

## ロボット・遠隔操作機器のニーズ

- 注水による冷却
- 瓦礫除去(屋外, 建屋内)
- 調査(映像, 放射線, 温度, 湿度, 等)
- 除染・遮蔽
- サンプル採取(ダスト, 汚染水, 燃料デブリ)
- 汚染水漏えい個所の同定・止水・補修
- 燃料デブリの切断・取り出し
- 解体・廃炉

これまでに導入されたロボット・遠隔操作機器



## 現在行われているロボット技術開発関連の取り組み

- 研究開発推進本部・遠隔技術タスクフォース
- エネ庁「発電用原子炉等事故対応関連技術開発費補助金」
- NEDO「災害対応無人化システム研究開発プロジェクト」
- 総務省「ライフサポート型ロボット技術の研究開発」
- 総務省「ホワイトスペース利用システム」
- 電事連「原子力緊急事態支援組織」の設置
- 産業競争力懇談会「災害対応ロボットと運用システムのあり方」

## これまでの原子力ロボット開発プロジェクトの問題点

- **これまで行われた原子力関連のプロジェクト**
  - 原子力プラント点検ロボット(通産省)
  - 極限作業用ロボット(通産省)
  - 原子力基盤技術開発(科学技術庁)
  - JCO 対策原子力防災ロボット(通産省, 科学技術庁, 等)
- **これまでのプロジェクトの成果が活用できなかった原因**
  - 基盤技術や要素技術開発(プロトタイプ開発)までに留まる
  - 実用化のための支援策の欠如
  - 需要不在(企業努力のみでは困難)
  - 開発に対するユーザの消極的関与

## 早急に解決すべき課題

- **福島原発の中長期措置における遠隔技術開発**
  - 有機的で迅速な連携の強化
    - 俯瞰的(横串)視点からのニーズ把握, 技術開発・適用の統括
    - 現場と研究開発との連携, プロジェクト間連携
    - 産学官連携, 省庁間連携, 国際連携, 地域連携, メーカー間連携
  - 開発のための拠点・体制・組織の構築
    - モックアップ・テストフィールド・シミュレーションプラットフォーム
      - 開発時: 設計仕様確認, 実証試験・機能評価
      - 運用時: メンテナンス・訓練
  - 困難な課題に対するソリューションの最適で効率的な導出
    - DARPAチャレンジ
    - 企業カタログ・人材カタログ(システム・インテグレータ)
- **今後の原子力災害や事故に対する備え**
  - 運用のための拠点・体制・組織
- **長い寿命の人工物に関する技術の維持**

