

【災害対応ロボットセンター設立構想】

2014年3月3日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリ】

1. 本プロジェクトの基本的な考え方

COCN では、平成 23～24 年度の 2 年間「災害対応ロボットと運用システムのあり方」でプロジェクト活動を実施してきた。災害対応ロボットには、無人化施工機械を含む陸上移動調査・作業ロボット、水中移動調査・作業ロボット、無人飛行ロボットなどがあり、人が行うことが困難、危険、あるいは不可能な作業、情報収集、調査、工事を遂行することが求められている。災害対応ロボットは、自然災害や産業災害に備え、国家安全(ナショナルレジリエンス)を実現するための重要な技術基盤として位置づけられるのみならず、日本が優位性を有するロボット技術の高度化・実用化を推進することで、機械産業全般に対する大きな波及効果と、産業競争力の強化が見込める重要な分野である。すなわち、ロボット技術は産業競争力の基盤技術として国家戦略的位置づけで取り組まなければならない。しかるに、災害対応ロボットは、現状ではビジネスとしての成立が困難で産業として育っていない、災害現場に必要な機能・スペックが決めがたく開発が難しい、ロボットを運用する部門で縦割りとなっており連携が図りにくい、などの問題があるために、様々な研究開発が進められているものの、社会実装が滞っている。

この問題を解決すべく、昨年度までのプロジェクトでは、災害対応ロボット、無人化施工システムに加えインフラ点検／メンテナンスロボットの併用を含め、技術的課題、運用上の課題の抽出と、産業競争力を高めるための開発戦略に関する提言をまとめた。この提言に関し、COCN 全体会議において、現場を持つ組織が、導入まで責任を持って継続フォローできる体制を整えることが重要であり、そのため内閣府、経産省、文科省、国交省、総務省、消防庁、警察庁などに加え、防衛省とも連携し、具現化を進める必要があるとの指摘があった。

そこで本年度は、産学のコアメンバーに官公庁、自治体などアドバイザーを加え、災害現場で緊急事態においても活用可能な災害対応ロボット技術を常備できるようにすることを目的とし、それを担う「災害対応ロボットセンター」の具体的な機能と、その具現化の方策や運用の枠組みについて検討し、提言をまとめることとした。具体的には、下記の項目を設定、ワーキンググループ(WG)を設置し、検討および提言の策定を行うこととした。

- ① 評価・認証 WG：実証試験・オペレータトレーニングを実施する機能、機能評価・認証（防爆性、対放性、耐久性、安全性など）を行う機能の検討など
- ② 技術 WG：技術情報収集・分類・集積・一元管理、技術カタログ・データベースの設計・構築、通信インフラ動的構成技術などの検討など
- ③ 配備 WG：ロボットの配備までも考慮した組織や体制の検討、それに伴う法制度の検討、運用方法の検討など

2. 活動状況報告

これまでに、下記の府省庁・自治体の意見交換会等、現地調査活動、各 WG での検討を実施した。

① 府省庁・自治体の意見交換会等

6 月 23 日内閣府／6 月 25 日防衛省／7 月 25 日経産省／8 月 1 日国交省／8 月 5 日古屋大臣／8 月 28 日復興庁／9 月 10 日内閣官房ナショナルレジリエンス懇談会／11 月 1 日経産省地域経済産業グループ／11 月 15 日経産省産業機械課（2 回目）／11 月 27 日総務省重要無線室／11 月 25 日防衛省（2 回目）／12 月 4 日～13 日 COCN 府省庁懇談会（内閣府、経産省、国交省）／1 月 21 日・2 月 17 日福島・

② 現地調査活動

10月1日南相馬市被災地復興状況視察／12月2日 JAEA 敦賀および日本原電・原子力緊急事態支援センター視察／12月20日米国フロリダ・DARPA チャレンジ視察

③ 評価・認証 WG 活動状況（サマリー）

現場や模擬現場（フィールド）における遠隔・自律ロボットの性能実証・認証評価試験については、災害の種類や現場によってさまざまに想定され、必要となる機能や評価フィールドが異なる。そのため、建造物・土木インフラ（建造物、土木インフラ）、水害・土砂崩れ、テロ・CBRN 災害、原子力、プラント、水道・下水の6つのグループに分かれて、具体的な検討を行った。災害状況に応じて、遂行作業、制約条件、ロボット導入期待、技術課題、非技術課題、将来展望を論じ、それぞれの性能・耐環境性・耐久性・耐安全性などに対応した試験項目、適応範囲・対象・条件、評価内容を検討した。さらには、それを活用したユーザの訓練・育成、および公開ロボット競技会による技術開発の加速について検討を行った。

④ 技術WG活動状況（サマリー）

災害対応ロボットに関するデータベースについては、災害対応ロボットの個々の技術情報（シーズ情報）を掲載した「技術カタログ」と、実際の災害対応の事例を収集した「ニーズカタログ」を含めたデータベースの構築・運用のあり方を提案した。具体的には、データベースに関係するプレイヤー（情報提供者、情報調査者、運用管理者、利用者）を整理し、各プレイヤーから見たデータベースのあり方や各プレイヤーに求められる役割について検討した。さらに、信頼性・有効性を確保するための評価情報や、人材に関する情報の重要性についても検討した。また通信技術については、特に遠隔操作ロボットのための無線通信技術を対象に、災害対応現場における無線技術の運用に関するマネジメントの重要性や、専用周波数や標準化の必要性、新たに技術開発が求められる項目について検討した。

⑤ 配備WG活動状況（サマリー）

2012年度 COCN プロジェクトの成果をベースに、大規模災害の分析と災害対策本部を運営する自治体等の意見を反映し、災害対応ロボットに求められる用途・機能を検討した。その際、東日本大震災で被災した福島県、及び将来の南海地震への備えを準備している高知県の防災関係者から、ニーズに関する意見を聴取した。また、災害対応ロボットの配備・運用を推進するために必要となる制度、研究開発、運用、事業化などにおける課題を検討し、国土強靱化、復興の加速、成長戦略ならびに産業競争力への貢献を考慮しつつ、災害対応ロボットセンターの構想を検討した。さらに、災害対応ロボットセンターの平時利用を検討するために、東日本大震災の被災地である南相馬市、福島第1原発10km圏内の浪江町など現地調査、及び福島県廃炉・除染ロボット技術研究会との意見交換を実施した。そのほか、災害対応ロボットの配備を見積もった結果、直接的なポテンシャルマーケットは4000億円程度であることが導出された。

3. 提言の概要

各WGでの検討を重ねた結果、有事（災害が発生した緊急時）において、災害対応ロボットを配備し、活用できるようにするためには、平時（緊急でない災害現場や災害が発生していない状況）においてロボット技術の継続的な開発・運用を行うことが重要であるという結論に至った。

具体的には、以下のような平時利用を推進すべきである。

（1）危険が伴う作業や工事における現場活用

(2) 社会インフラや設備の点検・保守との併用

(3) 訓練（実証試験・フィールド試験・オペレータ訓練での利用）

また、災害対応ロボットを平時から利用しつつ、有事の際にも迅速に現場に配備できるような状況を実現するには、図1に示すような「災害対応ロボットセンター」の組織と体制の設立が必要という結論に至った。

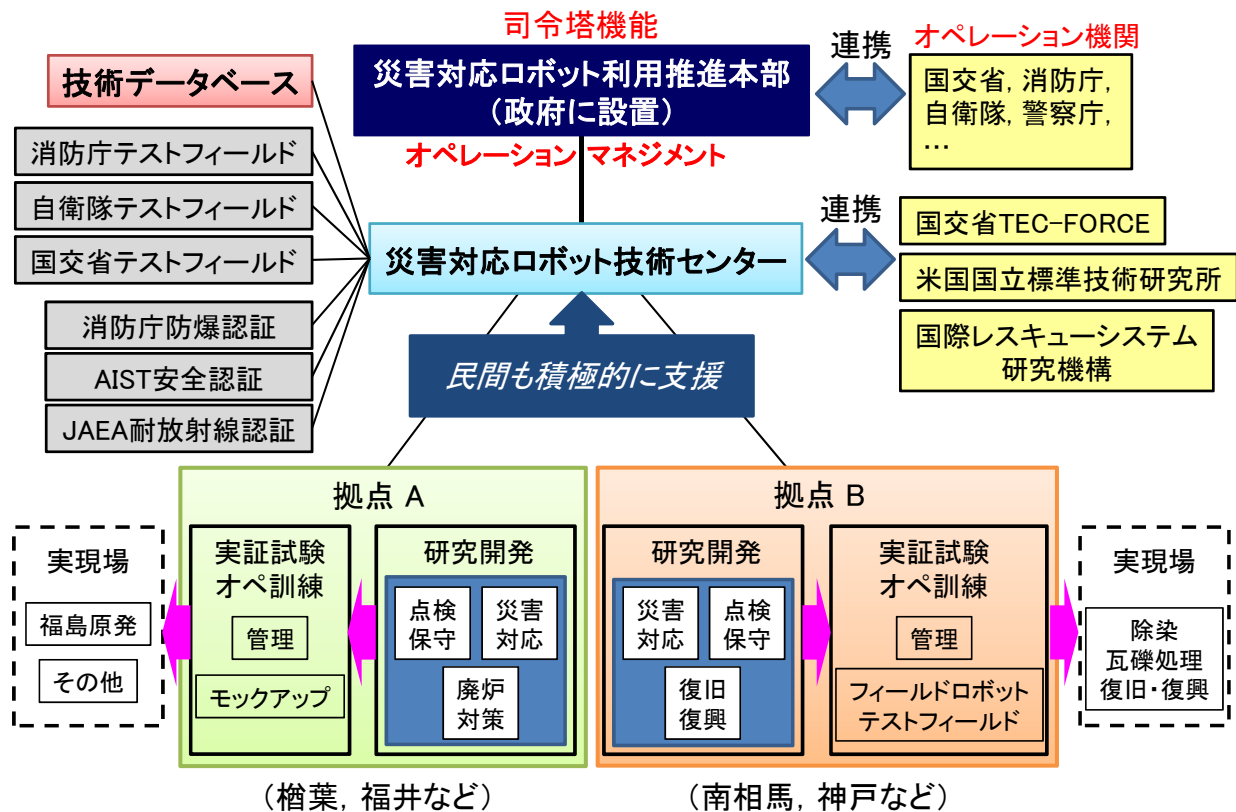


図1 災害対応ロボットセンターの組織構想

災害対応ロボットセンターは、災害対応ロボット利用推進本部、災害対応ロボット技術センター、様々な機能評価・実証試験・オペレータ訓練を行うテストフィールドやモックアップなどの施設（拠点）から成る。災害対応ロボット利用推進本部は、平時には、長期的な技術開発戦略を策定・推進し、有事の際の備えを体系的に整えるとともに、有事には司令塔機能を発揮し、多くの装備と人材を有する防衛省を含む各省庁と連携して災害対応のためのロボットや機器の配備・オペレーションにあたる。推進本部は政府内に常設の組織として設置し、権限と責任を付与すべきである。また、災害対応ロボット技術センターは、平時において災害対応ロボットの技術開発、実証試験・評価・認証、訓練、標準化・運用・配備の実業務を統括する。直轄の研究開発や実証試験のための拠点も有するが、分散して存在する様々なテストフィールド・モックアップ施設、外部機関と有機的に連携して活動する。また、技術データベースの管理も行う。災害対応ロボット技術センターは、産官学連携のもと、民間が積極的に支援できるような形態での組織化が好ましいと考えられる。当面は、災害対応ロボットセンター設立推進協議会（仮称）を設置し、災害対応ロボットセンター構想の実現を推進する。

以下に提言をまとめる。

■災害対応ロボットの配備・運用に関する司令塔機能を有する災害対応ロボット利用推進本部を

政府のもとに設置

■災害対応ロボットの安全性・信頼性を確保するための災害対応ロボット技術センターの設置

- ・災害対応ロボットに必要となる様々なフィールド性能評価と認証の機能の具備
- ・災害対応ロボットに関連する技術とその実用評価、ニーズ等に関するデータベースの完備

■災害対応ロボット技術センターの産官学連携による運営と災害対応ロボットの平時利用の促進

今後、ナショナルレジリエンスを実現し、安全な社会を構築するためにも、政府や国の主導のもと、内閣府、経済産業省、文部科学省、国交省、防衛省、消防庁、復興庁、環境省、総務省、自治体等が連携し、また産学官民連携によって、上記提言を実現し、災害対応ロボットセンターの設立・設置に向けて努力する必要がある。また、デュアルユースの活用も含め、災害対応のための装備の研究開発や調達を促進し、センターの継続的運営が可能となるような事業モデル、制度を構築することが求められる。

【目 次】

【はじめに】	- 2 -
【プロジェクトメンバー】	- 3 -
【本文】	
1. プロジェクトの背景.....	- 4 -
2. 昨年度の報告の概要および成果.....	- 5 -
3. 今年度の検討課題.....	- 7 -
3. 1 評価・認証に関する課題.....	- 7 -
3. 2 技術に関する課題.....	- 7 -
3. 3 配備に関する課題.....	- 7 -
4. 評価・認証に関する提言（WG1）.....	- 8 -
4. 1 現場や模擬現場を使った性能評価試験・認証の必要性.....	- 8 -
4. 2 各種災害における遠隔、自律システムと評価すべき項目.....	- 10 -
4. 3 模擬現場や現場を使った性能評価・認証の事例.....	- 31 -
4. 4 模擬現場における性能評価試験法の活用.....	- 33 -
4. 5 評価・認証に関する提言のまとめ.....	- 38 -
5. 技術に関する提言（WG2）	- 39 -
5. 1 検討の必要性.....	- 39 -
5. 2 災害対応ロボットに関するデータベースの果たす役割.....	- 39 -
5. 3 データベースの構築・運用に当たっての考え方.....	- 41 -
5. 4 災害対応ロボットにおける通信の重要性.....	- 47 -
5. 5 災害対応ロボット技術センターの役割.....	- 50 -
6. 配備に関する提言（WG3）	- 51 -
6. 1 検討の必要性.....	- 51 -
6. 2 検討の考え方.....	- 51 -
6. 3 災害対応ロボットの要求分析.....	- 52 -
6. 4 災害対応ロボットセンター検討.....	- 56 -
6. 5 災害対応ロボットの配備および運用.....	- 58 -
6. 6 災害対応ロボットセンターの平時利用.....	- 60 -
7. 産業競争力強化のための提言及び施策.....	- 62 -
8. 提言の実現のために（今後の検討課題）	- 66 -
9. 参加メンバーリスト.....	- 67 -
10. 開催状況.....	- 69 -
【付録】 WEB版で公開	
付録 A 第4章関係資料（WG1）	
付録 B 第5章関係資料（WG2）	

【はじめに】

COCNでは2011年、2012年と、東日本大震災と福島第一原発事故を契機とし、「災害対応ロボットと運用システムのあり方」についてプロジェクトチームを構成し、現状の解析から将来必要になるロボットを活用したシステムを検討して参りました。

昨年度までの提言内容は改めてのご説明は省略いたしますが、本プロジェクトは産・学・官の研究開発機関を核とし、府省庁からもオブザーバー参加をいただき、大変幅広い、かつ多数のメンバーの集団となりました。その成果は、突発の外部機関からの問い合わせなどに対しても、対応可能なロボットや技術のアドバイスに関し迅速に情報提供している状況などからも認められていると自負します。

さてしかしながら、これまでの活動を通じて判明してきた問題点があり、本年度はここにターゲットを絞った活動を行いました。

それは、ロボット大国といわれる日本で、災害対応ロボットが後れを取っている理由に、研究機関での試作までは行われていても、実用化に向けたステップに進んでいないことです。

災害そのものが日常的にあるものではないので、ユーザの意識が明確でなく、産業化が全く進まないわけです。対して、米国では国防省が中核となり、軍用という違いはあるもののロボット開発に巨額の国家予算がDARPAという研究組織などを通じて投入されていて、またロボットも数千機を製作し稼働させる中、実用化のキー技術が生まれている状況です。

従って我々の課題は、災害対応の現場を持つ組織と一緒にあって、導入まで責任を持ってフォローできる体制を確立することではないかと考えるに至っております。

そのような趣旨で、本年度のテーマは「災害対応ロボットセンターの設立構想」と目標をあえて絞り込み、どのような機能が必要か検討を行いました。内閣府、経済産業省、文部科学省に加え、現場を持つ組織である国交省、防衛省、総務省、自治体の方にもオブザーバー参加頂き、実用に使えるロボットとはどうあるべきか、そのため必要な実証試験や、認定の仕組みはどうするのか、また災害に対しどのような配備形態が必要か、といった実践課題を検討いたしました。

これまでに国土強靱化および防災担当の古屋圭司大臣にも、ナショナルレジリエンス懇談会等でも説明をしてきました。

災害対応の緊急時のためには、国の統轄下にあって活動が必要なこと、他方平時に於いては、ロボットの実証試験、認証、標準化、訓練、技術カタログ作成、等の継続的な活動が必要で、そのための組織として「災害対応ロボットセンター」の設立を提案いたします。

産業競争力懇談会
会長（代表幹事）
西田 厚聰

【プロジェクトメンバー】

プロジェクトリーダー	浅間 一	東京大学大学院工学研究科 教授
WG1 主査	田所 諭	東北大学大学院情報科学研究科 教授
幹事	加藤 晋	(独)産業技術総合研究所 研究グループ長
WG2 主査	油田 信一	芝浦工業大学工学部 特任教授
幹事	森下 博之	(一財)先端建設技術センター 技術調査部長
WG3 主査	秋本 修	(株)日立製作所 ディフェンスシステム社 CPM
幹事	神村 明哉	(独)産業技術総合研究所 主任研究員

COCNアドバイザー

COCN実行委員	有信 睦弘	東京大学 監事
同	浦嶋 将年	(株)鹿島建設 常務
同	渡辺 裕司	(株)小松製作所顧問
COCN企画小委員	田中 克二	(株)三菱ケミカルHD 部長

メンバー(COCN会員および関連会社)

鹿島建設(株)、清水建設(株)、新日鐵住金(株)、(株)IHI、(株)東芝、(株)日立製作所、日立GEニュークリア・エナジー(株)、三菱重工(株)、三菱電機(株)、富士通(株)、(株)小松製作所、(独)産業技術総合研究所、東京大学、早稲田大学

メンバー(COCN会員外)

(株)大林組、大成建設(株)、(株)熊谷組、(株)竹中工務店、(株)フジタ、東急建設(株)、日立建機(株)、(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)、新日本非破壊検査(株)、(株)本田技術研究所、JX日鉱日石エネルギー(株)、千代田化工建設(株)、(株)三菱総研、積水化学工業(株)、(株)アスコ、NTT、知能技術(株)、アイコム(株)、(一財)製造科学技術センター、(一財)先端建設技術センター、(独)日本原子力研究開発機構、東北大学、芝浦工業大学、大阪大学、長岡技術科学大学、湘南工科大学

(オブザーバー)

経済産業省、文部科学省、国土交通省、内閣府、防衛省、総務省、南相馬市、高知県、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、(独)土木研究所、(一財)ロボット学会、(一社)ロボット工業会、(一社)情報通信技術委員会

事務局 布谷貞夫 (株)小松製作所

参加者名については巻末の参加メンバーリスト参照

【本 文】

1. プロジェクトの背景

日本列島はユーラシア・北米の両大陸プレートの下に太平洋・フィリピン海の両海洋プレートが沈み込む複雑な地下構造で、千島海溝、日本海溝、南海トラフ等がその沈み込みの場所で頻繁に地震が発生している。そのような複雑な地形地質条件によって形成された 37.8 万 km² の狭い国土に 108 の火山があり、降灰や土石流、火砕流等の火山災害も発生している。近年、わが国では阪神淡路大震災、東日本大震災など、未曾有の大規模自然災害に見舞われ、建物の倒壊や火災、津波によって多くの人が犠牲となり、多大なる経済損失を被った。また、東京電力福島第一原子力発電所の事故によって、広域に放射能汚染が拡散し、いまだ多くの人が避難を余儀なくされており、長期にわたる原発の廃炉対策、除染も含めた地域の復旧・復興が求められている。さらに、最近、局地的なゲリラ豪雨による被害や竜巻等の突風による被害も数多く報告されている。近い将来には首都直下型地震あるいは東海・東南海・南海地震の発生が予測されており、自然災害に対する備えの意識も高まってきているものといえる。

しかし、これらの大規模災害に直面した場合、個人や事業者レベルでの対応には限界があり、行政機関が想定外の事態に対して、事前の準備と事態への迅速・適切な対策を取る必要がある。災害対応の状況では、人が行うことが困難、危険、あるいは不可能な作業や環境が多数存在し、ロボットや遠隔操作機器を迅速かつスムーズに現場に投入し、活用することが求められており、この活用に関しても国が積極的に研究開発のみならず、運用・管理・配備を司ることが求められる。

災害対応ロボット技術の研究開発と運用を含めた社会実装は、自然災害や人為災害に対する災害対応機能の技術基盤を構築するという点で、日本の産業競争力強化の重要な柱となるが、米国では、軍事予算によってロボット技術開発が推進され、それが民生用としてのロボット技術の優位性と産業競争力を生んでいるのと同様、災害対応ロボット技術の強化と社会実装は、日本のロボット技術（センシング、移動、作業などを含む実世界情報技術）全体の産業競争力強化につながるという点で極めて重要である。また、東日本大震災や福島原発事故という復旧が必要な災害現場を有していることも、産業競争力を強化する上で極めて有利と考えられる。災害対応ロボット技術を用いて収集した様々な物理情報（ビッグデータ）を活用することにより、さらに多様なサービスの創造が可能になるという点においても、災害対応ロボット技術は、産業競争力強化の重要なキーテクノロジーとなる。

産業競争力懇談会では、平成 23～24 年度に、「災害対応ロボットと運用システムのあり方プロジェクト」を実施し、今後の災害対応に備えるために開発が必要となるロボット技術について洗い出すとともに、それを実用化し、いつ災害が発生しても現場に即投入できるような開発・運用のあり方について提言をまとめた。特に、運用・配備については、防災ロボットセンターを設置し、実証試験、オペレータ訓練、機能評価・認証（防爆性、耐放性、耐久性、安全性など）、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）などの機能を持たせることが提案されている。それを受け、本プロジェクトでは、災害対応ロボットセンターの具体的な機能を明確化し、それを具体化するための方策について検討して提言としてまとめるとともに、その実現にむけて活動を行うこととした。

2. 昨年度の報告の概要および成果

昨年度のプロジェクト「災害対応ロボットと運用システムのあり方」では、防災ロボット(WG1)、無人化施工システム(WG2)、インフラ点検/メンテナンスロボット(WG3)、運用システム及び事業化(WG4)に関するWGを組織して、これからの日本が災害に対して安心、安全な社会を作り上げていくために必要な災害対応ロボットとその運用体制についての提言をとりまとめた。

防災ロボットに関しては、様々な自然災害・人為災害に対して適用可能なロボット技術として、産業競争力の維持発展に不可欠な重点課題を検討した。その研究開発に関しては、遠隔現場へのアクセシビリティ向上(特に、超小型軽量飛行体、登壁ロボ、狭所探査ロボ)、ロボットによる現場悪影響の防止(特に、防爆技術・規格)、無線通信・有線通信の問題点解決、遠隔状況認識・知能化・自動化、コンテスト形式による基盤技術研究の奨励などの重点化が必要であるとの結論に達した。また、ロボットの性能評価法や部品の可換性のための国際標準化、国際安全規格の整備、複数の研究開発拠点の整備、防災ロボットセンターの開設などが重要となるとの結論を得た。

無人化施工システムに関しては、災害発生時の緊急対応、復旧作業において、想定される災害の状況とその緊急・復旧方法を洗い出し、今後必要と考えられる建設機械のロボット化技術に関する技術開発要素を抽出した。具体的には、ショベル系建設機械(災害発生後、最初に現場に入り走行路の確保、障害物撤去を行える高機能車、復旧作業を安全かつ効率的に行える高度情報化、高度な安全性の確保と作業効率の向上)と水陸両用運搬車両(津波等の災害復旧に際し、陸上から浅水深域に侵入可能な運搬車両、土砂災害等に際し、一般の運搬車両が走行できない場所に侵入可能な運搬車両)の重点化が必須であるとの結論に達した。

インフラ点検/メンテナンスロボットに関しては、社会インフラや設備の老朽化が進展している状況を鑑み、事故や災害の予防、およびメンテナンス市場の拡大に対する対応という点からもインフラ点検/メンテナンスロボットの開発・活用が重要であり、難アクセスエリア(高所、狭隘、悪性ガス等)へのアクセスを含む、複合型アクセス・シーズの開発(飛行ロボットの点検用制御ソフト開発など)、移動体防爆基準の策定と移動ロボット防爆技術の開発、壁面移動技術の開発などが急務であるとの結論に達した。これらのロボット技術は、災害対応ロボットとしての転用が可能な技術であり、システム化と規格化・標準化、汎用化とコスト削減、悪環境に適用可能にする機能拡張、防爆機能の認定なども必要であるとの結論を得た。

運用システム及び事業化に関しては、防災ロボットセンターの設置を提言するとともに、早急にそこでの運用システムを構築し、モックアップ試験や実働訓練を開始すると同時に、災害対策基本計画で指定公共機関として位置づけ、災害時の緊急出動に備えるべきであるとの結論に達した。また、防災ロボットの事業化については、防災ロボットセンターの設置や、国や自治体などの官需主導によるトップダウンな事業推進と同時に、災害対応ロボットとインフラ点検/メンテナンスロボットとの併用による事業展開、サービスを主体としたビジネスモデルなどが重要であるとの結論を得た。

この提言は、図2.1のようにまとめられる。ここでは、ハード面での提言として、基盤技術研究、高度実用化研究などのプロジェクトの実施と研究開発拠点の設置、コンテスト形式によるソリューション導出・システム化技術開発を、インフラ面での提言として、防災ロボットセンターの設置(テスト・運用フィールド・モックアップの設置とそこでの実証試験・オペレータ訓練、防爆性・耐放性・耐久性・安全性などの機能評価・認証、ロボット技術情報の集積化・一元化管理・提供、緊急時対応機能を有する)を、ソフト面での提言として、事業化推進・開発と使用の継続的循環を考慮した戦略設計・施策、ロボットの機能評価・インタフェースの標準化活動、規制緩和・規制強化・税制策定・環境整備などを含む制度設計などを推進することを提言した。

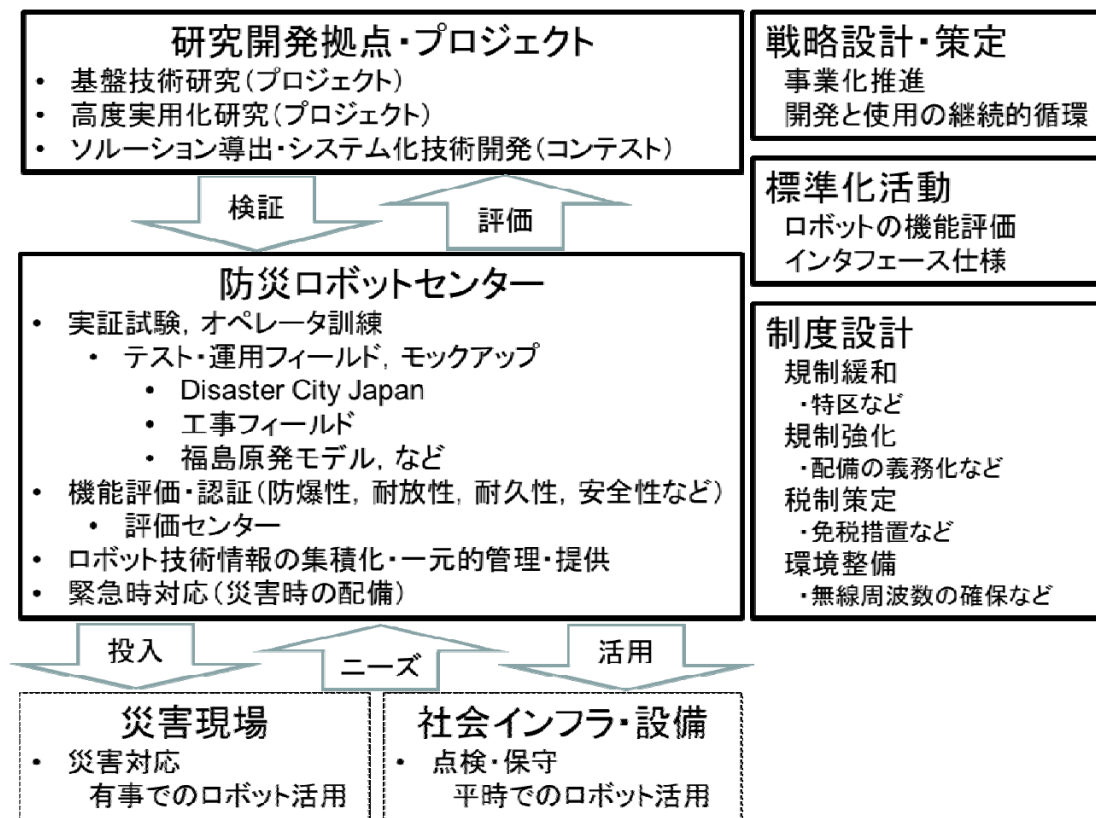


図2. 1 災害対応ロボットと運用システムのあり方の提言のまとめ

こうした提言については、策定作業と並行して関係省庁の担当部局と積極的に意見交換を行い、また COCN の全体会議や省庁別懇談会等でも委員長自ら各省庁の幹部に対し施策の必要性についてアピールを行った。その結果、以下に示す各府省の平成26年度概算要求等に取り上げられている。

【総務省】 災害対応のための消防ロボットの研究開発 (2.1 億円)

スマートなインフラ維持管理に向けた ICT 基盤の確立 (2.1 億円)

消防活動の安全確保のための技術に関する研究開発(無人ヘリ) (0.3 億円の内数)

【文部科学省】 IT 利活用技術の確立による効果的かつ効率的なインフラ維持管理・更新の実現 (12.8 億円)

【経済産業省】 インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト (22.2 億円)

災害対応等ロボット産業集積支援事業 (6.9 億円)

【国土交通省】 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進 (平成25年度補正予算 3.3 億円)

IT 等を活用した社会資本の維持管理 (0.6 億円+運営交付金)

【防衛省】 原子力災害等の脅威下において活用可能なロボットの研究 (9 億円)

3. 今年度の検討課題

3.1 評価・認証に関する課題

災害の予防、緊急対応、復旧のために期待される災害対応ロボットは、ユーザやメーカーがその性能をフィールドで十分に確認しなければ、配備や実運用は困難である。災害対応ロボットのフィールド性能評価は、ユーザやディストリビュータに正しい選択や判断を行わせ、メーカーには改良や製品化のためのデータとなり、研究開発の推進はもとより、製品化、事業化までの指針となる。そのため、ロボットやロボット部品のフィールド性能評価法を確立し、さらには、国際的な協調の下で標準化を進めることが必要である。

そこで、平時の利用を含めた災害対応ロボットに対し、各種の想定災害におけるロボットの想定作業と必要機能、それらを評価するための方法や評価フィールドに対する要求項目などについて検討し、整理を行い、フィールド性能評価に関する課題などをまとめる。

3.2 技術に関する課題

福島第一原子力発電所の事故対応に際して、使用可能な災害対応ロボットや遠隔操作機械、関連技術に関する技術情報が一元化されておらず、どのようなロボットがどこにあるのかも分からないという状況に直面した。この教訓から、災害発生時等において緊急対応を行う First Responder(国、地方自治体、企業等)が、対策技術の検討や調達に即座に利用できるデータベースを平時から構築・運用しておくことが必要である。また、このデータベースは平時においてもその利用価値は高く、例えば災害対応ロボット等の開発者が技術シーズや現場ニーズを把握するなど、災害対応に関する技術レベルの全体的な底上げにも寄与できるものと考えられる。このようなデータベースの構築・運用のあり方について整理する。

さらに、災害時の情報通信のあり方、特に遠隔操作ロボットのための無線通信技術は、災害対応ロボットの稼働に大きな役割を担う。災害発生時等の緊急対応において、災害対応ロボットを有効に稼働させるための技術的な課題について整理する。

3.3 配備に関する課題

1990年の雲仙普賢岳での火砕流後に適用された無人化施工機材は、国の施策に基づく平時も含む用途が確保されてきたため現在も各種災害復旧活動などで活躍しているが、1995年の阪神淡路大震災後に研究開発されたレスキューロボット、あるいは1999年のJCO臨界事故後に開発された各種原子力災害ロボットは、東日本大震災及び東京電力福島第1原子力発電所事故に際してほとんど活躍できなかった。

