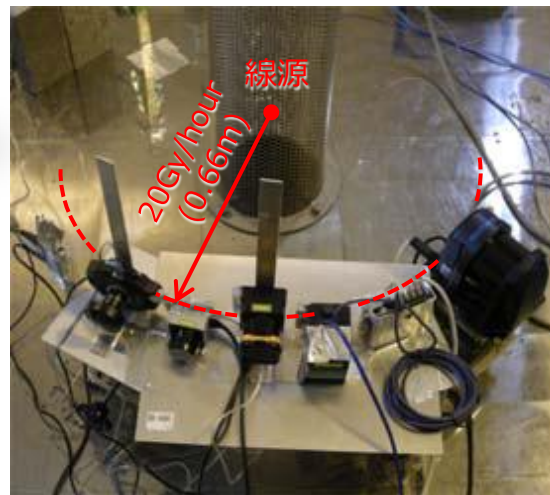
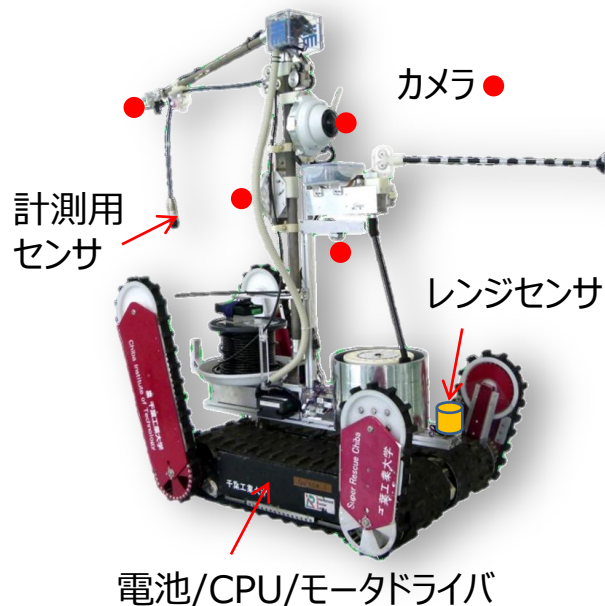


電子機器に対する放射線の影響

- 1号機：原子炉建屋内線量：1階約数ミリ～約4000mSv/h以上(南側)
2号機：原子炉建屋内線量：1階約数ミリ～約30mSv/h、オペフロ最大880mSv/h
3号機：原子炉建屋内線量：1階約20ミリ～約4000mSv/h以上(北側の一部)、オペフロ最大約2000mSv/h

構成要素部品の放射線耐力を把握し、遮蔽材なしでの高放射線下の運用可能性を検討

参考：ガンマ線の影響を1/10とする遮蔽 = 鉛版：2-30mm / 鋼鉄：7-80mm



ガンマ線照射試験

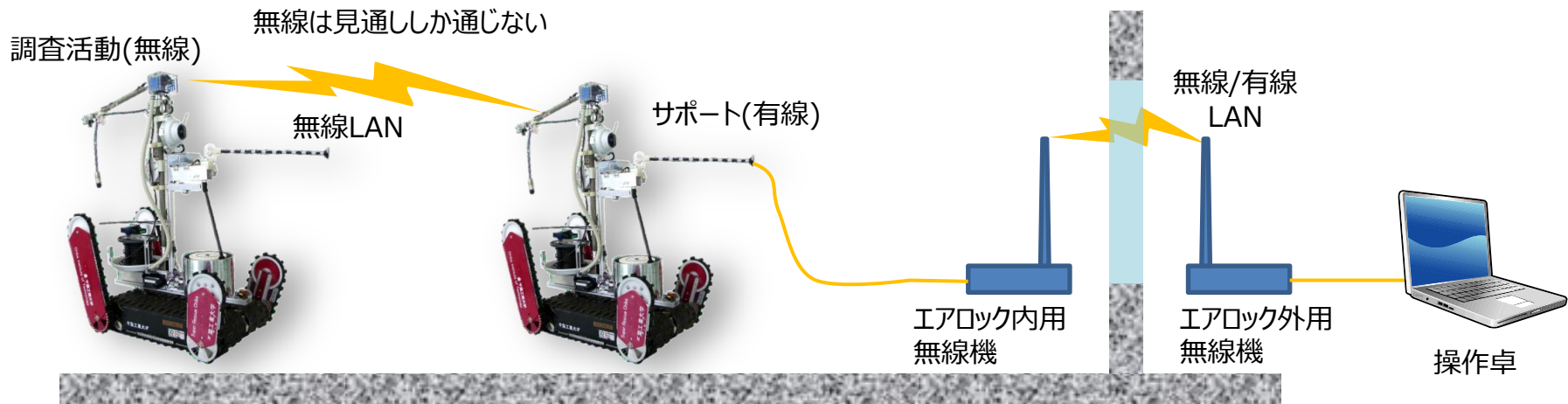
ガンマ線照射試験 (20Gy/hour-40Gy/hour)