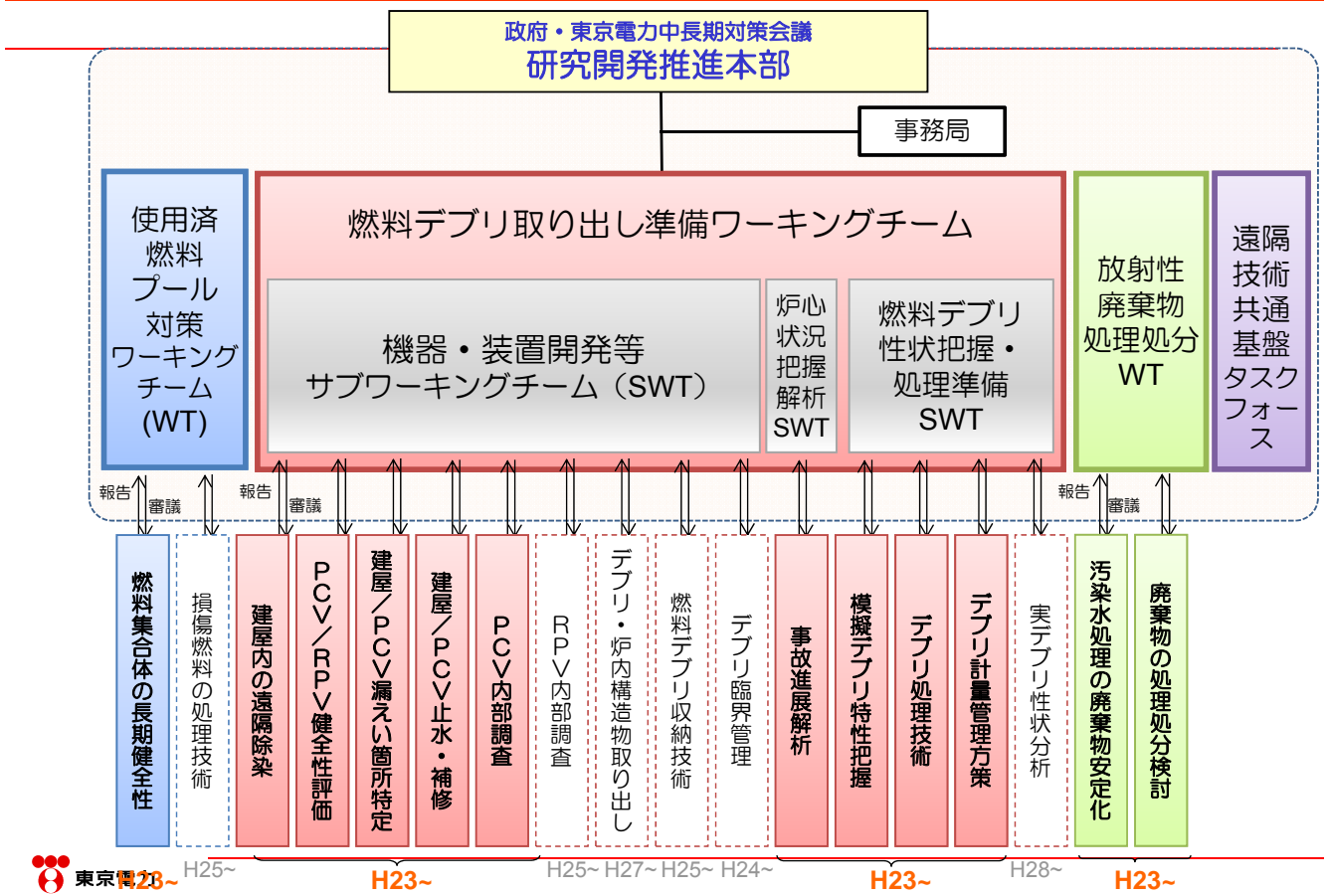
# 経験から得られた課題と政策提言

- リスクに対する備え
  - 国の長期的戦略, 継続的投資(負担), 制度設計
- 実用化を目標とした研究開発・技術開発
  - ニーズ駆動型開発(ユーザと組んだ開発)
  - 「作る」と「使う」のループを継続的に回す(技術は生もの)
  - 産業競争力の強化(需要創出, 人材育成)
- 機材を運用する拠点・体制・組織(FEMA?)
  - 配備の体制・指揮系統の明確化(災害・事故発生時)
- 安全(災害対応)の実現のための牽引役
- 経験を活かした技術力の強化・競争力の強化

# 参考資料

## 研究開発推進本部の研究実施体制

4



20

# 経済産業省資源エネルギー庁 発電用原子炉等事故対応関連技術開発費補助金 (平成23年度三次補正予算)

原子力委員会「東京電力(株)福島第一原子力発電所における中長期措置検討専門部会」の報告書案において示された作業フロー／研究開発項目のうち、特に迅速な実施が求められる以下の5件に関する技術開発、及びこれらの効率的かつ計画的な執行を推進するために必要な運営管理

- (1) 原子炉建屋内の除染作業(例:汚染状況に適した除染技術の選定または開発及び装置開発等)
- (2) 原子炉建屋、格納容器からの漏えい箇所の調査(例:漏えい箇所の特定に適した調査技術の選定または開発及び装置開発等)
- (3) 格納容器内部状況調査(例:格納容器外部からの内部調査技術の選定または開発及び装置開発等)
- (4) 原子炉建屋漏えい箇所止水・格納容器下部補修作業(例:補修装置開発と遠隔移動装置を組み合わせた格納容器遠隔補修装置の開発等)
- (5) 圧力容器／格納容器の腐食に対する長期健全性評価(例:高温の海水に曝されていた圧力容器／格納容器に対する腐食抑制材の選定または開発)



Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



## 経済産業省資源エネルギー庁 技術カタログ

(国内外の叡智の結集)

東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた燃料デブリ取出し準備の機器・装置開発等に係る技術カタログの公募  
一日立GEニュークリア・エナジー(株), (株)東芝, 三菱重工業(株)  
除染技術, 格納容器漏洩箇所点検, 格納容器補修技術, 格納容器内部調査技術

- (1) 建屋除染に関する技術及び除染システムを搭載遠隔操作に関連する技術
- (2) 遠隔操作等の走行機器や計測機器に関連する技術

		(1)公募テーマのいずれかに合致し、かつ提案書の記載内容が十分なもの	(2)公募テーマのいずれにも合致しないが、燃料デブリ取出し準備作業に有用と考えられるもの	(3)福島第一原発対象外	(4)情報不備等	計
一次公募	除染	45	23	0	1	69
	PCV	82	21	0	0	103
	計	127	44	0	1	172
二次公募	除染	25	17	0	1	43
	PCV	40	18	0	1	59
	計	65	35	0	2	102
メーカー調査 (ベンダーへの確認が取れているもの)	除染	32	0	0	0	32
	PCV	84	5	0	0	89
	計	116	5	0	0	121
計	除染	102	40	0	2	144
	PCV	206	44	0	1	251
	計	308	84	0	3	395



Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012





# 経済産業省・NEDO 災害対応無人化システム研究開発プロジェクト (平成23年度三次補正予算)

災害や重大事故等によって家屋、産業・公共施設等が被災し、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、復旧活動を行うための以下の災害対応無人化システムの研究開発を行う。

- (1) 作業移動機構の開発
  - ① 小型高踏破性遠隔移動装置の開発
  - ② 通信技術の開発
  - ③ 遠隔操作ヒューマンインタフェースの開発
  - ④ 狭隘部遠隔重量物荷揚／作業台車の開発
  - ⑤ 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
  - ⑥ 大気中・水中モニタリング／ハンドリングデバイス等の開発・改良
    - (a) 大気中モニタリングデバイス／水中モニタリングデバイス
    - (b) 汚染状況マッピング技術
    - (c) ハンドリングデバイス技術
- (3) 災害対策用作業アシストロボットの開発
  - ⑦ 作業アシストロボットの開発