これらの状況から、配備に関する課題としては、①災害対応ロボットをスムーズかつ迅速に配備・運用・維持するための制度が未整備、②多様な災害現場に適合可能な災害対応ロボットの研究開発、訓練、実現場での運用が不十分、③災害対応ロボットの事業性が低いため企業による製品化及び技術継承が未実施、などが挙げられる。

4. 評価に関する提言

4. 1 現場や模擬現場を使った性能評価試験・認証の必要性

昨年度の COCN 災害対応ロボットと運用システムのあり方で明らかにしたように、災害の予防、緊急対応、復旧のためには表4. 1, 表4. 2に示すようなさまざまなロボットシステムが有効である。これらの災害対応ロボットが配備され、効果を上げるためには、ユーザやメーカーがその性能をフィールド（現場や模擬現場）で十分に確認できる体制が必要である。

製品のフィールド性能評価・認証は、ユーザやディストリビュータが製品に対する正しい選択や判断を行い、メーカーが製品改良やマーケティングのための基礎データとするなど、市場の健全な発展と産業競争力強化に寄与するところが多い。そのため、災害対応ロボットにおいては、研究開発の推進はもとより、死の谷を越え、ダーウィンの海を渡って*、社会に広く活用されるようになるために、ロボットやロボット部品のフィールド性能評価法を確立し、さらには、国際的な協調の下で標準化を進めることが必要である。

(*註: 死の谷: 応用研究から製品化までの難関・障壁、ダーウィンの海: 製品化から事業化までの難関・障壁)

フィールド性能評価・認証によるメリットを整理すると、次のようになる。

- ・ユーザにとって

- 調達基準の明確化: 主観を排し、合理的な調達が可能になる。

- 現場での使用判断基準の明確化: 適用効果をあらかじめ見積もる。

- 訓練基準・目標の明確化: ユーザの操作訓練における熟練度を測る。

- ・メーカー・ディストリビュータにとって

- 開発目標の明確化: 性能向上の指針を与える。

- 開発効率・投資効率の向上: 部品の評価を容易にする。過剰性能を避ける。

- ロボット性能のショーケース: ユーザに対して性能を明確に示すことができる。

- 他社製品との差別の明確化: ユーザに対して製品の特徴を明確化できる。

さらにこれを国際的に標準化した場合、市場が国際化されて競争力強化につながる上、ロボットの国際的な互換性が確保されるというメリットも生じる。

性能評価の項目としては、運動、作業、センシング、無線、エネルギー、ヒューマンインタフェース、ロジスティクス、耐環境性能、安全性、などさまざまなものがある。また、次節に述べるように、災害の種類や制約の多様性、時間によって変化する防災ニーズ（災害予防、緊急対応、災害復旧）の変化に応じて、ロボットに必要とされる性能・形態・適用法などは異なる。さらには、表4. 3に示すように、技術熟成度（Technology Readiness Level; TRL）には様々なレベルがあり、いずれも研究開発から配備に至る過程で不可欠である。したがって、それぞれに適したフィールド性能評価・認証の方法を検討し、用意することが必要である。すなわち、市場試験や現場適用試験だけでは不十分であり、モックアップ試験やラボ試験など、目的に応じた施設や設備を用意する必要がある。

フィールド性能評価の活用法はさまざまであるが、たとえば、次のようなものがある。

- ・ 調達ロボットの性能を模擬現場で評価 → ニーズとのマッチング

- ・ 作業者の災害対応・遠隔操作の訓練と評価 → 作業者の熟練度・能力の向上

- ・ 開発中のロボット性能を定量評価 → 開発過程・課題の見える化

フィールド性能評価法の策定には利害関係が絡むことから、メーカーやディストリビュータ主導で検討することはできず、政府が先頭に立ち、有識者やユーザやメーカー・ディストリビュータなど、各所の協力

を仰ぎながら、産業振興施策の一つとして重点的に進めることが必要である。その推進にあたっては、災害対応ロボットセンターが支援を行いながら、試験用のフィールドを有し認証機能をもつ機関を育成すること、国際的に標準化活動を推進すること、調達におけるフィールド性能評価の活用を義務づけること、が必要である。

表4_1 ロボットの種類(機能別)と適用災害

ロボットの種類	形態	適用作業	災害緊急対応・復旧					災害予防
			地震	水害・津波	土砂崩れ	火山	C B R N	原子力
検査ロボット (視覚, 3D形状, ソナー, サーマグラフィ, 非破壊検査, 化学剤検知, 生物剤検知, 音, GPS, 通信, マッピング)	登壁	高所(橋梁, トンネル, ビル, プラント, 崖, 他)の状態・環境検査, サンプルング, 人命検索, 作業管理 管外壁(パイプライン, 煙突, 他)の状態・環境検査, サンプルング, 作業管理 壁の向こう側の状態・環境検査, サンプルング, 人命検索, 作業管理 高所からの概観情報収集	○	○	○		○	○
	管内・瓦礫内走行	管内(パイプライン, 上下水道, ガス, 他)の状態・環境検査, サンプルング, 人命検索, 作業管理 瓦礫内(倒壊建物, 土砂崩れ, 他)の状態・環境検査, サンプルング, 人命検索, 作業管理 狭隘部(構造物の隙間, 他)の状態・環境検査, サンプルング, 人命検索, 作業管理	○	○	○		○	○
	地上走行	建物内(ビル, 地下街, 工場, 他)の状態・環境検査, サンプルング, 人命検索, 作業管理 屋外(汚染地域, 火災, 他)の状態・環境検査, サンプルング, 人命検索, 作業管理	○		○	○	○	○
	水上	水上(海, 湖, 川, 氾濫地域, ダム, 他)からの状態・環境検査, サンプルング, 人命検索, 作業管理	○	○	○		○	○
	水中・水陸両用	水中(海, 湖, 川, 氾濫地域, ダム, 他)の状態・環境検査, サンプルング, 人命検索, 作業管理 浅水の状態・環境検査, サンプルング, 人命検索, 作業管理	○	○	○		○	○
	固定翼機	上空からの概観情報収集, 要救助者検索, セキュリティ, 作業管理	○	○	○	○	○	○
	回転翼機	上空からの概観情報収集, 要救助者検索, セキュリティ, 作業管理 高所(橋梁, トンネル, ビル, プラント, 崖, 他)の状態・環境検査, サンプルング, 人命検索, 作業管理 建物内(ビル, 地下街, 工場, 他)の状態・環境検査, サンプルング, 人命検索, 作業管理 軽量物運搬(火山, 危険箇所, 他)	○	○	○	○	○	○
	気球・風	上空からの概観情報収集, 要救助者検索, セキュリティ, 作業管理 通信網確保	○	○	○	○	○	○
	パワーアシスト	重量物運搬	○	○	○			○
	電線	電線点検	○	○	○			○
作業ロボット	土木工事	ロボットバックホウ	○	○	○	○		○
		ロボットブルドーザ	○	○	○	○		○
		ロボットダンプカー	○	○	○	○		○
		ロボットカメラ車	○	○	○	○		○
		ロボット無線通信車	○	○	○	○		○
		水中バックホウ	○	○	○			○
		管路工事ロボット	○	○	○		○	○
	建築工事	地上走行	○	○	○	○	○	○
		登壁	○	○	○		○	○
		パワーアシスト	○	○	○	○		○
		廃棄物分別処理	○	○	○			○
	プラント工事	配管工事	○	○	○	○	○	○
		地上走行	○	○	○	○	○	○
		登壁	○	○	○		○	○
		パワーアシスト	○	○	○	○		○

表4. 2 ロボットの適用場面と特徴・災害適用上の問題および
技術熟成度レベル(TRL; Technology Readiness Level)

ロボットの形態	ロボットの適用場面と特徴	災害適用上の問題点	TRL
車輪・クローラ	屋内外の地上調査・地上作業、普及型	運動性能の限界	6～9
多脚型	車輪やクローラでは走破が困難な場所	安定性、信頼性、効率の限界	4～7
パワースーツ	重機が入れない場所で代替	人間が搭乗する必要	4～6
超小型軽量飛行	屋内外の調査点検、急速に実用化進む	狭所、ペイロード、飛行時間	4～8
広域長時間飛行	災害状況の全体把握、モニタリング	耐環境性・安全性向上	8～9
潜水・水上	海中の調査点検	狭所、静止、行方不明になる	6～9
壁登り	インフラや産業設備の高所の調査点検	単純壁以外での困難性	5～8
狭所進入	瓦礫や産業設備の狭い場所の調査点検	運動性能、旋回性能	5～8
無人化施工	人が入れない場所で工事	自動化、水中作業	6～9
合体型	性能を相互補完	複雑化	4～6

表4. 3 技術熟成度レベル(TRL)と必要なフィールド性能評価のレベル

技術熟成度レベル(TRL)	必要なフィールド性能評価の内容
9 実機を配備してよく使われる	災害現場、配備・使用のフィードバック
8 実機を災害現場で実証	災害現場、配備・使用のフィードバック
7 試験機を災害現場でデモ	災害現場、模擬現場適用
6 試験機を模擬現場でデモ	模擬現場、計算機シミュレーション適用(モックアップ総合評価)
5 要素部品を模擬現場で実証	模擬現場、計算機シミュレーション適用(要素性能評価)
4 要素部品を研究室で実証	ラボ環境、計算機シミュレーションでの評価
3 機能性能を解析と実験	ラボ環境、計算機シミュレーションでの評価
2 技術コンセプトと適用法発明	ラボ環境、計算機シミュレーションでの評価
1 科学技術の発見	ラボ環境、計算機シミュレーションでの評価

4. 2 各種災害に対する遠隔・自律ロボットと、評価すべき項目

評価に関する具体的な検討は、各種の災害として、建造物・土木インフラグループ（建造物サブG、土木インフラサブG）、水害・土砂崩れグループ、テロ・CBRN 災害グループ、原子力グループ、プラントグループ、水道・下水グループに分かれた活動を行った。なお、火災については、ここでは検討していない。

各グループについて想定災害とロボットとの関連細分表と、想定される災害対応ロボットの機能等に対する試験項目細分表を具体的に検討した。しかし、ページ数の関係で、これらの表は全て付録に収録し、表の番号は「付録表4-1」等としている。

まず、想定災害とロボットとの関連細分表では、「想定対象・現場」、「想定災害・災害種類」、「被災レベル・被災状況」、「時間軸（平時、発生直後、72 時間以内、復旧）」、「全国的発生頻度・規模」、「遂行作業・対応作業」、「制約条件（環境条件）」、「ロボット導入の期待される依存比率」、「ロボット導入の価値」、「場所・移動環境（詳細）」、「必要な機能（移動、作業、環境）」、「現状技術でできること（適用可能ロボットまたは技術）」、「技術課題（困難を伴うこと）」、「非技術課題（規制、制約など）」、「将来展望（今後どの程度で

実現するか)」、「行うべき試験(性能、耐久性、耐環境性など)」、「評価フィールドへの要求」の各項目について、詳細にまとめている。

また、試験項目細分表では、機能分類として、「機能（移動能力、検出能力、情報統合能力、作業能力、システム性能、運用、安全機能など）」、「耐環境性」、「耐久性」、「安全性」等をあげ、これらに対する「試験項目」、評価として、「適応範囲・対象・条件（想定される範囲内で種類や数値、条件等を変えて試験）」、「評価内容（計測など）」の該当内容をまとめていただき、それらの項目が、想定される災害対応ロボットの利用の「時間軸（発生直後、72時間以内、復旧、平常時）」と、「対象となるロボット（クローラ・車輪、脚式、水陸両用型、飛行型、水面浮上型、ヘビ型、配管内、吸着型など）」に対して、該当するかがわかるような表を作成した。

4.2.1 建造物・土木インフラグループ

このグループで対象とする建造物（建築物）および土木インフラ（主に社会資本）については、災害発生直後の人命救助（レスキュー）に次ぎ早期の対応を求められる分野である。また想定災害の種類も広く、地震、竜巻、火災（爆発、噴火）、水害（洪水、津波）、突発事故（老朽化に起因する事故、飛行機墜落、電車脱線衝突）など多岐にわたる。

想定災害とロボットの関連をまとめたものを付録表4-1 想定災害とロボットの関連細分表（建造物・土木インフラグループ）に示す。建造物・土木インフラの被災対象は、建築物、木造住宅、地下街、地下室、建物設備・配管およびトンネル、橋梁とし、被災対象に対する想定災害に関連する事項（災害の種類、レベル、発生頻度など）と対応するロボットに関連する事項（制約条件、機能、課題など）を整理して、実証実験フィールドで行うべき試験と評価フィールドへの要求等を抽出してまとめた。

次に、災害対応ロボットの機能、性能とフィールド試験に必要な試験項目をまとめたものを付録表4-2 試験項目細分表（建造物・土木インフラグループ）に示す。建造物・土木インフラでは、災害時にロボットが瓦礫の散乱する中で移動しながら、人が入れない危険な構造物の内部に入って調査、補修等の作業を安全かつ確実に行う必要がある。そのようなロボットに必要な機能、性能を細分化した試験項目と、対応する評価方法、評価内容等を抽出して、時間軸および対象となるロボット形式との関連をまとめた。

今回、建造物と土木インフラを二つのサブワーキングに分け議論を進めているが、いずれも災害対応ロボットセンターの機能である実証実験フィールドについて、4.1節（フィールド性能評価の必要性）の表4.3で述べた技術熟成度レベルに合わせたフィールドがそれぞれ必要である。

この分野は、平時利用されているロボットシステムを災害、緊急時に使用することが望ましく、そのため平時（被災していない対象物）から、発生直後、数日以内、復旧段階（週、月単位）、復興段階（年単位）と時間軸が長いことも特徴である。

なお、本グループの対象が施設などハード的な側面であるため、人命救助（レスキュー）に係る内容については除外した。

以下、二つのサブワーキングで議論した具体的な災害対応イメージの概要を記す。

4.2.1.1 建造物災害対応

建造物の被災対象は、ビル建築物（低層、中高層、超高層／鉄筋コンクリート造、鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造／オフィスビル、集合住宅、学校、その他）、木造住宅、地下街、地下室、建物設備・配管とした。主に建築物およびそれに付属するものを対象とし、被災のレベルは、「倒壊」、

「半倒壊・倒壊レベル不明」、「水没」とした。

図4. 1にテストフィールドのイメージ図を示す。建造物災害対応では災害現場のイメージとして、瓦礫や道路の陥没等の障害物のある環境の中で、半倒壊したビルの内外部の調査・補修をロボットで行う必要がある。外部からは外壁に吸着するロボットや飛行型ロボットで外壁や付属設備の健全度調査、屋内の状況調査、簡易補修等を行う例を示し、内部ではクローラ型ロボットが出入口から進入して階段を昇降して建物の健全度調査や簡易補修を行う例を示している。また、水没した地下街の損壊状況の確認、内部のマッピング等を行う水陸両用型ロボットや水面浮上型ロボットの例が示されている。

災害現場としては様々な状況が想定されるが、図4. 1をベースとして様々なアレンジを加えることにより、実現場に沿った状況を再現可能なテストフィールドを構築する必要がある。フィールドテストの一例として被災した建屋内の健全性調査、補修作業について検討した結果を以下に示す。

（１）災害時にロボットが行う想定作業

建造物の被災では建物種類や被災状況が多岐にわたるため、実証実験フィールドの具体化にあたってはロボットへの期待度や可能性を評価して対象作業を絞り込む必要があるが、以下では、その一例として、地震の数日後に、半倒壊した鉄筋コンクリート造建物の健全性の診断および補強等を行うロボットのフィールドテストについて検討する。

建物調査用のロボットは安全な場所から建物に入り、落下した仕上げ材や設備などが散乱する中を移動しながら柱や壁等の主要な構造材のクラックや変形、強度等をセンシングし、結果を解析して建物の倒壊の可能性や補強の要否を把握する。その結果に基づき必要に応じて補強方法を決定し、補強用ロボットが建物内に入って遠隔操作により補強作業を行う。

（２）ロボットシステムに求められる機能

ロボットシステムに必要な機能として、①移動技術（不整地移動、階段昇降）、②センシング技術（画像、レーザスキャナ、超音波、打音など）、③作業機能（障害物除去、重量物ハンドリング、補修材の充填など）、④複数ロボットや各種センサを容易にシステムに追加でき、得られるセンサデータの蓄積などが可能なIT基盤とそれを利用した各種データ解析機能、⑤遠隔操作性（通信手段と確保、ヒューマン I/F、遠隔臨場感、遠隔指示機能と自律機能との統合）ならびに⑥安全機能（機器状態把握、周囲状況把握、耐転倒・滑落性能、異常対応、周囲環境への負荷低減）等があげられる。

（３）災害対応ロボットセンターが備える機能検証設備とロボット評価

これらのロボットのフィールドテスト用に、①構造体の柱、梁、壁、②部屋と出入口、③廊下、④階段、および⑤設備配管を有する半倒壊した建物の一部の原寸大モックアップを用いて、ロボットの遠隔操作により必要な作業を行い、①走破性能（不整地対応度、移動速度）、②作業性能（作業速度、精度、測定精度）、③操作性、等についての性能試験と評価を行う。

4. 2. 1. 2 土木インフラ災害対応

土木インフラの被災対象は、トンネル、橋梁、ダム、上下水道、港湾施設などがあるが、本サブグループでは、土木工事（砂防を含む）、上下水道については他のグループの重複を避け対象外とした。被災のレベルは、「倒壊」、「一部損傷」、「外観変化なし」とした。

図4. 2にテストフィールドのイメージ図を示す。土木インフラ災害対応では災害現場のイメージとして、半倒壊したトンネル、橋梁を例とした。トンネルでは、掘削積込み、障害物除去、作業状況を監視、および、被災構造物の健全性評価、被災構造物の補修するロボットが必要となる。一方、橋梁では、一部水中を想定

したコンクリート破碎、障害物除去、運搬、状況把握を行うロボットの例として示した。

土木インフラ災害対応のロボットに求められるものとしては、①インフラの健全度や損傷度、被害状況を正しく着実に把握する技術、②復旧、復興の水準を高めるための技術が挙げられる。①については対象インフラに対する移動とセンサのアクセス技術、適切なセンサの開発や情報管理、基盤技術、②については、検査から補修・復旧までの一連の作業をロボットで効率よく実現することが要求される。

フィールドテストの一例としてトンネルでの復旧作業について検討した結果を以下に示す。

(1) 災害時にロボットが行う想定作業

被災直後から数日以内に想定される作業は、被災状況の把握、被災者の探索ならびに障害物の撤去等である。被災状況の把握では、被災した土木インフラや障害物（落下物、瓦礫、視界、有毒ガスを含めた空気環境等）に関する情報収集を、カメラ映像・3Dレーザースキャナ・各センサ等により行い、その後の調査・復旧計画の策定に役立てる。被災者の探索では、主に瓦礫等の下敷きになった負傷者あるいは遺体の探索を行う。障害物の撤去では、救出作業等に必要な搬送ルートを確保する。これらの作業は、被災状況に応じてロボットのみ、人や機械、あるいはそれらの併用で実施することになる。

(2) ロボットシステムに求められる機能

土木インフラの災害現場で使われるロボットには、主として以下のような機能が要求される。

①瓦礫などの障害物を踏破あるいは回避できる移動能力、②安全な場所からの遠隔操作／半自律制御、③特定作業（生体認識・瓦礫撤去・破碎・搬送等）、④GPS等を活用した自己位置認識(夜間や暗闇等の作業)、⑤災害現場の状況を鮮明に把握できる映像システム、⑥災害現場において早期にシステムを立ち上げ稼働可能、ならびに、⑦安全機能。

(3) 災害対応ロボットセンターが備える機能検証設備とロボット評価

対象とするトンネルは、被災から数日経過した2車線・70～80m²程度の標準的な断面のトンネルとし、①覆工コンクリートの崩落、②被災に伴う瓦礫・障害物、③暗闇～薄明り等の照明、④漏水・泥水等の環境創出が必要となる。基本的なパラメータとして、光環境、視界、気流および障害物などへの耐環境試験はフィールドで実施される。一方、空気種類（揮発、低酸素、有毒等）、空気環境（温度、湿度）、降水、冠水、落下、衝撃、振動等に対する耐久性能試験はフィールド以外の設備で検証される。

ロボット評価として、具体的な作業性、操作運用性、メンテナンス性、安全性等がある。

建造物被災テストフィールド

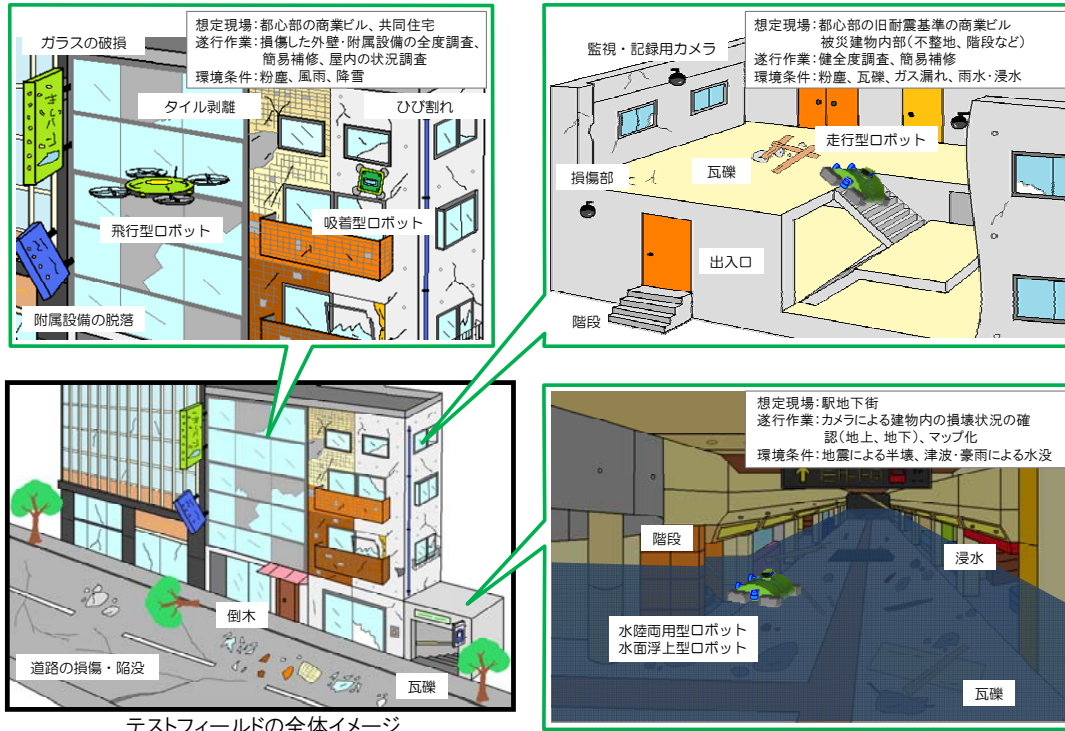


図4. 1 テストフィールドのイメージ図(建造物サブグループ)

土木インフラ被災テストフィールド

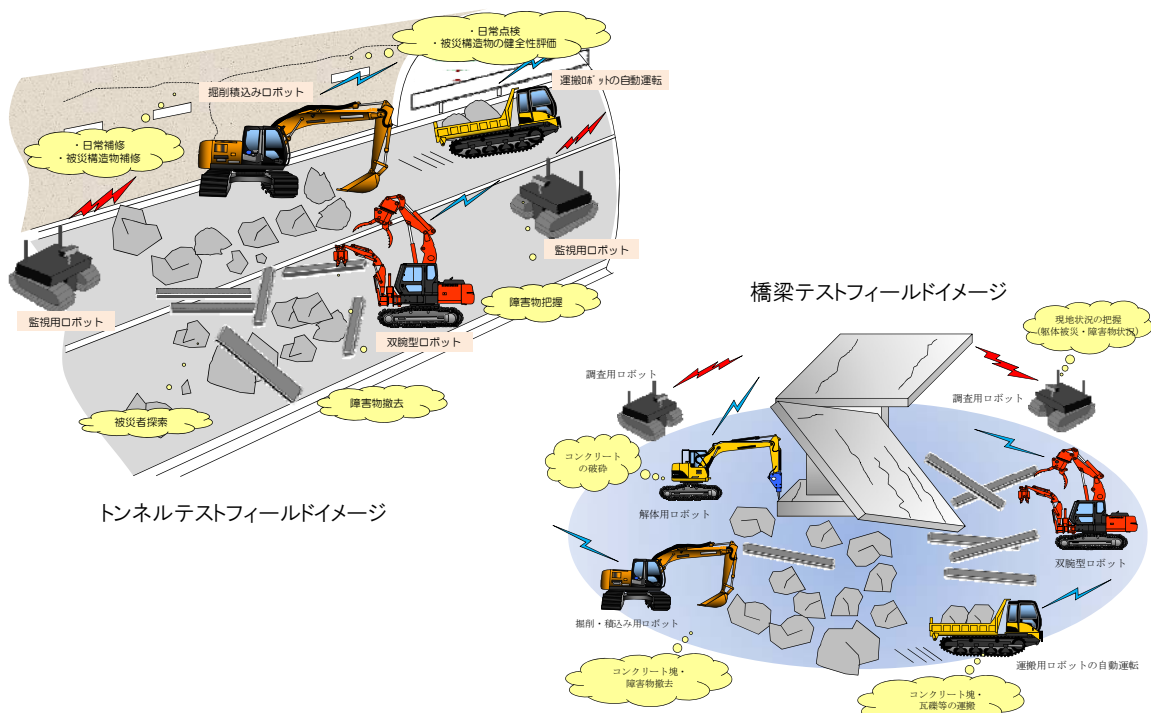


図4. 2 テストフィールドのイメージ図(土木インフラサブグループ)

4. 2. 2 水害・土砂崩れグループ

本グループでは大雨による河川の氾濫及び土砂崩れといった災害を対象とした。具体的な災害対応場面としては、(1) 河川の氾濫により流された人を探索する場面、(2) 土砂崩れ等により倒壊した家屋で生存者を探索する場面、(3) 土砂崩れにより堆積した土砂・瓦礫等を除去する場面の3つを想定した。これら3つの災害対応場面での制約条件・活動する災害対応ロボットに必要な機能・適用可能なロボットまたは技術・行うべき試験・評価フィールドへの要求等を検討し整理した(付録表4-3 想定災害とロボットとの関連細分表(水害・土砂崩れグループ)を参照)。さらに「行うべき試験」に関しては、ロボットに要求される機能・性能別に分類して評価内容を検討し、対象となるロボット・時間軸(ロボットが災害対応に投入されるタイミング)を整理した(付録表4-4 試験項目細分表(水害・土砂崩れグループ)を参照)。

以下3つの想定災害場面に分けて、検討結果の概要を説明する。

(1) 河川の氾濫により流された人を探索する場面

活動の現場は、河川、港湾、水深の浅い海などの水中及び水面である。作業としては、濁っている水または泥水の中、場合によっては瓦礫等が浮遊する中を移動し、生存者の捜索および救助作業補助が考えられる。

捜索活動には水面移動ロボット・水中探索ロボットを使用することになり、視界の悪い状態で障害物を認識し遠隔操作で除去または回避する機能や、人を検知する機能が必要となる。また、高度な救助活動をするレスキュー隊員の補助装置も必要になり、これらは生存者やレスキュー隊員を傷つけないことが必須である。

評価フィールドとしては河川・港湾等の利用または大型の水槽設備が考えられる。河川・港湾等を利用する場合でも模擬瓦礫の設置や泥水状態の再現が必要であり、専用のエリアを確保する必要がある。また生存者の探索試験のために、バイタルサイン(心拍、体温等)を備えたダミー人形の設備も必要である。

行うべき試験としては、瓦礫等が浮遊する中での移動・ハンドリング試験、流水中での姿勢保持性能試験、操作性評価、バイタルサインの検知能力等がある。

(2) 土砂崩れ等により倒壊した家屋で生存者を探索する場面

活動の場所は倒壊家屋で、作業としては土砂や瓦礫が混在する現場の現状調査、生存者の探索および救助作業補助が考えられる。

現場への地上からのアクセスが困難な場合、まず何より現場状況の把握と生存者が存在する可能性がある位置を早急に特定することが求められる。空中撮影が可能な飛行ロボットを使い、カメラ遠隔操作や、撮影位置把握等の機能が考えられる。生存者探索は、クローラ型のレスキューロボットの使用が考えられ、倒壊した瓦礫上または瓦礫内を安定して前進できる操作性を有し、前進を阻む瓦礫等を除去する機能を有する移動手段と、カメラ画像、体温の検知などによる生存者の探索機能が必要である。評価フィールドとしては、泥や沼地状態の軟弱な地面に積まれた倒壊家屋や流木等を想定した模擬瓦礫が必要である。模擬現場については、テキサス Disaster City の訓練施設が参考になる。図4. 3に倒壊家屋現場でロボットを活用することを想定した評価フィールドのイメージ図を示す。

行うべき試験としては、不安定な足場での姿勢保持性能や操作性、瓦礫のハンドリング性能などである。

また生存者探索については、上記模擬瓦礫に埋まった状態の生存者の探索試験のために、バイタルサイン(心拍、体温等)を備えたダミー人形の設備が必要で、行うべき試験としては、瓦礫内の模擬的なバイタルサインの検知、泥汚れ時センサ能力・リカバリー能力なども評価すべき項目である。

（３）土砂崩れにより堆積した土砂・瓦礫等を除去する場面

活動の場面は、油圧ショベル等の重機を用いた、災害直後の緊急性を要する緊急対策工事とその後の復旧工事に分けられる。

緊急対策工事としては、現状調査や走行路の確保、障害物の除去作業等があるが、瓦礫等が散乱した悪路を走行し、危険な現場で作業を行うことが想定されるため、安全な場所から遠隔操作を行う必要がある。遠隔操作では、車体や周囲の状況が把握しにくいことや、無線による信号遅れにより、作業効率が著しく低下するため、車体姿勢の自律安定化や空間認知等の補助的機能が有効である。その他、基地局の立ち上げや周波数帯の確保と整理、現場によっては車体の分解組立が必要である。さらに、広範囲の現場状況を把握する必要がある場合には、UAV（無人飛行体）による空中撮影や地形測量等の事前調査が有効である。

復旧工事においても、二次災害の危険性がある現場に対しては遠隔操作が必要とされるが、この場合、周辺住民が速やかに通常生活に戻れるように一層の作業効率の向上が望まれる。緊急対策工事と同様、補助的機能が有効である他、容易に目標地形に仕上げられるマシンコントロール等の無人化施工技術が有効である。飛行ロボット等により災害現場の現況地形を測量し施工図面を作成すれば、その情報をもとにマシンコントロール等の技術を利用した遠隔操作により安全かつ効率的に復旧作業が可能となる。

緊急対策工事の場合、評価フィールドとして例えば土砂崩れ現場を模擬した「瓦礫の散乱した傾斜地」や「遠隔操作室」といった設備が必要であり、これらの設備を活用することにより各対策工事に対し効率的に再現性のある評価試験が行える。行うべき試験としては、車体安定性や空間認知性能・通信性能・工事立上げ時間等である。また、UAV に関する評価フィールドとしては、ある程度広範囲の飛行エリアが必要であり、試験としては、自然環境下における操縦性や稼働可能範囲の確認、地形計測精度の確認だけでなく、オペレータの十分な訓練を兼ねることも必要である。

復旧工事としては、雲仙普賢岳を試験フィールドとして無人化施工技術が発展してきたが、同様の試験フィールドがあれば、災害現場で作業効率評価・走行性能評価等の実証試験をすることで継続的な新技術の開発が期待できる。また、確実に有事の現場で稼働するためには、災害現場に持ち込む前の先行技術の事前評価は重要であり、復旧工事現場を模擬した評価フィールドも必要である。図4. 4は、復旧工事（土砂崩れにより堆積した土砂・瓦礫等を除去し整地する作業）現場で無人化施工技術を活用することを想定した評価フィールドのイメージ図である。

