日本原子力学会秋の大会「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション」
（2015.9.11 東京）

廃炉遠隔基盤技術

東京大学　大学院工学系研究科　精密工学専攻
淺間　一

原子力損害賠償・廃炉等支援機構，技術委員・参与
資源エネルギー庁・東京電力廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議，委員
日本原子力研究開発機構（JAEA）モックアップ試験施設専門部会，部会長
技術研究組合 国際廃炉研究開発機構，技術委員
SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術，サブPD
復興庁イノベーション・コースト構想推進会議，委員
産業競争力懇談会「災害対応ロボット推進連絡会」，リーダー

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

精密工学専攻 Dept. of Precision Engineering

RT (Robot Technology)とは

- 「センサ」,「知能・制御系」及び「駆動系」の3つの要素技術があるもの（ロボット政策研究会，経済産業省）
- センサ，知能・制御系，駆動系の3つの技術要素を有する知能化した機械システム（ロボット大賞，経済産業省）

IT (Information Technology)	RT (Robot Technology)
情報世界(仮想世界)における情報処理・通信技術	物理世界（実世界）における検知・計測・認識・制御・動作・作業などの技術を含めた総合技術
情報処理デバイス，その周辺デバイス，通信ネットワーク，ソフトウエアなどから構成される	センサデバイスやそれによる検知・計測・認識ソフトウエア，アクチュエータなどのデバイスやその制御ソフトウエア，それらを統合した移動，搬送，マニピュレーションシステムとその動作ソフトウエア（含ミドルウエア），それらのメカトロニクス要素技術・システム統合技術などを含む． 実世界での物理的インタラクションが重要で，実時間性や力・エネルギーなどダイナミクスを考慮する必要がある．

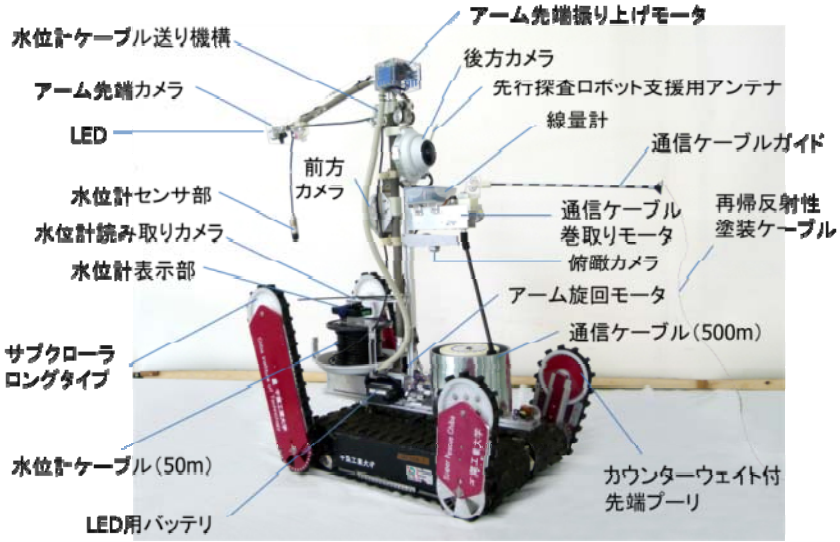
Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