スキャナ式レンジセンサ	124Gy
カメラ	169Gy
CPUボード、電池 モータ・ドライバ 無線機、LANハブ 3次元距離画像センサ 広角ネットワークカメラ 通信デバイス等	200Gy以上

1Gy/hourの高放射線下でも100時間以上の動作が可能

「汎用重機やロボットにおける耐放射線評価と管理方法の基本的な考え方」対災害ロボティクス・タスクフォース 2011年4月27日

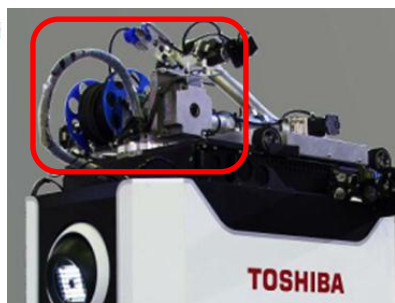
遠隔制御



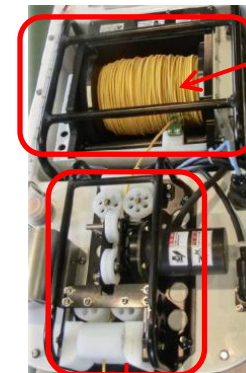
移動中に配線がからまる、切れるなどを回避する、配線の「繰出し／巻き取り機構」が必要



