

原子力災害における災害対応ロボットの活用

—NEDO特別講座災害対応ロボットワークショップ—

はじめに

- ◆ 2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に起因する福島第一原子力発電所の事故収束に向け、リモートコントロール技術を活用するプロジェクトが発足。
- ◆ プロジェクトは、政府・東電からなる「リモートコントロール化チーム」として事故直後から活動を開始し、初期対応に貢献し、発展的に解消。
- ◆ ここでは、当時の活動を振り返りつつ、**災害対応ロボットの活用に参考となる見解を導き、本ワークショップに貢献ができればと考えている。**

ワークショップのゴール

災害対応ロボットの社会導入と定着のために向けて、今からの一歩は何か

1. ロボット活用組織に関する事例・見解

リモートコントロール化チームの発足と活動内容

- ◆事故直後、政府事故対応組織の他のチームと共にリモートコントロール化チームが発足。4月に政府・東電からなる特別プロジェクトチームの一つとして活動。
- ◆プラント機器システムの復旧に当たる他チームに対して、横断的にリモートコントロール技術の導入に係る技術支援を実施。

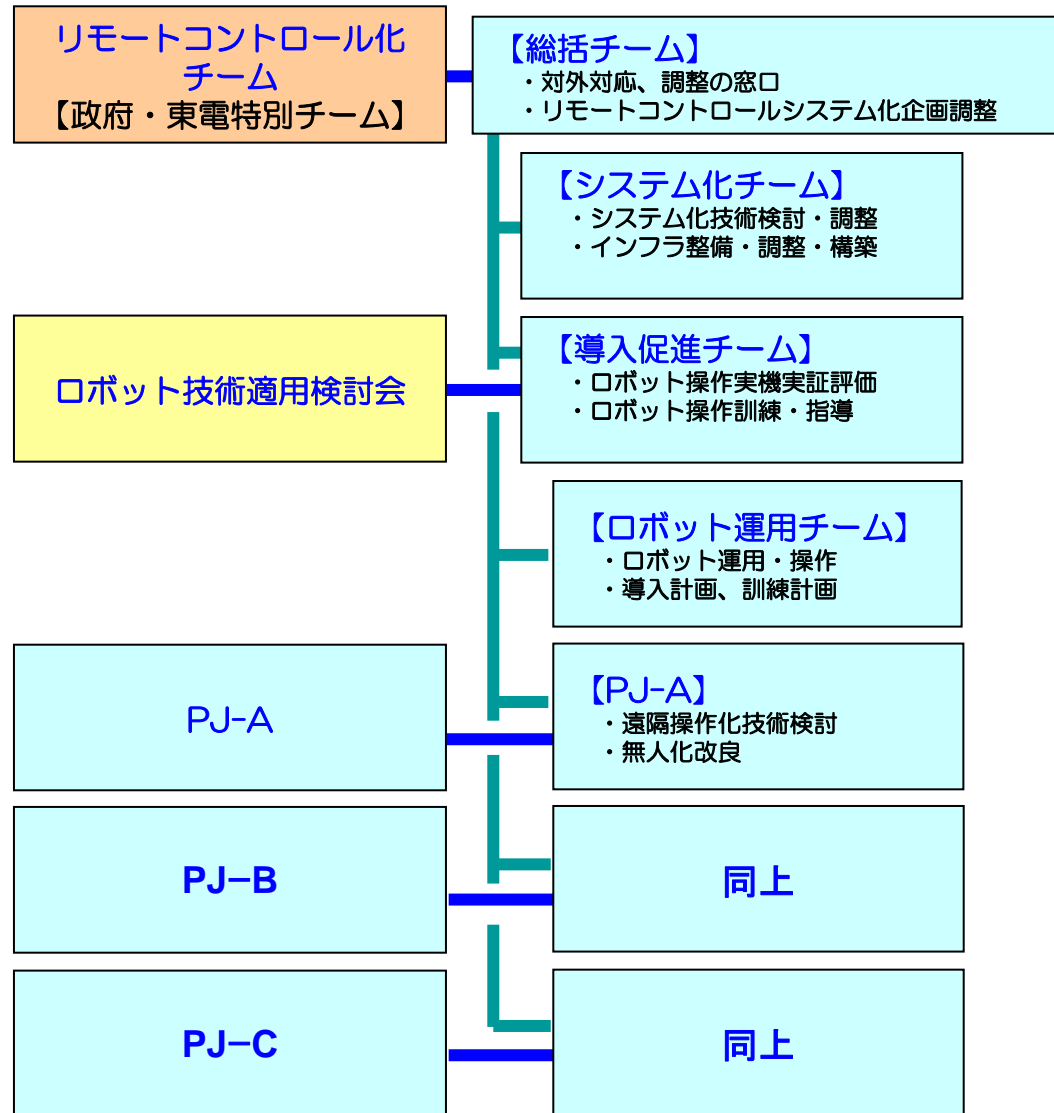
リモートコントロール化に係わったチームの概念

◆ リモートコントロール技術を使った災害対応組織。

- 総括チームは、政府のリモートコントロール化チームの東電側窓口。
- システム化チームと導入促進チームはリモートコントロール技術支援。
- 運用チームは、国内外から提供されたロボットの運用操作。
- 個々のPJのリモートコントロール化を相談。