ロボット vs ロボット技術（RT）

ロボット
作られた動く機械

ロボット技術
ソルーション技術
システム化技術（≠要素技術）
作業ニーズに応えるシステムを
設計・構築する技術

センサ，知能・制御系，駆動系の3つの技術要素を有する知能化した機械システム（経産省）



Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

機械技術のインフラとしてのRT

RTの産業へのインパクト→大

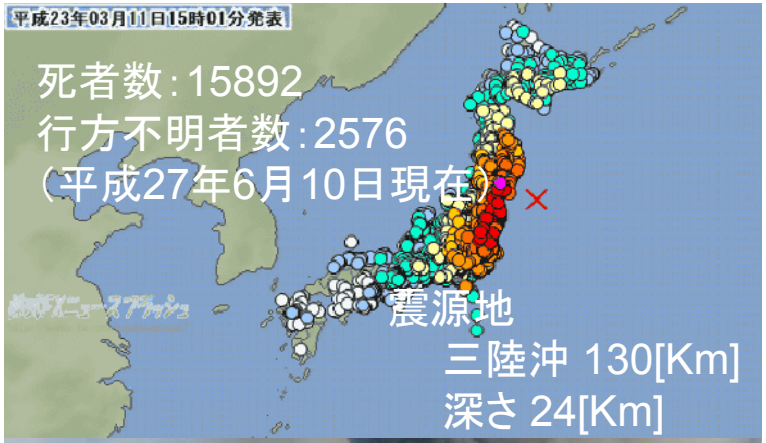
日本の産業競争力・GDPに影響

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

東日本大震災（地震，そして津波）

地震

- 2011年3月11日14:46
- マグニチュード：M9.0
- 最大震度：7



津波

- 30分～1時間後
- 最大波高：40.5[m]

福島第一原子力発電所災害対策復旧特別PT

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

精密工学科 Dept. of Precision Engineering

原子力発電所の事故対応・廃止措置における ロボットのニーズ

- ミッション
  - 冷却系の安定化
  - 封じ込め
  - 廃炉
  - 現場作業員の被曝の低減
- タスク
  - 瓦礫除去
  - サーベイマップの自動作成（放射線測定）
  - 建屋（原子炉建屋，タービン建屋）内調査（映像，放射線量，温度，湿度，酸素濃度，等）
  - 計測機器などの設置，サンプル採取
  - 遮蔽，除染
  - 機材の運搬
  - 配管・機器の設置

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

ROBOTADとは

ROBOtics Task force for Anti-Disaster
(ROBOtics - Temporary Active Duty)
http://roboticstaskforce.wordpress.com/

Anchorman: 中村仁彦
Chairman: 淺間 一

- 3月31日設立．ロボット技術に関する専門家・科学者集団
- 東日本大震災と福島原子力災害の対応・復旧・復興のためのロボット技術適用
- 主な活動内容（緊急性の高い活動）
  - 動作環境やミッションに応じた最適なロボット技術・ソリューションの提供
  - 現場での補強，改造も含めた導入・運用における実働支援
  - そのための技術情報の発信
- これまでの実績
  - ロボット技術導入のための具体的技術的検討（耐放射線機能，走破性，通信，等）
  - HPによる技術的情報や導入実績などの発信
  - リモートコントロール化PTへの協力
- 関連5学会・日本学術会議・産業界との連携
- 窓口：国際レスキューシステム研究機構(IRS)

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

福島原発事故の緊急対応で活用された外国製RT

独Putzmeister社製
コンクリートポンプ車

米国iRobot社製
Packbot

スウェーデン
Brokk社製
Brokk-90

スウェーデン
Brokk社製
Brokk-330

米国Honeywell社製
T-HAWK

米国iRobot社製
Warrior

米国QinetiQ社製Talon

米国QinetiQ社製Bob Cat

米国Pentek社製Moose

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

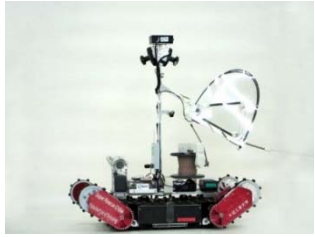
Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

精密工学科
Dept. of Precision Engineering

福島原発事故の廃炉措置で活用されている国産RT

無人化施工機械

Quince



Quince 2

Quince 3

Survey Runner

JAEA-3

ROV

4足歩行ロボット・小型走行車

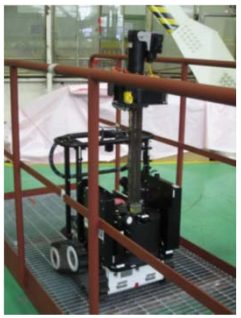
FRIGO-MA

ASTACO-SORA

高所調査用ロボット

水上ボート型
ロボット

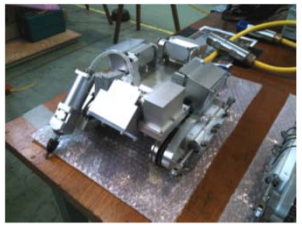
S/C水位測定
調査ロボット



S/C上部調査装置

Sakura

Rosemary



S/C下部外面調査装置

床面除染装置

形状変形

PCV内部調査装置

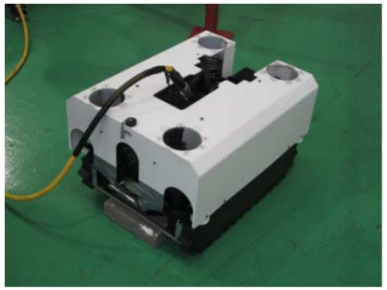
東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