Quince



4足歩行ロボット



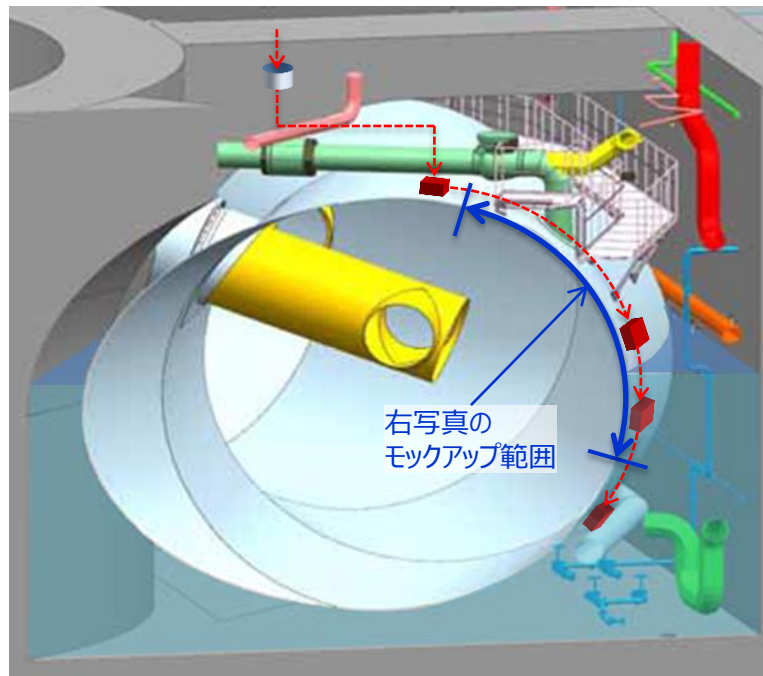
水上ボート

ケーブル繰出し

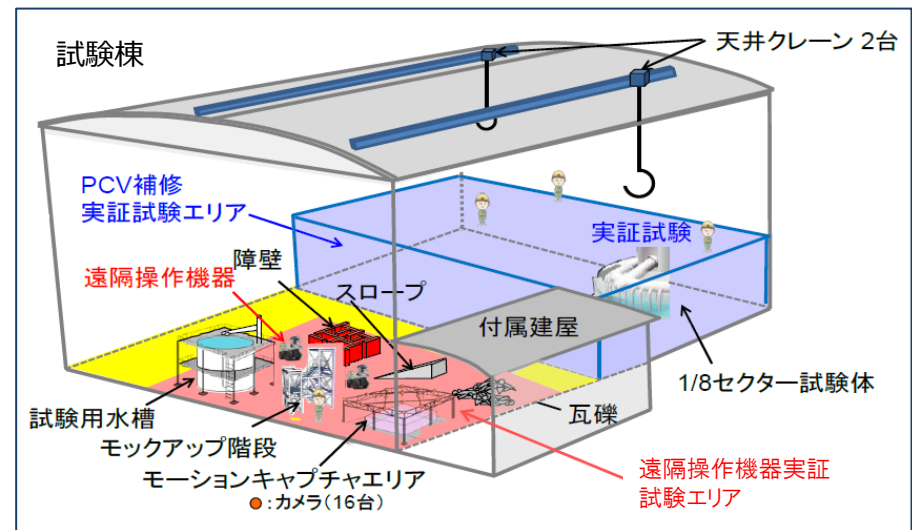
千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター(fuRo) <http://www.furo.org/>

千葉工業大学、東北大学、国際レスキューシステム研究機構プロジェクトチーム「Quinceによる福島原発対応」2011.6.8

モックアップ試験

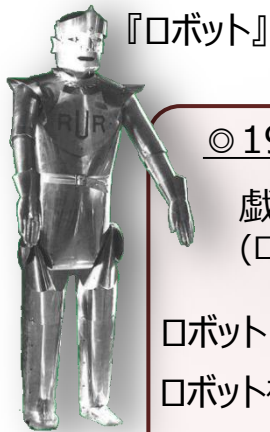


楢葉モックアップ施設全景



福島第一原子力発電所廃止措置のための研究開発拠点整備と将来構想 2014年2月17日 日本原子力研究開発機構

ロボットの起源



『ロボット』

◎1920年 チェコ カール・チャペック

戯曲『R.U.R.』
(ロッサム・ユニバーサル・ロボット会社)

ロボット ⇔ チェコ語robota (強制労働)
ロボットを取り扱う文芸作品
… 人間の対極にある異物

『オートマタ』



「手紙を書くピエロ」
1900年
レオポール・ランベール

(機械人形)