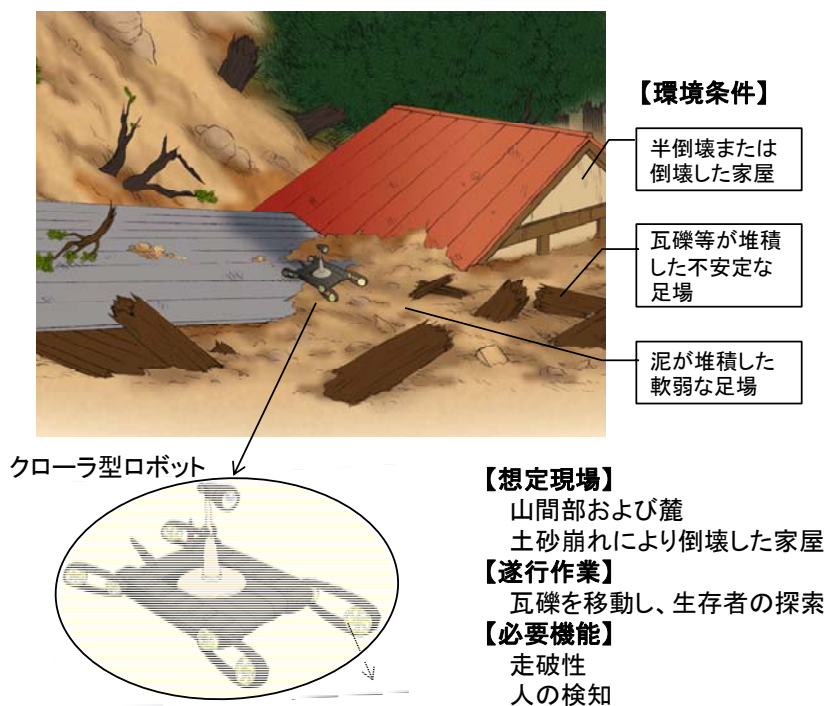


図4. 3 倒壊家屋現場でロボットを活用することを想定した
評価フィールドのイメージ図(水害・土砂崩れグループ)

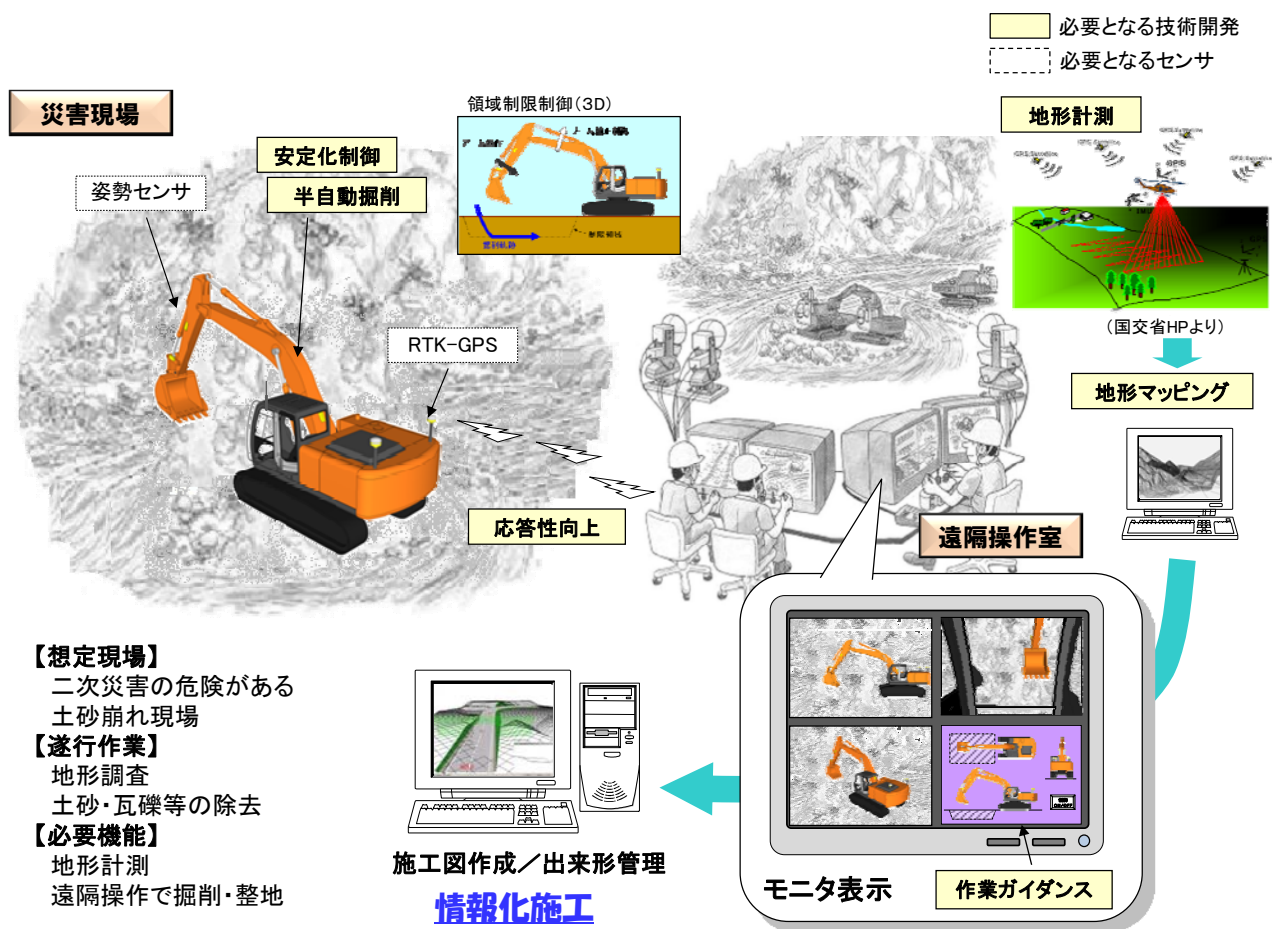


図4. 4 復旧工事現場で無人化施工技術を活用することを想定した
評価フィールドのイメージ図(水害・土砂崩れグループ)

4. 2. 3 テロ・CBRN 災害グループ

本グループでは、テロ行為等による CBRN(E)災害（Chemical, Biological, Radiological, Nuclear, (Explosive)）を対象とし、事案発生直後の人命救助から復旧の対処まで、人が近づけず無人機(ロボット)での対応を求められる典型的な分野である。

(1) 運用概念

人命救助、被害情報の収集、瓦礫除去等、他のグループとの共通項目が多いが、以下のような運用上の特徴が挙げられる。

- ・ 特殊な汚染環境下での作業(CBRN(E)による汚染環境)
- ・ 市街地や建屋内での作業
- ・ 人が近づけない建屋外からの遠隔操作(中～長距離)
- ・ 市街地等、広域のリモートセンシング

また、発生頻度が非常に稀であるため、実際に発生した場合に的確に対処できるための平時の訓練が重要となってくる。図4. 5にロボットの活用イメージを、図4. 6と図4. 7に運用・試験概念図を示す。



図4. 5 ロボットの活用イメージ



図4. 6 市街地での運用・試験概念図

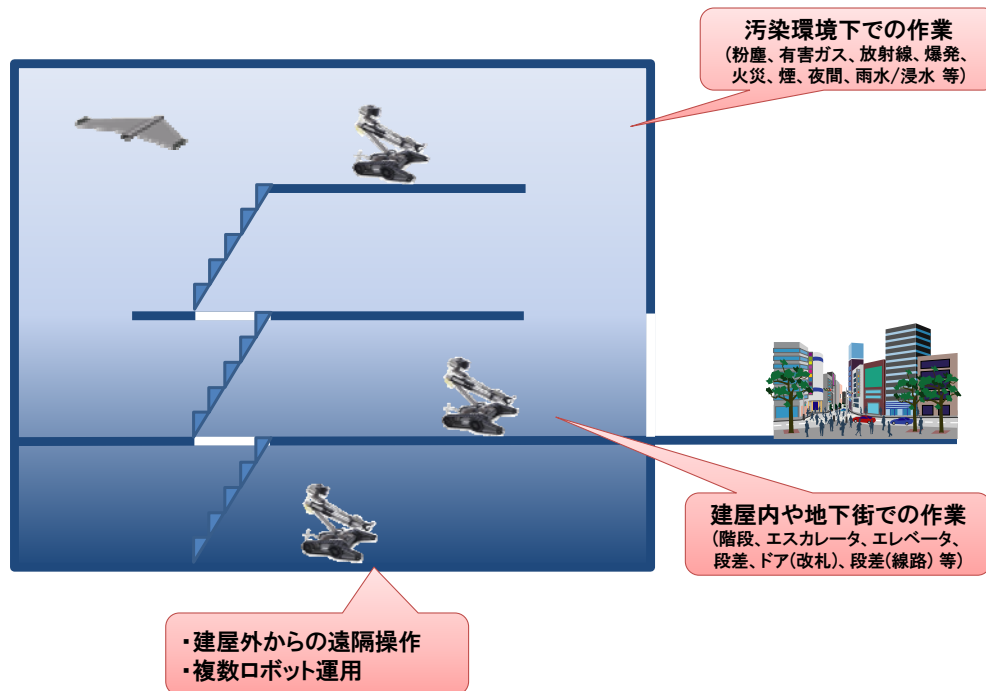


図4. 7 建屋内や地下街での運用・試験概念図

(1) 災害種類

駅やショッピングモール等におけるテロ行為 (CBRN(E)) を対象とし、フィールドとしては、2 階建て以上の建屋や地下街を想定する。

- 想定現場 : 公共建屋内部(駅/ショッピングモール 等)、公共エリア周辺街路、地下街
- 遂行作業 : 有害物質検知、被害者の位置特定、汚染源の特定、除染、拡散防止
- 環境条件 : 粉塵、有害ガス、放射線、爆発、火災、煙、夜間、雨水/浸水、広域
- 評価項目 : 移動性、耐環境性、操作性(遠隔操作、自律運用)

(2) 必要機能

必要とされる機能としては、人の立ち入りや、近寄るには危険と思われる、以下に示すような被災直後から対処までの作業で必要な機能が考えられる。特に CBRN(E) の特性から、作業の途中や終了時のロボット自身の洗浄による除染や、人が近づけないケースが多いと想定されるため、建屋外からの遠隔操作、複数ロボット運用や自律運用機能が特に必要である。

- ・現場の状況把握 : 画像データ取得
- ・有害物質検知 : サンプル物質収集、センサによる検知
- ・汚染源特定 : 複数地点でのサンプル物質、センサによる濃度検知
- ・生存者の位置特定 : 画像データ取得、センサによる検知
- ・除染/拡散防止 : 薬剤散布、汚染源密閉、ロボット自身の除染
- ・指揮統制 : 建屋外からの遠隔操作、複数ロボット運用、自律運用機能

また、移動、環境等で以下のような運用上のボトルネックが考えられる。特に CBRN(E) の特性から、爆発物に関しては、振動による爆発を防ぐため、防振の環境特性が求められる。

- ・移動 : 階段、エスカレータ、エレベータ、段差(プラットフォーム)、ドア(改札)、瓦礫障害物排除 等
- ・環境 : 防水、防爆、火災(高温)、放射線、煙幕、夜間(暗闇)、床材質、防振 等

(3) 評価フィールドへの要求

上記の項目から評価フィールドとしては、以下の試験が実施できる設備が求められる。詳細は付録表4-5 想定災害とロボットとの関連細分表(テロ・CBRN 災害グループ)、付録表4-6 試験項目細分表(テロ・CBRN 災害グループ)参照。

- 機能試験
 - ・ 建屋内や地下街での移動が必要なことから、階段/エスカレータ/エレベータ昇降、駅のホームやショッピングモール内の段差、駅の改札や地下街の非常扉等の移動機能の評価
 - ・ CBRN(E)の特性から有害物質検知や試料の収集機能の評価
 - ・ 状況把握のための映像や3次元位置情報のリアルタイムのモニタリング
 - ・ 汚染源の密閉や起爆装置の破壊
 - ・ 重量物の運搬
 - ・ 作業途中や終了時の高圧洗浄等の除染
 - ・ 爆発物への接近、人への接近、ネットワーク切断時の自律運用等の安全性等、保安基準
- 耐環境試験
 - ・ 煙、蒸気
 - ・ 暗闇
 - ・ 高温/低温
 - ・ 防水、防爆、耐放射線、
 - ・ 耐雷、EMC
 - ・ 通信途絶や狭帯域運用
- 耐久性試験
 - ・ 連続、繰り返し稼動

4.2.4 原子力グループ

原子力関連災害で活用するロボットは、以下を想定・検討しておくことが必要。付録表4-7に、想定災害とロボットとの関連細分表(原子力グループ)、付録表4-8には、試験項目細分表(原子力グループ)を示している。

(1) 想定災害

自然災害(地震・津波)、事故(偶発事故や人為ミスを含む)、テロや戦争

→ これらから発生する事象として、爆発・火災・放射能漏れ・施設や機器の破損

(2) 活用対象

原子力施設内の主要機器周辺((例)原子炉容器、熱交換器、主要配管等)と、原子力施設外周辺

(3) 原子力関連施設(特に原子力発電所)における特殊性

- ・ 放射線環境下の場所がある。
- ・ 原子炉格納容器のような、外部と完全隔離区域での使用を想定する必要が有る。
 - 小径貫通口(ペネトレーション)が外部とコンタクト。動力・信号線はこれを使用。
 - エアロックのような2重扉を通過。開閉操作が必要、かつ狭隘で複雑な形状であることが多い。
- ・ 施設内部は人が動き回れる程度の大きさで設計されており、大空間は限られた場所のみ。

（４）ロボットに求められる性能

前記特殊性に関連した項目を含む、以下性能をロボット設計に反映・検討しておくことは、実運用時に非常に有益である。

- ・放射線環境下での使用を考慮。
- ・ロボット自身が汚染した場合、除染しやすい構造設計。（例）丸洗い可能
- ・ロボット内部が汚染しない構造設計。（例）完全密閉構造、適切なフィルタの使用
- ・ロボット自身の除染が不十分な場合も想定し、メンテナンスを容易とする設計。
（例）車輪やクローラのワンタッチ交換、バッテリーのワンタッチ交換
廃棄する際、小さな部品に簡単に分解可能であること
部品点数や種類の削減と共通化
- ・防爆構造。
- ・有線の場合、ロボットと操作系との接続方法（ペネトレーションの利用法を含む）。ケーブル巻き取り機構等の有線処理機構。
- ・無線の場合、中継器の必要性と、必要時の設置方法。無線到達距離・エリアの確認。
- ・狭隘空間での使用を想定した小形軽量設計。
- ・複数台による協力、協調作業（離れた位置からの目視や扉等の保持等）も考慮した設計。

（５）災害時にロボットが行う想定作業

災害時には必要な作業を遂行するために対象部位へ移動到達することが極めて重要になり、まずは目的地へ行くという作業が共通で必要である。

福島第一原子力発電所の状況では、ロボットにさせたい作業や要求仕様は、現場作業の進捗状況に応じて常に変わるため、具体的作業を特定し準備することは困難であった。

将来の災害においても同様の状況になると予想されるため、今回の福島の状況や過去の類似災害から作業を想定する必要がある、例えば以下のようなニーズがあると考ええる。

- ・目的地への移動
- ・目視、偵察
- ・上記達成のためのドア開け通過、別フロアへの移動、瓦礫や異物の撤去
- ・除染方式決定のためのコンクリートサンプリング（床や壁からドリルを用いて小片を採取）
- ・除染
- ・遮へい材の運搬、設置助勢
- ・バルブ開閉
- ・配管や手すりの切断・撤去及び、仮配管の接続
- ・原子力施設周辺の監視及び探索（空中・水中・陸上）

（６）災害対応ロボットセンターが備える機能検証設備とロボット評価

原子力関連災害用ロボットについて、以下の機能検証案が考えられる。今後は、これら項目の洗い出しを継続することで拡充し、その優先順位や必要性、実現方法をさらに検討し、実現させることが有用である。

- ・耐環境検証
 - * 耐放射線環境（耐放射線）
 - * 揮発可燃性ガス環境（防爆）
 - * 温度、湿度(耐温度衝撃、耐高湿度)
 - * 降雨及び水没（防水）
 - * 落下（耐落下）
 - * 衝撃（耐衝撃）

- ・移動性能検証
 - * 不整地、段差、階段、梯子、空中（飛行）、水中（遊泳）
 - * 曲がり角、狭隘通路、各種扉やドアの通過
 - * 通信手段の確保（無線有線）
- ・メンテナンス検証
 - * 消耗品部品交換（要する設備、人員、時間等の評価）
- ・ロボット操作性検証
 - * オペレーショントレーニング
 - * オペレータの疲労、負荷、ミッション達成に要する時間

（７）オペレータの資格・条件

以下の各項目について必要性を検討し、要すればルールを制定する。

- ・免許(受験資格、試験機関、・・・)
- ・技能講習(受験資格、講習機関、・・・)
- ・特別教育(受験資格、教育機関、・・・)
- ・認定講習(受講資格、講習機関、・・・)

（８）ロボットの性能認証試験

認証試験の必要性を検討し、要すればルールを制定する。

（例） 認証試験取得の有無 → 認証無、民間認証、国家認証、国際認証

参考：MIL 規格に準拠した耐久性・防滴性・防塵性。

- ・温度試験・動作温度: -20° C ～ 60° C・非動作時: -30° C ～70° C
- ・温度衝撃試験・急激な温度変化に耐えることができること
- ・湿度試験・暖かく高湿度な環境に耐えることができること
- ・衝撃試験・衝撃に対して耐えることができること
- ・落下試験・鉄に 1.52m から 26 回落下に耐えることができること
- ・振動試験・振動に対して耐えることができること

（９）汚染ロボットのメンテナンス機能（Hot Shop）

検証・評価以外に災害対応ロボットセンターに設置したい機能として、汚染ロボットのメンテナンス機能(施設)がある。ロボットが原子力災害現場に投入されるとロボット自身が汚染してしまう。洗ったり拭き取ったりという除染作業により、ロボットの汚染は軽減されるが、放射線管理区域外（一般の区域）に持ち出せるレベルは非常に低い値に設定されており、このレベルまで除染することは困難な場合も考えられる。軽度の汚染ロボットをメンテナンスできる場所は現在無く、災害現場でのメンテナンスを余儀なくされ、作業効率の悪さや災害現場からの放射線による作業員の不要な被曝が問題となる。

災害対応ロボットセンター内に放射線管理区域を設け、その中にロボットの保守メンテナンス施設（Hot Shop）を設置することは、災害現場でのロボット活用において非常に有用であり以下の利点がある。

- ・ロボットの保守メンテナンス性向上。 → 作業者の負担軽減
- ・ロボットメンテナンス時の災害現場からの放射線による無駄な被曝を無くす。
- ・ロボットの修理・改造後、現地投入前に十分な機能確認試験が可能。
 - Hot Shop 内にロボット検証用の簡易モックアップ（階段やドア等）を設置
- ・除染に十分時間がかかることが可能となり、ロボットを一般区域に持ち出せる可能性がある。
 - 製作メーカーへ返送しての修理や改造が可能。放射性廃棄物の低減にも効果あり。

(10) 平時（通常時）に原子力発電所でロボットが行う作業

原子力発電所では、安全な運転を継続させるために定期的な保守点検をする事が義務付けられている。保守点検作業は人による作業が多いが、高放射線環境、水中、狭隘等の理由から、人に代わってロボットが用いられる場合も多い。具体的には非破壊検査や切削及び溶接のような補修作業である。

これらロボットは、健全な発電所において特定の目的に使われる専用ロボットであり、災害時に応用可能な機能性能を有していないため、そのまま災害時に適用することは不可能である。

しかし、原子力発電所内での作業ロボットは、放射線環境下、汚染環境下での使用を前提に設計しており、このロボット技術を災害用ロボット設計に反映させることは可能といえる。

また今後は逆に、災害用ロボットを平時に使用するという考え方が重要になると考える。

災害対応ロボットをいつでも出動できる状態で維持しておくことは極めて重要である。そのためには、ロボットを定期的に動作させ、故障の有無確認や消耗品の交換を行うと共に、ロボットオペレーションやロボットメンテナンスの技術伝承が必要不可欠である。しかし発生頻度が極めて少ない(または発生しない)災害に対応するロボットを、最良の状態で維持し続けるためには、関係者の努力では継続は困難であり、なんらかの仕組みが必要である。その解決策として、ロボットの平時利用は有効な考え方となる。

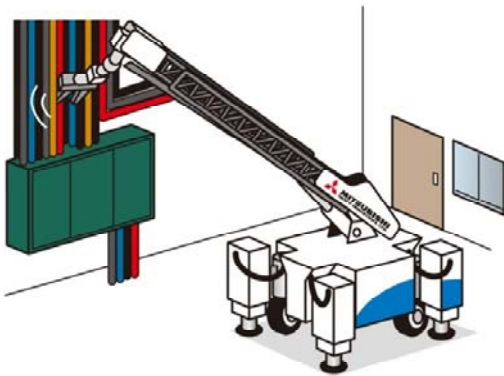
しかし、現在の原子力施設は、人が運転管理することを前提に最適化された設計であり、災害用ロボットの運用を想定した設計にはなっていない。従って現在稼働中の原子力施設において、ロボットの平時利用として有効な活用シーンは、簡単には挙げられないが、まずは施設内の目視点検が適当かつ導入のハードルが低いといえる。

以上から、原子力施設の点検業務として、現在の人による点検に加え、ロボットも用いるルールを定めることで、真の意味で災害ロボット配備による「万が一の備え」につながるといえる。この実現には費用負担が生じるが、これを当該事業者のみが負担するのではなく、その施設を使うことで恩恵を被る人すべてが負担（例えば対象施設が原子力発電所であるなら、電気利用代金に上乗せ）すべきと考える。

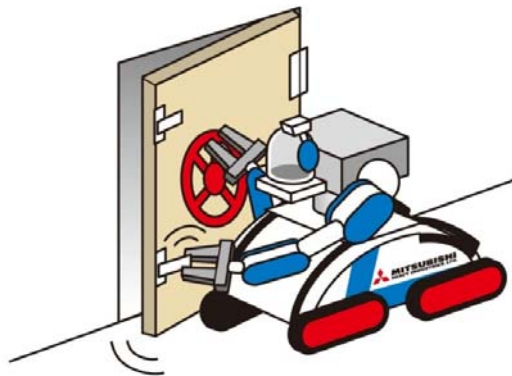
なお“平時利用”とは、明らかに人が行うほうが合理的な作業であっても、人に代わってロボットにさせることを意味するのでは無く、普段からロボットのオペレーションやメンテナンスを継続・伝承するために必要な営みを意味する。したがって、例えば通常は人が行う施設内の目視点検に加え、週に1度はロボットでの点検も合わせて実施するという運用や、人の作業代行にこだわらない“ロボット運用訓練”も平時利用である。

平時には、実施形態を問わず、継続的にロボットが運用される仕組みを必ず付帯することの重要性を念押しし、本章を終える。

1. 高所作業



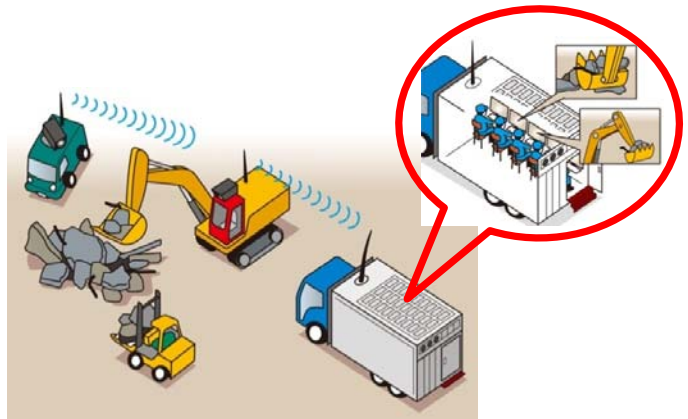
2. ハンドル・バルブ操作、ドア開け



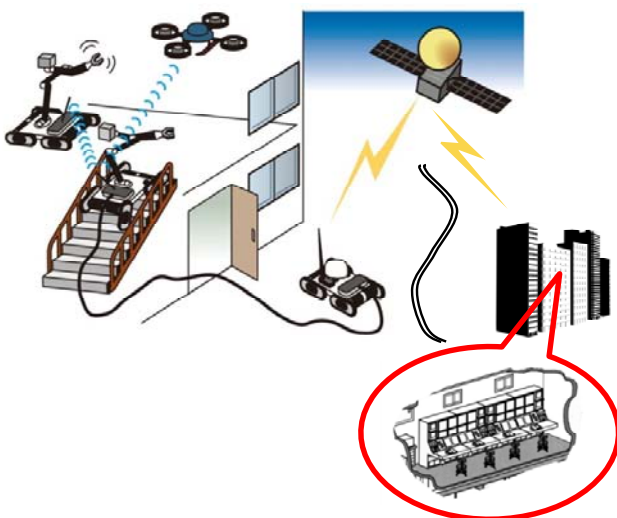
3. 瓦礫撤去



4. 遠隔操作システム(オンサイト)



5. 遠隔操作システム(遠隔地操作)



6. 上空からの情報収集
(災害状況・マッピングデータ)



資料提供: 三菱重工業株式会社

図4. 8 災害現場でのロボット活用イメージ(原子力施設)

4. 2. 5 プラントグループ

(1) プラントとその周辺での災害対応ロボットの役割

プラント及び工場設備において、地震や津波などの自然災害や、倒壊、火災などの産業事故の際、最も懸念されるのは、毒性・引火性のある、ガスや液体の漏えい、飛散、さらにそのリスクの顕在化である火災、爆発などの危険事象である。そこで本グループでは災害時に前記の危険事象が想定される精油、石油化学、化学、製鉄、発電等のプラントを対象として考える。自然災害以外でも、例えば石油コンビナートの特定事業所における火災、爆発、漏洩事故は全国715事業所の中で、地震の影響を除いても、年に204件発生している。

(平成23年度、出典：平成24年度消防白書) 今後さらなる防災努力で、プラントにおける『非自然』災害は低減されるべきだが、老朽化の進む我が国のプラントの実情では避けがたい面もあり、大きな自然災害以外でも災害対応ロボットの利用機会が考えられる。



図4.9 災害発生時に人に代わって初期対応をするロボット(ヒューマノイド型)

災害対応ロボットには、倒壊や、毒性ガス、火災への曝露がありえる危険な場所へ、人に代わってアクセスして、漏えいや損害の状況を撮影、報告し、可能であれば被害拡大を防ぐためのバルブ操作等の漏洩の抑制作業の能力が期待される。災害対応ロボットセンターは、これらの機能開発の支援と、合わせて平時の保守点検活動への転用など、プラント点検ロボットの開発の推進のためにも、以下に述べる評価機能が必要である。平時の点検で、プラントの脆弱箇所や不具合の改善は、災害時の被害低減効果も期待されるからである。

(なお、火災の対応、人命救助は一般性が高いので、プラントの保守と災害対応の範囲外としています)

(2) 前提となる災害とそれに対応するロボットの種類

アクセス困難となっているプラント災害エリアで調査、作業するロボットを以下のように想定する。

- ・瓦礫等の不整環境を移動するクローラー型、多車輪型ロボット
- ・梯子昇降による垂直移動や、配管跨ぎ等の不連続面移動が可能な二脚ないし多脚式ロボット
- ・狭隘環境や水中へ進入する車両型、ヘビ型、棒状等のロボットやデバイス
- ・高所アクセスのための固定翼・回転翼の飛行ロボット、浮力型空中ロボット
- ・水中移動の浮遊型、スラスト型等ロボット
- ・壁面、天井裏等の立面へアクセスする吸着ロボット、吊下げロボット

図4.10、図4.11にその一例を図示する。

(3) プラント向け災害対応ロボットが具備すべき機能と、その検証方法

ロボットによる、プラントの保守と災害時の対応を「付録表4-9 想定災害とロボットとの関連細分表(プラントグループ)」に示す。ロボットによる災害対応と保守点検に必要な、要素機能とその検証方法、評価フィールド、さらに技術の将来展望を大まかに言及した。また「付録表4-10 試験項目細分表(プラントグループ)」に示す。その要素機能の試験の項目と評価量をロボットの形態毎に整理した。その概要は以下の3点である。

①発災後の時間軸に沿った期待される作業

- ・発生直後：状況確認(映像、ガス・液等漏洩物の濃度等)、漏洩箇所の特定、被害拡大を防ぐ機器操作
- ・復旧作業：損傷状況の確認、マップ生成
- ・平常時：設備の健全度の調査、計測(亀裂、減肉、デブリの堆積等)

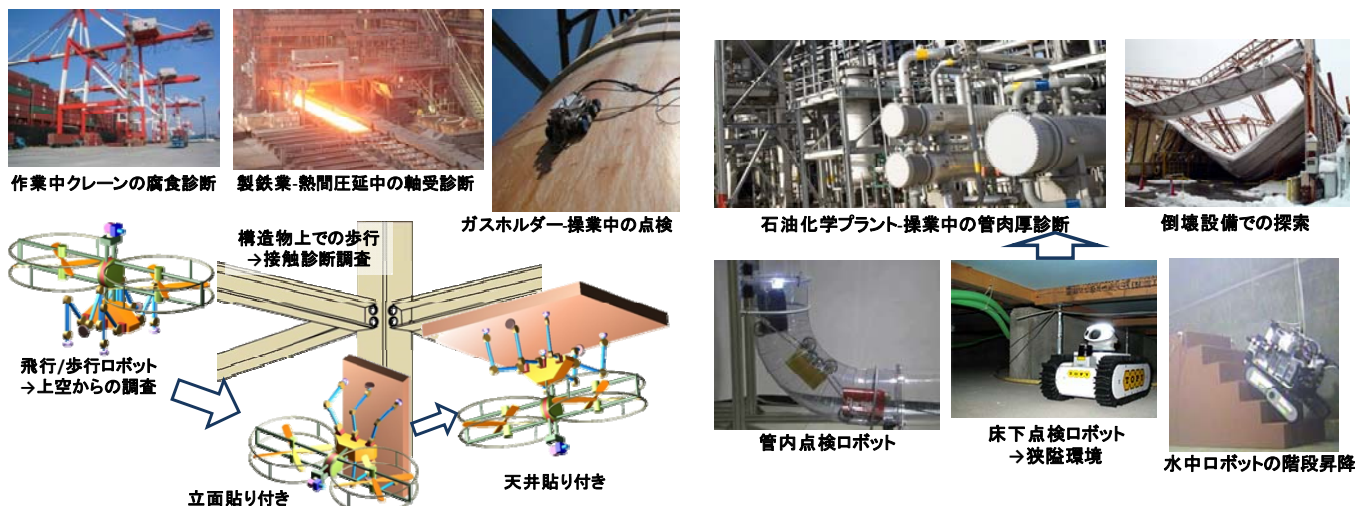


図4.10 高所、リスクの高いエリアに迅速に進入して点検・補修するロボット(空中/吸着型)のイメージ

図4.11 狭隘・複雑環境で点検・補修するロボット(他機能走行型)のイメージ

②作業遂行に必要な機能（主要な項目）とその試験方法

- アクセス性（現場寄り付き）／移動能力：移動試験、操縦試験（時間、距離、安定性、持続性…）
- 検出能力（計測診断）、情報統合能力：倒壊や亀裂など損害を模擬した状況での接近、撮像、探傷、厚み計測、周囲や特定対象からのサンプル採取試験(ロボット化している場合は遠隔作業前提での評価)
+ある程度の広さの試験環境での自己位置推定能力（3D データからの位置・地図推定）や、
損傷状況判定能力の試験
- 作業能力：作業前段取り（点検センシングの妨げとなる対象物のほこりや油、自身のセンサへの付着物をふき取って計測可能とする能力の試験）、作業の妨げとなる周りの障害物・自身の牽引するケーブル等の除去、処理、さらに弁操作、SW 操作等の防災作業の遂行能力試験
- 運用：現場での運用に必要な試験項目（ロジスティクス、充電時間、起動時間、稼働時間、移動範囲、耐久、保守作業時間）
- 耐環境性、耐久性（ロボットの自己保全性）：防塵、防水、防爆、耐熱、防爆試験、落下、被雷などの耐久性、繰り返し数での耐久性。（破壊試験と、非破壊試験法の両方を検討すべき）
- 安全性：一般的な機械、装置と同様の安全性に加え、通信遮断や暴走などの異常が発生しても、作業者や設備、生産活動に危害、破損、障害をもたらさないことの確認試験

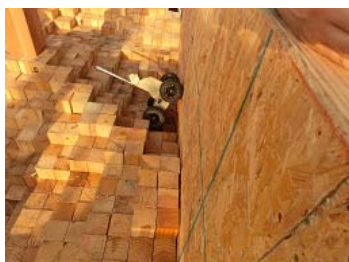
③プラント向けロボット特有の対応課題：保守点検用途での使用では高圧ガス事業法、建築事業法、消防法などによる検出能力の確性、防爆規格などの設計安全性など、法的規制が存在する場合がある。また平常時点検では、対象物の積年の表面付着物、プラント特有の環境側へのセンサ埋め込みなどの環境改変などへの対応能力が求められる。

（４）ロボットセンターに望まれる試験設備と、センターが保有する設備の数量イメージ

上記の試験項目の実行のフィールドとして、災害対応ロボットセンターに試験設備を設置すべきである。プラント分野では、対象事業所が国内に 1000 程度あり、各事業所に複数台数配備して数年おきの検査・機能調査を想定すると、年間に数千件、数百種の評価試験が必要となる。温度や環境、ガス含有、高度や風などのプラント近傍を模した、コスト負担の大きい環境条件で、各種の形式のロボットを試験し、公平に比較するには、公共の専用テストベッドを準備して、従量制の費用負担システムとすることが開発促進に