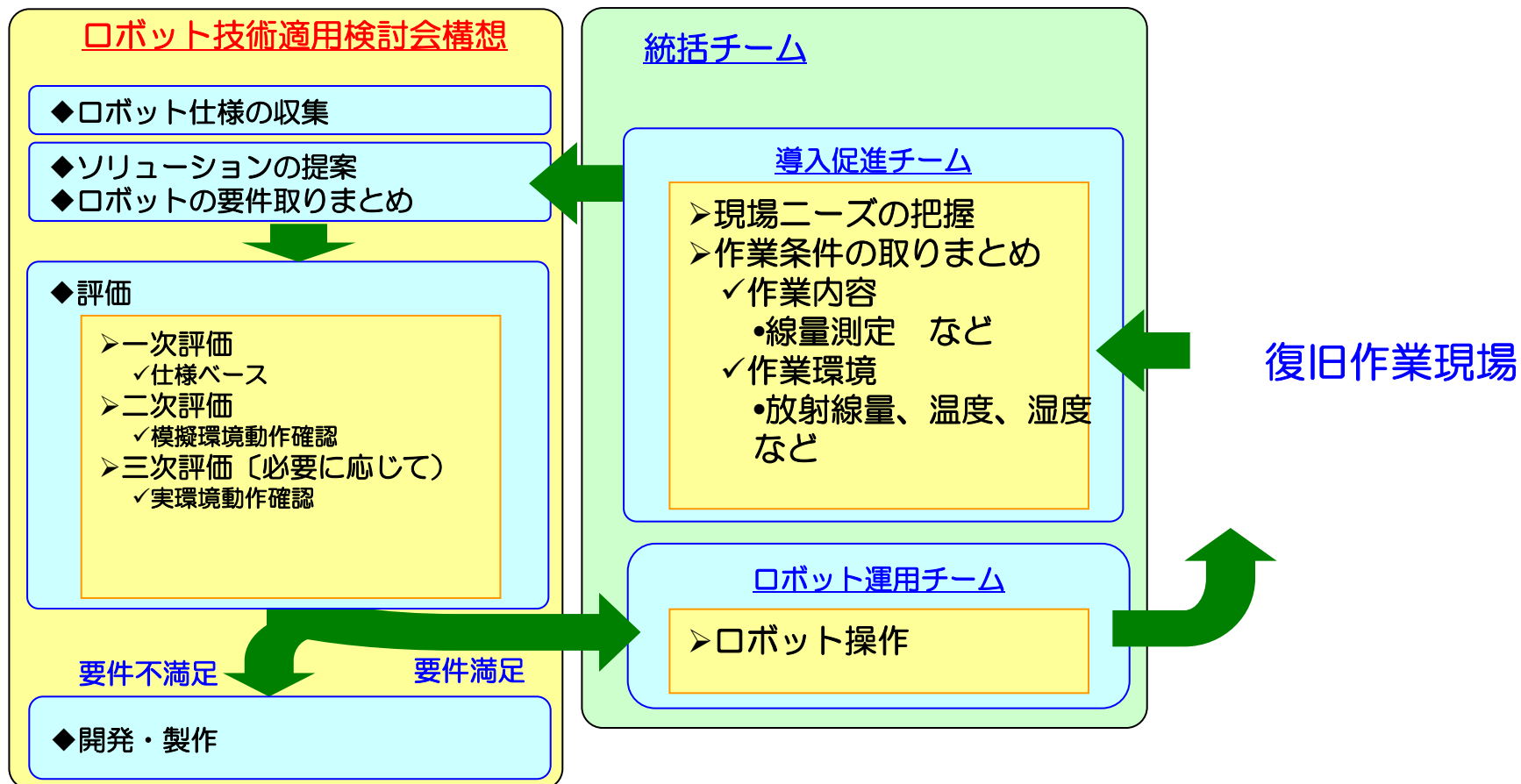
◆ リモートコントロール技術に係る現場ニーズと保有シーズのマッチング。

検討チーム・プロジェクト等



ロボット技術適用検討会構想

- ◆現場ニーズ・環境に適合したロボットの評価などのため専門家からなる**第三者検討会**。



災害現場とロボット