『アンドロイド』

小説『未来のイヴ』
1886年 フランス
オーギュスト・ヴィリエ
・ド・リラダン

(人造人間)
≡ヒューマノイド



◎1950年 アメリカ SF作家 アイザック・アシモフ

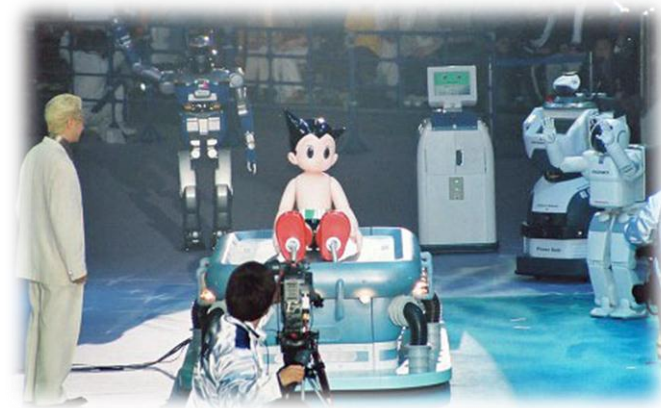
『I, Robot (私はロボット)』 「ロボット三原則」

1. 人間に害を与えない
2. 人間の命令に従う
3. 自らの存在を守る

ロボットは怪物 ⇔ 人間の役に立つ機械

◎1960年 アメリカ『産業ロボット』 ユニマット

「ロボットの父」 エンゲルバーガー博士 … 役にたつロボットを作ろう！

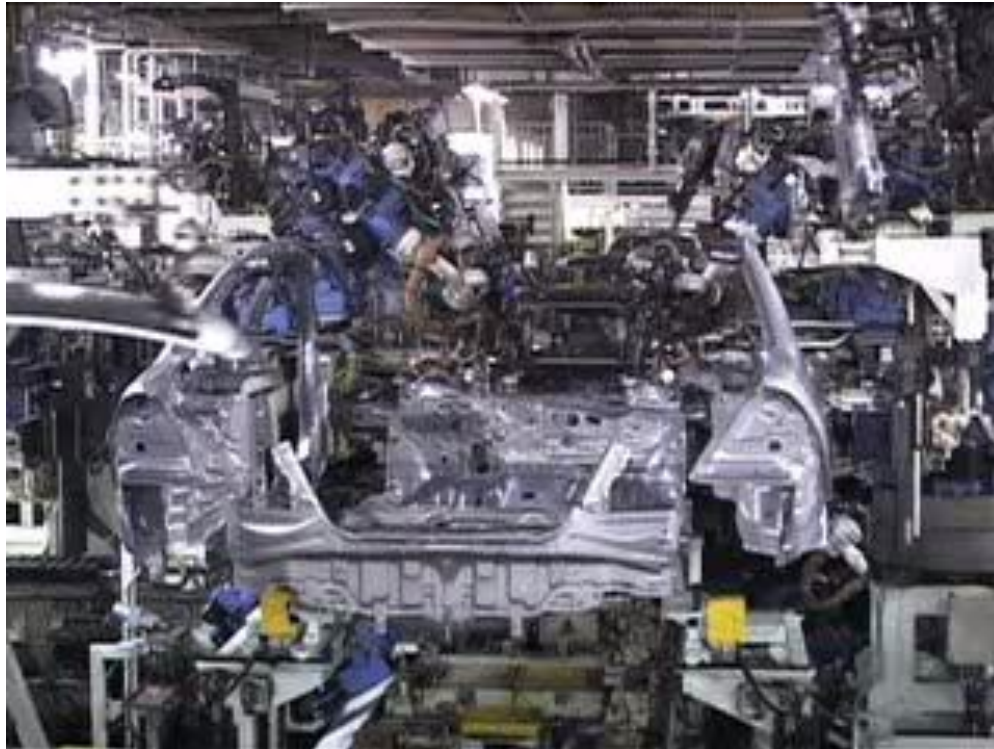


1952年 『鉄腕アトム』

原子力をエネルギー源とした、人と同等の感情を持った少年ロボット
ROBODEX2003 2003年4月

2004「産業用ロボット技術発展の系統化調査」国立科学博物館産業技術史資料情報センター
「ロボット」<http://ja.wikipedia.org> 「オートマタ」<http://ja.wikipedia.org>

産業ロボット

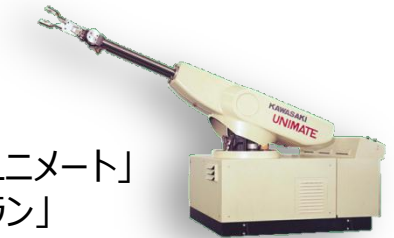


自動車製造：溶接工程

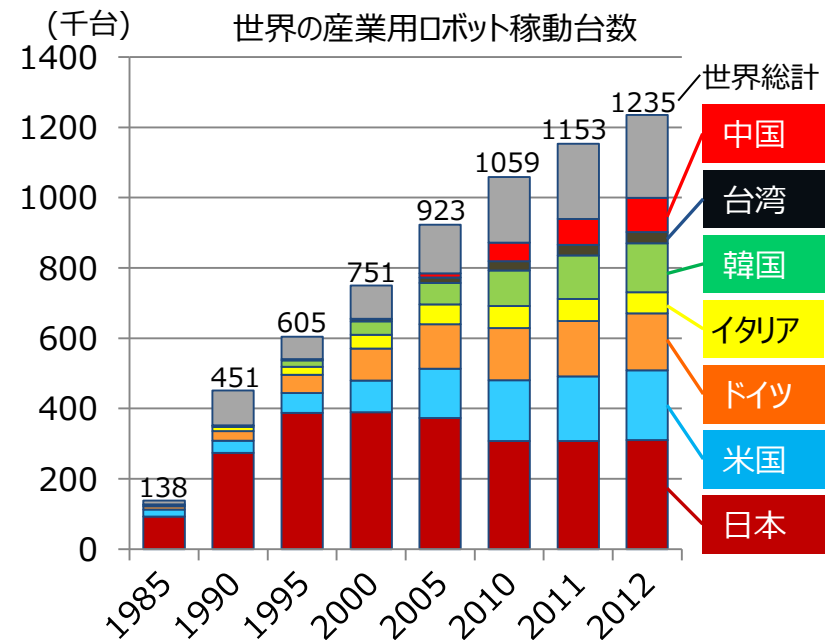
1962年

- ・ユニメーション社「ユニメート」
- ・AMF社「バーサラン」

発表



「川崎ユニメート2000型」1969年



参考：(社) 日本ロボット工業会「世界の産業用ロボット稼働台数」

「産業用ロボット技術発展の系統化調査」国立科学博物館産業技術史資料情報センター 2004年

ロボット分野の国際競争力比較

(○：競争力あり、△：平均レベル、×：競争力弱い)