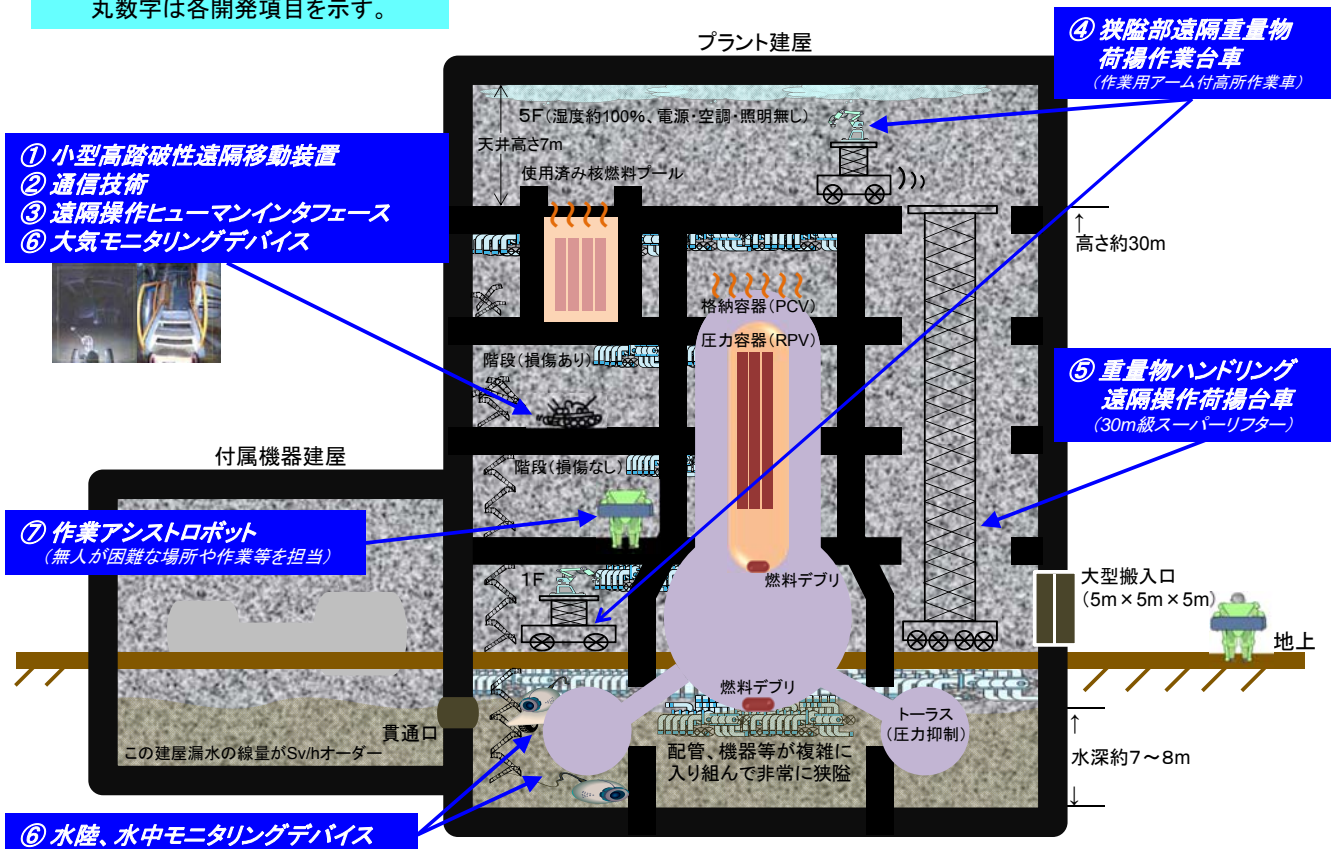
Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



## 取扱嚴重注意

災害対応無人化システムの成果と活用イメージ(最も過酷な被災プラントを想定)

丸数字は各開発項目を示す。



# 産業競争力懇談会

## 災害対応ロボットと運用システムのあり方 提言(報告)に向けての検討内容

- 防災ロボット, 無人化施工システム, 原子炉解体ロボットの各々について, 利用分野に応じた仕様, 必要な要素技術, 開発スケジュール及び資金, 体制, 実用化・運用にあたっての課題について提言をまとめる.
- 防災ロボットについては, 技術的には搭載用機器(各種センサー, 防曇システム, マニピュレータ)の能力向上, 対放射線被曝性能向上, 群データ管理システム等の開発, 量産体制の確保等. またこうしたロボットの運用体制, 要員の訓練等.
- 無人化施工システムについては, 遠隔操作能力の向上, がれきの分別システム, 汚染土の除染システム, 対放射線被曝性能向上, 大規模構造物の建築, 解体への利用, 技術の他分野への応用可能性等.
- 原子炉解体ロボットについては, 日本及び諸外国で開発された通常状態における解体ロボットの調査, 今回の事故における要求仕様, 必要な要素技術, ロボット自体の除染技術等.

## 検討体制(平成23年度)

- プロジェクトリーダー 浅間 一 東京大学
- WG1(防災ロボット)主査 田所 諭 東北大学
- WG2(無人化施工システム)主査 鶴岡松生 鹿島建設
- WG3(原子炉解体システム)主査 齋藤 荘蔵 HGNE
- メンバー
  - 鹿島建設, 清水建設, 新日鐵, 東芝, 日立, HGNE, 富士通, 三菱重工, 三菱電機, 熊谷組, コマツ, 大成建設, 日立建機, 安川電機, 京大, 早大, 東大, 産総研, ロボット学会, ロボット工業会, 情報通信技術委員会
- オブザーバー
  - 経済産業省, 文部科学省, 国土交通省, 総務省, 日本原子力研究開発機構, 土木技術研究所, NEDO
- 事務局
  - 製造科学技術センター
- 新メンバー(H24~)
  - 竹中工務店, 大林組, (株)モリタホールディングス, トピー工業(株), 双日エアロスペース(株)