□災害対応とロボット運用

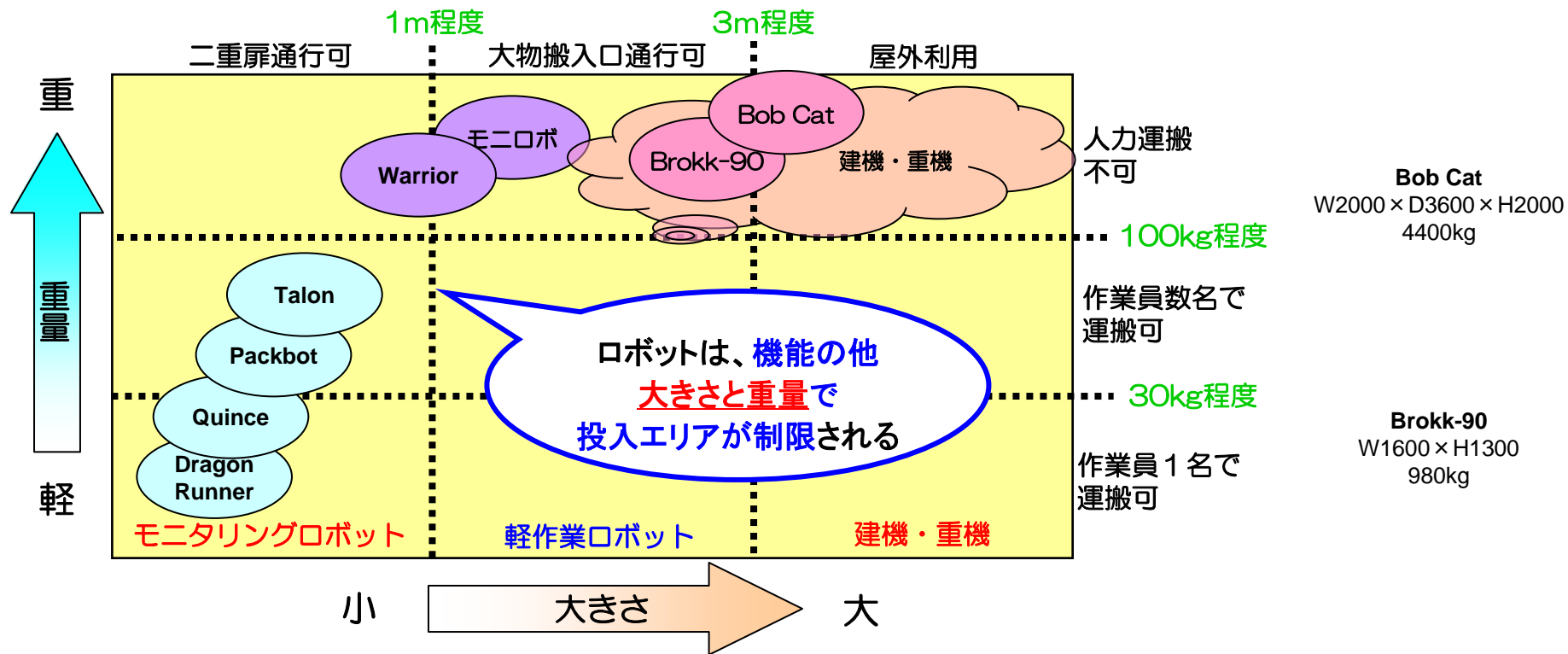
- 確実な業務遂行を考えると、未経験のロボット作業には慎重になった。
- ロボット製作者に負担を掛けず、訓練を受けた操作者で対応した。
- 現場環境条件の整備後、人力作業を含めた全体計画の下、ロボットの投入となった。