応 用 分 野	日 本	米 国 ^{*1}	欧 州 ^{*2}
製造業用ロボット（産業用ロボット）	○	△	△
建設ロボット	○	×	×
福祉ロボット	△	△	○
医療用ロボット	×	△	×
原子力ロボット	△	○	○
災害対応ロボット	×	△	△
宇宙ロボット	△	○	△
エンタテインメントロボット	○	○	×
バイオ産業用ロボット	×	△	△
農業用ロボット	△	△	○
ホームロボット	×	×	×
サービスロボット	△	△	△
畜産ロボット	△	△	○
海洋ロボット	△	○	○
探査ロボット	×	○	△

*1 カナダを含む

*2 欧州のロボット研究の盛んな国のみを考慮

要 素 技 術	日 本	米 国 ^{*1}	欧 州 ^{*2}
マニピュレーション	△	○	△
移動技術（脚）	○	○	△
移動技術（クローラ）	△	△	○
移動技術（車輪）	○	△	△
多指ハンド	△	○	△
遠隔操作機構・制御	△	○	○
マイクロ・ナノ	△	△	△
シミュレーション	△	○	○
ヒューマンインタフェース	△	○	△
知的制御技術	△	△	△
センサ技術	○	○	△
視覚認識技術	○	○	△
ネットワーク技術	△	○	△
メディア技術	△	○	△
ソフトウェア技術	△	○	○

2001「平成12年度 21世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書」日本機械工業連合会・日本ロボット工業会

ロボット分野の国際競争力比較

産業用ロボット	日本		米国		欧州	
	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
研究水準	○	→	◎	↗	◎	↗
技術開発水準	○	→	◎	→	◎	↗
産業技術力	◎	→	◎	↗	◎	↗

欧州：マニピュレーションに関する研究がEUのプロジェクトとして遂行され、大学・研究機関と企業の連携が進む。

米国：ネットワーク技術を核にした、新しい産業ロボットを作ろうとする動きがある。

センシング・認知	日本		米国		欧州	
	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
アクチュエータ・メカニズム	○	→	◎	→	◎	↗
移動技術	○	→	◎	→	◎	↗
マニピュレーション	○	→	◎	→	◎	↗
知能化技術	○	→	◎	→	◎	↗
フィールドロボット	○	→	◎	→	◎	↗
研究水準	○	→	◎	→	◎	↗
技術開発水準	◎	→	◎	→	○	→
産業技術力	○	↘	○	↗	○	→