精密工学科
Dept. of Precision Engineering

福島原発事故の廃炉措置で活用予定の国産RT

水中遊泳ロボット

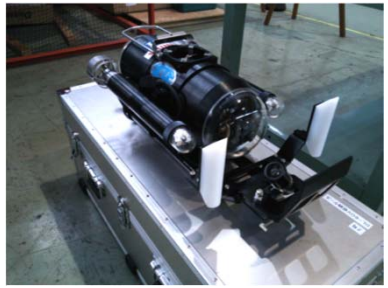


水中床面走行ロボット

S/C上部調査装置

D/Wベント管接合部調査装置

投入支援装置



サンドクッションドレン管調査装置

（千葉大，アトックス，他）

（IRS，東北大，CMU，他）

飛行調査ロボット

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

精密工学科 Dept. of Precision Engineering

達成できたこと

- 調査，計測
  - 環境線量，線源，3次元データ，他
- 瓦礫除去
  - 敷地内，建屋内，プール内
- 除染
  - 限定的

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

喫緊の課題

- 失敗から学ぶ
  - 通信，空間認知，放射線による機能不良
- 共通基盤化
  - 専用機から共通基盤化へ
- 効率化
  - 除染装置など

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

喫緊の課題

- 新たな技術開発（無限定環境・多様な作業への対応）
  - 特殊環境における移動・アクセス技術
  - 遠隔操作のための安定通信技術
  - 空間認知技術
  - 操作性向上のための自律化・知能化技術
  - 耐高放射性技術など
- 新たな機器開発
  - 内視鏡
  - 加工（切断）・マニピュレーション・ハンドリングデバイス（サンプリング・止水・汚染水処理・燃料デブリ取り出し）
  - 水環境での調査・作業デバイス

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

長期的に取り組むべき課題

- 英知の結集
  - 中小企業，ベンチャー企業の支援
  - 国際化
- 人材育成
- 評価の標準化
  - モックアップの活用
- 福島の復旧・復興への貢献
  - 福島浜通りに拠点の設置
  - 地元企業との連携

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

ロボット技術への期待

Gap

現実

- 災害現場で活用するのに十分な機能を有しているロボット（遠隔操作機器）は，ほとんど存在しなかった.
- 日本で開発されてきたロボット（遠隔操作機器）のほとんどは，研究者が開発したプロトタイプであり，製品ではなかった

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

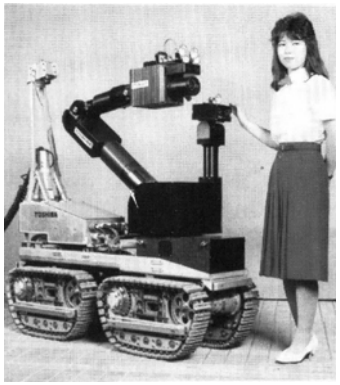
原子力ロボット関連プロジェクト

- 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，日本原子力研究所，原子力安全技術センター，原子力プラントメーカ）

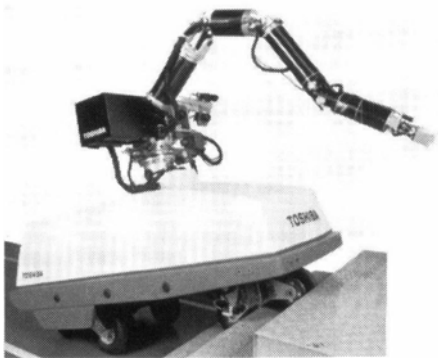
- これまでのプロジェクトの成果が活用できなかった原因
  - 基盤技術や要素技術開発（プロトタイプ開発）までに留まる
  - <u>実用化のための支援策の欠如</u>
  - 調達者不在（企業努力のみでは困難）
  - 開発に対する<u>ユーザの消極的関与</u>