# 研究開発課題

- 防災ロボット(WG1)
  - プラント内調査・モニタリングロボットシステムの開発
  - プラント内遠隔危険作業ロボットシステムの開発
  - システム統合化・標準化・試験評価とキーとなる基盤技術の開発
- 無人化施工システム(WG2)
  - 遠隔操作型瓦礫処理システム(機械装置含む)の開発装置
  - 災害対応に最適な運搬技術(機械・施工システム)の開発
  - 原子力施設解体・仮設構築のためのロボットシステム
  - ガレキ処理運搬システム(水中版)の開発
- 原子炉解体ロボット(WG3)
  - 災害対応エンジニアリング支援システム
  - コンクリートサンプリング・表面除染ロボット
  - 機械・電気品解体物の放射線モニタリング・除染・分別技術
  - 原子炉解体ロボット、原子炉解体システム
  - コンクリート構造物の切断技術のロボット化

## 検討体制(平成24年度)

- プロジェクトリーダー 浅間 一 東京大学
- WG1(防災ロボット) 主査:田所 諭 東北大学
- WG2(無人化施工システム) 主査:植木睦央 鹿島建設
- WG3(インフラ点検/メンテナンスロボット) 主査:大石直樹 新日鐵
- WG4(運用システム及び事業化) 主査:川妻伸二 JAEA
- メンバー
  - 鹿島建設, 清水建設, 新日鐵, 東芝, 日立, HGNE, 富士通, 三菱重工, 三菱電機, コマツ, 熊谷組, 大林組, 大成建設, 竹中工務店, 日立建機, 安川電機, モリタホールディングス, トピー工業, 双日エアロスペース, 京大, 早大, 東大, 産総研, JAEA, 土研, ロボット学会, ロボット工業会, 情報通信技術委員会
- オブザーバー
  - 経済産業省, 文部科学省, 国土交通省, 総務省, NEDO
- 事務局
  - 製造科学技術センター

【ロボットの種類】 現時点（H24.7 現在）で使用中の、主なロボットは以下の通り。

名称	メーカー	写真	数※1	主な用途
Packbot	iRobot		4 (3)	・現場調査 ・線量測定 ・軽作業 等 (建屋内用)
Quince	・千葉工大 ・東北大 ・国際レスキューシステム研究機構		3 (2)	・現場調査 ・線量測定 等 ・ダストサップリンク (Q2) ・3D スキャナ (Q3) ※2 有線断絶時、無線通信可
サーベイランナー	トピー工業		1	・現場調査 ・線量測定 等 (地下階アクセス用) ※2 有線断絶時、無線通信可

※1 上段の数が、当社保有台数。( ) 内は、現在使用可能な台数。

【ロボットの使用実績】

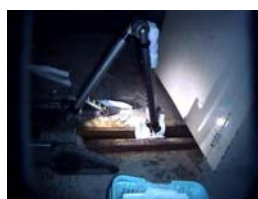
○1～3u R/B 内におけるロボットの使用実績は以下の通り。(H24.7 現在)

現場調査（線量、画像、等データ採取）		
月日	場所	ロボット
4/17	1u 1F	Packbot
4/17	3u 1F	Packbot
4/18	2u 1F	Packbot
4/26, 29	1u 1F	Packbot
5/10	3u 1F 北	Packbot
5/13, 6/3	1u 1F 南	Packbot
6/24, 7/2	3u 1F 南	Packbot
7/8	2u 1～3F	Quince
7/22	3u 1F 北東	Packbot
7/26	3u 1～2F	Quince
9/22	2u 1F 南	Quince
9/24	3u 1F	Quince
10/13	1u 1F 南	Packbot
10/20	2u 1～5F	Quince
11/3	3u 1F	Packbot
11/14, 19	3u 1F 北東	Packbot
2/27	2u 5F	Quince2
3/21	2u TIP 室	Quince2
4/18	2u トイレ室	サーベイランナー
5/23	3u 1F TIP 室	Quince2
6/13	2u 1～5F	Quince2
7/4	1u 1F 南	Packbot Quince2, 3