□無線干渉の回避とロボット運用体制の整備

- 各機器の無線仕様の把握が必要。自衛隊等の支援組織やロボット間の無線干渉を回避するため、運用時間の調整、関係者への事前連絡、無線使用免除申請等、ロボット運用管理体制の構築が重要。

ロボット選定の一要因

遠隔操作ロボット群の整理 (大きさ/重量)



Bob Cat
W2000 × D3600 × H2000
4400kg

Brokk-90
W1600 × H1300
980kg

Dragon Runner
W410 × D430 × H130
7kg

Quince
W480 × D670 × H225
29kg

Talon
W560 × D870 × H300
50kg

Warrior
W800 × D900 × H530
150kg

モニロボ(A)
W800 × D1500 × H1500
600kg

研究機関による耐放射線性調査と管理方針作成

- ◆ JAEAにてロボット等への放射線影響を調べ、数10Sv程度までは動作可能と評価。
 - 電子部品は、
 - ✓ 数10Sv～100Svの耐放射線性を有する。
 - ✓ Quinceの汎用電子部品の照射試験の結果、～200Gyまで耐えられる
- ◆ 電子部品を個別に遮蔽すると、設置スペース制限などの不利益が生ずる。累積線量管理で対応。重機やロボットに線量計を装備。
 - 大型重機、大型ロボットの場合：20Sv
 - 回収可能な機器：30Sv

災害対応のロボット活用組織はどうあるべきか

- 災害初期のロボット運用には、どのような組織が有用か
リモートコントロール化チーム
- 組織活動を効率化するために何ができるか
 - ロボットの特徴をまとめたデータベース構築と更新
 - ロボットの完成度やロボットの試験稼働による事前評価（研究レベル、プロトタイプ、実用レベル）
 - 操作性
 - ロボットの耐環境性データ
 - 費用など経済性
 - 電池など消耗品の互換性