必要である。各企業の製造ノウハウに触れずに、試験環境を構築することも重要である。全体では、全国レベルのテーマパークのような多様性と規模が必要であろう。

- ①標準機によるもの（いわゆる“積み木箱”）：NIST 規定同様。10 種余の陸上移動用コース、数種の水中用サイト、空中用エリアが必要でセンター内 1 式。（国際レスキューシステム研究機構既設利用）
- ②実際のプラントの一部を移築して使うもの（リアル・モック・アップ）；我が国の産業、インフラ状況を反映させた形状と種類。センター内に数～十数種類。（工場建屋、塔槽類、配管、コンベア…）
- ③現実のプラントにおける設備の表面性状（濡れ、錆び、ほこり）、粉塵や暗闇など操縦の妨げとなる状況、などの再現性も具備すべきである（試験設備の制御性能）；環境制御チャンバーを数個。



模擬走路装置



模擬倒壊建屋装置



リアル・モック・アップ（塔槽類）

図4.12 先行する米の試験設備（NIST と Disaster City の施設）

（５）補足とさらなる提言

- ・ ロボットの相対的、定量的評価のための“積み木”モックアップと、現実の現場での機能確認のための、リアルな、現実再現的なモックアップの両方が必要である。
- ・ 定型的な“積み木モックアップ”は国際レスキューシステム研究機構の施設（神戸）などの既存品を活用すべきである。また試験設備のスペック等を公開し、ロボット開発者が自社で再現し試験すれば開発の効率化に役立つ。ロボットセンターが販売しても良い。
- ・ 現在の防爆規格は構造規格であり、新たな移動ロボットでは、狭隘環境進入などの目的のため、防爆達成との両立は困難な構造規格となっている。構造的な規制とともに、引火性などを性能評価するような試験によって機能的に認定する規格体系が必要で、当面、専門の調査機関等を設ける等にて実証実験し、段階的な規格化を図る工程を検討すべきである。
- ・ 防爆機能では、ロボット特有の手法も検討、開発すべきである。例えば、電氣的発火エネルギー（静電気等）の蓄積防止機能、接触でも火花を発生させない新材料等。また機能安全的に、特定のエリアでは引火物をセンシングして潜在爆発エリアを見つける・報告する・その際に自らは引火エネルギー以下で行動するモードに変化する、などの“機能的防爆手法”の開発が考えられ、後述の災害対応ロボット技術センターで率先して開発すべきテーマである。
- ・ 点検ロボット等の機能向上のみならず、RFID センサを設備に張り付け、ロボットが近づいて計測を行う手法（遠隔モニタリング）等の環境側の改善による効果を図る実験のため、モックアップ側の改造改修が可能であること。
- ・ ロボットが高所に昇っての試験も想定されるので、試験設備内に落下、逸走の防止機能が必要であり、当然ではあるが試験そのもののリスクの制御が必要である。

4. 2. 6 水道・下水グループ

4. 2. 6. 1 下水管路施設

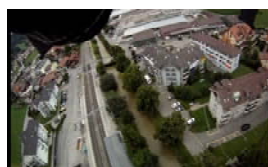
本分野で想定される災害は地震、液状化現象に起因する機能障害である。下水輸送機能の主たる設備である下水道本管、マンホール、取付け管などの排水施設を検討対象とした。なお処理場関連施設は検討対象より除いている。

(1) 道路交通障害

道路交通障害は、マンホール浮上、下水本管破損に起因する道路陥没により発生する。マンホール周辺の土砂流ぼう孔への人の落下などの人的被害の最小化や復旧重点箇所の特定のためには、早急かつ正確な状況把握が必要である。UAV（無人航空機）の活用が有効であるが、長距離・長時間飛行、遠隔操作性、ホバリング安定性能、3D マッピングの精度向上、夜間飛行、風雨環境下飛行及び複数人同時制御による操作ネットワーク技術の構築に課題がある。評価フィールドとしては陥没した模擬道路、浮上したマンホール敷設した施設が必要である。



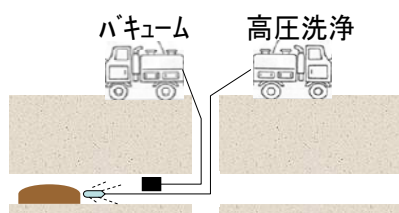
<UAV(無人航空機)>



<航空写真・3D マッピング>

(2) 下水流下障害

下水流下障害は、管路のたるみ、本管、マンホール、取付け管継目損傷部からの土砂流入により発生する。災害による管損傷が激しい場合人手による復旧作業には二次災害発生リスクがありロボット技術が有効。また中小口径管では人手による復旧作業は不可能である。状況把握のための管路内自走式 TV カメラや画像展開カメラ、残存強度を計測するための衝撃弾性波ロボット、被災箇所特定のための管路内3D 計測ロボット、及び復旧のための土砂洗浄・除去ロボットや管路更生製管機ロボットなどの技術が有効である。これらは一部平時には適用されているが、災害時の劣悪環境下に対応できる機能の付与が必要である。例えば管路内段差の乗り越え、斜面での安定走行、障害物の除去、また高温環境下、高湿度環境下（濃霧）でも正確な作業を可能とする機能が必要である。評価フィールドとしては、土砂で埋まったマンホール、損傷した管路及びたるみ、蛇行、段差を有する模擬管路施設（流水機能付き）が必要である。



<土砂除去ロボット>



<衝撃弾性波ロボット>



<管路内3D 計測ロボット>

（３）平時の維持管理の重要性

下水管路施設は高度成長期から構築されてきたインフラ施設であり、老朽化が進行している。災害時の機能障害を最小化するためには、平時の維持管理も重要で、①埋設位置や埋設管路の仕様に関する情報、②老朽化度と残存寿命に関する情報、③更生・更新の必要時期と仕様などの情報の管理が必要である。平時維持管理においてもロボット技術は有効で（特に中小口径管路）、管路３Ｄレーザ計測システム、マッピング技術、管内 TV カメラ、衝撃弾性波ロボットなどがある。また老朽化した管路復旧を低コストで実現する管路更生ロボット技術が有効である。これらの精度向上と高速化に向けた検討が重要であり、評価フィールドとしては老朽化した模擬管路が必要である。

4. 2. 6. 2 水道管路施設

本分野で想定される災害は地震や老朽化破損により発生する圧力水噴出しや、その水噴出しにより生じる路面二次災、管路破断による給水機能障害などがある。水道輸送機能を担う導水管、送水管、配水管路を検討対象施設とした。なお浄水場などの施設は検討対象外とした。

（１）圧力水噴出しによる路面二次災害

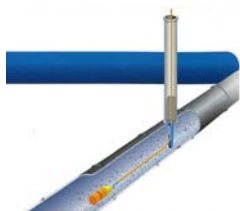
圧力管路が破損すれば管路周辺や地表面に圧力水が噴出し、埋設土砂流亡、空洞化による道路陥没や舗装の浮上等による道路交通障害をもたらす。人的被害の最小化、復旧重点箇所の特定制のためには、早急かつ正確な状況把握が必要である。UAV（無人航空機）の活用が有効であるが、長距離・長時間飛行、遠隔操作性、ホバリング安定性能、３Ｄマッピングの精度向上、夜間飛行、風雨環境下飛行及び複数人同時制御による操作ネットワーク技術構築に課題がある。また流出した水道水により生じた空洞箇所特定については、地中レーザ計測ロボットの活用が考えられる。評価フィールドとしては陥没した道路や、空洞を再現できる埋設管路施設が必要である。

（２）漏水・断水被害

管路破断により必要な給水機能（消火用水、飲料水、工業用水など）が失われる。応急的な対応としては、給水車や仮設配管での緊急輸送が挙げられるが、人力による対応が主となる。その後の復旧に向けては、①正確な被災状況把握、②補修、更生のためのロボット技術が必要で、①については不断水 TV カメラ、漏水箇所特定のための音響検知ロボ、管の肉厚や残存強度を推定するための超音波測定ロボットなどが挙げられる。

また②については、自動溶接ロボット（鋼管継ぎ手部）、圧力管路更生ロボットなどが挙げられる。これらのロボットがもたらす効果としては広域・迅速な調査、人命に関わる二次災害発生の防止、非開削による復旧作業などであるが、閉塞箇所の走行性、水圧下走行性能、口径管種対応に課題がある。またこれら被災の程度は施設の老朽劣化により拡大され、平時の維持管理が重要である。

評価フィールドとしては老朽化・破断・漏水を再現した模擬埋設管路（長大管路、管種別口径別、曲管配置）、更生用模擬管路が必要である。行う試験項目としては、①については画像分析の解像度評価、肉厚計測（腐食減肉厚）の精度評価、漏水箇所の精度評価など、②については、補修速度、圧力管ライニング更生速度、口径対応、補修品質評価などが挙げられる。



＜管路内撮影用 TV カメラ＞



＜漏水箇所特定ロボット＞



＜圧力管更生ロボット＞

下水道

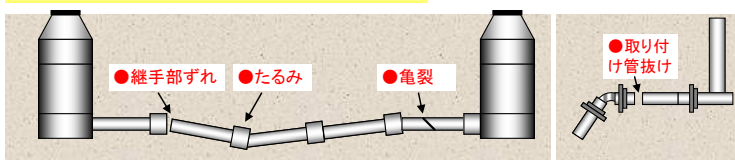
想定現場

遂行作業

(A) 道路陥没による交通障害
(下水管路座屈→陥没)



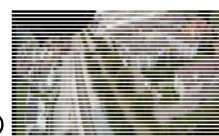
(D) 管路被害に伴う、下水流下障害



上空

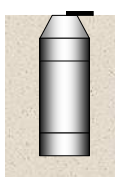


① 無人航空機(災害箇所を無人・早期に特定)

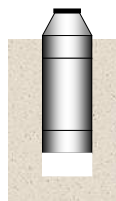


(B) マンホール浮上等による交通障害・
人的被害(落下等)

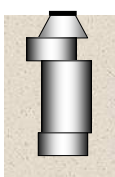
●マンホール蓋ズレ



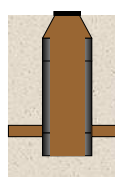
●浮上



●躯体ズレ



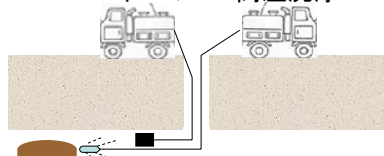
●土砂流入



(C) マンホールズレ・土砂流入による
下水流下障害

地下

バキューム 高圧洗浄



② 土砂除去ロボット
(安全・早期回復・二次災害防止)

③ TVカメラ・3Dレーザー計測ロボ・
衝撃弾性波ロボ(被災箇所特定・被害状況
定量化・早期修復法の選定)



④ 自動管路更生製管機ロボット・
補修ロボット
(管路の早期復旧・二次災害防止)



図4. 13 災害現場(下水道)でのロボット活用イメージ(水道・下水グループ)

上水道

想定現場 

遂行作業 

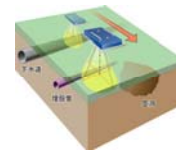
上空

①無人航空機(災害箇所を無人・早期に特定)



地上

②地中レーダー計測ロボット
(管路位置の把握・空隙箇所・大きさの把握)



(A) 圧力水噴出による路面二次災害



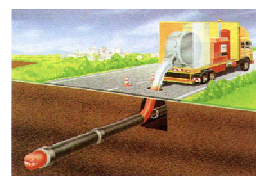
(B) 管路破断による給水機能障害



地下



③管内TVカメラ・漏水音響検知ロボット・肉厚計測ロボット、
(管路破損状況の把握・漏水箇所の把握・残存強度推定)



④内面ライニングによる圧力管更生ロボット・管路内溶接ロボット
(破損管路の復旧・非開削更生・更新)



図4. 14 災害現場(上水道)でのロボット活用イメージ(水道・下水グループ)

なお、付録表4-11に、想定災害とロボットとの関連細分表(水道・下水グループ)、付録表4-12には、試験項目細分表(水道・下水グループ)を示している。

4. 3 模擬現場や現場を使った性能評価・認証の事例

4. 3. 1 NISTによる要素性能評価・認証の国際標準化の事例

NIST(米国商務省標準技術研究所)は、2000年頃から地上走行型災害対応ロボットのフィールド評価基準及び評価法の研究を国内外のユーザやメーカーや研究者との連携により進め、ASTM標準として付録表4-13に示すような性能評価法の国際標準を策定してきた。

その目的は、災害対応機関の調達と配備の判断基準を定量化すること、共通の試験評価と目標設定によってロボットの性能向上を図ること、操作者の熟練度を測り熟達者との比較を行うための基準を提供すること、にあり、それによって災害対応ロボットの産業競争力強化を図ることを目的としている。

これまでに全世界4カ所(米国:NIST、Southwest Research Institute、ドイツ:Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung、日本:国際レスキューシステム研究機構)に試験フィールドが設置されている。米国では、爆発物処理ロボット等の調達や、DARPA Robotics Challengeなどのプロジェクトの評価に活用され始めている。

4. 3. 2 安全性評価・認証の事例

安全性評価・認証の事例として、ここでは生活支援ロボット実用化プロジェクトおよび生活支援ロボット安全検証センターについて紹介する。

生活支援ロボット実用化プロジェクトは、NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）が平成 21 年度から 12 年度の 5 年間で研究開発を実施しており、介護・福祉、家事、安全・安心等の生活分野における社会的課題の解決策の一つとして期待されている生活支援ロボットを対象としている。この生活支援ロボットは、不特定多数の人が関与するような使用環境下で稼働することが求められるが、対人安全技術等が未整備であり、残留リスクへの対処法も確立されていないため、企業独自の取組のみでは、本格的な産業化には限界がある。さらには、安全性評価に関する試験機関・認証機関、安全基準に関する国際標準等を整備することが必要である。そのため、本プロジェクトでは、国際標準化 ISO TC184SC2 へ提案をしつつ、ロボット企業と一体になりながら、安全技術を実装したロボットの開発とその試験方法などを同時に議論して研究開発を進めている。また、生活支援ロボット安全検証センターは、本プロジェクトの拠点であり、機械・電気・機能安全に関する各種試験等の活動を行う場である。当センターは、①走行試験関連、②対人試験関連、③強度試験関連、④EMC 試験関連の各エリアから構成され、それぞれの安全に係る試験を行い、安全性等のデータを取得・蓄積・分析し、具体的な安全性検証手法の研究開発を実施している。通常の規格・認証と、生活支援ロボットなどの新しい技術の規格・認証との大きな違いは、新しいロボット（技術）ができる毎に、その安全性をどのように試験・評価し、認証としてユーザとロボット企業の間に安全についての合意を形成するかという点である。

災害対応ロボットにおいては、安全性はさることながら現場に適応できるか否かの性能評価が重要であり、その性能をどのように試験・評価し、如何に認証としてオペレータとメーカーが合意形成できる評価基準を策定できるかが重要であると考ええる。なお、国際標準化機構（ISO）への提案が採用され、2014 年 2 月 1 日に生活支援ロボットの国際安全規格 ISO 13482 が発行されている。

4. 3. 3 無人化施工の事例

1991 年 6 月に発生した雲仙普賢岳の大規模火砕流により 43 名の尊い命が奪われた。火砕流や山の崩落といった危険を伴う雲仙普賢岳の災害復旧工事においては、有人作業では工事に限界があるため、安全な場所からカメラ映像を見ながら建設機械を遠隔操作して作業する無人化施工の機運が高まった。

1993 年 7 月国交省(当時は建設省)は、「試験フィールド制度」を適用して民間会社から無人化施工の技術提案を募った。公募のテーマは「土石流発生後に遊砂地等において緊急除石を実施するため、無人化により土砂掘削・搬出を継続的に行う一連の技術」である。フィールド性能評価の要求技術水準を以下に示す。

- ①直径 2～3 m の岩破碎が可能であること。
- ②外周条件として一時的には温度が 100℃、湿度が 100% 程度でも運転可能なこと
- ③100m 以上の遠隔操作が可能なこと

この公募に対して 34 社 45 件の応募があり、現場への対応が適切であると考えられる 12 社に対して更に施工計画が求められた。最終的には 1993 年 1 月に 6 社が選定され、無人化施工が本格的にスタートした。

この試験フィールド工事の成功を受けて、雲仙普賢岳の災害復旧工事は現在まで継続して実施され、無人化施工の技術開発は飛躍的に進み、徐石工事からコンクリート構造物の築造までが可能となり、適用範囲を拡充させ技術の完成度を高めている。

4. 4 模擬現場における性能評価試験法の活用

フィールド性能評価は、ロボットの性能をユーザが必要とする多面的な機能・性能・耐久性・信頼性等を測るのみならず、以下に述べるような重要な役割を果たす。災害対応ロボットセンターは、これらにおいても、我が国における指導的役割を果たすことが求められる。

4. 4. 1 ロボットユーザの訓練と育成

ロボットが期待される性能を十分に果たすためには、ユーザの使い方が適切でなければならず、めったに起きない災害のような問題においては、ユーザの訓練が重要である。さらには、訓練を通じて新しい使い方をユーザ自らが開発していくことは不可欠である。それは、ロボットの実質的な性能を上げることと等価であり、多様な現場要求への適応を可能にする。さらには、訓練によって、現場で不足する性能等を明らかにし、ロボットやその使用法の研究開発にフィードバックすることも重要である。

ユーザ訓練項目としては下記のようなカテゴリが考えられ、自動車の運転免許制度に代表されるような総合的な制度化が望ましい。

1) ロボット操作法の訓練

基本操作法（機能、使用場面、状況認識、制約、限界、留意事項など）の習得、典型的な個別場面（平地・階段など）での円滑な操作と判断、典型的な制約条件下（遠隔、暗闇、狭所、汚染場所、爆発性雰囲気など）での円滑な操作と判断、複合場面・条件での操作法、などを習得することが必要である。

1台のロボットを操作することによって、手順が定められた想定ミッションを果たすことが目標となる。これは、自動車運転免許になぞらえれば、仮免許取得までの段階に相当する。

この段階では、個別の模擬評価フィールド（NISTの評価フィールドなど）を使用したり、シミュレータを活用したりしながら訓練を進めることが望ましい。

2) ロボット使用法の訓練と熟達

この段階では、1台のロボットを操作することによって、手順が不明な想定ミッションを自ら工夫して果たすことが目標であり、応用問題を解くことが1)とは異なる。自動車運転免許では路上教習の段階に相当する。

これによって、ロボットの使用に習熟することが必要であり、現場で予想される様々なシチュエーションに即時に対応し、緊急時や極度のストレス下であっても適切な使用ができるようになることが求められる。ロボットが操作者の体の一部と感じられるまで習熟できることが望ましい。さらには、問題を解くためのよりよい方法論を自ら柔軟に考案し、訓練や現場使用の過程で自ら成長していける素地を作ることが必要である。

この段階では、実現場での操作による訓練が望ましいが、それが困難な問題については、災害空間を模擬したフィールドが必要である。

3) ロボット運用法の訓練

現場ミッションで求められることはロボットの操作ではなく、チームや組織としての問題解決である。したがって、チームでの操作訓練（複数のロボット・人間の協力、操作者・観測者・指示者・統括者・ロジスティクスなどの役割分担、ロールプレイングなど）を種々のレベルの想定ミッションによって行い、また、ミッションのよりよい完遂方法を工夫する運用訓練を行うことが必要である。

災害空間模擬フィールドにおける訓練はもとより、実際の災害現場への適用によってスキルを向上させ、極限環境下でも適切な運用ができるような訓練を行うことが必要である。

4) ロジスティクス・メンテナンスの訓練

現場への運搬、セットアップ、撤収、補給、検査、メンテナンスは、ロボット運用において重要であり、訓練が必要である。運用のためには、現場の2倍の人数が必要だとの分析もある。

5) 必要な知識の教育

ロボットの点検やメンテナンスはもとより、適切な操作や使用のためには、技術的な知識を持たなければならない。運用は法令や規則に基づいて行われるため、十分な知識を持つことが必要である。たとえば、法的に可能なことや禁止されていること、運用のために必要な手続き（申請、合意形成など）を知ることが重要である。海外での運用のためには、国外法令を知ることが必要である。安全は留意すべき重要事項の一つであり、技術的および法的な知識が必要である。

6) 教育訓練法の習得と開発

災害は多様であり、ユーザによって想定すべき事象や環境が大きく異なっている。そのため、望ましい教育法や訓練フィールドもそれぞれのニーズに応じた工夫が必要である。災害予防や復旧などには多数の運用者が必要であり、それを育てるための教育訓練法を習得することや、新たに開発していくことが求められる。

7) 訓練競技会と資格認定制度

訓練を効果的に進めるためには、目標を明確化し、競争原理を持ち込み、人並み優れた名人を育成することによって、運用者の目的意識を高めていくことが重要である。レベルやカテゴリに応じた資格認定制度を作ることが必要である。

8) 国際協力、災害分野間協力

災害はめったに起きないため、対応能力向上のためには、国内に閉じた運用は望ましくない。海外への人道支援を通じて多種多様な経験を積むことが必要である。また、各災害対応組織がその本来の守備範囲への対応にとどまるのではなく、ジャンルを超えた協力を行うことによって、経験や情報の流通を活性化することが必要である。そのために必要な協定や、資格の標準化を進めることが求められる。

4.4.2 公開ロボット競技会による技術開発の加速

4.4.2.1 競技会とグランドチャレンジ型共同研究開発フォーラム

競争原理によって性能や機能を高め、価格を抑制する手法は、競争提案、入札や相見積もり、建築設計コンペなどに代表されるように、我が国でも広く定着している。技術開発を加速するための競争原理の活用も、技術競技会、性能ベンチマーク試験、環境規制など、事例は数多い。

欧米では防災・フィールドロボット関連の競技会が開催され、技術の高度化に重要な役割を果たしてきた。また、新興国のタイやアラブ首長国連邦やイランなどでは、ロボット競技会を将来の産業振興のために重要な起爆剤と位置付け、近年は国を挙げた支援を行っている。

たとえば、AUVSI が 1991 年から行っている International Aerial Robotics Competition は、小型飛行ロボットのフィールド適用の先端技術の高度化を目的としている。最初は自律ロボットが金属のコインを運搬するルール（自律飛行、GPS 使用、物体把持）で始まった競技会であったが、参加ロボットの機能が上がるにつれてより複雑なミッションを行うルールへと次々と変更されている。1996 年からは完全自律ロボットが廃棄物ステーションから廃棄物をサンプリングしてくるミッション（マッピング、ミリサイズの物体認識、物体回収）、1998 年からは上空から被災者や災害の状況（火災や被災建物など）を調査するミッション（被災者の状態識別、飛行障害（火炎、水柱など）の回避、複雑で煙などが充満した環境、災害現場の

マッピング)、2001 年からは 3 km 離れたビル内に入って内部を撮影するミッション(長距離飛行、待ちの発見、ビルの発見、開口部(窓やドア)の発見、子ロボットの投入)、2009 年からはより複雑な内部構造(廊下、小部屋、障害物、行き止まりなど)を GPS 無しで調査するミッション(子ロボットの飛行、ビル内のマッピング、対象物の位置特定、SLAM)、2010 年からはそれに加えて小部屋の中から物体を持ち帰る作業が加えられた(未知ビル内のマッピング、安全基準の順守、壁に書かれた文字の読み取り、小物体の運搬、SLAM)。2014 年からは新しいミッションがスタートし、飛行ロボットと地上走行ロボットの協調、SLAM や GPS を使用しないナビゲーション、複数飛行ロボットの協調をテーマとして、飛行ロボットが走行している地上ロボットに触れながら走行方向を変更してミッションを達成させる羊飼いのロボットを開発することをテーマとしている。この競技会への参加者は、米国、中国、ドイツ、英国、スイスなどのチームである。

RoboCupRescue は、2001 年から我が国主導で開始されたレスキューロボットの競技会であり、グランドチャレンジ型の共同研究開発フォーラムの草分けである。地震災害の倒壊家屋や閉鎖空間を対象として、要救助者の発見、状況把握、物体操作などをテーマとしている。競技会開始時にはラジコン戦車にカメラを搭載したような単純なシステムが出場したが、その後、不整地踏破、マッピング、自動要救助者認識、障害物認識、閉鎖空間不整地自律走行、SLAM、バーチャルリアリティ、エコロジックヒューマンインタフェース等の研究のベンチマークと、技術情報の流通手段として活用され、災害対応ロボットの技術を先導する場となった。チェコやタイでは、RoboCupRescue に出場したロボットを元にして消防や防衛等の災害対応ロボットの開発が進められ、調達配備がなされた。福島第一原発で国産ロボットとして初めて原子炉建屋を調査した Quince は、RoboCupRescue での性能ベンチマークを通じて改良され、他のロボットに比べて高い走破性能を実現し、現場で有効なマッピング・遠隔操作技術を確立した。NIST は RoboCupRescue 競技の経験に基づき、災害対応ロボット評価の ASTM 標準を策定し、米国政府の爆発物処理ロボットの調達等に活用されている。この個別模擬フィールドを用いたベンチマーク手法は DARPA Robotics Challenge にも適用された。RoboCup は世界大会の開催地となった大阪や福岡において、ロボットビジネス等の地域産業振興にも大きく貢献した。

DARPA Grand Challenge、Urban Challenge は、屋外を無人で走行する自動車技術の高度化を目的として行われ、Google Car のような自律走行車の開発や、関連技術の人材育成に大きな役割を果たした。その流れは、それまで自律走行を完全に否定していた自動車会社が、近い将来に自律走行車の販売を宣言するなど、世界の自動車のあり方を大きく変革することにつながり、グランドチャレンジ型競技会の意義が広く認識されるに至った。

これらの競技会は、我が国で盛んな NHK ロボコンのような教育や啓蒙を目的としたものづくり競技会とは、性格や技術レベルが全く異なっているため、注意が必要である。

我が国ではフィールドロボティクスにおける大学や研究所に対する本格研究投資が欧米に比べてはるかに少なかったため、RoboCupRescue のような我が国が先導して開始した国際競技会であっても、我が国からの参加チームは少数にとどまり、その結果、開催主体が外国に移動してしまっている。また、つくばチャレンジ等においても取り組みが世界展開を前提としてこなかったため、日本独自の発展を遂げることもなかった。また、軍事転用を懸念するメディアや大学の意見が、競技会参加とフィールドへのロボット適用研究の大きな障害となってきた。これらは、我が国のロボティクスがフィールド試験からは取り残され、研究室に閉じた性能評価、研究者の興味に基づく問題設定、他では成功していない方法論の追求、論文成果の重視、といった、フィールドに適用できる実用技術に重きを置く諸外国とは異なり、純粋科学的方向に発展してきた原因の一つであると考えられている。

なお、付録表４－１４に、世界中で活性化している、教育や啓蒙を主目的としない、防災・フィールド関連ロボット競技会について示している。

4. 4. 2. 2 我が国の産業競争力のために開催すべき競技会

地球温暖化に伴って近年頻発している災害について、被害を最小限に防止する予防措置、拡大を抑えるための緊急対応、いち早く平時に戻るための復旧は、我が国の産業競争力の維持・向上のために、今後ますます重要であり、防災ロボットが果たすべき役割は大きい。前項に述べたように、競技会は防災ロボットの高度化に有効な手段であり、我が国でも重点的に推進すべきである。

その問題設定にあたっては、次の点を考慮しなければならない。

- ・ 国富をもたらすテーマ、国富を失わないためのテーマ、を取り上げるべき。
- ・ 重要な社会的課題、日本にとってメリットがあり、かつ国際的にも重要なテーマを取り上げるべき。
- ・ 人間ができない事、困難な事、危険な事を取り上げるべき。そうでないとロボット配備・事業は成立しない。
- ・ ユーザ・企業が重要と考え、数年で現実的な成果がある程度得られ、事業になるテーマを取り上げるべき。
- ・ それによって、災害リスクを低下させ、国民の安全安心を担保できるようにすべき。
- ・ 技術的優位性を確保し、市場がある産業の育成の核となるテーマを取り上げるべき。
- ・ 要素技術だけでなく、フィールド適用の目的を志向したシステムインテグレーションを重視すべき。
- ・ ロボットの形態や要素技術を限定せず、目的を果たすための柔軟なシステム開発を奨励すべき。
- ・ ロボット研究開発とユーザの両面からの人材育成につなげるべき。
- ・ 国際協調で進めるべき。
- ・ メディアを活用した大々的なマーケティング手法を採り、開催効果を最大限に高めるべき。
- ・ RoboCup 等、既存の競技会組織を最大限に活用し、企画運営コストと参加障壁を下げるべき。

以上の観点に基づき、我が国の産業競争力強化のために下記のテーマを掲げた競技会を開催すべきである。

1) 産業インフラ（プラント等）点検・補修

プラント等の老朽化は我が国において重大な問題の一つである。相次ぐ事故や労働災害に加え、自然災害の危険が高まり、スキルの高い労働者が不足している現在、災害に対する脆弱性の克服と被害拡大の予防による安全化は待ったなしの課題である。いったん事故が起きると工場の閉鎖は必至であり、現在の経済状況では新工場を海外に建設することとなり、産業の空洞化と国内雇用の問題が顕在化する。この問題に対してロボットの新技術開発は、産業インフラを所有する会社が単独で技術開発することは経営合理性の点で問題があり、プラント点検作業は中小企業に依存するところから、政府主導による先端技術の開発と人材育成が必要である。さらには、この問題は公共インフラやビルの老朽化対策との共通点が高く、相互の技術や機材の共通化によって、ロボットが経済的に見合うソリューションとなる可能性が高い。また、福島第一原発は化学プラントの一種であり、ここで有効な技術は原発廃炉のための様々な遠隔作業に対しても有効である。

2) 社会インフラ（橋梁・トンネル・電気・ガス・上下水道等）点検・補修

橋やトンネルなどの社会インフラの老朽化の問題は1)と同様に重大な問題である。現在の技術では、そのメンテナンスに莫大な自治体や国の予算が必要であり、維持することは不可能であると言われており、ロボットの新技術の高度実用化研究と基盤技術開発が不可欠である。

3) 土砂災害の遠隔工事

毎年のように大規模な台風被害による崖崩れや土砂ダムが発生し、火山噴火や大規模な津波被害の危険性が指摘されている。このような土砂災害が起きた際に迅速かつ安全に復旧できるための遠隔技術の高度化は重要である。

これらの具体的な競技の内容については、4. 2節で詳細に解析した災害事象とそれに対するロボットソリューション、および、その性能等の評価法に基づき、合理的かつ戦略的に定めることが必要である。また、企業・大学・研究所等が競技会に参加するインセンティブを高める仕組みの設計は、効果を上げるために必須である。

4. 4. 3 安全性・防爆・耐放性・除染性の評価・認証

4. 4. 3. 1 安全性の評価・認証

4. 3. 2項において、安全性評価・認証の事例を述べているが、災害対応ロボットも同じようにサービスロボットに分類され、対人安全技術等の整備や、残留リスクへの対処法の確立も必要である。特に災害対応ロボットでは、非常時における特殊な環境下における調査や作業などを行うことになるため、その環境と目的に応じたリスクとベネフィットが明らかでないと使用が困難となる。その意味で、災害対応ロボットの安全基準の策定は、開発者側、使用者側にとって非常に重要といえる。災害対応ロボットの安全基準の策定については、社団法人日本機械工業連合会と社団法人日本ロボット工業会の「平成 22 年度災害対応ロボットの安全基準策定に関する調査研究報告書」(2011 年 3 月)に見られるように、早急に取り組むべき課題であり、国際標準化も重要である。既に、4. 2節の「各種災害における遠隔、自律システムと評価すべき項目」で述べたように、対象となる災害の種類や規模、それに対応するロボットは、多種多様になる。そのため、安全基準や安全性の評価は、それぞれに許容されるリスクのもとに、最大限機能を発揮できるようにすることが必要であり、性能や機能の評価と一体化した安全評価が求められると考えられる。また、フィールド性能評価における訓練によって、使用者がロボットのリスクを認識することが可能となり、開発者にとっても、リスクとベネフィットのバランスを考慮し、使用者や周辺に対する安全技術の整備や残留リスクへの対処法の確立も進むと考えられる。さらに今後は、災害対応ロボットに対する安全基準や安全性評価の国際標準化活動を推進していくことが必要である。

今回、安全性評価に関する専門家に、災害対応ロボットに対する安全性の評価認証の必要性などについてコメントをいただいた。その要点を以下に示す。なお、詳細は、付録表 4-15 に掲載する。