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

原子力関連点検・作業ロボット



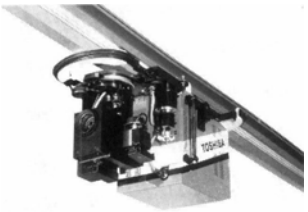
格納容器内点検用ロボット
（東芝）



AIMARS
知能作業ロボット
（東芝）

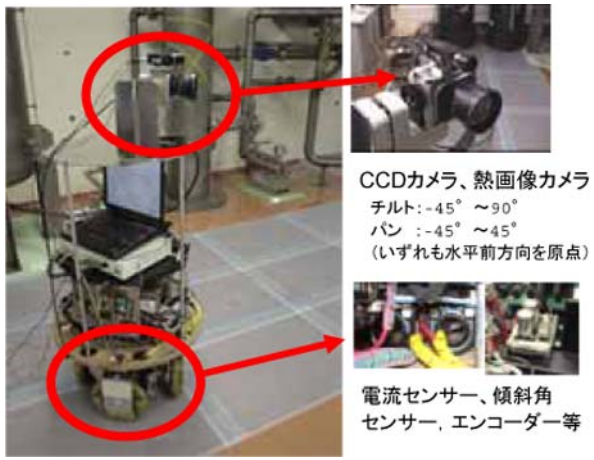
格納容器点検作業ロボット
（三菱重工業）

極限作業ロボット
（原子力発電施設作業用）
（複数社，1983-1990）



モノレール式
点検ロボット

水中
点検ロボット



原子力基盤技術原子力用人工知能
（点検用）
（複数研究機関，1999-2003）

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

原子力防災支援システム（JCO対策）
(プラントメーカ各社，2001)

MARS-A
（作業用）
（三菱重工業）

MARS-T
（重量物運搬用）
（三菱重工業）

SMERT-K
（作業監視支援用）
（東芝）

SMERT-M
（作業監視支援用）
（東芝）

MENHIR（耐高放射線性対応用）
（仏サイバネティクス）

SWAN（小型軽作業用）
（日立製作所）

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

情報遠隔収集ロボット（JCO対策）
（日本原子力研究所，2001）

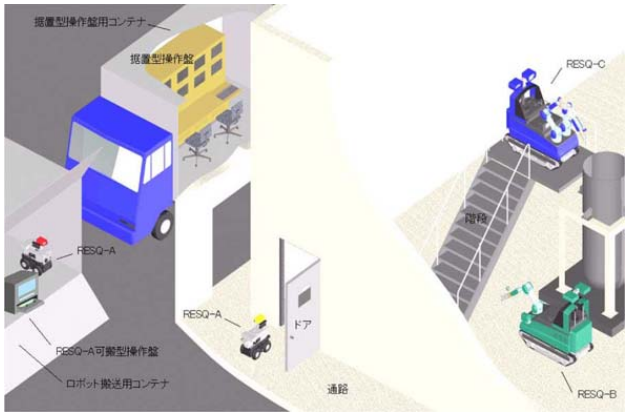
RESQ: Remote Surveillance Squad

RESQ-A
初期情報収集ロボット

RESQ-B
詳細情報収集ロボット

RESQ-C
試料など情報収集ロボット

事故時におけるシステム全体の活動イメージ



小林忠義，他: 原研における事故対応ロボットの開発（その1）情報遠隔収集ロボットの開発，日本ロボット学会誌，Vol.19, No.6, pp.706-709, 2001.

RaBOT: Radiation-proof Robot

柴沼　清: 原研における事故対応ロボットの開発（その2）耐環境ロボットの開発，日本ロボット学会誌，Vol.19, No.6, pp.710-713, 2001.