除染作業、現場作業監視等			
月日	場所	ロボット	作業概要
7/1	3u 1F 南	Warrior	清掃作業
7/6	3u 1F 南	Warrior	現場作業監視
7/6	3u 1F 南	Packbot	現場作業監視
7/8	3u 1F 南	Packbot	現場事前調査
7/12	3u 1F 南	Packbot	現場作業監視
9/23	2u 1F	JAEA3 Packbot	γカメラ撮影 画像撮影
9/23	3u 1F	Packbot	画像撮影
11/2, 3	3u 1F	Warrior Packbot	干渉物の移動
11/14 17, 18, 19	3u 1F 北東	Packbot	レール水 拭き取り 他
H24. 5～ (実施中)	1～3u 1F	Packbot	γカメラでの 現場調査 (※)

※国プロ『建屋内の遠隔除染技術の開発』にて実施。

日立GE殿が実施主体。(東電から Packbot2 台を貸与)



Packbot による軽作業 Warrior による清掃作業

- 4u・6u は、ロボットの R/B 内投入実績なし。
- 5u は、M/U での R/B 内投入実績多数。

8/2 1u T/B2F SGTS 室 Packbot 5000mSv/h を記録



2012年7月20日  
電気事業連合会  
日本原子力発電(株)

### 「原子力緊急事態支援組織」の設置について

電気事業連合会は、本日、東京電力福島第一原子力発電所の事故対応の教訓を踏まえ、万が一事故が発生した場合でも、多様かつ高度な災害対応が可能な支援体制を2012年内に整備した上で、2015年度中に「原子力緊急事態支援組織」を設置することといたしました。

こうした取り組みは、これまで実施してきた原子力発電所の緊急安全対策による安全確保に加え、自主的・継続的にさらなる安全性向上をめざすものであります。

「原子力緊急事態支援組織」は、高い放射線量のなかで事故収束活動にあたる作業員の被ばくを可能な限り低減するため、遠隔操作可能なロボット等の資機材を集中的に管理・運用するとともに、現場状況の偵察、空間線量率の測定、がれきの撤去などを行い、事故発生事業者の緊急対応活動を支援いたします。

電気事業連合会は、以下のとおり、こうした支援体制をできるだけ速やかに整備し、段階的に充実させる予定です。

2012年内に、日本原子力発電(株)が主体となり、必要なロボットを調達するとともに、ロボット等の資機材の搬送手段および電力各社の操作要員を確保

日本原子力発電(株)は2013年3月までに、多くの原子力プラントが県内に立地し、全国の原子力発電所のほぼ中間地点に位置する福井県に拠点を置き、ロボット等の資機材の集中管理および電力各社の操作要員の訓練を継続的に行う専任チームを整備

将来的な組織形態など支援組織のあるべき姿を電力業界全体で検討し、2015年度中に、ロボット等の資機材の維持管理ならびに関係機関と連携し、多様かつ高度な災害対応が可能な「原子力緊急事態支援組織」を全国に1~2カ所程度設置

電力各社は、これまで実施してきた原子力発電所の緊急安全対策による安全確保に加え、世界最高水準の安全性をめざして、設備・運用面の改善と組織的な取り組みを実施しておりますが、今後とも、さらなる安全性向上に自主的・継続的に取り組み、立地地域をはじめ広く社会の皆さまからの信頼回復に最大限の努力を続けてまいります。

以上

## 「原子力緊急事態支援組織」の整備計画について

### 2012 年以内に

日本原子力発電(株)が実施主体となり、2012 年以内にロボット 3 台 [ iRobot®社製 - Packbot® 2 台 <現場の偵察(映像、放射線測定)>、Warrior 1 台 <偵察に必要な障害物の撤去> ] を最優先資機材として調達