- ・ 欧州においては、橋梁の点検などに使う機械は機械指令の対象
- ・ 非常時の災害対応ロボットについては、医療機器などと同様、リスクとベネフィットのバランスが重要
- ・ 平時のインフラ点検ロボットは業務利用のため、労働安全衛生法第 28 条の 2 に基づき、残留リスクと対応方策等を使用者に伝える義務がメーカー等にある
- ・ 災害対応ロボットや、平時のインフラ点検ロボットは、災害対応ロボットセンターにより事前に安全認証をして残留リスクを明らかにし、広く国民に同意をとることが必要
- ・ 安全性の評価は合理的予見可能な誤使用・故障も考慮する必要がある、そのためには実環境か実環境の特性を十分に反映した環境で試験する事が必要で、災害対応ロボットセンターで環境設備を持つことは重要

4. 4. 3. 2 防爆の評価・認証

防災ロボットの現場適用においてしばしば問題となるのが防爆性能である。国内においては労働省告示 防爆構造電気機器、および、工場電気設備防爆指針、国際的には IEC60079 などの防爆規格が定められており、本質安全防爆、樹脂充填防爆、耐圧防爆、内圧防爆などの防爆構造がある。これらの規格は主として設置された電気設備を対象として定められており、下記の点で小型ロボットのような移動する機械装置のためには十分とはいえない。

- 1) 機械的発火源等、電気的原因によらない爆発に関する規格化や技術検討が不十分である。そのため、防爆認証が得られても、正確に爆発の可能性を定量的に知ることができない。
- 2) 小型ロボットに有効な内圧防爆や耐圧防爆の詳細にわたる分類や、定量的な規格化が不十分である。そのため、ゾーン 0 (爆発性雰囲気がある状態において、連続して又は長時間にわたって、もしくは頻繁に存在する場所) では、一律に使用することができず、ゾーン 1 (通常の状態において、爆発性雰囲気をしばしば生成する可能性がある場所) では、一律に使用可能であるなど、ラフな判断しかできない。また、ロボットの重量やサイズを必要以上に大きくする必要があるなど、著しい性能低下をもたらす。ゾーンの定義も曖昧である。
- 3) 国内規格が国際規格と一致していないため、国内検定品が海外で使用できず、国外検定品が国内で使用できないなど、輸出入の障害となっている。また、我が国が防爆規格に関する標準策定に関して、世界で主導的な役割を果たせていない。
- 4) 災害現場では状況が不明であるため、ゾーン 0 ～ 2 のいずれに属するかが判断できないケースが多い。

4. 4. 3. 3 耐放性・除染性の評価・認証

原子力発電所や使用済み燃料再処理工場などの原子力施設、精錬や石油化学プラント等、放射能環境下における防災ロボットのニーズは高い。

電子部品や材料等の耐放性の評価・認証は、ロボットを耐放射線設計するために必須であり、電子部品や材料等の放射線照射試験結果のデータベース化とガイドライン化は重要である。

放射性物質が付着した防災ロボットの除染は、メンテナンスの際の作業員の被曝を低減し、放射性廃棄物を減少させるために極めて重要である。防災ロボットのどの部分が汚染しやすいか、どのような工夫をしておけば除染しやすいか、それぞれの部位ごとにどのような除染方法が効果的か、に関する定量的な評価が十分になされておらず、そのガイドライン化が望まれる。

また、防災ロボットのメンテナンスその際には、除染作業が防護服を着用しての作業となるため、通常の人間工学とは異なるパラメータ (手の可動範囲、視野角、防護服を傷つけない等) を考慮する必要がある。

4. 5 評価・認証に関する提言のまとめ

現場や模擬現場 (フィールド) における性能評価・認証によって市場の健全な発展のための素地を整備することが、災害対応ロボットにおける産業競争力強化のために重要である。ユーザにとっては合理的な調達・使用・訓練の判断を行えること、メーカー・ディストリビュータにとっては投資・開発・販売の合理的な指針が得られること、がその最大の効果である。

そのためには、試験用のフィールドを有し、認証機能をもつ機関を育成すること、国際的に標準化活動を推進すること、調達におけるフィールド性能評価の活用を義務づけること、が必要である。

本最終報告では、様々な災害の種類や現場におけるロボットの適用と課題、必要な試験評価内容と条件を検討した。また、それを活用したユーザの訓練・育成、および、公開ロボット競技会による技術開発の加速について提言した。

5. 技術に関する提言

5.1 検討の必要性

災害が発生すると、容易に人間が近寄れずに復旧作業に支障をきたす場合が少なくない。20年前の雲仙普賢岳の火山災害等がよい例であろう。その復旧作業の砂防事業においては、遠隔操作による建設機械を使用した無人化施工が採用され今日まで施工が続けられている。近年でいえば2011年の東北地方太平洋沖地震の大津波に端を発し、後に炉心溶融から水素爆発を引き起こした福島第一原子力発電所の災害が最も記憶に新しいものである。福島第一原子力発電所の事故対応に際して、その環境条件の下で使用可能な災害対応ロボットや遠隔操作機械や技術といった情報が一元化されておらず、どのような技術がどこにあるのかも分らない状況にあったことが、今回の災害ロボットセンター構想において、災害対応ロボット及び遠隔操作機械に関するデータベースの必要性を考える基本にある。

一方で技術データベースとしては、建設事業において使用される技術を集めた NETIS（国土交通省）NETIS プラス（先端建設技術センター）や無人化施工の実績一覧や遠隔操作式建設機械一覧（建設無人化施工協会）、ロボットの研究室を紹介している研究室紹介（ロボット工業会）、福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた燃料デブリ取り出し準備の機械装置開発等に係る技術カタログ（東京電力(株)）などがあるが、災害対応ロボット及び遠隔操作機械及び関連技術といった切り口で、一元的に管理されているデータベースは存在しない。そこで、災害ロボットセンターにおいて、これらのデータを一元的に検索可能な技術情報を蓄積するとともに、種々の災害における遠隔操作機械やロボットの実績情報も蓄積して、それらを総合的に運用管理していくことで、災害が発生した場合の国や地方自治体の災害復旧対策担当者が即座に対策技術の検討に利用できるようなるものと思われる。

また、平時においてはそれらのデータから、災害・保守メンテナンスロボットの開発を志す技術者や研究者がニーズの把握を適切に行い、必要な仕様・要件を明確化し、全体的な災害対応技術レベルの底上げに寄与するものとする。

以上が災害対応ロボットセンター構想における技術データベース構築の背景である。

5.2 災害対応ロボットに関するデータベースの果たすべき役割

災害対応ロボットや機器に関するデータベースの使用場面を想定すると、実災害で使用する場面と平時に使用する場面があり、それぞれ異なった役割になる。さらに、実災害で使用する場面においては、人命救助（一般に72時間以内）などに関わる緊急時の場面と、それより長く時間をかけてよい場面に分かれる。一方、データベースは、それぞれの場面で使い分けられるインタフェースを備える必要があるが、データ自体は共通的に使えることが重要である。いずれの場面においても、ロボットやロボット技術が使われたときの災害対応事例を集めたニーズカタログ（必要性あるいは使われ方等の事例集）と研究開発途上も含めた技術カタログ（シーズ）が必要であり、できるだけ多くのデータを集める仕掛けも求められる。また、データの更新、信頼性の確保等についても留意する必要がある。

以下、データベースを使用する各場面での果たす役割について述べる。

5. 2. 1 実災害で使用する場合

(1) 緊急場面における役割

人命救助などの緊急場面では、短時間で現場までロボットや機材を運び、稼働させる必要がある。また、緊急時であるため、現場で作業する人が直接検索する可能性があるので、モバイル端末からのアクセスが可能で、インターフェースについては、検索のしやすさ、表示の見やすさなどを配慮する必要がある。

このようなデータベースには、以下の役割が必要となる。

- ① どのような作業であるか、どのような機能が必要かなど「できること」、「作業内容」をキーワードにして、ロボット、機材の検索が行えることが求められる。また、その検索結果から、稼働実績等が確認できることが必要である。
- ② 短時間で運用が可能にするという観点から、ロボット、機材がどこに配置されているか、それを運用する人はいるかなどの検索が行えることが求められる。また、各行政等が事前に配備計画を持っている場合があるので、それらの情報と連携が行えることも必要である。
- ③ ロボット、機材を調達、配備するために最初にアクセスする人の検索が行えることが求められる。
- ④ 調達、配備するためのロボット、機材の性能評価結果の検索が行えることが求められる。また、その評価結果の信頼性についても提示することが求められる。

(2) 時間的に余裕がある場面での役割

緊急の場面よりは時間的に余裕がある場合でも、(1)に記載した役割は必要である。さらに、様々な観点から多くの情報を提供できる必要がある。従って、以下の役割も合わせて必要となる。

- ① 様々なキーワードから、関連するロボット、ロボット技術の検索が行えることが求められる。抽出された結果は、優先順位づけして提示し、一見、関係ない技術も含める。例えば、燃料プール冷却に必要なロボット、機材を検索する場合、「高所」、「注入」、「大流量」などのキーワードで、一見関係のないように思われる「コンクリートポンプ車」も検索できることが必要である。
- ② 検索の範囲として、海外の様々な事例、技術について検索が行えることが求められる。海外で運用されているデータベースなどとの連携も必要である。なお、海外の技術を導入する場合の国内の規制等に関する情報についても可能な範囲でデータベースに掲載しておくことが望ましい。

5. 2. 2 平時で利用する場合

平時利用にあたっては、ロボット、ロボット技術そのものを検索できる必要があると共に、そもそも災害、メンテ・保守のロボットニーズはどのようなことがあるかを知る必要がある。一方、これまで開発したロボットにおいてどのような課題があったかを知ることは、次の開発につながる。以下、平時におけるデータベースの役割を述べる。

- ① 災害発生時に迅速に対応するために、事前にロボットや機器配備する際に、それに必要な情報を検索できることが求められる。
- ② 現在の技術レベルの把握、今後の開発の方向性を明確化するために、ロボット、ロボット技術のカタログ的（どのような技術、だれが研究開発、現在のレベルなど）な検索が行えることが求められる。
- ③ 災害、保守メンテ等でのロボット、ロボット技術の適用事例の検索ができることが求められる。この検索結果には、成功事例だけではなく、あまりうまくいかなかった事例も含める。開発したロボットの役割、その性能、実際に使われたときの効果、期待された効果とのギャップを知ることが重要で、どの機能は使えたか、どの機能が必要であったか（足りない機能）が判る内容を含む必要がある。

- ④ 現在ロボット、ロボット技術が適用されていないが求められているニーズにはどのようなことがあるかの検索が行えることが求められる。検索された結果には、ロボット、ロボット技術を開発するうえ、必要な技術的な仕様、要件を明確化する必要がある。
- ⑤ 異分野の技術の取り込みや異分野への適用の可能性の模索できる検索を行えることが求められる。例えば、ロボット適用に障害となっていた線材などに対して、思わぬ材料、素材などが適用できる可能性がある。そのような面からの検索ができるように、データの幅を広げることも検討する必要がある。

5.2.3 その他

本データベースのその他の役割としては、データベースを通して、様々な災害があること、今日の技術で対応できる災害、さらに技術開発が必要である災害があることなどを、より多くの人たちに伝えることもある。

5.3 データベースの構築・運用にあたっての考え方

災害対応ロボットに関するデータベースの構築、運用（利用も含む）にあたっては、それぞれ立場や役割が異なる数多くのプレイヤーが関係することとなる。そこで、図5.1のようなデータベースの運用イメージを考案した。このイメージに沿って、データベースの構築・運用の考え方を以下に整理する。

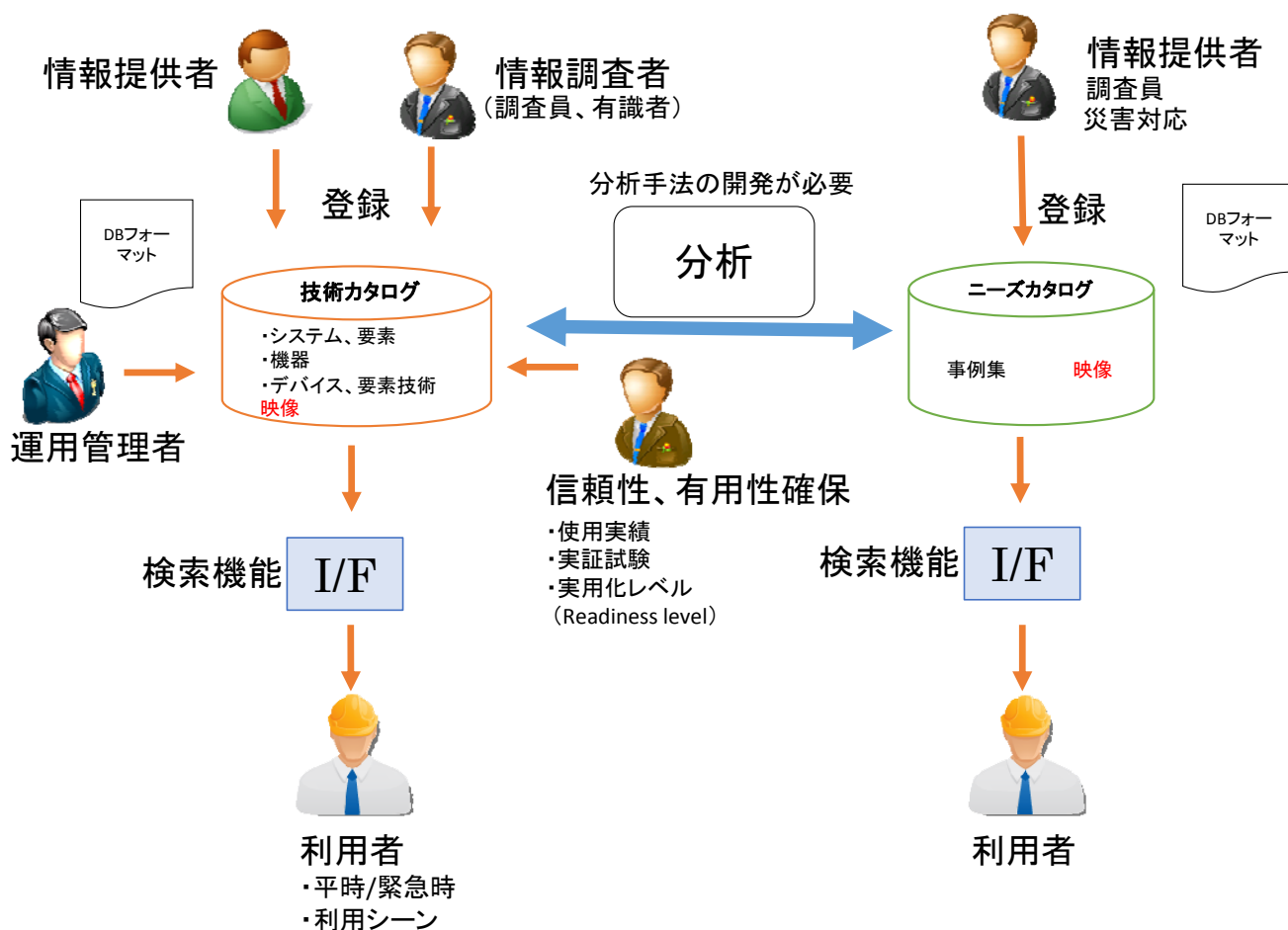


図5.1 災害対応ロボットデータベースの運用イメージ

5.3.1 技術カタログとニーズカタログ

災害対応は事案毎にその規模、条件、緊急度等が様々であり、その都度、臨機応変な対応が求められる。このため、災害対応ロボットに対するニーズについても、事前に整理・把握できるものばかりではない。そこで、データベースに登録する情報として、災害対応ロボットの個々の技術情報（シーズ情報）を掲載した「技術カタログ」と、実際の災害対応の事例を収集した「ニーズカタログ」を含めたデータベースを構築することを提案する。

この「ニーズカタログ」には、災害対応現場にロボットを実投入した事例だけでなく、ロボットを投入しなかった（できなかった）事例についても対象とし、災害時にどのような対応が必要となったのか、実際は何ができて何ができなかったかという情報（課題）を掲載するものとする。これにより、災害発生時等の緊急時には、シーズ側（技術）とニーズ側（事例）の両方から必要な情報にアプローチすることが可能となる。また、平時においても、災害対応へのロボット技術の適用に関する新しいアイデアの創出や技術開発が促進され、災害への対応能力を向上させる役割が期待できる。

なお、シーズ側（技術）とニーズ側（事例）の情報を有効に利活用するためには、技術カタログとニーズカタログを関連付けて分析することが重要であり、その分析こそが今後の開発が必要な技術を明らかにすることとなる。その役割を担うための専門的人材・組織が不可欠である。

5.3.2 情報提供者・情報調査者について

技術カタログに登録する情報の収集方法としては、大きく分けて、①公募等により開発者が自らの意志で登録する「自薦方式」、②他者（有識者等）の推薦により登録する「他薦（ノミネート）方式」、③専門的な情報・知識を有する調査員が収集・登録する「専門調査員（スカウト）方式」の3つの方式が考えられる。

（1）情報提供者の意思による場合

①自薦方式や②他薦（ノミネート）方式は、データベース運用側が技術を公募し、情報提供者が自らの意思で応募する形が考えられる。この方式は、データベース運用側としては情報収集に必要なマンパワーが軽減されること、広く公募することでデータベース運用側が知らないことや気づかないことに関しても情報が集まる可能性があるというメリットがある。一方で、収集された情報の質を確保することは難しいこと、情報を提供するか否かの判断は情報提供者の意思によるため関連する情報を網羅的に集めることは不可能であることなどのデメリットがある。

（2）情報調査者の必要性と役割

有効な技術情報を収集するためには、開発者やメーカー側の情報のみでは実際の利用に際して必要となる情報が必ずしも十分でないことから、③専門調査員（スカウト）方式が最良である。調査には多くのマンパワーが必要となるが、データベースの情報の質を高めるためには必要な負担であると考えられる。特にニーズカタログについては、専門調査員による災害対応実務者などへのヒアリング等により情報を収集することが必要となる。

また、技術のシーズとニーズの情報が蓄積されても、最終的には経験と知識を有する「人」のコンサルタントを受けることは重要である。このためには、その「人材データベース」を構築することも有用ではあるが、画一的に人材データベースを構築しても、一般的には表面的な働きしか期待できない。したがって、

専門調査員には、技術情報に精通する役割のほかに、「この話はどの人に聞けばよいのか」という、人材に関する情報、すなわち図書館における司書的な役割を担うことが期待される。

5.3.3 データベースに登録するモチベーションについて

上記の自薦方式、他薦方式による情報収集を行う場合、常に最新の状況にアップデートするなどデータベースの継続的な運用を実現するには、情報提供者に対する登録のモチベーションが必要である。登録のモチベーションとしては、著名な論文集・雑誌等への掲載のような学術的動機、販売に繋がるビジネス的動機、コミュニケーションの促進を図るコミュニティ的動機などが考えられる。

例えば、自薦方式を採用している国土交通省の新技术情報データベース“NETIS”では、ビジネス的動機となるよう登録技術を採用した施工者へのインセンティブ（工事成績への加点等）が付与されており、毎年数百技術が新たに登録され、現在の登録技術数は約 4500 技術に至っている。

5.3.4 利用者について

災害対応ロボットのデータベースを持続的に維持するためには、災害発生時の緊急時だけでなく、平時にも利用できるデータベースとすることが肝要である。

緊急時には、First Responder が「技術カタログ」の中から利用できる（できそうな）災害対応ロボットを選んで調達するという利用方法と、「ニーズカタログ」の中から類似の災害事例やその対応状況に関する情報を収集して、実際の対応方策を検討するという利用方法が考えられる。

平時においては、災害対応方策を計画し、機械配備等を行うセクタが技術の現状を知るために利用する他、開発者等が「技術カタログ」を利用して既存の災害対応ロボットや自身の開発に適用できる要素技術の開発状況などを把握するという利用方法と、「ニーズカタログ」の事例を分析することにより、今後の災害対応ロボットの開発・改良ニーズを探るという利用方法が考えられる。

5.3.5 信頼性・有用性の確保について

データベースの信頼性、信憑性を確保するためには、情報提供者や情報調査者を通じて得られる開発側からの申請情報だけでなく、開発者以外（利用者や第3者）による評価情報を掲載することが必要である。この評価情報は国内外の評価機関（例えば NIST など）で実施された評価結果の引用や、災害対応ロボットセンターによる評価（第4章に記載）の結果を掲載することが考えられる。

5.3.6 運用管理者ならびに運用経費について

データベースの運用には、登録情報の収集・管理・更新やシステムの保守・管理など、一定の組織的な規模を有するデータベースの運用全般を担う運用管理者が必要となる。

また、データベースの継続的な運用のために、初期費用だけでなく長期にわたる運用資金が必要となる。運用資金の調達方法としては、①利用者からの料金徴収、②登録者からの料金徴収、③公的資金等が考えられる。①については、想定される利用者は、実災害対応時には公的な機関（または公的事業を行う企業等）、平時における研究開発等については大学や企業等の研究機関が想定されるが、その数はそれほど多くなく、利用者からの料金徴収では必要な運転資金の確保は困難と考えられる。②については、技術を登録することがビジネスの宣伝・広報として有効に機能する場合はあり得るが、そもそも災害対応ロボットとしての市場規模は、それほど大きくなく、開発者からの料金徴収も困難と考えられる。このため、③の公的資金による運用が必要となる。

5. 3. 7 対象とする技術の範囲について

構築するデータベースの対象とする範囲は、技術的にはフィールドロボット（探査機、作業機）を、中心に、各構成要素（動力源、マニピュレータ等の要素技術）、材料、素材などを含む幅広い範囲をカバーする必要がある。さらに、各行政機関や海外のデータベース等との連携も十分にとれる必要がある。このため、データベースへの登録対象とする技術について、その考え方を整理し、範囲を明確にしておくことが望ましい。例えば以下のような整理方法が考えられる。

- ・災害の種類や作業の種類
- ・実用化レベル（実用化済み、試作品段階、研究段階、アイデア段階 等）
- ・構成レベル（インテグレートされた完成品、部品（パーツ）、要素技術、周辺技術 等）

なお、災害の種類については、災害対策基本法における分類や、(独)防災科学技術研究所による分類などを考慮して、それらと整合するようにしておくことが有効である。実用化レベルや構成レベルについては、一定の範囲を設定しておくべきとの考え方がある一方、一定の網羅性を有するべきとの考え方から対象範囲は広く設定してできるだけ多くの情報を収集するべきとの考え方もある。

5. 3. 8 フォーマットについて

データベースの検索や類似技術の比較を効率的・効果的に行うためには、記載する情報の内容（項目）についてある程度の統一性を確保することが有効である。このため、一定の各種記載項目（枠）を設定したフォーマットが必要となる。一方で、枠を細分化・固定化してしまうと、枠に入らない情報が漏れてしまうという危険性もある。このため、基本情報や分類情報についてはフォーマットを作成し、その他の詳細な情報については自由に記載できるようにすることが望ましい。

また、ニーズカタログ（事例集）については、関係する災害についてまとめられた報文（例えば防災科学技術研究所の主要災害調査等）にリンクさせることで、背景となる情報（使用条件等）について利用者の理解を高めることが可能となる。

中間報告で考案したデータベースのフォーマットイメージを用いて、表5. 1に示すロボットならびに災害事例を対象に、実際にデータベースサンプルを作成し、フォーマットについて検証した。得られた知見を反映した「技術カタログ」および「ニーズカタログ」のフォーマットのイメージをそれぞれ表5. 2および表5. 3に示す。

表5. 1 サンプルを作成したロボットならびに災害事例

■「技術カタログ」のサンプル	
高所調査用ロボット	(株)本田技術研究所・(独)産業技術総合研究所
水陸両用ブルドーザ	(株)小松製作所
エルボマスター	新日本非破壊検査(株)
Super Giraffe	三菱重工業(株)
ASTACO-SoRa	(株)日立パワーソリューションズ・日立建機(株)
櫻Ⅱ号	千葉工業大学未来ロボット技術研究センター・三菱重工(株)
Quince	(株)移動ロボット研究所
マルチコプター	(株)エンルート

■「ニーズカタログ(事例集)」のサンプル	
地震災害	新潟県中越地震(2004.10.23)
竜巻災害	茨城県つくば市の竜巻災害(2012.5.6)

※各サンプルについては最終報告書の付録に掲載

表5. 2 「技術カタログ」のフォーマット

■基本情報

名 称			
機能・性能の概要			
写真・動画(本体)			
写真・動画(操作系)			
サイズ(本体)	全長〇〇mm × 全幅〇〇mm × 全高〇〇mm		
サイズ(操作系)	全長〇〇mm × 全幅〇〇mm × 全高〇〇mm		
重量(本体)	〇〇kg		
重量(操作系)	〇〇kg		
技術区分	☐ 完結品(システム) ☐ 部品(パーツ) ☐ 要素技術		
登録年月日	平成〇〇年〇月〇日	最終更新年月日	平成〇〇年〇月〇日
開発者名	〇〇〇〇大学〇〇学部〇〇〇〇		
登録者名	〇〇〇〇株式会社		
問い合わせ先	〇〇〇〇株式会社〇〇部 〇〇〇		
	TEL	XX-XXXX-XXXX	FAX XX-XXXX-XXXX
	Mail	xxxxxxx@xxxxx	
緊急連絡先 (24 時間)	〇〇〇〇株式会社〇〇部 〇〇〇		
	TEL	XX-XXXX-XXXX	FAX XX-XXXX-XXXX
	Mail	xxxxxxx@xxxxx	

■分類情報

災害の種類	☐ 地震・津波 ☐ 火山 ☐ 風水害 ☐ 原子力事故 ☐ その他()
作業の内容	☐ 調査 ☐ 移動 ☐ 通信 ☐ 制御 ☐ 重作業 ☐ 軽作業 ☐ 支援
移動方法(飛行)	☐ 回転翼 ☐ 固定翼 ☐ ロケット ☐ 気球・飛行船 ☐ その他()
移動方法(陸上)	☐ 車輪 ☐ クローラ ☐ 多脚型 ☐ その他()
移動方法(水中)	☐ 車輪 ☐ クローラ ☐ スクリュウ ☐ その他()
移動方法(その他)	☐ パワースーツ ☐ ワイヤー ☐ その他()
技術区分	☐ 完結品(インテグレート) ☐ 部品(パーツ) ☐ 要素技術 ☐ 周辺技術
公開レベル	☐ 一般公開 ☐ 制限付きで公開 ☐ 災害対応ロボットセンターのみで利用
想定する場面	〇〇発生時に、〇〇を〇〇することができる。
適用範囲	〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇

方法の２種類の検索機能を基本とする。ただし、このデータベースはバックグラウンドの異なる者同士のコミュニケーションの場となることが予想されることから、全文検索については類似のキーワードをグループ化することで、いわゆる「あいまい検索」に対応することが望まれる。なお、検索結果から類似技術を紹介する機能や、それらの特徴を比較できる機能があるとさらに利便性が向上する。

5. 4 災害対応ロボットにおける通信の重要性

災害時の情報通信のあり方は、議論すべき重要なテーマである。特に、遠隔操作ロボットのための無線通信技術は、ロボットの移動に大きな役割を果たす点で大切な要素である。どの無線を有効に選択し運営していくかは大規模災害が発生した場合は避けて通れない問題であり、かつ事前に準備しなければならない。この節では、緊急時に用いるべき通信に関して、事前に準備することの重要性を提言する。

遠隔操作式ロボットでは制御は無線に依存し、自律型ロボットでも緊急時や監視時には無線の役割は大きい。ロボットへの制御信号やロボットからの映像、センサ等の情報は、ほとんどは無線通信によって支えられ、ロボットが運用される。

したがって、災害対応でのロボットの無線環境では、障害物や無線の混信、干渉等での障害が発生することが問題となる。災害対応ロボットで無線が遮断されることによる問題は深刻で、動作できないロボットはそのまま障害物となり、次の作業へ大きな影響を与え、また無線は瞬断であっても、その作業に大きな影響を与える。例えば、瞬断が頻発すれば、急斜路等での制動や細かなマニピュレータの遠隔制御などは著しく動作が困難となり、全体の作業が低下することになる。そのためにこれらの問題を解決するため、無線にとっては運用のためのマネジメントは重要である。

5. 4. 1 マネジメントの重要性

災害対応の重要性から、その通信を考えた時、どこからでも安定して大容量の伝送が可能な無線帯域を数多く望むことになる。しかし、無線の資源は限りがあり、技術の限界も理論的に示されているので、無線局の選定は災害プロジェクト全体の中で、優先すべき対応機能を明確にし、かつ柔軟に対応できることが望まれる。この問題は緊急性も十分考慮して解決しなければならない問題である。この柔軟性がこれから求められる災害対応無線の将来像となる。

災害時、対応するロボットによって、無線技術の使い方（周波数、帯域、伝送方式等）は異なり、その運用は高度なマネジメントが要求される。こうした役割はこれまで特定の制度等では存在せず、その災害プロジェクトの管理者等により限定的に管理されていた。今後の災害ではこうした取り組みは大切になる。

5. 4. 2 制度について

電波法の目的は、「電波の公平且つ能率的な利用を確保することによって、公共の福祉を増進すること」（総則第 1 条）である。この趣旨から理解できるように電波の利用はその取り扱いを熟慮して決定していく必要がある。災害時のような特殊な環境や状況では、無線の重要性が高まる一方で無線資源を有効に活用するため、効率的な配備が求められる。そのため災害を想定した無線局の運用は多くの関係者からの意見を取り入れて柔軟な対応が必要になる。現在、総務省で利用が議論されているホワイトスペースでの電波利用など、災害対応機器のための周波数の割当の配慮が求められる。

災害対応ロボットのための無線通信の利用に当っては、災害時対応についても緊急時時間に数日～数ヶ月の余裕がある中での利用で条件が異なる。また、平時においても機器の利用法やオペレータの訓練、

あるいは機器や技術の開発における実証のためにも無線通信が必要である。これらに必要な電波利用については、各々対応方法が決まっている必要がある。それらは緊急時以外にも、例えば実験局の免許を受けて定められた帯域を使うことになると考えられる。ここで、実験局の申請については、例えば提案している災害ロボットセンターのような周囲に影響がない場所などを限定した上で出力が 100mW 以下の電力であれば簡単な形式での申請で実験が可能になる、など大幅に緩和されることが望ましい。規制特区のように電波実験を行うフィールドを予め登録しておくことで、多様な無線実験ができれば、より災害対応が迅速に行える環境を整えることも可能となる。既存の無線を効率よく利用するほか、災害を想定し、普段より災害用無線の開発に取り組む必要がある。

5. 4. 3 今後取り組むべきこと

災害対応ロボットセンターが発足した場合、ここが災害時の無線通信のマネジメントを行うことを検討すべきである。省庁を横断した無線通信のマネジメントは災害対応を円滑に進める重要な役割を負う。

無線通信技術に関しては、ロボット専用機器の開発が必要である。ロボットには数 Mbps の伝送量が必要となるため、周波数帯域幅が広い通信システムが必須となる。周波数帯域幅が広い通信システムは無線 LAN のように無線周波数が 2GHz 以上になる。これらの伝搬特性は障害物や立木で反射するため廻り込んで到達しない。そこで、ロボットに使用する無線には低い無線周波数帯（数百 MHz）が望まれる。1GHz 以下の周波数帯で映像を送る場合、デジタル TV のホワイトバンド(470～710MHz)と公共ブロードバンド(170～202.5MHz)に限られる。IEEE ではホワイトバンドで使用する無線 LAN のシステムの規格 IEEE802.11af が策定中で、この試作機を独立法人情報通信研究機構（以下「NICT」）が開発し実証実験に成功した（図5. 2）。IEEE802.11af の特徴は、通常の無線 LAN は周波数帯幅が 20MHz 以上であるが、これを TV チャンネルの周波数帯幅と同じ 6MHz にしたものである。デジタル TV や各端末との混信を避けるため、RLSS（Registered Location Secure Server）というローカルサーバにアクセスしてチャンネルを選択することにより、各端末間で同一チャンネルの干渉が起きないように工夫されている。ロボットの通達距離を大きくするため送信出力は大きくした規格を追加できることを期待する。