2. 目標の設定に関する事例・見解



リモートコントロール技術導入目標

◆高放射線作業環境でリモートコントロール化機器を使い、作業員の被ばく低減をする。

✓ 作業員の負担軽減、作業効率の向上も見込んでいた。

◆現場導入の配慮：現場ニーズ、確実な作業、投入リスクの回避

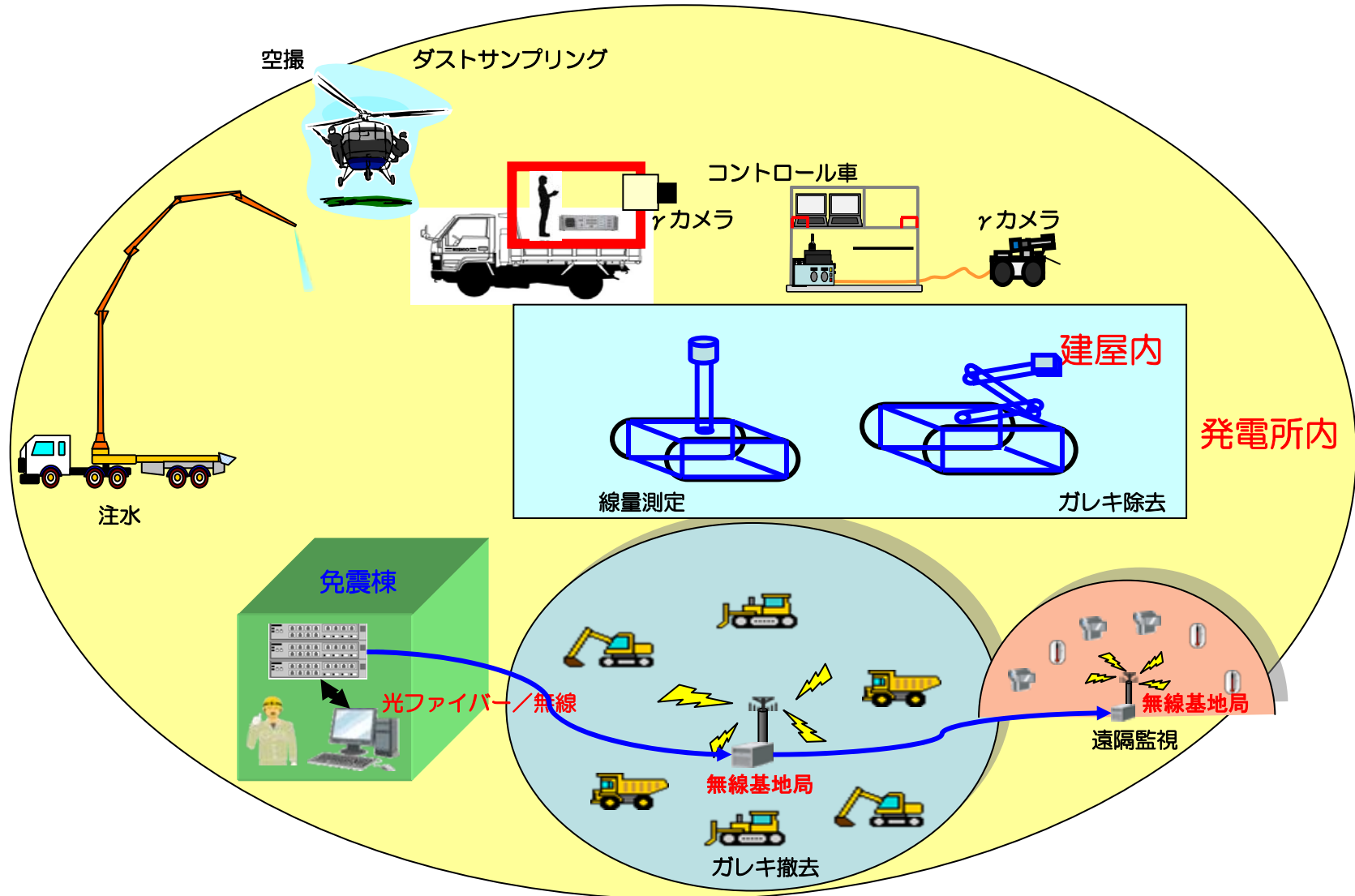
- ◆各復旧チームの作業内容・工法に添ったリモートコントロール化の要望等を聴取。
- ◆リモートコントロール技術適用の際は、現場作業チームの意見を尊重。ロボットを、安心して使えるよう心がける。
- ◆高放射線環境下などの現場で動作不能になった場合でもロボットが障害とならない投入機器の選定。

目標設定とソリューション

- 目標達成のため、ロボットを活用のポイント
 - － 現場はロボットを使わない作業が既知、ロボットでできることは未知
 - － 災害対応作業へのスムーズなロボットの組み入れ
 - － ロボット技術を使ったソリューションも必要
- 災害対応ロボットの社会導入への一歩
 - － 防災訓練を通じて得られる知見の学会での集約
 - － ロボット活用ソリューション作成のための援助ツール構築
 - － 指揮命令を含めたシミュレーション訓練
 - － 大規模災害時の特別法の整備(資金確保策を含む。)

3. 活用事例

福島第一での初期のリモートコントロール技術の展開



原子力災害現場とロボット

- ◆ 放射線下作業に、リモートコントロール技術適用の検討をした。
 - 屋外ガレキ除去のため、無人化建機の手配し、事故後26日目から作業開始
 - 注水用のコンクリートポンプ車の無人化改造の取り組み
- ◆ 国内外からの提供機器の運用。
 - ロボットは、復旧作業に合わせて投入した。Packbotが、事故後37日目に建屋内でモニタリングを遂行した。

無人化大型建機によるガレキの撤去（屋外）

◆屋外ガレキの撤去のため、災害復旧作業で使われていた建設機械に放射線遮蔽を設置し運用

- 作業員および重機の被ばく線量低減し長時間作業が可能。
- 操作は現場から最大約2kmの場所で、移動式コントロール車内から実施。

小型無人化建機によるガレキの撤去（屋内外）

- ◆ 3号機の冷却設備の設置工事のため、大物搬入口および建屋内のガレキ、障害物撤去が必要。
- ◆ チェルノブイリ等、高放射線環境下で作業実績のあるBrokk社製（スウェーデン）建機などを導入。
- ◆ 電波干渉の回避のため、有線方式を優先。