ロボット等の資機材の搬送手段および電力各社の操作要員(各発電所 6 名程度、全社計 100 名程度)を確保



Packbot®



Warrior

### 2013 年 3 月までに

日本原子力発電(株)の専任チーム(8 名程度)を福井県に設置

ロボット等の資機材の集中管理および電力各社の操作要員(各発電所 6 名程度、全社計 100 名程度)の訓練の継続実施

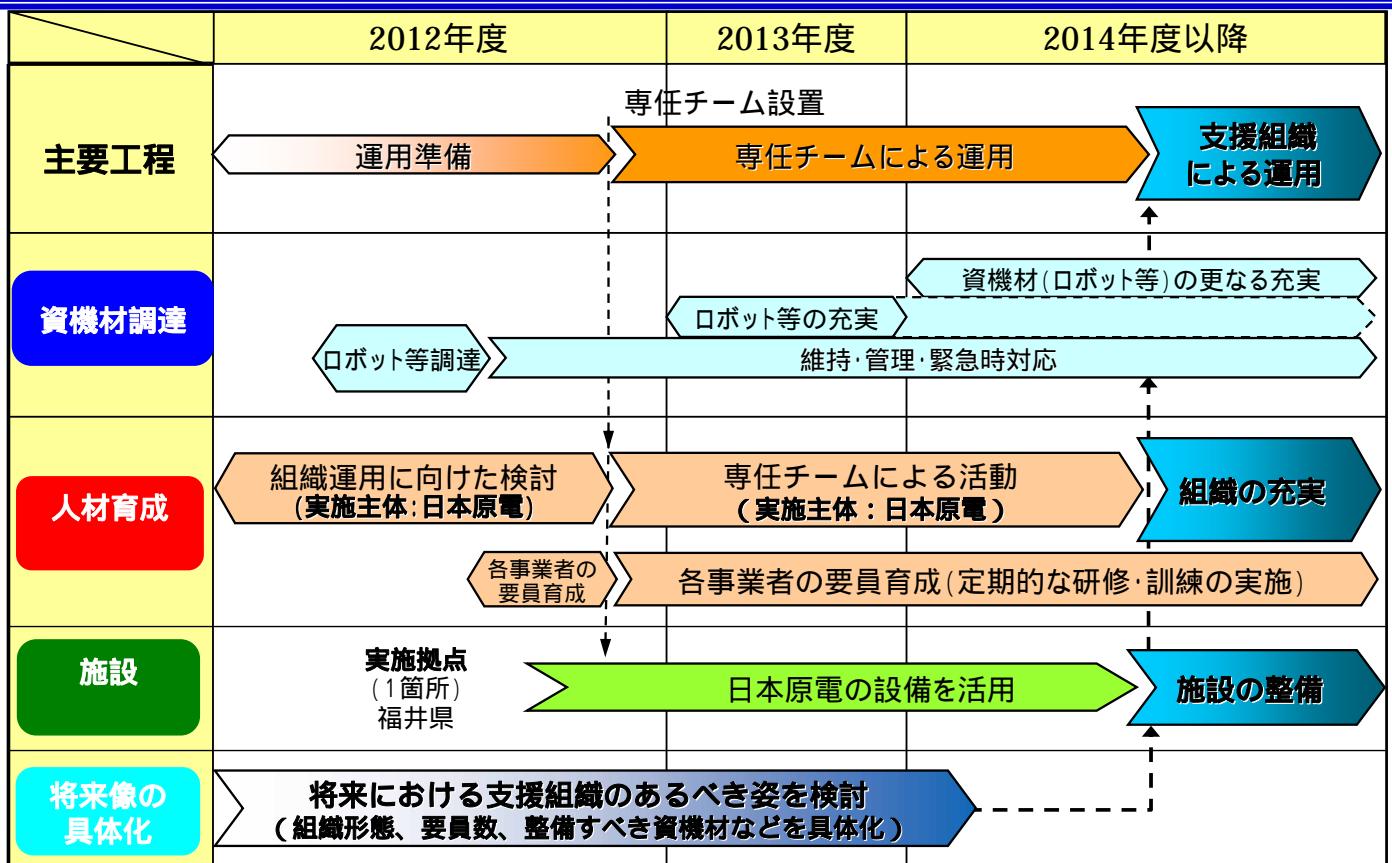
ロボット等の資機材の拡充を検討

### 2015 年度中

フランス、ドイツなど諸外国における支援組織の整備動向を参考にして、電力業界全体で支援組織のあるべき姿(組織形態、要員数、整備すべき資機材など)を具体化し、2015 年度中に「原子力緊急事態支援組織」を設置