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

災害対応ロボットのニーズ

東日本大震災・福島原発事故への対応

- 被災者探索・災害対応活動支援
- 福島原発の緊急対応・廃炉措置
- 除染を含む復旧・復興
- 今後の災害・原発事故に対する備え

自然災害や社会インフラ・設備事故への備え

- 自然災害（地震，台風，火山爆発，など）の脅威
  - M7クラス首都直下型地震発生確率：50%(4年以内)
- 人工災害の脅威
  - 社会インフラ（トンネル，道路，橋梁，等）の老朽化
  - コンビナートなどの設備事故の増大

コンビナート事故は10年で10倍に急増

Quince

Survey

ASTACO-SoRa

災害や事故の脅威が増大

人が行うことが困難・不可能・危険な作業・環境
作業の効率化

ロボットや遠隔操作機器の導入

科学技術を駆使した備え，予防

Kohga3

Hexa-rotor MAV

Anchoriver III

管内点検ロボット

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

なぜ，災害対応ロボットの社会実装が難しいか

米国iRobot社製
Packbot
（製品）

◆少ない需要（企業努力だけでは限界）
- 官需中心（消防，防衛，警察，国交省など）
- 災害発生は低頻度

◆限定された支援策
- 研究開発への国の支援
- 実用化・事業化への国の支援

千葉工大・東北大等
Quince
（研究開発品）

米国では

◆ 軍事を中心とした研究開発＋調達への投資
◆ 実証試験の場＋機能評価の標準化
- Disaster City（テキサスA&M大学）
- NIST（米国国立標準技術研究所）での
  災害対応ロボット機能評価標準化

無人化施工

◆ 危険作業での平時利用
◆ 新技術活用・実証試験の場

雲仙普賢岳爆発（1991）

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

研究開発拠点・プロジェクト

- 基盤技術研究（10年プロジェクト） 文科省
- 高度実用化研究（5年プロジェクト） 経産省 文科省
- ソルーション導出・システム化技術開発（競技会） 総科技

検証　評価

防災ロボットセンター

内閣府

- 実証試験，オペレータ訓練
  - テスト・運用フィールド，モックアップ
    - Disaster City Japan
    - 工事フィールド
    - 福島原発モデル，など

消防庁　国交省　自衛隊　エネ庁　電事連

- 機能評価・認証（防爆性，耐放性，耐久性，安全性など）
  - 評価センター　産総研
- ロボット技術情報の集積化・一元的管理・提供
- 緊急時対応（災害時の配備） 国交省 自衛隊

戦略設計・策定

事業化推進　総科技
開発と使用の継続的循環

標準化活動

ロボットの機能評価　文科省
インタフェース仕様　経産省

制度設計

規制緩和　経産省
・特区など
規制強化　内閣府
・配備の義務化など
税制策定　財務省
・免税措置など
環境整備　総務省
・無線周波数の確保など

活用　ニーズ　投入

平時の利用

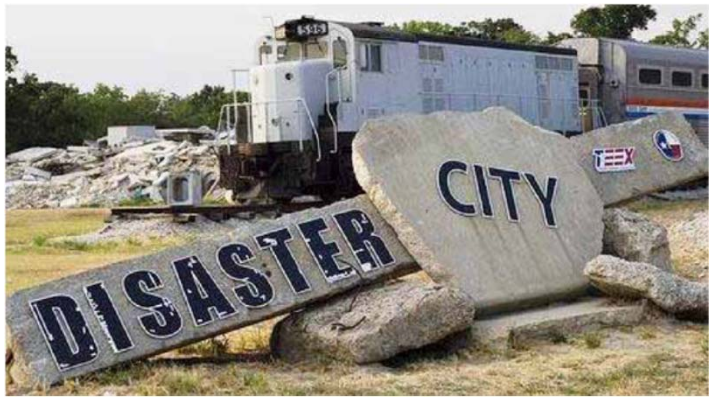
- 社会インフラ・設備の点検・保守
- 危険工事

有事の利用

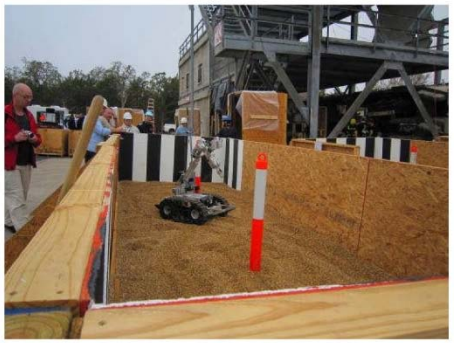
- 災害現場での災害対応
- 事故現場での事故対応

Disaster City

TEEX (Texas A&M Univ), Texas, USA



（三菱総研瀬川氏レポート）



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ.