日本：顔認識技術、ジャイロセンサ、レーザレンジファインダなど国際的競争力が高い。

日本：アクチュエータ周辺技術、高性能サーボモータ、特殊環境

米国：日本が得意としてきた生物規範ロボティクスの流れを

米国、欧州：センシングや対象物の不確定性を表現する

日本：海外と比べ、国の投資の規模が極めてすくない。

日本：狭い空間を走行するレスキューロボットなど、その踏破能力において、世界のトップレベルである。

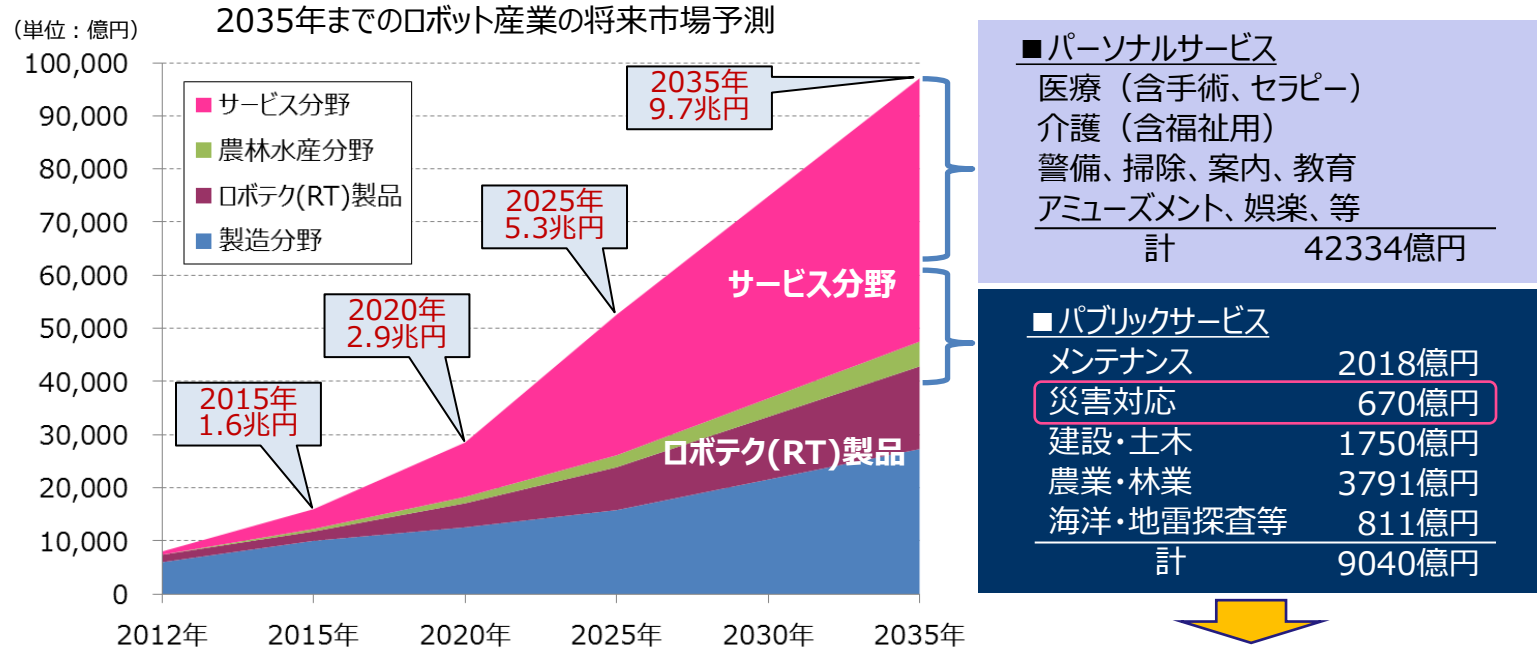
米国：小型軽量の不整地移動ロボットの軍事面での有用性が見いだされ「現場で使えるロボット」が複数の企業で量産されている。

海外：ロボットがICTに続く次世代のEconomic Enablerとして注目されている。

日本：医療ロボットやヒューマノイドロボットなどの個々のロボット研究試作や、サイエンス志向の研究が注目されており、将来のビジネスを意識したロボットの研究開発は行われていない。

ロボットの市場見込み

産業競争力懇談会(COCN)『災害対応ロボットセンター設立構想』プロジェクト による検討資料



- 米国は軍事・テロ対策用ロボットから海外市場、サービス事業へ展開する傾向
- 韓国・中国は産業用ロボット（製造分野）出荷額で日本に肩を並べる状況であり、日本の優位性は低下する傾向
- 日本はサービス分野（パーソナルサービス、パブリックサービス）を成長分野として重視
⇒災害対応ロボットセンターにより災害対応ロボットを670億⇒1040億へ拡大、普及効果も期待

- ・2012年 ロボット産業の市場動向 2013年7月 経済産業省産業機械課
- ・COCN『災害対応ロボットセンター設立構想』プロジェクト -イノベーションコースト構想の実現に向けて-
2014年3月7日 第3回福島・国際研究開発都市構想研究会

最後に

廃炉のための技術開発の課題 ～ ロボット技術に関して

□ 過酷で狭とした環境における信頼性

機器設計のための要件・仕様を明確に設定することが難しい

- ✓ 過剰な仕様適用は、現場で使えないもの（重く、大きく）になる可能性あり
- ✓ 経験がモノを言う（米国産は実戦仕込み）
⇒ 模擬環境などを活用し、機器の機能把握、運用など開発ノウハウを蓄積

□ 機能

調査まではできているが、補修などの作業はこれから

- ✓ 移動能力 ⇒ 更に条件の悪い環境へのアクセスビリティ
- ✓ 作業能力 ⇒ 補修など、複雑な作業をこなす能力
- ✓ 状況の変化に対応できる柔軟性、裕度

□ ロボット開発を事業化へ

廃炉をきっかけに将来のロボット事業へ

- ✓ 原子力関連や災害対応ロボットなど……プロ向け ⇒ ニーズに応え、実績を積重ねる
- ✓ 医療福祉などパーソナルサービスロボット…一般向け ⇒ 時代を先取り、潜在ニーズを具現化

米国スリーマイル島事故時に
開発された遠隔操作ロボット

遠隔探査ロボット(RRV)

450kg



遠隔作業ロボット(RWV) 4900kg