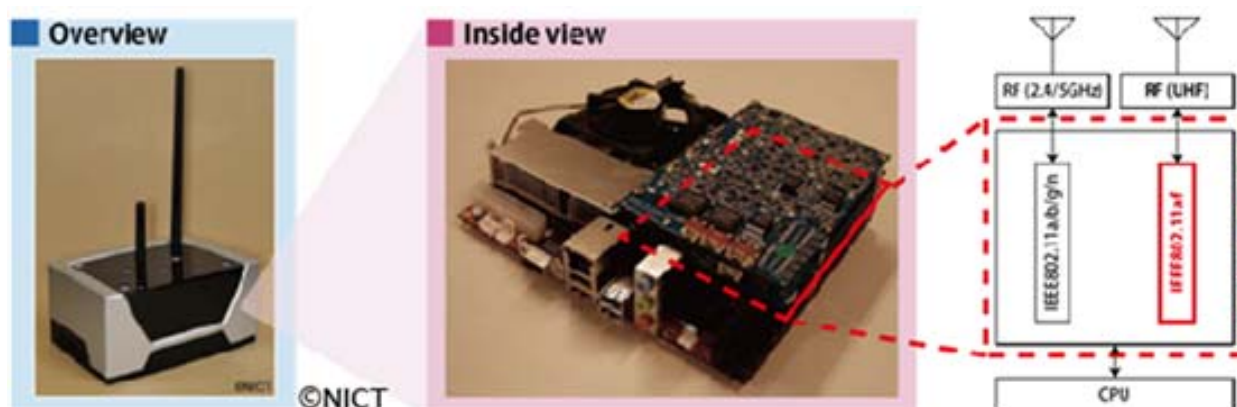


図5. 2 独立法人情報通信研究機構が開発した実証試験機

（参考 HP : <http://www.nict.go.jp/press/2012/10/16-1.html>）

公共ブロードバンドは、アナログ TV の空地を使用して、災害現場・事件現場等の主に非常事態発生地域において、現場の映像を対策本部等へ伝送することを可能とする 200MHz 帯広帯域移動無線通信システムである。システムは周波数帯域幅が 5MHz 帯で送信出力が大きく(5W)できるため、長距離の通信が

可能である。ロボットに相応しい通信システムを構築できるが、公の重要通信以外は使用できないので、使えるように制度を整備する必要がある。

現在の無線通信技術では、災害対策ロボット用の通信システムとして、「現状の無線 LAN」と「ホワイトスペースで利用できる無線 LAN を高送信出力」にした複合機（例えば、現状の無線 LAN (IEEE802.11b/g/n/j) + ホワイトスペース用無線 LAN (IEEE802.11af) の高送信出力版）が一例として考えられる。

災害対応ロボットのための無線局は、ロボットの持つ多様性から、その役割に即して多くの無線技術の開発に取り組んでいく必要がある。そのための環境整備は、ロボットの開発とならんで重要なテーマである。

無線技術は現在高度化する中で、資本規模の影響から、多くの無線が無線 LAN や携帯電話等への移行をしようとしている状況下では、災害用無線技術の開発は行われにくい状況になっている。これまでの提言のように、災害が多発する日本では、その対応において世界の模範を示す必要がある。無線技術はその重要な役割を果たすことが期待されるため、日本国内の無線技術産業の競争力を強化していく必要がある。そのためにはより多くの無線技術開発が活発になることを期待したい。

無線技術についての技術的課題をまとめると以下の項目となる。

（１） 災害対応ロボットの専用周波数や空中線電力の準備

緊急時に安定した制御を行うため、また混信や妨害を防ぐため、ホワイトスペースや公共ブロードバンド等の新たな周波数帯域で災害対応専用周波数を確保することが重要である。またホワイトスペース用に策定中の IEEE802.11af の空中線電力を増力し、公共ブロードバンドの周波数でも使えるように拡張することも一つの有力な方法である。このロボットに使える周波数は工夫をすれば放送などの通信などに多目的に使うことも可能である。

（２） ロボットに使用するネットワーク、無線等の I/F やプロトコル、通信方式等の標準化

汎用のネットワーク機器や無線装置は、リアルタイムの通信を必要とする災害対応ロボットにとっては、無駄な応答や手続きを行うため、ネットワークの信頼性を低下させる。これらの最適化を図り、標準化することは災害対応では平時の準備として重要である。ロボットの動作を確保するため、制御信号の伝送を優先し、通信状況への影響の大きな映像情報等は、その必要や状況に応じて可変することが求められる。

（３） 新たな無線技術等の開発

日本の無線技術は最高水準にありながら、最近の無線 LAN 等では、メッシュ無線等で海外製品におされて、国内メーカーの活発な開発が見られない。IEEE802.11j では、日本の無線 LAN 規格でありながら、無人化施工等では海外製品がよく使われているが、災害対応ロボット等に必ずしも向かないため、日本の災害に適する無線機の開発が必要である。遠隔操作の制御情報の通信は映像より信頼性が重視される。最近急速に普及し始めた 4 値 FSK 変調方式は小型・低消費電力で高送信出力が可能であり、映像とは別に制御情報通信を分離して利用ことも信頼性をアップする方法となる。

また、これまであまり使われていない高い周波数帯を利用する「テラヘルツ」無線技術の開発等は状況によってロボット技術でも有効に使える可能性がある。

加えてロボット技術にとっては、無線だけでなく、バッテリーや高性能小型モータなどの技術も同様に開発していくことが必要である。

こうした新たな無線技術の開発は高額の開発投資が必要であるため、国を挙げて、ネットワークや無線

技術のメーカーの開発を促進していくことが大切である。また、こうしたロボットのための無線通信技術の研究開発において最も重要なポイントは、ロボットを使う側のユーザの立場に立った開発体制を構築することにある。ユーザ主体の研究開発により、多種多様なロボットに無線通信技術が貢献することにより、ロボットの適用範囲が広がり、ロボット関連産業全体に大きな影響を与えると考える。

5. 5 災害対応ロボット技術センターの役割

5. 5. 1 災害対応ロボット及びロボット技術のデータベースの構築と運用

データベースを構築・運用（維持管理と更新）するにあたっての災害ロボットセンターの役割は、世の中にあふれている情報を、ロボットとして使いやすく一元管理することであり、以下のアクションをロボット視点で実施する必要がある。

データの収集：技術カタログやニーズカタログ受付（内容の確認）、提供依頼、調査

データの整理：検索機能の確保（キーワード）、分類（目的別、要素別など）、実施例の詳述、評価および評価に対しての条件の整理（規格化の提案など）

データの開示・維持：ユーザが使いやすい I/F の提供、期間が経過したものの再調査・削除の判断（信頼性の確保）、緊急時に派遣可能なロボットおよび要員に関する情報のアップデート

その他、設備メンテナンス、連絡、紹介、招集、契約などの諸業務

特に評価は、ロボット間の性能の違いを可視化することにより、ユーザがどのロボットが自分のニーズにより適合しているかの判断を容易にしたり、開発者がより明確に目標を設定したりするために有効である。

また、情報としては、コンピュータによって実現され、検索・抽出などの再利用ができる狭義のデータだけでなく、ロボット開発状況・要素技術などをよく知っていて“役に立つ”キーマンに関する人的データも重要となる。特に人的情報は、有事の際にスピードをもって災害に対応するため、プライバシーを保護しながら24時間対応するしくみと体制が求められる。

以上より、災害ロボットセンターのデータベースには、ロボット技術に関する横断的なコーディネータとしての役割が求められ、その構築・運用に対し、データベース自体の継続的なシステム開発だけではなく、ロボット技術全般に明るい人材の常時配備と、横断的に行動・判断しうる権限の付与を提言する。

災害ロボットセンターは、本データベースを、災害ロボット及びその周辺技術をステークホルダーと情報共有するためのツールとしてだけでなく、海外に対して我が国のロボット技術の高さをアピールする情報発信の中核と位置づけるとよい。

5. 5. 2 災害対応ロボットのための通信システムのサポート

災害時に遠隔地よりロボットや機器を操作し、また、情報を収集することは必須であり、そのための通信、特に電波を用いた無線による通信は、極めて重要である。一方、無線通信の利用は個別のロボット技術では対応できない事柄が多く、単に技術やその利用法の開発のみでは、遠隔操作等のロボットやその技術を十分に活かすことはできない。したがって、災害エリアにおける無線通信のためには、限られたリソースの有効利用や規制への対応等、これを統括的に扱うセクタの存在が不可欠であり、災害対応ロボットセンターはその役割を果たすべきである。具体的には、以下の役割が期待される。

- ① 災害時に利用可能な通信技術及び存在する機器、および、それを規制する法規などに関するデータベースを持つこと
- ② 災害現場における無線通信の利用についてのマネジメントを行うこと。

- ③ 災害時のみならず、訓練や機器の開発に至るまで、通信に関する規制当局との窓口となり、例えば、実験局開設の免許申請等を利用者に代わって行うこと。
- ④ 緊急時に使うための無線（および有線）の通信機器を配備し、いろいろな災害時にすぐに利用できるように準備しておくこと。

6. 配備に関する提言

6.1 検討の必要性

本検討は、将来想定される巨大地震等の「自然災害」に対して「人命を守る」防災レジリエンスに関し、老朽化インフラの更新や防潮堤の構築、避難所の設置、防災訓練などによる事前防災に加え、これまで人が行うことが困難・不可能な作業や環境において災害対応ロボットを用いることにより災害対応機能の強化を図る「配備」に関する検討である。

3.3節に示した災害対応ロボットの配備・運用に必要な制度、研究開発、事業化などに関する課題を解決するために、災害対応ロボットセンターの設立構想について以下で検討し、国の機関として設置することを提言する。具体的には、図6.1に示す災害の形態と適用可能なロボットの一例にあるように、「いつ」「どこで」「だれが」「何を」「どのように」運用すれば被災時における人命被害を最小化できるかについて、まず様々な視点から災害対応ロボットの要求分析を行う。次に各防災機関が府省連携により災害時の情報収集・共有を行い、搜索・人命救助活動支援に有効に活用するために必要な災害対応ロボットセンターに関して、各種制度設計に関わるガバナンス機能、災害対応ロボットに関する研究開発制度と効率的運用など実現手段について検討を行う。



図6.1 災害の形態とロボット適用

6.2 検討の考え方

本章の配備に関する提言において、表6.1に想定する検討の枠組みを、図6.2に検討にあたっての考え方を示す。検討では、政府の方針や社会的ニーズに基づき、今後想定される大規模災害を念頭に

災害対応ロボットの目的を明確にしながら検討を進めた。まず要求分析として、2012 年度 COCN プロジェクト「災害対応ロボットと運用システムのあり方」の成果を活用し、過去に経験した大規模災害の分析および災害隊対策本部を運営する自治体等の意見を反映し、災害対応ロボットに求められる用途・機能を明らかにした。次に災害対応ロボットセンターの実現手段の検討として、災害対応ロボットに関する制度、技術開発、運用、事業化における問題点を抽出し、国土強靱化、復興の加速、成長戦略ならびに産業競争力への貢献を考慮しながら災害対応ロボットセンターの構想を検討した。災害対応ロボットセンターの機能としてはこれまでの研究開発のみでなく災害対応ロボットの問題点を解決すべく、①災害現場での実用性の評価、②オペレータの育成、③運用及び維持管理組織の整備、④各防災機関などに配備を義務付ける配備基準の制定及び、⑤平時利用を考慮し、一過性の開発ではなく真に現場で使える災害対応ロボットの社会システムへの組み込みを模索した。

表6. 1 検討の枠組み

政府方針・社会ニーズ	①国土強靱化	②復興の加速	③成長戦略
検討対象とする大規模災害	■東日本大震災復興 ■東海・東南海・南海地震 ■人工災害の脅威(トンネル、橋梁、コンビナート等、社会インフラ老朽化)		
災害対応ロボットの目的	■首都直下地震 ■噴火・水害等大規模災害		
	■災害対応ロボットの導入により1人でも多くの人命を守る。 - あわせて被災状況の調査、迅速な復旧に貢献する		

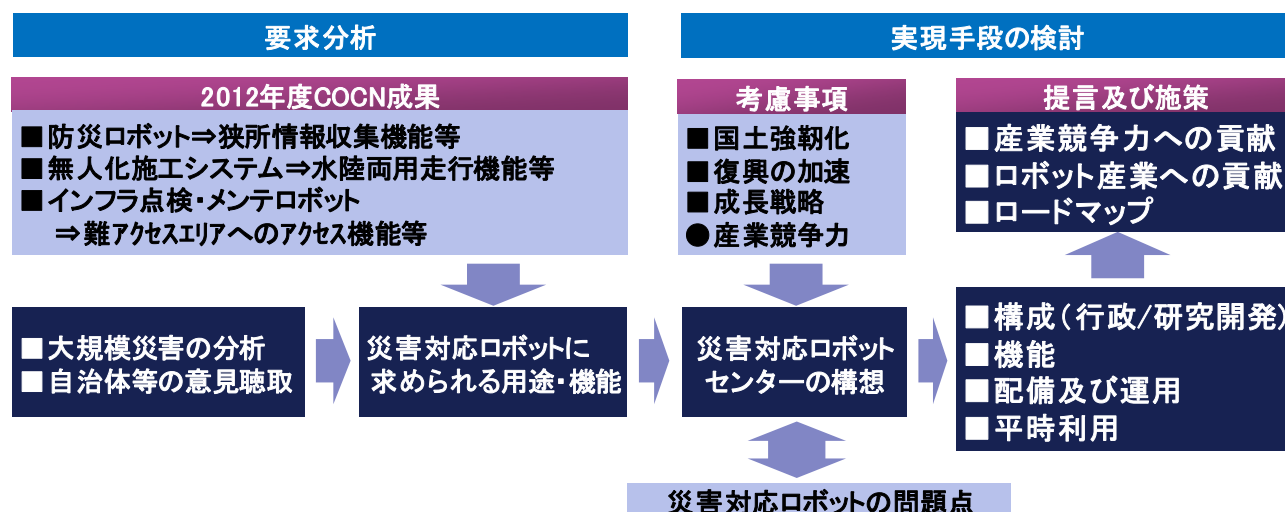


図6. 2 検討の考え方

6. 3 災害対応ロボットの要求分析

6. 3. 1 災害対応ロボットとは

大規模自然災害あるいは原子力災害のようなシビアアクシデントに対し、これまでに活用実績（研究中のものを含む）のあるロボットは下表のとおりである。いずれのロボットも災害対应用途限定で開発・配備されたものではなく、災害発生後、応急的に運用組織が編成され災害現場に適用されたものである。

表6. 2 災害で活用実績のあるロボット

区分	概要等
無人化施工機械・作業用ロボット	・瓦礫除去、道路啓開等を行う遠隔操縦型の建設機械 ・雲仙普賢岳の災害復旧工事、福島第一原発での瓦礫除去等で活用
陸上移動探査ロボット	・福島第一原発建屋内の調査、インフラ点検作業、人命救助支援等で活用
水中探査ロボット	・東日本大震災での海洋における人命探査で活用
無人飛行ロボット	・空からの広域情報収集、近距離における詳細情報収集で活用

6. 3. 2 災害対応ロボットの必要性

東日本大震災においては当初、6mの津波警報であったが実際には約15mの津波が発生した所もあった。地震発生後約30分で津波が到達し、約1時間で15,884人の死者と2,640人の行方不明者が発生した。しかし、その間、津波の第2波、第3波、余震など、捜索・人命救助活動従事者の二次災害の危険性があり、十分な活動ができなかったと言われている。そのような危険な状況の中で避難誘導など懸命な活動を継続することにより防災機関等の職員が犠牲者となったことも重視するべきである。

これら東日本大震災の経験を踏まえ、以下の問題を解決する手段を防災機関等が保有することに関して十分考慮する必要がある。

- 早期情報収集と避難誘導機能の不足による被害の拡大
- 危険な災害状況下での捜索・人命救助活動支援機能不足による救助活動の阻害
- 福島原発周辺立入り制限区域による復旧・復興の遅延

過去の大規模災害	区分	関東大震災(1923年)	阪神淡路大震災(1995年)	東日本大震災(2011年)
	形態	倒壊⇒火災型震災	倒壊型震災	津波型震災
	被害額	—	約9兆6,000億円	約16兆9,000億円
	死者	約105,000人	約6,400人	約16,000人(不明約3,000人)
	死因等	約87.1%が焼死	約83.3%が圧死	約92.4%が溺死
	対策	コンクリート構造物 道路の拡幅(延焼防止)	耐震強度向上	高台移転、津波避難所 防潮堤

事前防災(減災)機能の強化

将来想定の大規模災害	区分	首都直下型地震	東海・東南海・南海地震
	形態	倒壊⇒火災型震災＋津波型震災	津波型震災
	想定被害額	約95兆3000億円	約97兆6000～169兆5000億円
	想定死者	M7: 約23,000人 M8: 約70,000人	約323,000人
	想定死因等	M7: 約70%が焼死 M8: 約11,000人が津波溺死	108,000～224,000人が津波溺死 早期避難で8,000～52,000人に低減可能
	対策方向	老朽インフラの補強・更新	早期避難誘導・津波避難所・防潮堤

災害対応機能の強化

被災しても人命が失われないことを最重視

災害対応ロボット	強化すべき機能	適用ロボット
	インフラ途絶・荒天等の災害環境下における津波・火災等の早期広域情報収集と避難誘導機能	◆広域の情報収集・避難誘導が可能なロボット ◆津波流出者を捜索するロボット ◆瓦礫内等を捜索するロボット
	火災・倒壊・津波等による二次災害等の危険状況下での消火・人命捜索・救助支援、復旧支援機能	◆交通確保・捜索救助・消防活動を支援する作業ロボット ◆インフラ点検、瓦礫・土砂除去等を実施するロボット

災害現場の
劣悪環境下
で使用

図6. 3 災害対応ロボットの必要性

図6. 3に、過去の大規模災害と将来想定される大規模災害から、災害対応ロボットに要求される機能及び適用例を記載する。過去の大規模災害では火災型、倒壊型、津波型の震災が発生しており、その後耐震強度の向上、あるいは高台移転、防潮堤構築などの事後対策がとられてきた。これらの実績を踏まえ、将来想定される大規模災害に対しては老朽化インフラの補強・更新あるいは早期避難誘導・津波避難所などの事前防災機能の強化が図られつつある。しかし、全てを予防することは不可能であり、将来想定される大規模災害に対しては事前防災に加え、火災、倒壊、津波などから一人でも多くの人命を守る観点から、災害発生後の災害対応機能の強化を図る必要がある。

強化を図るべき機能としては大きく以下の2点が挙げられる。

■インフラ途絶・荒天などの劣悪な災害環境下における津波、火災などに関する早期広域情報収集と避難誘導機能

■火災・倒壊・津波等による二次災害の危険状況下での消火・人命捜索・救助活動支援及び復旧支援機能

6. 3. 3 自治体等の意見聴取

大規模災害の発生に伴い、各防災機関と連携して災害対策本部を運営する自治体（高知県、福島県）に対して災害対応ロボットの適用に関する意見聴取を実施した。表6. 3に、県が自治体として住民の人命と財産を守るための活動を遂行する上で、現状では不足している機能を災害対応ロボットの適用により補う可能性について、高知県に意見を聴取した結果をまとめる。

表6. 3 自治体の意見聴取結果例

区 分	使用目的・期待する能力	ロボットのイメージ
無人飛行 ロボット	【使用目的】 (1) 発災直後の広域被災状況の調査 (2) 孤立地域等の細部被害状況の調査 (3) 津波からの避難支援(局地の情報収集・伝達) 【期待する能力】 (1) 夜間、悪天候における情報収集 (2) 映像、位置、生体反応等の情報をリアルタイムに災害対策本部等へ伝送 (3) 津波からの避難に必要な情報・警報を住民に直接連絡	 http://www.fuji-imvac.jp/  http://fpsvideo.blogspot.jp/2011/04/bo2-co-black-ops-2or.htm  http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/guideline_report/app_1.pdf
陸上探査・ 作業ロボット	【使用目的】 余震・火災・水没等危険な時期・場所での調査・瓦礫除去・救助活動支援 【期待する能力】 (1) 生体反応の感知等捜索能力 (2) 瓦礫、浸水、高温・火災等環境下での機動力 (3) 瓦礫等重量物の除去能力	  http://www.furo.or.jp/robot/quince/ 
水中探査 ロボット	【使用目的】 津波発生後の海洋における調査・瓦礫除去・救助活動支援 【期待する能力】 (1) 瓦礫、汚濁等劣悪環境下の海洋での探索能力 (2) 同上環境下における機動力、瓦礫除去能力 (3) 被災者等の救助能力	  http://www.mes.co.jp/business/ship/ship_08.html
津波避難支援 ロボット	【使用目的】 津波からの災害弱者などの避難・誘導活動の支援 【期待する能力】 (1) 津波被害の予測・回避能力 (2) 避難住民を安全、迅速、努めて大量に輸送 (3) 居住地域、避難地域、避難経路の認識	

また、福島県の聴取結果についても同様の意見であったが、特筆すべき事項として以下の３点が挙げられた。

- 陸上ロボットなどによる避難区域内の家屋等の警戒監視（窃盗への対処）
- 航空ロボットによる津波被災者の広域搜索への適用及び水中ロボットによる流出者の個別搜索への適用（救助は救難ヘリで実施）
- 航空ロボットによる夜間運用と早期情報収集（夜間等における防災ヘリの代替）

自治体の意見聴取にあたっては、災害対応ロボット自体は認識していたが配備・運用に関する具体的検討はなされていないのが現状であった。

6. 3. 4 災害対応ロボットの用途

本プロジェクトで検討する災害対応ロボットの用途は、「人命を守る」という目的への直接的・間接的活動を含み以下の３点を重視して検討した。

- 将来の大規模災害への備えとして災害対応ロボットを全国配備することにより、災害対策本部の意思決定と避難誘導に必要な早期情報収集を実現するとともに、危険な状況下での搜索・人命救助活動支援に貢献する。⇒国土強靱化（防災レジリエンス）
- 福島立入り制限区域におけるモニタリング、瓦礫処理などに災害対応ロボットを適用することにより、平時利用を図るとともに復旧・復興の加速に貢献する。⇒復興の加速
- 事前防災に加え災害対応ロボットの平時利用としてトンネル・橋梁・プラント等の老朽化インフラの点検・補修に活用する。⇒国土強靱化（産業・インフラレジリエンス）

6. 3. 5 災害対応ロボットの課題

わが国における代表的な災害対応ロボットとしては、1990年の雲仙普賢岳での火砕流後に適用された無人化施工機材があるが、これは国の施策に基づき平時も含む用途が確保され、ゼネコンなどが主体となり継続して製品を供給する体制を確保しているため、現在も製品の研究開発が継続されており、災害復旧活動などで活躍している。一方、1995年の阪神淡路大震災後に研究開発されたレスキューロボットは東京消防庁に一部が装備されているが、ほとんど運用実績を有していない。さらに1999年のJCO臨界事故後に各種原子力災害ロボットが研究開発されたが、東京電力福島第一原子力発電所事故に際して投入されたロボットは存在しなかった。なお、ドイツではKHG (Kerntechnische Hilfsdienst GmbH、1977年設立)、フランスではGroupe INTRA (Groupe d'INtervention Robotisee sur Accident、1988年設立)が原子力災害対応ロボットを含めた緊急時の対応に備えている。

以上の実態も踏まえ、災害対応ロボットが社会実装されず、災害時に有効に活用されない要因を分析すると以下のとおりとなる。

【制度における課題】

- 災害対応ロボットの定義、府省を統括した各防災機関の利活用に関する制度が未整備
- 災害対応ロボットの有効性・安全性などの評価基準（ガイドライン等）及び評価機関が未整備

【研究開発における課題】

- 想定される災害形態に適用する災害対応ロボットに関する運用研究・運用開発が未実施
- 多様な災害形態に適用する災害対応ロボットに対する要求機能が不明確
- 災害対応ロボットを研究開発・実証する開発環境が未整備（実証フィールド、特区を含む）

【事業化における課題】

■使用頻度の少ない災害用途は事業規模が小さいため大手企業による事業参画が困難

6. 4 災害対応ロボットセンター検討

6. 4. 1 災害対応ロボットセンターの構成

図6. 4に災害対応ロボットセンターの構成案を示す。災害対応ロボットセンターは、①災害対応ロボットの配備・運用に関する司令塔機能、②災害対応ロボットの平時利用機能、③産官学連携による直轄技術センター運用機能の3機能を有する機関として、中央防災会議の作成する「防災基本計画」に位置づけられる必要がある。

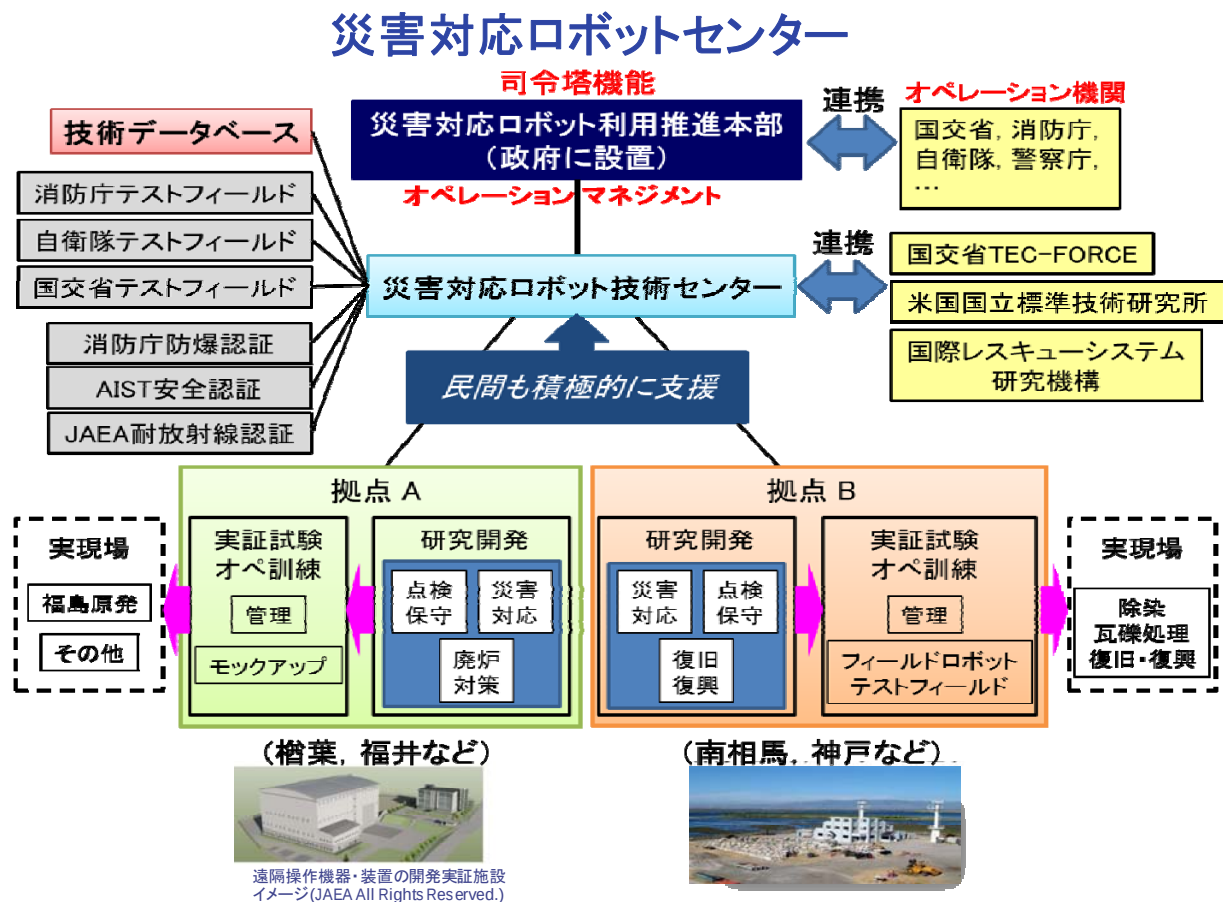


図6. 4 災害対応ロボットセンターの構成(案)

災害対応ロボットセンターは、大きく「災害対応ロボット利用推進本部」と「災害対応ロボット技術センター」から構成される。災害対応ロボット利用推進本部は、内閣府防災担当（米国における FEMA と同様の機能が期待される）の下に置かれる関係府省を統括した「戦略やビジョンの策定」、「研究開発と各種防災機関への配備ロードマップの策定」、「災害時の運用統制（オペレーション・マネジメント）」の機能を有し、関連する計画及び制度を所管する行政機関として位置づける。災害対応ロボット技術センターは、その附属機関として「災害対応ロボットの有効性・安全性等の評価」並びに「研究開発に必要な施設・設備の維持・運営」などを実施することを想定している。災害対応ロボット技術センターの運営にあたっては外部への業務委託を考慮する。

災害対応ロボット技術センターは、(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)が運営する櫛葉拠点、他の機関の運営する認証試験機関、テストフィールドなどと連携を図るとともに直轄の試験フィールドを運営する。櫛葉拠点は主として原子炉建屋内で使用する原子炉解体ロボットの研究開発に注力し、直轄試験フィールドでは広域の屋外で使用するフィールドロボット(陸上、航空、水中)の研究開発、社会実証の評価などを実施する。

6. 4. 2 災害対応ロボット利用推進本部の機能

災害対応ロボット利用推進本部の「戦略やビジョンの策定」、「研究開発と各種防災機関への配備ロードマップの策定」及び「災害時の運用統制」に関する機能については今後、(仮)災害対応ロボット利用推進協議会などの推進団体を編成し、調査研究等を通じて詳細検討を実施するものとし、災害対応ロボット利用推進本部の設置にあたっては、以下の計画の改定あるいはガイドラインの制定準備が必要である。

■国の「防災基本計画」に災害対応ロボットの活用推進に関して記載

災害対応ロボットの定義、災害対応ロボットに関する研究開発の推進及び各防災機関への配備・運用を推進するための規定

■災害対応ロボット製造及び利用安全に関するガイドラインなどの制定

災害対応ロボットの安全性を確保するために製造者、使用者に対して製造・整備、運用などに関するガイドラインを規定するとともに災害対応ロボットを安全に使用するための操作者に対する資格検定・講習制度などを規定する制度

6. 4. 3 災害対応ロボット技術センターの機能

図6. 5に災害対応ロボット技術センターの機能、各機関との連携について示す。災害対応ロボット技術センターは災害対応ロボット利用推進本部からの業務委託を受けて運営し、以下の機能を有するものとする。その際、独禁法への対応を考慮する必要がある。

■**実証試験**：開発ロボットの実用性を評価するとともに、社会実証として福島等での瓦礫処理、ホットスポット計測等を実施し、得られた知見を研究開発へフィードバックする。

■**実用性認証**：開発したロボットの防爆性・安全性・操作性を評価・認証する。

■**オペレータ訓練**：ロボットのオペレータに対して訓練を実施し、安全・確実に操作できることを評価する。

■**ロボット・技術管理**：想定外災害時の弾力的運用基盤としてロボットに関する製品、技術などのデータベースを整備する。

■**直轄試験フィールド**：走行、飛行、遊泳機能の検証に必要な試験フィールドを整備する。

■**訓練支援**：国交省・消防庁・警察庁・防衛省等のロボット操作訓練を支援する。

■**研究開発支援**：ニーズ駆動型、機能評価型研究開発の支援及びソリューション導出競技会の企画・立案及び運営を実施する。

なお、災害対応ロボット技術センター及びその直轄試験フィールドの配置にあたっては、災害対応ロボットの研究開発における効率化や、訓練や実証試験に必要な現場の検討に加え、航空法、道交法、港湾法、電波法など災害対応ロボットの研究開発段階から安全性を確保した上で検討しなければならない各法律の適用・準用を緩和するための特区指定も含めて考慮する必要がある。

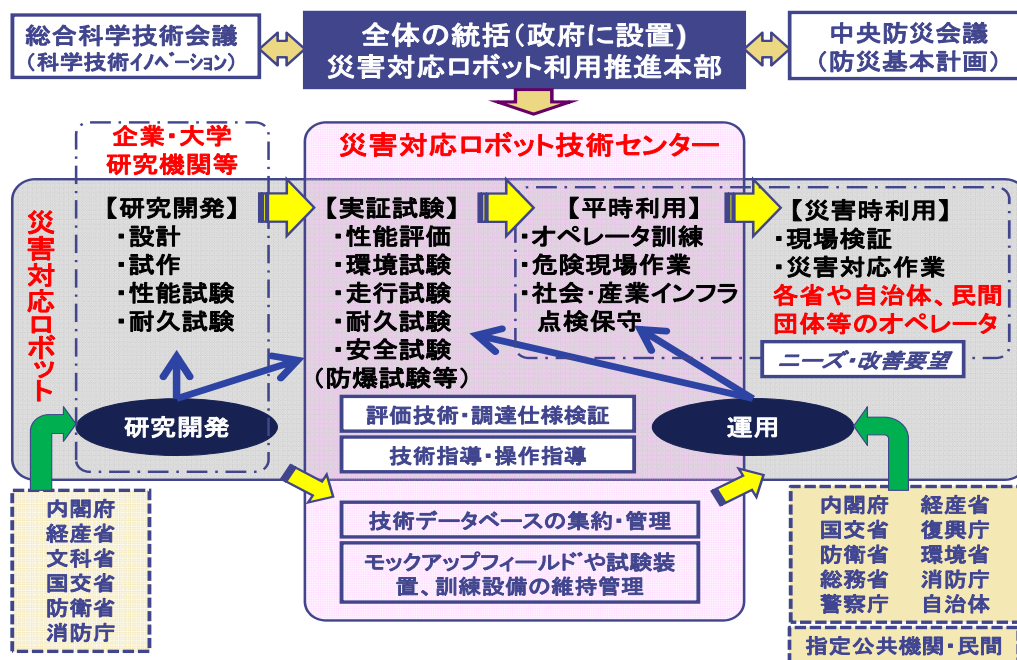


図6. 5 災害対応ロボット技術センターの機能

6. 5 災害対応ロボットの配備及び運用

災害対応ロボット利用推進本部は「防災基本計画」に想定する災害への事前対策として、各防災機関等に対して表6. 4に示す災害対応ロボットの配備基準と運用に関して示すとともに、平時には「(仮) 災害時ロボット運用基本計画」を作成し、災害時には効率的運用のための運用統制を実施する。