災害対応ロボットセンターのコンセプト

COCN

災害対応ロボットセンター

司令塔機能

災害対応ロボット利用推進本部
（政府に設置）

オペレーション マネジメント

連携

オペレーション機関

国交省，消防庁，
自衛隊，警察庁，
…

技術データベース

消防庁テストフィールド

自衛隊テストフィールド

国交省テストフィールド

消防庁防爆認証

AIST安全認証

JAEA耐放射線認証

災害対応ロボット技術センター

連携

国交省TEC-FORCE

米国国立標準技術研究所

国際レスキューシステム
研究機構

民間も積極的に支援

拠点 A

実証試験
オペ訓練

管理

モックアップ

研究開発

点検
保守

災害
対応

廃炉
対策

拠点 B

研究開発

災害
対応

点検
保守

復旧
復興

実証試験
オペ訓練

管理

フィールドロボット
テストフィールド

実現場

福島原発

その他

実現場

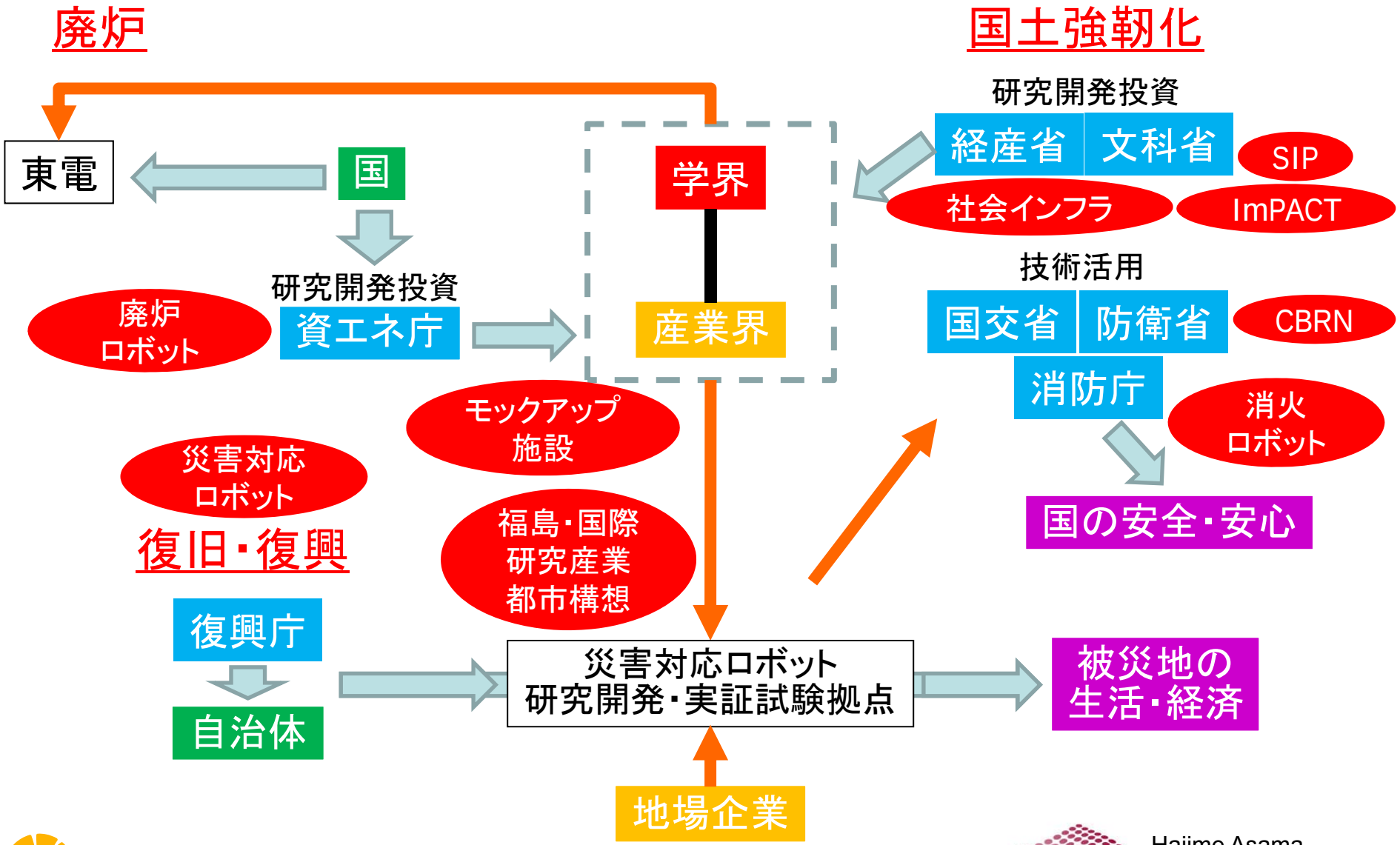
除染
瓦礫処理
復旧・復興

（楢葉、福井など）

遠隔操作機器・装置の開発実証施設
イメージ(JAEA All Rights Reserved.)

（浜通り、神戸など）

災害対応ロボットの社会実装活動



THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

Hajime Asama
Dept. of Precision Engineering
The University of Tokyo

ロボット革命実現会議

OECD閣僚理事会安倍首相基調演説

- ロボットによる新たな産業革命
- 新しい成長戦略に盛り込む
- ロボット活用のショーケース

OECD閣僚理事会（2014年5月6日）

ロボット新戦略

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

ロボット革命イニシアティブ協議会

会長：岡村正（日本機械工業連合会会長）
事務局：日本機械工業連合会
目的：