無人化高圧コンクリートポンプ車による注水

◆コンクリートポンプ車の無人操作を検討

- 注水操作、ブーム操作、給水、監視映像の伝送等の遠隔操作化を検討し、無線中継局を介した遠隔操作・監視ネットワークを構築。

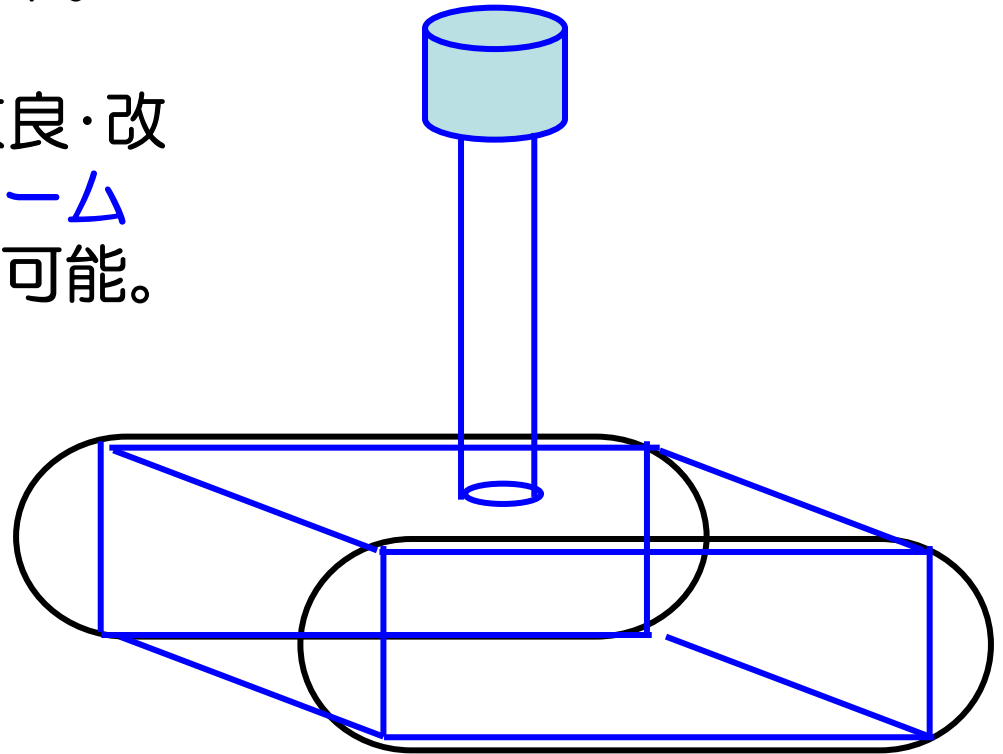
◆燃料補給のリモートコントロール化は課題

小型ロボット（海外）

- ◆ Pacbot（iRobot社提供）は、**事故後、原子炉建屋に突入。**
 - 1台目の動作を2台目でモニター
 - 原子炉建屋内の、画像・放射線量など現場調査を実施。
- ◆ DOE提供Talon（Qinetiq社）は、**自動線量マップ化システム搭載**
 - ルート上の放射線測定結果を、GPSマップ上に表示。
- ◆ Warrior（iRobot社提供）は、**真空掃除機を装備させ、建屋内清掃に活用。**