表6. 4 災害対応ロボットの配備基準(案)

区 分 (全国配備想定数) コスト/1セット (単位100万円)		陸上ロボット				航空・水				水中ロボット			数量合計 (セット)	取得経費 (億円)
		狭域 特殊	小型	中型 ～大型	水陸	局地 10分	狭域 60分	広域 12h	管制・ 処理	小型 ROV	中型 UUV	大型 瓦礫		
官 有	国交省TEC-FORCE (10ヶ所)		23	25	23	46		23	23	23		46	232	225.3
	消防庁(103ヶ所)	127	87	23	1	127		23	23	127	1		539	138.7
	警察庁(103ヶ所)		127			127							254	25.4
	海保庁(11管区)					52	11	11	11	30	15		130	112.4
	防衛省(5方面)	300	75	75	15	300	75	15	15	75	15	5	965	260.3
	自治体(103ヶ所)	127				127							254	10.2
指定公共 機関	高速道路会社 (55事業所)		55					52		52			159	60.3
	電力会社(721事業所)		352	102	102	250	102			420			1,328	458.9
	ガス会社					47							47	2.4
	鉄道会社		94				94			15			203	49.8
民 有	石油コンビナート (370事業所)	1,850	740	370		740	370	370	370	740			5,550	1,424.5
	化学プラント(有毒) (220事業所)	1,100	440	440		440	220			440			3,080	627.0
	有毒ガス利用事業者 (120事業所)	600	240	240		240	120						1,440	222.0
	プラント会社 (全国220+α事業所)	1,100	440	220		440	220			440			2,860	517.0
数量合計(セット)		5,204	2,673	1,495	141	2,936	1,212	494	442	2,362	31	51		4,133.2
備 考		コスト及び配備定数は目標値であり、詳細は今後の関係機関との調整により変動する。												

配備及び運用に対する基本的考え方は以下のとおりである。また、関連して図6. 6に災害発生時における災害対応ロボットの運用シーンの一例を記載する。

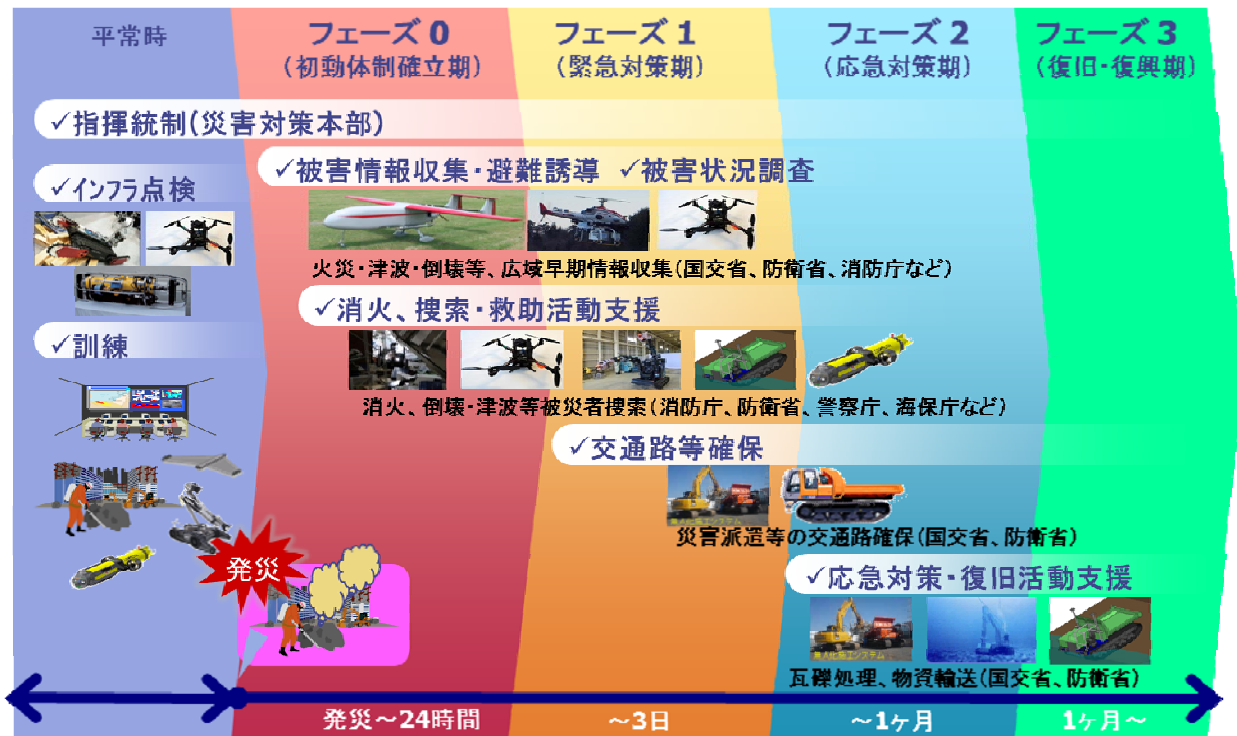


図6. 6 災害対応ロボットの運用シーンの一例

- 国交省、消防庁、警察庁、防衛省、海保庁などが、事前に災害対応ロボットを配備し、平時用途での活用やオペレータ訓練を実施する。
- 災害発生時は災害対応ロボット利用推進本部が司令塔となり、事前の計画に基づき自衛隊等の輸送支援を得て全国から被災地へ機動的に統制配備し、国交省、消防庁、警察庁、防衛省、海保庁、指定公共機関などが弾力的に運用する。
- 大規模災害直後（～1時間）に防災機関等が運用するロボットの配備
津波型震災、火災型震災など地震発生後の早期情報収集と避難誘導に活用するロボットについては現地で直接運用する防災機関が必要数を配備することを基本とする。
- 大規模災害後（～72時間）に防災機関が運用するロボットの配備
倒壊型震災などにおける地震発生後の捜索・人命救助活動支援に活用するロボットは全国から自衛隊等の輸送支援を得て、ロボット及びそのオペレータを災害現場へ集中投入することを基本として配備する。その際、自衛隊等の空輸能力を考慮した災害対応ロボットの選定が重要である。
- 指定公共機関及び民間企業で運用するロボットの配備
表6. 4では指定公共機関及び民間企業にも自主防災の観点から災害対応ロボットの配備を義務付ける構想としている。これは大規模震災等発生時に電力・交通などのインフラレジリエンスを確保するとともに、石油コンビナート、化学会社など事業所単位で設備の点検を実施して、損傷箇所（ガス漏れ・亀裂など）を早期に把握・対処することにより、大規模災害（火災・爆発・崩落）への発展を未然に防止し、事業継続計画（BCP）を確保する産業レジリエンスを目的としている。これらの指定公共機関あるいは民間企業に導入する災害対応ロボットに関しては、平時における通常の設備点検等の

インフラ維持管理への適用を考慮するとともに、導入に当たっては国からの補助などの施策も考慮するべきである。

6. 6 災害対応ロボット技術センターの平時利用

有事（災害が発生した緊急時）において、種々の災害対応ロボットを災害現場に迅速に配備し活用できるようにするためには、平時（緊急でない災害現場や災害が発生していない状況）においてロボット技術の継続的な開発・運用を行うことが重要であることが、検討の結果明らかになった。ロボット技術の平時利用は、下記のような利用方法が考えられる。

（１） 危険が伴う作業や工事における現場活用

雲仙普賢岳において、1991年の火山爆発災害以降、無人化施工が継続的に活用され工事が行われていたことが、福島原発事故においてもスムーズかつ迅速に現場に導入できた要因である。これからも分かるように、危険を伴う作業現場に災害対応ロボットを導入し、長期にわたり継続して活用しておくことが備えという観点からも重要である。土砂災害などの災害現場においては、災害対応ロボットのニーズが短期的なことが多く、長期間にわたり危険作業が強いられる作業現場が望ましい。その一つの例として、東日本大震災および福島原発事故の被災地が災害対応ロボットの平時利用の現場として考えられる。図6. 7に福島県被災地の調査結果を示す。また、図6. 8に災害対応ロボットを用いた復興支援事業例を示す。図6. 7からも分かるように、被災地での瓦礫処理や除染は遅延として進んでおらず、被曝などの危険性が存在する。これらの被災地を災害対応ロボットの平時利用の現場として災害対応ロボットを導入し、これを活用した瓦礫処理、除染、復旧・復興のための作業を継続的に行うことが有効であると考えられる。



図6. 7 福島県被災地調査結果

【福島復興支援事業】災害対応ロボットを用いた放射線計測、調査、除染等、福島立ち入り制限区域内における復興事業への適用に関する社会実証（概要）

目 的

- フィールド型災害対応ロボットの研究開発・実証拠点及びテストフィールドを南相馬市等に設置し、そこで陸海空で動く災害対応ロボットのテストやオペレータ訓練を行いながら実際の調査・作業・工事現場に随時投入することにより復興支援とともに産業育成に貢献する
- 将来想定される大規模災害に対して人命を守ることを主眼として実フィールドでの災害対応ロボットの研究開発・社会実証を継続し、現場で使える災害対応ロボットの事業化へ展開する。

実施内容

- 南相馬市に災害対応ロボットセンターを設置して地元企業による研究開発・運用・維持整備体制を構築
- 災害対応ロボットセンターで復興関連事業を受託し、福島立ち入り制限区域における放射線計測、調査、除染等を実施

期待される効果

- 南相馬市等でのロボット研究開発・運用・維持産業の創出
- 福島立ち入り制限区域における放射線計測、調査、除染等実施とデータベース作成による復興への足がかり
- モニタリング等作業者の被曝量の局限化

課 題

- 陸上・海上・航空ロボットの研究開発・社会実証に必要なフィールド確保及び道交法、航空法等の規制緩和及び無線周波数の確保
- ロボット運用の安全性と信頼性確保のための試験評価機関、標準化、規格及び設備の構築

全体イメージ



【ロボット適用先の一例】

■ため池の放射性物質測定



■農地の空間線量測定



■道路側溝の空間線量率、ホットスポット測定



マイルストーン	フェーズⅠ ⇒ フェーズⅡ ⇒ フェーズⅢ
運用距離	数100m ⇒ 数km ⇒ 10km
作業内容	モニタリング⇒サンプリング⇒重作業
自動化等	遠隔操縦 ⇒ 半自律移動 ⇒ 半自律作業
運転方法	単機動作 ⇒ 複数機動作 ⇒ 協調動作
管制システム	単機管制 ⇒ 複数機管制 ⇒ 最適動作管制

図6. 8 災害対応ロボットを用いた復興支援事業例

(2) 社会インフラや設備の点検・保守との併用

もう一つの平時利用は、社会インフラや設備の点検・保守における活用である。トンネル、橋梁、高速道路、ダムなどの社会インフラや、化学プラントやコンビナートなどの老朽化による事故が多発しており、これらの点検・保守は喫緊の課題となっている。これらの点検・保守においては、人が行うことが困難な作業、危険な作業、ロボットが行った方がコストの軽減が図れるような作業が存在し、そのような用途において、災害対応ロボットを平時から利用することが考えられる。

(3) 訓練（実証試験・フィールド試験・オペレータ訓練での利用）

災害に備えるには日頃の訓練が重要である。平常時のもう一つの利用方法は、災害を想定した訓練における災害対応ロボットの活用である。消防が、様々な車両やツールを利用しながら消火活動の訓練を行うのと同様、訓練において、災害対応のツールの一つとして災害対応ロボットを使用することが考えられる。これは、単にロボットの機能の維持、改良のためだけでなく、ロボットを操作するオペレータの日頃からの訓練という意味でも重要である。

7. 産業競争力強化のための提言および施策

国家産業競争力への貢献としてのビジョンを図7. 1に示す。このビジョンを実現するには、総合科学技術会議により災害対応ロボットを成長戦略の1テーマとして取り上げ、災害大国日本の防災技術によるイノベーション創出に繋げるべく府省連携による研究開発の推進が不可欠である。

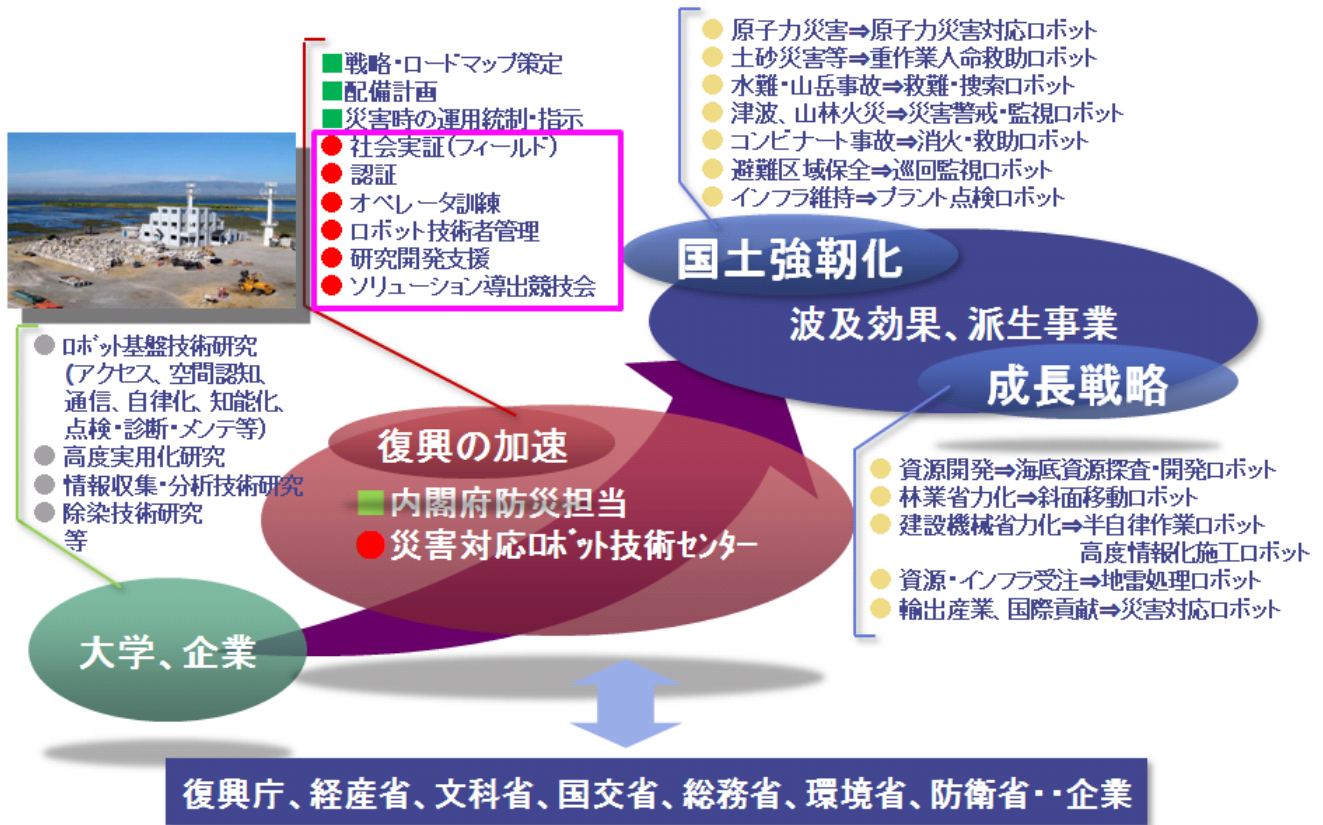


図7. 1 災害対応ロボット技術の産業競争力への貢献

災害対応ロボット技術の研究開発と運用を含めた社会実装は、自然災害や人工災害に対する災害対応機能の技術基盤を構築するという点で、日本の産業競争力強化の重要な柱となる。しかしそのみならず、米国では、軍事予算によってロボット技術開発が推進され、それが民生用としてのロボット技術の優位性と産業競争力を生んでいるのと同様、災害対応ロボット技術の強化と社会実装は、輸送機械、産業機械、医療福祉機器など、様々な機器に埋め込まれている日本のロボット技術（センシング、移動、作業などを含む実世界情報技術）の高度化を生み、日本の機械産業の技術基盤全体の底上げと競争力強化において多大な波及効果が期待できることを認識する必要がある。また、東日本大震災や福島原発事故という復旧が必要な災害現場を有していることも、産業競争力強化という点で極めて有利な状況であり、この機会を有効に活用すべきである。災害対応ロボット技術を用いて収集した様々な物理情報（ビッグデータ）を活用することにより、さらに多様なサービスの創造が可能になるという点においても、災害対応ロボット技術は、産業競争力強化の重要なキーテクノロジーとなる。

図7. 2に災害対応ロボット技術のロボット産業への貢献を示す。従来の予測では 2035 年に災害対応ロボットの市場規模として 670 億円を想定しているが、災害対応ロボット技術センターの設置によりロボットの安全性、信頼性等が確実に担保されればその市場規模は加速度的に拡大することも期待できる。またその技術は建設・土木、農業・林業、海洋探査などパブリックサービス向けのほかにロボテク（RT）分野への波及効果も期待できる。

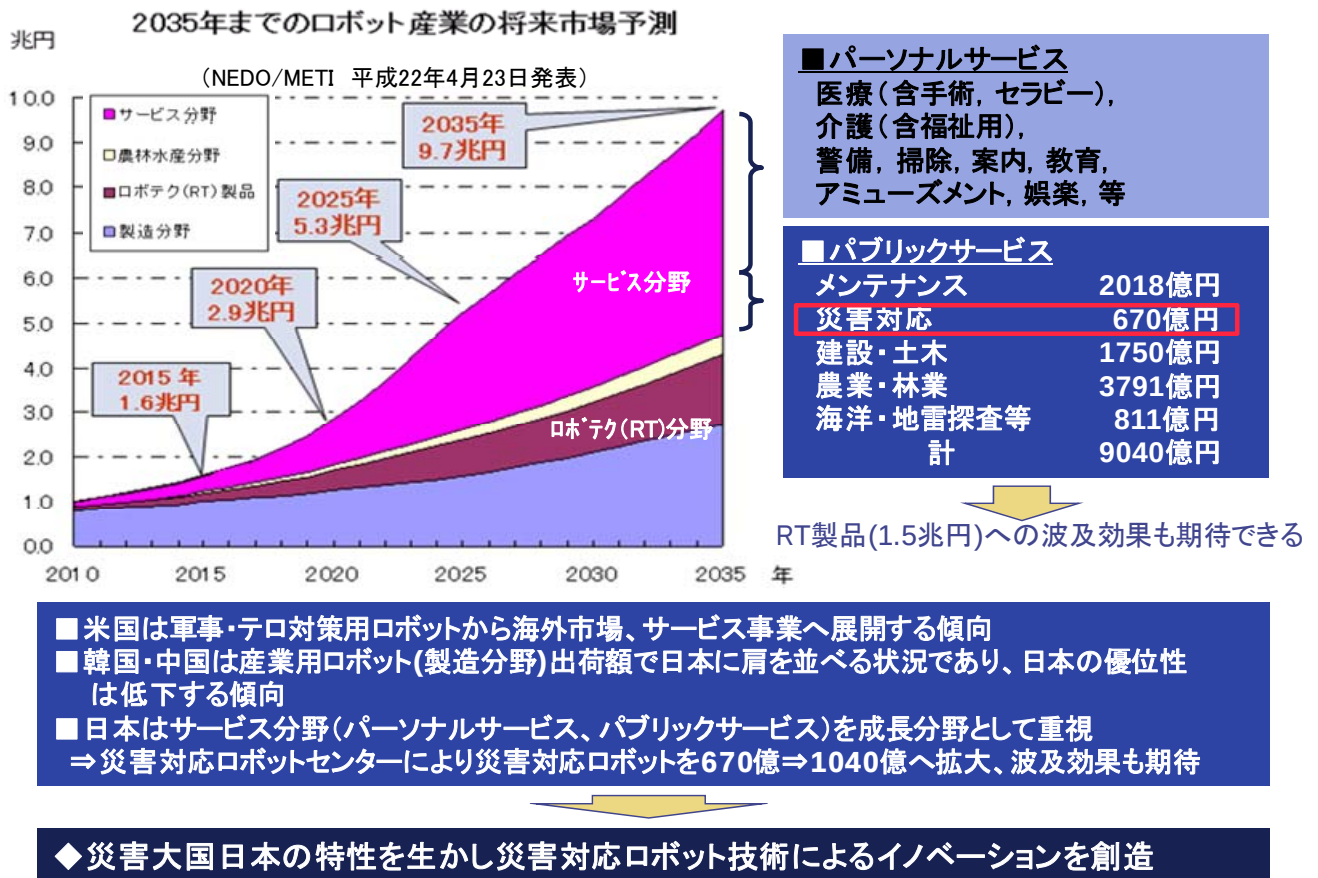


図7. 2 災害対応ロボット技術のロボット産業への貢献

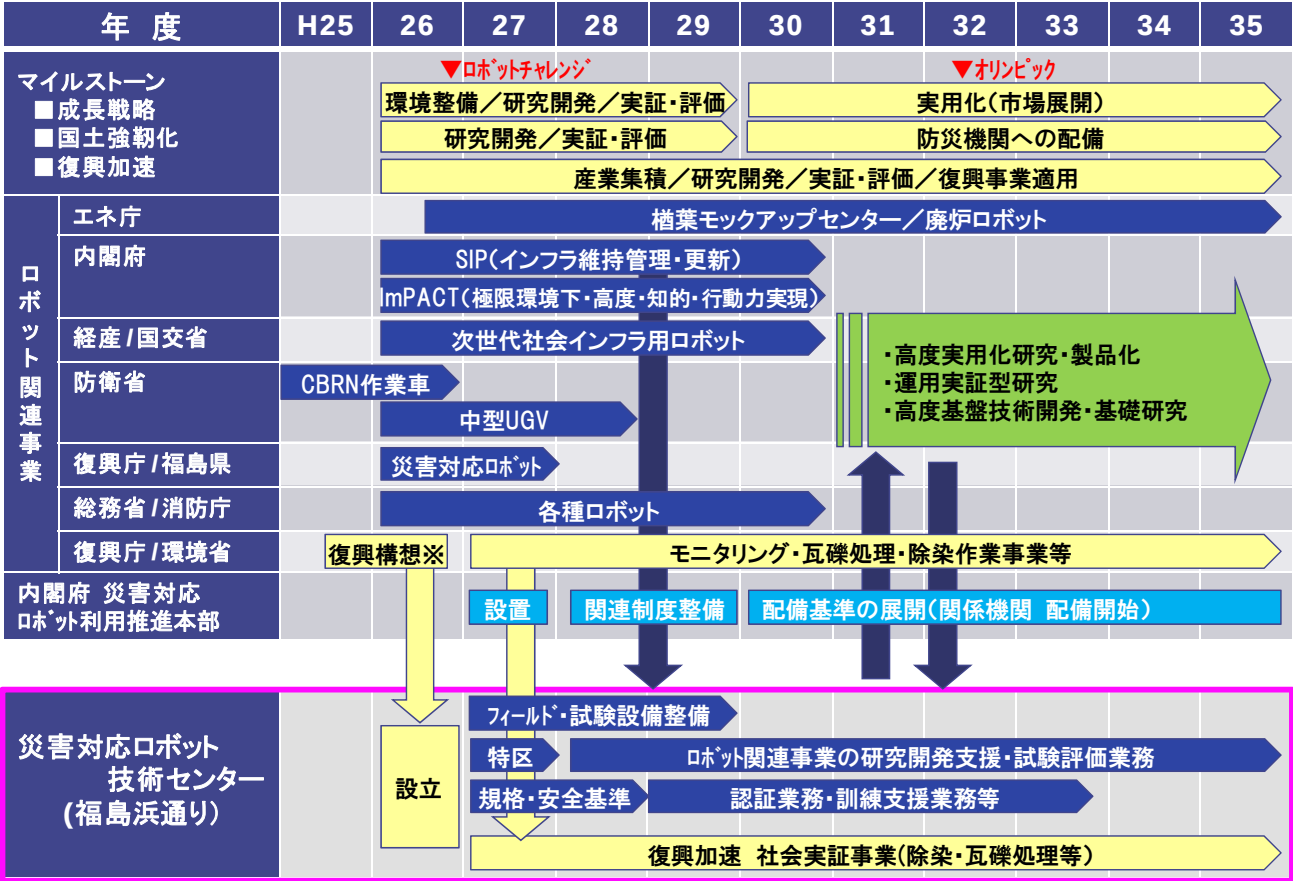
災害対応ロボットセンターの司令塔としての機能を有する災害対応ロボット利用推進本部は、災害発生時におけるロボット配備の中心として機能するため政府の防災担当に常設の(米国における FEMA のような司令塔機能を有する) 機関として置かれることが望ましい。実際の災害発生時には事前に準備された「災害時ロボット運用基本計画」を参照しつつ、事態に応じて実際に現場で作業にあたる消防、警察、自衛隊、指定公共機関等と密接な連携をとって的確な指示を出していくことが望まれる。

災害対応ロボット利用推進本部の活動を支える機関として災害対応ロボット技術センターを設置する。災害対応ロボット技術センターは本来政府機関ないしは独立行政法人として設置されることが望ましいが、必要な予算等について十分な政府の支援が受けられるなら、民間法人または技術研究組合として設立することもできる。災害対応ロボット技術センターの機能としては、災害対応ロボットの評価方法等の標準化、認証や認定に関する提言等を行うための研究開発、災害対応ロボットの型式、性能、部品技術及び所在に関するデータベースの維持管理、そのためのテストフィールド及び実験用モックアップ施設の維持、テストフィールドを使った要員及び装備の実地訓練の実施等があげられる。なお、試験や訓練にあたっては他の機関の保有するテストフィールドやモックアップにおける運用と協調を図る必要がある。

災害対応ロボットセンター（災害対応ロボット利用推進本部や災害対応ロボット技術センター）の設立は、我が国における大地震や他の大規模災害の発生の可能性の高さを考えると可及的速やかに措置すべき事項であるが、もし時間がかかるようであればこの提言を実現するための推進母体として「災害対応ロボットセンター設立推進協議会（仮称）」を設置して広く国民及び政府関係者等にその必要性について周知を図るとともに災害対応ロボットセンターの果たすべき機能及びその組織及び体制、資機材等につきさらに精査を行うこととする。

以上、災害対応ロボットの運用・配備に関して、災害対応ロボットセンターは「自然災害」に対して「人命を守る」ことを目的とする国土強靱化の実現に貢献するべく、当面、内閣府防災担当の防災に関する計画に基づき以下の施策の推進を提言する。

- 災害対応ロボットの配備・運用に関する司令塔機能を有する災害対応ロボット利用推進本部の設置
 - 災害対応ロボットの安全性・信頼性を確保するための災害対応ロボット技術センターの設置
 - ・災害対応ロボットに必要なとなる様々なフィールド性能評価と認証の機能の具備
 - ・災害対応ロボットに関連する技術とその実用評価、ニーズ等に関するデータベースの構築
 - 災害対応ロボット技術センターの産官学連携による運営と災害対応ロボットの平時利用の促進
- 上記提言の実現に向けたロードマップを図7. 3に示す



※福島・国際研究産業都市構想

図7. 3 災害対応ロボットセンター ロードマップ

このロードマップを実行するための施策として以下の4点を挙げる。

◆「防災基本計画」に災害対応ロボットの活用推進に関して記載

国の「防災基本計画」に災害対応ロボットの定義、災害対応ロボットに関する研究開発の推進及び各防災機関への配備・運用を推進することを規定し、災害対応ロボット利用推進本部はこれに基づき、関係府省を統括した「戦略やビジョンの策定」、「研究開発と各種防災機関への配備ロードマップ（ロボット配備基準含む）の策定」及び「災害時の運用統制」、「関連するガイドラインの制定及び所管」を行う。

◆災害対応ロボット製造及び利用安全に関するガイドラインなどの構築

災害対応ロボットの安全性を確保するために製造者、使用者に対して製造・整備、運用などに関するガイドラインを構築するとともに災害対応ロボットを安全に使用するための操作者に対する資格検定・講習制度などを構築する。

◆総合科学技術会議は防災技術によるイノベーションを成長戦略としての位置づけ

総合科学技術会議は産業競争力の観点から災害対応ロボットセンターと連携し、防災技術によるイノベーションを成長戦略の一つとして位置づけ、ロボットの高度実用化プロジェクトを推進し、災害対応ロボットの輸出推進、海底探査などの資源開発への適用、林業省力化、地雷除去等の国際貢献などへの波及を図る。

◆民間企業による災害対応ロボットの研究開発及び利用推進

民間企業は災害対応ロボットの必要性を理解し、災害対応ロボット技術センターへの参画と長期的視野に立った研究開発推進及びBCPの観点での災害対応ロボットの導入推進を図る。

また 費用の概算見積もりを報告する。

ロボット評価項目ごとに、グループで設置費用を検討した。想定災害と評価内容、モックアップをどれくらい整備するかによってかなり異なり、試算は難しいが、建造物・土木インフラグループによる試算の例では建造物災害対応8億円を、土木インフラ災害対応では、トンネルを例とし6億円を想定した。さらに、水害、土砂崩れ災害対応では10億円、プラント災害関係で3億円が想定された。原子力、テロ・CBRN、上下水道災害はまだ見えないが、対象グループ全体で50億円程度の見通しになる。

一方技術に関しては、データベースの作成と運用、管理に、専門調査員3～5名 運用管理者5名（内マネージャ1名）計8～10名のスタッフが必要であろうと想定され、この他本部管理者、試験実施者、機材管理整備者など 総勢30名ほどの人件費（約6億／年）の確保が必要と考えられる。

データベースのイニシャルコストは0.5億円 メンテナンスは5百万円／年程度である。

ただし、以上は研究開発費そのものを含んでいない。

8. 提言のまとめと提言実現のための課題

平成 23 年度から、災害対応ロボットに関する提言のとりまとめと、その実現に向けた取り組みを行ってきた結果、下記プロジェクトや活動、その予算要求等で、ここでの提言の一部が実現されつつある。

- 次世代社会インフラ用ロボット（経産省、国交省）
- 福島県災害対策ロボット産業集積支援事業（復興庁、経済産業省、福島県）
- 消防ロボット、無人ヘリ（総務省消防庁）
- CBRN ロボット、原子力災害対応ロボット（防衛省）
- 櫛葉町モックアップ（JAEA）
- ホワイトスペース利用（総務省）

また、下記プロジェクトや活動においても、ここでの提言の一部の実現に向け、検討が進められている。

- SIP(戦略的イノベーション創造プロジェクト)(総合科学技術会議／各省)平成 26 年度予算 300 億円
 - ・インフラ維持管理・更新・マネジメント技術（藤野 PD, 油田 SPD）
 - ・レジリエントな防災・減災機能の強化（中島 PD）
 - ・両者共通でインフラ／防災ロボットの開発
- ImPACT(革新的研究開発推進プログラム)(総合科学技術会議／文科省)平成 25 年度補正予算 550 億円
- 福島イノベーションコースト構想（福島国際研究産業都市構想）（復興庁、赤羽経産副大臣）
 - ・福島版デザスターシティの設立
- METI チャレンジ
 - ・DARPA チャレンジの日本版 S27,8 年度に開始

しかし、本提言の最も重要な内容である災害対応ロボットセンターの設立に関連した以下の項目に関しては、まだ政府における具体的な検討は始まっておらず、これらを確実に実現するための働きかけを継続する必要がある。

- 災害対応ロボットセンター設立
- 災害対応ロボット技術センター設立
- 災害対応ロボット評価システムの構築と運用
- 災害対応ロボット認証（安全、防爆他）制度の構築と運用
- 災害対応ロボットデータベースの構築と更新