① ロボット・イノベーション及びロボット利活用推進に関する課題解決に資する関係者間のマッチング、ベストプラクティスの共有・普及の推進
② 国際標準化活動の推進に向けた情報共有、共通課題の整理及び対応策の企画・立案
③ 情報セキュリティの確保の方策の企画・立案
④ 国際プロジェクト等の企画・立案
⑤ 実証実験のための環境整備
⑥ 人材育成のための企画・立案
⑦ 関係機関との連携による研究開発、規制改革等の推進
⑧ 国際連携を含めた関連情報の収集・発信、普及・啓発事業の推進
⑨その他
WG：
生産システム改革WG
ロボット利活用推進WG
ロボットイノベーションWG

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2015

災害対応ﾛﾎﾞｯﾄｾﾝﾀｰによるｲﾉﾍﾞｰｼｮﾝｺﾝｾﾌﾟﾄ

COCN

■戦略・ロードマップ策定
■配備計画
■災害時の運用統制・指示
● 社会実証（フィールド）
● 認証等
● オペレータ訓練
● ロボット技術管理
● 研究開発支援
● ソリューション導出競技会

● 原子力災害⇒原子力災害対応ロボット
● 土砂災害等⇒重作業人命救助ロボット
● 水難・山岳事故⇒救難・捜索ロボット
● 津波、山林火災⇒災害警戒・監視ロボット
● コンビナート事故⇒消火・救助ロボット
● 避難区域保全⇒巡回監視ロボット
● インフラ維持⇒プラント点検ロボット

国土強靭化

波及効果、派生事業

成長戦略

● ﾛﾎﾞｯﾄ基盤技術研究
（アクセス、空間認知、
通信、自律化、知能化、
点検・診断・メンテ等）
● 高度実用化研究
● 情報収集・分析技術研究
● 除染技術研究　等

復興の加速

災害対応ロボットセンター
■災害対応ﾛﾎﾞｯﾄ利用推進本部
●災害対応ﾛﾎﾞｯﾄ技術ｾﾝﾀｰ

● 資源開発⇒海底資源探査・開発ロボット
● 林業省力化⇒斜面移動ロボット
● 建設機械省力化⇒半自律作業ロボット
高度情報化施工ロボット
● 資源・インフラ受注⇒地雷処理ロボット
● 輸出産業、国際貢献⇒災害対応ロボット

大学、企業

復興庁、経産省、文科省、国交省、総務省、環境省、防衛省・・企業

◆福島浜通り復興の加速でイノベーションを創出し国土強靭化・成長戦略へ展開