小型ロボット（国内）

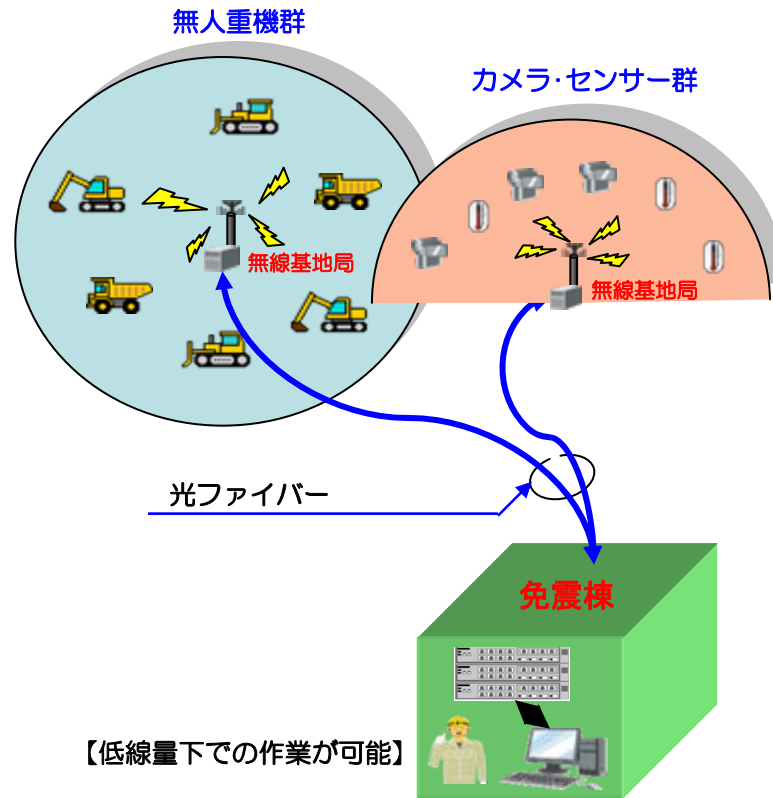
- ◆Quince（千葉工大、東北大学、IRS提供）の**高い走破性**により、2階以上のエリアでも作業。
- ◆現場ニーズに合わせた改良・改造など、**国内の開発者チーム**による**臨機応変な対応**が可能。



構内LANの構築

◆現場から離れた建物内からの制御・監視のため、光ファイバと無線を組み合わせた無線LANを構築。

- 複数の中継局を設置、無線エリアは複数の無線セルに分割、操作と監視の周波数の分離等の対策を実施。



無線LANネットワークのイメージ

◆高放射線エリアで、リモートコントロール機器の操作や各種モニタリング作業を実施するために開発（JAEA）。

- 遮蔽機能
- 情報収集機能（ γ カメラ、監視カメラ等）
- 補助機能（照明、発電機、等）
- リフターを装備

◆ γ カメラは、遠方から放射性物質の散乱状況を可視化でき、汚染状況を把握するのに有益。

- 距離補正ができる γ カメラが最も有効。
- 測定時間の短縮化が課題

運用事例のまとめ

- 巨大・複雑システムでの大規模災害へのロボット群の展開
- 通信環境及びその活用
- 作業場所と操作場所のあり方

4. 計画遂行に関する考察

ロボットの操作とロジスティクス

◆ロボットのオペレータ

- 職員がロボットを操作する場合、訓練にはある程度の時間が必要。
- 基本操作訓練の後、現地近傍で**模擬訓練**等を実施、ミッション決定後、5号機建屋内で**モックアップ**を実施。

◆ロボット操作の周辺で考えておくこと

- ロボットの現地への**輸送**
 - ✓ 道路の寸断。ガソリンの入手困難。操作員も被災者
- 操作員のための**場所**の確保
- 安全な場所でのロボットの充電・メンテナンス
 - ✓ 汎用部品を極力多用し、特注部品を少なく
 - ✓ 在庫切れ、製造中止、旧ソフトウェア等による影響低減

組合せによる多機能性と状況把握

◆多様な災害現場への適応方策

- 複数の移動体と各種作業用ツールを用意。事故現場に応じて組合せ。
 - 重機から小型ロボットサイズまでの移動用プラットフォーム整備
 - モニタリング、カメラ、マニピュレータ等の様々なツール準備
 - 仕様の標準化

◆ロボット操作を安心して行うための周囲状況確認

- 一例として、先行作業ロボットと状況監視ロボットの組み合わせ→安心したミッション遂行へ

システム化と情報の確保

- ◆ 遮蔽体、計測器、照明、発電機、ロボット操作車を含めたシステムの整備が必要。
 - ロボットシステムの長期的維持管理の要員、予算の確保が重要
 - 事故現場でロボットを操作する操作員の実践的な訓練体制の整備が重要
 - 事故現場の状況に合わせ、組み合わせや改造等ができる即応力を有するエンジニアリング体制も必要
 - 速やかな機材搬送、部品供給などができる機動力も重要
- ◆ 災害復旧に必要な組織・図書・資機材も、災害の影響を受ける。

計画遂行に必要なこと

- 操作員の育成、確保、派遣
- メンテナンスの容易化
- ミッションと具備するものの組合せ、ロボットモジュール化
- 現場でのフィッティング、改良の容易性
- 汎用部品、共通部品の利用
- 運搬などロジスティクス
- 作業場所と操作場所の情報、臨場感の重要性