- ・拠 点：全国で 1~2 ヲ所程度(福井県ほか)
- ・要員数：20 名程度
- ・施 設：事務所兼研修棟、資機材庫、改良・実証施設、訓練フィールド
- ・資機材：偵察用ロボット、放射線測定用ロボット(地上、空中)、除染用ロボット、遠隔操作重機(がれき撤去等)、現地指揮車両、資機材輸送車両 等

# 「原子力緊急事態支援組織」整備計画スケジュール



電気事業連合会

## 「原子力緊急事態支援組織」の概要

福島第一原子力発電所事故を踏まえ、高放射線量下など多様かつ高度な災害にも対応可能な世界最高水準の災害対応組織を現在検討している

### 役割

緊急時に迅速に展開し、多様かつ高度な災害対応を実施することにより、事故発生事業者を支援

ロボット等資機材について、維持管理と関係機関と連携した継続的改善・充実化を実施。また、計画的に要員を育成

**組織** (海外の先行事例を参考)

**拠点** 全国で1～2カ所程度(福井県ほか)

**要員数** 20名程度

**施設** 事務所兼研修棟、資機材庫、改良・実証施設、訓練フィールド

**資機材** 偵察用ロボット、放射線測定用ロボット(地上、空中)、除染用ロボット、遠隔操作重機(がれき撤去等)、現地指揮車両、資機材輸送車両等

**設置時期** 電力業界全体で支援組織のあるべき姿(組織形態、要員数、整備すべき資機材など)を具体化し、2015年度中に設置

電気事業連合会



## DARPA Robotics Challenge Inspiration and Goals



Man-Computer Symbiosis  
J. C. R. Licklider (head of DARPA IPTO 1962)  
IRE Transactions on Human Factors in Electronics,  
volume HFE-1, pages 4-11, March 1960



**Fukushima - 2011**

"... close study of the disaster's first 24 hours, before the cascade of failures carried reactor 1 beyond any hope of salvation, reveals clear inflection points where minor differences would have prevented events from spiraling out of control." *IEEE Spectrum*, November 2011 pg. 36.

1. Target disaster response in dangerous environments, and important DoD capability for HADR (Humanitarian Assistance and Disaster Relief) missions
2. Advance supervised autonomy, mobility, manipulation, and energetic efficiency.
3. Catalyze the robotics industry by developing a validated, real-time, operator-interactive simulator.
4. Welcome a wide range of international contributors including traditional and non-traditional DARPA performers from a variety of fields.



## DARPA Robotics Challenge Example Disaster Challenge Scenario



### Capabilities

Tasks	Capabilities						
	Autonomy - Perception	Autonomy - Decision-making	Mounted Mobility	Dismounted Mobility	Dexterity	Strength	Endurance
1. Drive utility vehicle to site	X	X	X		X		
2. Travel dismounted across rubble	X			X			X
3. Remove debris blocking entryway	X			X	X	X	X
4. Open door, enter building	X			X	X		X
5. Climb industrial ladder, traverse industrial walkway	X			X			X
6. Use tool to break through concrete panel	X	X			X	X	X
7. Locate and close valve near leaking pipe	X	X		X	X	X	X
8. Replace component	X	X			X		



## Participation Options

Track A - Funded Teams design and build platform systems to participate in Disaster Response Challenge.

Track B --- Teams develop algorithms using DARPA provided Simulator. Disaster Virtual Challenge conducted to identify which teams will be provided GFE Robot and additional funding to participate in Disaster Response Challenge

Track C - Unfunded teams use Simulator to and develop algorithms and participate in Disaster Virtual Challenge and will compete along with Track B teams for GFE Robot and funding award

Track D - Unfunded teams develop platforms to compete in Disaster Response Challenges



## Planned Schedule and Funding