今後、ナショナルレジリエンスを実現し、安全な社会を構築するためにも、政府や国の主導のもと、内閣府、経済産業省、文部科学省、国交省、防衛省、消防庁、復興庁、環境省、総務省、自治体等が連携し、また産学官民連携によって上記提言を実現し、災害対応ロボットセンターの設立・設置に向けて努力する必要がある。また、デュアルユースの活用も含め、災害対応のための装備の研究開発や調達を促進し、センターの継続的運営が可能となるような事業モデル、制度を構築することが求められる。

また、これらを確実に実現するためにも、来年度以降も、災害対応ロボットセンター設立推進協議会（仮称）の設立を含め、産業競争力懇談会としてその実現を継続して追求すべきである。

9. 参加メンバーリスト

		機関名	氏名	参加WG		
				WG1	WG2	WG3
1	プロジェクトリーダー	東京大学	浅間 一	○	○	○
2	WG1 主査	東北大学	田所 諭	○		
3	WG2 主査	芝浦工業大	油田 信一		○	
4	WG3 主査	日立製作所	秋本 修			○
5	メンバー	新日鐵住金	大石 直樹	○	○	○
6	メンバー	新日鐵住金	高田 亮平	○	○	○
7	メンバー	日本原子力研究開発機構	川妻 伸二	○	○	○
8	メンバー	東芝	久保 智彰	○	○	
9	メンバー	東芝	小川 秀樹		○	
10	メンバー	三菱重工業	大谷 知未			○
11	メンバー	三菱重工業	大西 献		○	○
12	メンバー	三菱重工業	藤田 淳	○		○
13	メンバー	三菱重工業	磯崎 芳史		○	
14	メンバー	三菱重工業	神納 祐一郎	○		
15	メンバー	三菱重工業	見持 圭一	○	○	
16	メンバー	三菱重工業	稲葉 清志	○	○	
17	メンバー	三菱電機	野田 哲男	○	○	
18	メンバー	IHI	山西 晃郎		○	
19	メンバー	IHI建機	千坂 修		○	
20	メンバー	熊谷組	北原 成郎	○	○	○
21	メンバー	熊谷組	松村 修治		○	○
22	メンバー	大林組	大野 耕太郎			○
23	メンバー	大林組	清水 明			○
24	メンバー	大林組	栗生 暢雄		○	
25	メンバー	大林組	清酒 芳夫	○		
26	メンバー	大林組	浜田 耕史			○
27	メンバー	大成建設	立石 洋二		○	
28	メンバー	大成建設	木村 政俊		○	
29	COCN実行委員	鹿島建設	浦嶋 将年			○
30	メンバー	鹿島建設	植木 睦央		○	
31	メンバー	鹿島建設	船迫 俊雄		○	
32	メンバー	鹿島建設	佐藤 康博		○	
33	メンバー	鹿島建設	宮崎 康信	○		
34	メンバー	清水建設	金森 洋史	○		
35	メンバー	竹中工務店	星野 春夫	○		
36	メンバー	竹中工務店	鈴木 稔	○		
37	メンバー	日立建機	江川 栄治	○		○
38	メンバー	日立建機	藤島 一雄		○	
39	メンバー	コマツ	田畑 亜紀	○		
40	メンバー	コマツ	野瀬 松男	○		
41	メンバー	モリタホールディングス	関 修治	○	○	○
42	メンバー	トピー工業	津久井 慎吾	○		
43	メンバー	双日エアロスペース	山口 一郎	○		○
44	メンバー	新日本非破壊検査	和田 秀樹	○	○	
45	メンバー	早稲田大学	岩田 浩康		○	
46	WG3幹事	産業技術総合研究所	神村 明哉	○	○	○
47	WG1幹事	産業技術総合研究所	加藤 晋	○	○	○
48	メンバー	製造科学技術センター	瀬戸屋 英雄	○	○	○
49	メンバー	製造科学技術センター	間野 隆久	○	○	○
50	COCN実行委員	東京大学	有信 睦弘	○	○	○
51	メンバー	東京大学	佐藤 知正		○	

		機関名	氏名	参加WG		
				WG1	WG2	WG3
52	メンバー	東急建設(株)技術研究所	柳原 好孝	○	○	
53	メンバー	東急建設(株)技術研究所	中村 聡	○	○	
54	メンバー	大阪大学	吉瀬 裕		○	
55	メンバー	フジタ	小幡 克実	○		
56	メンバー	フジタ	藤岡 晃	○		
57	メンバー	本田技術研究所	重見 聡史	○		
58	メンバー	本田技術研究所	松本 隆志	○	○	
59	メンバー	湘南工科大	井上 文宏	○	○	
60	メンバー	千代田化工建設	鈴木 裕晶	○		
61	WG2幹事	先端建設技術センター	森下 博之		○	○
62	メンバー	先端建設技術センター	吉田 貴		○	
63	メンバー	日立製作所	谷村 和彦	○	○	
64	メンバー	三菱総合研究所	三治 信一郎		○	
65	メンバー	三菱総合研究所	瀬川 友史		○	
66	メンバー	富士通研究所	神田 真司	○	○	
67	メンバー	長岡技科大学	木村 哲也	○	○	
68	メンバー	土木研究所	藤野健一	○	○	
69	メンバー	土木研究所	茂木正晴		○	
70	メンバー	積水化学工業(株)	宮崎 幸	○		
71	メンバー	アスコ	小阪 健次	○		
72	メンバー	JX日鉱石油エネルギー	宮越 一市	○		
73	メンバー	JX日鉱石油エネルギー	末広 直樹	○		
74	メンバー	エンジニアビジョンRI.	市川 誠		○	
75	メンバー	知能技術	大津 良司	○		
76	メンバー	大阪大学	永妻 忠雄		○	
77	メンバー	NTT	枚田 明彦		○	
78	メンバー	アイコム	櫻井 稔		○	
79	COCN実行委員	コマツ	渡辺 裕司	○	○	○
80	事務局	コマツ	布谷 貞夫	○	○	○
81	事務局	コマツ	本多 滋樹	○	○	○
82	事務局	コマツ	田淵 俊宏	○	○	○
1	COCN小委員・オブザーバー	三菱ケミカルHD	田中 克二	○	○	○
2	オブザーバー	内閣府	藤山 秀章	○	○	○
3	オブザーバー	経済産業省	北島 明文	○	○	○
4	オブザーバー	経済産業省	銘苅 春隆	○	○	○
5	オブザーバー	国土交通省	岩見 吉輝	○	○	○
6	オブザーバー	国土交通省	稲垣 孝	○	○	○
7	オブザーバー	国土交通省	増 竜郎	○	○	○
8	オブザーバー	文科省	清水 乙彦	○	○	○
9	オブザーバー	防衛省	西山 嘉倫	○	○	○
10	オブザーバー	防衛省	南 亜樹	○	○	○
11	オブザーバー	防衛省	勝山 好嗣	○	○	○
12	オブザーバー	防衛省	上村 圭右	○	○	○
13	オブザーバー	防衛省	金子 学	○	○	○
14	オブザーバー	防衛省	大崎 馨	○	○	○
15	オブザーバー	NEDO	真野 敦史	○	○	○
16	オブザーバー	NEDO	川嶋 正	○	○	○
17	オブザーバー	高知県	橋口 欣二	○	○	○
18	オブザーバー	南相馬市	木村 浩之			○
19	オブザーバー	日本ロボット学会	細田 祐司	○	○	○
20	オブザーバー	日本ロボット工業会	富士原 寛	○	○	○

		機関名	氏名	参加WG		
				WG1	WG2	WG3
21	オブザーバー	日本ロボット工業会	濱田 彰一	○	○	○
22	オブザーバー	日本ロボット工業会	畑 能正		○	
23	オブザーバー	日本ロボット工業会	三浦 敏道	○		
24	オブザーバー	総務省	馬場 秀樹		○	
25	オブザーバー	総務省	佐々木 信行		○	
26	オブザーバー	総務省	吉野 哲也		○	

10. 開催状況

全体会議

回	年／月／日	時間	場所	内容
1	2013/6/25	15:00～17:00	東京大学	キックオフミーティング
2	2013/7/23	13:00～17:00	コマツ本社	WGキックオフ
3	2013/11/25	13:00～17:00	東京大学	中間報告全体確認
4	2014/3/27	15:00～17:00	東京大学	最終報告全体確認

WG 1 会議(田所主査)

回	年／月／日	時間	場所	内容
1	2013/7/23	14:30～16:00	コマツ本社	
2	2013/8/6	13:00～15:00	東京大学	
3	2013/8/22	10:00～12:00	コマツ本社	
4	2013/9/10	15:00～17:00	東京大学	
5	2013/10/2	12:30～14:30	コマツ本社	
6	2013/10/9	13:00～15:00	東京大学	
7	2013/11/14	15:00～17:00	東京大学	
8	2013/12/25	10:00～12:00	東京大学	
9	2014/1/14	10:00～12:00	東京大学	
10	2014/1/31	16:00～18:00	東北大学	

WG 2 会議(油田主査)

回	年／月／日	時間	場所	内容
1	2013/7/23	16:00～17:30	コマツ本社	
2	2013/8/6	10:00～12:00	東京大学	
3	2013/8/26	10:00～12:00	東京大学	
4	2013/9/12	15:00～17:00	東京大学	
5	2013/9/24	13:00～15:00	東京大学	
6	2013/10/11	10:00～12:00	東京大学	
7	2013/11/14	10:00～12:00	東京大学	
8	2013/12/13	10:00～12:00	東京大学	
9	2014/1/16	15:00～17:00	東京大学	
10	2014/2/3	15:00～17:00	東京大学	

WG 3 会議(秋本主査)

回	年／月／日	時間	場所	内容
1	2013/7/23	13:00～14:30	コマツ本社	
2	2013/8/6	13:00～15:00	東京大学	
3	2013/8/20	10:00～12:00	東京大学	
4	2013/9/10	13:00～15:00	東京大学	
5	2013/9/24	10:00～12:00	東京大学	
6	2013/10/11	15:00～17:00	東京大学	
7	2013/11/15	13:00～15:00	東京大学	
8	2013/12/13	10:00～12:00	東京大学	
9	2014/1/15	10:00～12:00	東京大学	
10	2014/2/3	13:00～15:00	東京大学	

調査活動

回	年／月／日	参加者	場所	内容
1	2013/10/1	12名	南相馬市	被災地復興状況視察
2	2013/12/2	13名	福井原発	緊急事態支援センター視察
3	2013/12/20	8名	米国フロリダ	DARPAチャレンジ視察

【災害対応ロボットセンター設立構想】

最終報告書

評価WG関連部分 付録表

付録表４－１ 想定災害とロボットの関連細分表（建造物・土木インフラグループ）

想定対象・現場	想定災害・災害種類	被災レベル・被災状況	時間軸（平時、発生直後、72時間以内、復旧）	全国的発生頻度・規模	遂行作業・対応作業	制約条件（環境条件）	ロボット導入の期待される依存比率	ロボット導入の価値	場所・移動環境（詳細）	必要な機能（移動、作業、環境）	現状技術でできること（適用可能なロボットまたは技術）	技術課題（困難を伴うこと）	非技術課題（規制、制約など）	将来展望（今後どの程度で実現するか）	行うべき試験（性能、耐久性、耐環境性など）	評価フィールドへの要求
・建築物 ・木造住宅	地震・竜巻・爆発・突発事故	・倒壊	・平時 ・被災直後 ・被災後数日	頻度：年間数件の発生可能性あり 発生規模：広範囲	・安全通路の確保	・豪雨、暴風などの気象条件（雨量、風速） ・凍結、オーバーヒートなど（気温）	ロボットのみに	人が入りこめない場所や、倒壊危険箇所に人の立ち入りさせない	場所：オフィス街、住宅地 移動環境：瓦礫、風雨、倒木		大型重機による瓦礫撤去	・無人化 ・遠隔操縦	遺失物と廃棄物の判別	<5年> 操作感のフィードバックによる微細作業の実現	・テストフィールドと計測室、クレーン設備 ・フィールド内モニタリング機能 ・ロボット、機器等の現地までの搬送がれきの再現	
		・被災直後 ・被災後数日	・現地状況把握 ・調査、診断、判定		・明るさ ・粉塵、煙による視界不良 ・凍結、オーバーヒートなど（気温） ・落下物	ロボット>>人力	・人よりもロボットが小さく、人が立ち入れない狭い隙間からでも搬入して建物内部を確認できる	・外壁点検ロボット ・床下点検ロボット ・カメラ画像による目視点検 ・増視カメラ、HVカメラ ・3DSキャナ、LRF等による外観比較 ・環境計測（放射能、ガス）ロボット	・ロボット移動（不整地、壁面、天井面、天井裏） ・ロボット設置作業 ・カメラ画像、センサ情報による遠隔操作 ・半自律動作 ・各種センサを組合わせた半自動検査（カメラ、X線、磁気、打音等） ・倒壊手すりモータ多点モニタリング ・IT利用、そのためのIT基盤技術	個人所有宅への立ち入り（所有者不在時）	<3年> ・がれき上、狭隙部、壁面等の移動が可能で、ケーブルレスで操作性に優れた移動ロボット <5年> ・自動地図作成と自律移動 ・画像やセンサデータに基づいた建物健全性の自動判断 <10年> 移動ロボットで外壁や柱の損傷レベルを自動検査（ハンマリング、画像計測等）					
		・週単位 ・月単位	・安全通路の確保 ・補強、応急補修		・不整地、障害物	ロボット＝人力	迅速に復旧可能	・柱補強ロボット ・最速補修方法検索システム	・半自動ロボット	資材、電力・燃料、作業者の確保	<5年> ・重量物ハンドリング	・テストフィールドと計測室、クレーン設備 ・フィールド内モニタリング機能 ・ロボット、機器等の現地までの搬送 ・倒壊、半倒壊構造物の再現（柱、壁、天井、出入口、廊下、階段） ・木造住宅の床下 ・補修に必要な設備、配管 ・剥離、クラック、窓枠等の劣化による落下物の危険性 ・多様な災害廃棄物 ・地震等の発生から判定までの一連の作業を再現 ・IT基盤の整備				
		・月単位 ・年単位	・解体、撤去 ・廃棄物分別		・長期稼働 ・有害物質	ロボット＝人力	危険作業の回避 労働力不足解消	・解体時の粗選別システム ・重機遠隔操作	・大型重機の自動化	遺失物と廃棄物の判別	<3年> 遠隔操作の建機で、がれきを撤去 <5年> アタッチメント自動装着など建物解体性を高めた遠隔操作建機で解体撤去 <10年> ・倒壊、騒音を軽減しながら安全に解体作業を実施					
		・年単位	・復旧・復興		・長期稼働	ロボット＝人力	労働力不足解消	・汚染物除去ロボット ・パワーアシスト	・人とロボットの協調作業	復興計画との協調	<5年> レーザ溶接などを搭載した遠隔建機で、建物柱などを補強 <10年> ・大量の廃棄物を自動処理可能な処理施設					
・地下街、地下室 ・設備、配管	水害・津波	・倒壊 ・一部水没	・被災直後 ・被災後数日	頻度：年間数件の発生可能性あり 発生規模：限定的	・現地状況把握 ・調査、診断、判定	・明るさ ・混濁による視界不良	ロボット>>人力	水没、崩落等で人が立ち入れない箇所	場所：地下街、地下室 建物周辺の道路 移動環境：粉塵、瓦礫、階段、水没 水の流れ有り	・防塵性、防水性、防塵性 ・平時から災害発生までを再現 ・フィールドの正確な座標位置 ・階段昇降、凹凸乗り越え、障害物回避	・赤外線、ソナー ・無人ヘリによる空中センシング ・画像解析による判定 ・ファイバカメラ ・超音波カメラ・水中レーザレーダ	・遠隔操作と組み合わせた半自動ヘリ・（水中）移動ロボットによる調査 ・自己位置推定 ・水陸両用遠隔移動ロボット ・IT利用、そのためのIT基盤技術 ・浸水して瓦礫に埋もれた狭隙部の点検	人命救助作業との統合	<3年> 既存の水中ピークルでの水没エリアの状況把握（出入り口など狭隙部がない箇所に限られる。） <5年> ・自動ヘリ、（水中）自律移動ロボットによる調査 ・画像、センサデータからの建物内部状態の把握 ・建物内の水没状況、損壊状況のモニタリング、マッピング ・水陸両用ピークルで、浸水域を含めた瓦礫周辺でも点検 <10年> 長距離、長時間駆動、潜深度を高める汎用型の水陸両用ピークル	・作業速度 ・作業精度 ・測定精度 ・判定精度 ・アクセシブル性 ・走破性能 ・操作性 ・環境計測 ・耐環境性	・テストフィールドと計測室、クレーン設備 ・フィールド内モニタリング機能 ・ロボット、機器等の現地までの搬送 ・建物が水没した状況 ・地下街が水没した状況 ・IT基盤の整備
		・週単位 ・月単位 ・年単位	・補強、応急補修 ・解体、撤去 ・廃棄物分別		ロボット＝人力		・がれきの撤去、運搬 ・水中バックホウ	・防水性 ・無線操作不能	既存の構造物保護	<3年> 遠隔操作の建機で、がれきを撤去 <5年> 冠水域移動での転倒防止等で、悪条件下での安全性を高めた遠隔建機 <10年> ・大量の廃棄物を遠隔で撤去し、自動で選別処理						
・建築物	火災・噴火	・火災 ・大火 ・全焼 ・半焼	・被災直後	頻度：年間数万件件の発生可能性あり 発生規模：限定的	・火元の特定 ・可燃性ガスの除去	・高温による機器損傷 ・粉塵、煙による視界不良	ロボット>人力	高熱箇所	場所：商業ビル、共同住宅 移動環境：粉塵、煙、ガス漏れ、風雨、降雪 天井からの落下物あり		・カメラ画像、温度、ガス等のセンシング ・赤外線	・耐火性の高い遠隔操作ロボットおよび周辺機器 ・HV画像、センサなどによる内部状況撮影 ・火花を発生しない道具、機器、ロボット ・ミリ波・遠赤外線レーザレーダによる煙中の可視化 ・火元特定などの火災現場検証の半自動化	個人所有宅への立ち入り（所有者不在時）	<10年> ・火災現場で対応できる検査機器を搭載した半自律移動ロボット（遠隔操作） ・移動ロボットを先導させて建物内をモニタし、消防隊員を誘導 ・建物内部を移動しての消火	・テストフィールドと計測室、クレーン設備 ・フィールド内モニタリング機能 ・ロボット、機器等の現地までの搬送 ・火災後の環境や倒壊建物を想定 ・行方不明者の想定 ・可燃性ガスの存在想定	
トンネル	・地震 ・火災 ・爆発 ・天井崩落 ・大規模な車の衝突事故など	・崩落 ・半崩落 ・広範囲な天井落下	被災直後	頻度：年間数件の発生可能性あり 発生規模：限定的	・現地状況の把握（躯体被災状況、障害物状況）	・エンジン内燃機関の制約――引火性ガス発生の可能性 ・無縁の干渉、無縁到達距離の減衰 ・粉塵・煙等による悪視界 ・火災等による高温 ・冬の厳寒	ロボット>>人力	・引火性ガス、有毒ガス発生箇所 ・崩落等の危険箇所	場所：トンネル坑内 移動環境：凹凸大	・状況把握：引火性・有毒ガス検知、現地映像送信、危険箇所モニタリングなど ・崩落、倒壊箇所での移動 ・自己位置認識 ・遠隔操作 ・解体、撤去、精込み、運搬 ・高温、多湿下での稼働	・迅速なロボットの稼働 ・崩落可能性の判断 ・長距離曲線間での遠隔操作	電波法 VDT作業	<5年> ・遠隔操作によるコンクリートや地山等の診断、点検、補強 ・遠隔操作による解体、撤去 <10年> ・崩落土砂運搬作業の自動化	・エリア形状：トンネル型断面×奥行数×m（傾斜） ・光環境：真暗～薄暗 ・境界：ゼロ～クリア ・気流：0m/s～10m/s（奥行方向） ・障害物： ①土砂・舗装・コンクリート系 瓦礫 ②クルマ・付帯設備系 ③泥水 ④ガス		
		被災から数日	・現地状況の把握（躯体被災状況、障害物状況）の撤去		・引火性ガス、有毒ガス発生箇所 ・更なる崩落等の危険箇所	場所：トンネル坑内 移動環境：凹凸大箇所	・人による目視判断 カメラ映像による状況把握 ・3DSキャナ、LRF等による外観認識 ・自己位置認識	・崩落可能性の判断 ・長距離曲線間での遠隔操作	電波法 VDT作業	・本体の耐環境性（温度、湿度、引火性ガス、有毒ガスなど） ・作業性能（探知性能、状況認識性能、障害物除去性能、補修性能など） ・運用性（オペレーションの受容性評価など） ・メンテナンス性 ・施工性 ・作業精度						
橋梁	・地震 ・地すべり・雪崩・落石 ・飛来物衝突 ・水害（豪雨、洪水、津波等による冠水）など	・倒壊 ・半倒壊 ・一部水没	被災直後	頻度：年間数件の発生可能性あり 発生規模：限定的	・現地状況の把握（躯体被災状況、障害物状況）		ロボット>>人力	・倒壊、崩落等の危険箇所	場所：平地部 移動環境：凹凸比較的大、一部浸水	・状況把握：現地映像送信、危険箇所モニタリングなど ・崩落、倒壊、一部水没箇所での移動 ・自己位置認識 ・遠隔操作 ・解体、撤去、精込み、運搬	・迅速なロボットの稼働 ・崩落・倒壊可能性の判断 ・一部水没箇所での移動・作業	電波法 VDT作業	<5年> ・遠隔操作によるコンクリートや地山等の診断、点検、補強 ・遠隔操作による解体、撤去 <10年> ・崩落土砂運搬作業の自動化 ・一部水没下でも稼働できるロボット	・エリア形状：幅10m（両側壁面）×奥行数×m（傾斜） ・光環境：照明～自然光 ・境界：50%～クリア ・気流：0m/s～30m/s（全方向） ・障害物： ①土砂・舗装・コンクリート系 瓦礫 ②付帯設備 ③一部水没		
		被災から数日	・現地状況の把握（障害物（崩落土砂・コンクリート等）の解体、及び撤去		・更なる倒壊、崩落等の危険箇所	場所：平地部 移動環境：凹凸比較的大、一部浸水	・人による目視判断 カメラ映像による状況把握 ・3DSキャナ、LRF等による外観認識 ・自己位置認識	・崩落・倒壊可能性の判断 ・一部水没箇所での移動・作業	電波法 VDT作業							

付録表4－2 試験項目細分表(建造物・土木インフラグループ)

機能分類 ・機能 ・耐環境性 ・耐久性 ・安全性			試験項目	評価		時間軸			対象となるロボット													分類	
				適応範囲・対象・条件 (想定される範囲内で種類や数値、条件等を変えて試験)	評価内容 (計測など)	発生直後	72時間以内	平常時 ・ 復旧	クローラ・車輪	脚式	水陸両用型	飛行型	水面浮上型	ヘビ型	配管内	吸着型	双腕型	リフタ	クレーン	ブローブ	建築	土木	
機能	移動能力	階段・段差の走行	幅、傾斜、踊り場寸法、材質(コンクリート、鋼製)	速度、精度、冗長性、汎用性、操作性、環境性、境界距離・角度、安定性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		柱・壁の昇降	柱寸法、表面材質、亀裂の有無	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、操作性、境界距離・角度、安定性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		天井の移動	材質、凹凸の有無、障害物の有無	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、操作性、境界距離・角度、安定性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		狭所移動	幅、天井高さ、距離、障害物の有無	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、操作性、境界距離・角度、安定性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		飛行移動	広さ、高さ、気象	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、操作性、境界高度、安定性	◎	○	○	○			○			○						○	○		
		水中移動	深さ、障害物の有無、流速、濁度、水圧	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、操作性、境界深度、安定性	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○			○	○	
		登坂能力	角度、床面材質	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、操作性、境界距離・角度、安定性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
		不整地走破	段差の高さ、路面の固さ、がれきの有無	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、操作性、境界距離・角度、安定性	◎	○	○		○	○		○	○	○	○	○	○	○			○	○	
		障害物回避	大きさ、材質、位置	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、操作性安定性	◎	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
		各種ドア通過	ドアの種類	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、操作性、安定性	◎	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
	検出能力	クラック	画像による診断(幅、長さ)	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	◎	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
		剥離・剥落・爆裂	画像、超音波、電磁波レーダ(大きさ、深さ、鉄筋の有無)	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	◎	○	○	◎	○	○	○	○		○	○	○	○			○	○		
		ジャンカ・空洞	打診、電磁波レーダ(大きさ、位置)	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○		
		劣化(中性化や塩害含む)	画像、試薬(大きさ、深さ)	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○		
		強度	シュミットハンマー、サンプル採取(圧縮強度、構造)	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○		
		錆・腐食	画像、打診(大きさ、程度)	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
		破損・破断	画像(大きさ、程度)	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、防錆性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	◎	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
		ガス漏れ検知	ガスセンサ、レーザガス計測	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、環境性、防錆性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	◎	○	○	◎	○	○	○	○	○	○			○			○	○		
	情報統合能力	通信品質	屋内外、中継器の有無、障害物	通信距離、通信速度、通信容量、レスポンス	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		画像データ転送	画質、データ点数	送信レート、解像度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		指向性	無線周波数、アンテナ種類、干渉電波の有無、障害物	電波強度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3次元マップ	複数ロボットセンサデータ統合	マップ精度、マップ作成速度、自己位置推定精度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					○	○		
		情報統合化(IT基盤活用)	複数ロボット対応、情報基盤、各種センサデータ	3Dマップ内センサ位置精度、センサ組込み容易性(組込み開発工数)、センサデータ蓄積、システム拡張性、汎用性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		データ活用	各種センサデータ、各種蓄積データ、各種解析ツール	センサデータ解析結果妥当性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	作業能力	打診	材質(コンクリート、鋼製)、深さ、程度	速度、精度、環境性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
		注入	対象物(コンクリート、地盤)、注入材、注入量	速度、精度、拡張性、環境性、省力化、操作性、安定性、作業時間		○	◎	○	○	○	○					○	○			○	○		
		切断・穴あけ	材質(コンクリート、鋼製)、径、深さ	速度、精度、汎用性、拡張性、環境性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	○	◎	◎	○	○	○	○					○	○			○	○		
		研磨・研削	材質(コンクリート、鋼製)、研磨量	速度、精度、拡張性、環境性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	○	◎	○	○	○	○	○					○	○			○	○		
		交換	対象物(配管、ボルト、支承など)、位置、気象	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、協調性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	○	◎	○	○	○	○						○	○			○	○		
		塗布	塗料、薬剤、アタッチメント(刷毛、ローラ)	速度、精度、冗長性、汎用性、環境性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	○	◎	○	○	○	○	○					○	○			○	○		
		巻き付け	補強材、種類、材質(コンクリート、鋼製)	速度、精度、冗長性、汎用性、環境性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	○	◎	○	○	○	○	○					○	○			○	○		
		吹付け	塗料、材質(コンクリート、鋼製)、厚さ	速度、精度、冗長性、汎用性、環境性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	○	◎	○	○	○	○	○					○	○			○	○		
		障害物移動	重量、寸法、移動距離	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、協調性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
		運搬	重量、寸法、移動距離	速度、精度、冗長性、汎用性、拡張性、協調性、省力化、操作性、境界距離・角度、安定性、作業時間	○	◎	◎	○	○	○	○					○	○	○			○	○	
		吸引	塵埃、液体、濃度、比重	速度、、環境性、省力化、操作性、安定性、作業時間	◎	◎	○		○	○	○	○				○	○			○	○		
		損傷マップ作成	空間の大きさ、複雑さ	速度、精度、汎用性、拡張性、省力化、操作性、、安定性、作業時間		○	◎		○	○	○	○	○				○	○			○	○	
		システム性能	クラック補修効果	散水量(防水性)、耐久性、美観	精度、汎用性、拡張性、環境性、省力化、操作性、安定性		○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○
			巻立て補修効果	強度、耐候性、美観	精度、汎用性、拡張性、環境性、省力化、操作性、安定性			○	◎	○	○	○	○	○				○	○			○	○
	貼付け効果		強度、均一性、耐候性	精度、汎用性、拡張性、環境性、省力化、操作性、安定性			○	◎	○	○	○	○					○	○			○	○	
	接着効果		強度、耐候性	精度、汎用性、拡張性、環境性、省力化、操作性、安定性		○	◎	○	○	○	○					○	○			○	○		
	止水効果		水圧、水量	精度、汎用性、拡張性、環境性、省力化、操作性、安定性		○	◎	○	○	○	○	○					○	○			○	○	
	配管補修効果		圧力、流量、耐久性	精度、汎用性、拡張性、環境性、省力化、操作性、安定性		○	◎	○	○	○	○					○	○	○			○	○	
	運用	遠隔操作インターフェイス	種類(ジョイスティック、マウス、キーボード、押しボタン、タッチパネル、音声認識)	速度(通信系)、精度、操作性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○
		遠隔操作支援情報	環境情報(画像、音、地図)、ロボット動作の力覚フィードバック	速度(通信系)、精度、操作性、安定性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎					○	○	
		遠隔操作支援機能	ティーチングブレイバック、バイラテラル制御 地図上での軌道生成	速度、精度、拡張性、操作性、作業時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎					○	○		
		警報・警告	種類(表示、アラーム、振動、インターロック)	拡張性、安定性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
		起動時間	ロボットの組立、設置、起動までの時間	作業時間	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
		メンテ工数	センサ、工具、消耗品等の更换、充電時間	汎用性、操作性、作業時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
		稼動時間	消費電力、バッテリーによる駆動時間	作業時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
		運搬形態	可搬性、ケーブルレス	操作性、作業時間	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				○	○		
	安全機能	テレメトリ(機器状態把握)	システムレベルおよびコンポーネンツレベル故障診断	速度(通信系)、精度、冗長性、操作性、安定性	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		モニタリング(周囲状況把握)	障害物、(落下などの)危険箇所認知、人体検知	速度(通信系)、冗長性、境界距離・角度、安定性	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		安定性(耐転倒・滑落性能)	静止時、移動時、作業時、電源ダウン時	境界距離・角度、安定性	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		異常対応(緊急停止)	電源ダウン、通信ダウン、過負荷、衝撃・落下、超IP性能環境	速度(制御系)、冗長性、制御性	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		周囲環境への負荷	光学障害、通信障害、EMC(誤動作誘発)	速度(通信・制御系)、冗長性、制御性	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	耐環境性	粉塵・煙	濃度、視界	速度、精度、汎用性、操作性、安定性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
蒸気・多湿		温度、湿度	速度、精度、汎用性、操作性、安定性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
高温、低温		温度	速度、精度、汎用性、操作性、安定性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
水中(難視界含む)		防水性、耐水性、水温、濁度	速度、精度、汎用性、操作性、境界距離・角度、安定性	○	○	○	○		○														

付録表 4－3 想定災害とロボットとの関連細分表（水害・土砂崩れグループ）

想定対象・現場	想定災害・災害種類	被災レベル・被災状況	時間軸(平時、発生直後、72時間以内、復旧)	頻度・タイミング	遂行作業・対応作業	制約条件	ロボット導入の期待される依存比率	ロボット導入の価値	場所・移動環境(詳細)	必要な機能(移動、作業、環境)	現状技術でできること(適用可能ロボットまたは技術)	技術課題(困難を伴うこと)	非技術課題(規制、制約など)	社会普及の展望	行うべき試験(性能、耐久性、耐環境性など)	評価フィールドへの要求	
河川、港湾、水深の浅い海 (水中または水面)	水害 (大雨による河川の氾濫) (水中または水面)	行方不明者の発生 (川の中心に取り残された人、冠水道路で今にも流されそうな人、流されて行方がわからない人) 瓦礫等の流出、堆積	発生直後または72時間以内	年に数件	水面・水中を移動	・水が濁っているor泥水 ・瓦礫等が流れているor浮かんでいる ・流れが速い	ロボット>人	・視界不良、瓦礫が浮遊する中で生存者探索 ・寒季での探索 ・スピーディでより安全に生存者の探索を行うことが可能(救命率の向上)	・河川、港湾、水深の浅い海(水面～水深数十m程度) ・濁っている水or泥水 ・瓦礫が流れているor浮かんでいる	・障害物の除去or回避 ・人を検知(認識) ・車を検知(認識)(車内に取り残された人想定) ・迅速な準備、現場への接近(車はつかえない事を想定) ・人を傷つせず浮上させる ・足場の悪い(瓦礫、泥)アプローチでの人・物資の迅速な移動 ・荷物の最小化 ・冠水下の道路の安全な移動(状況把握(マンホール、障害物)、水陸両用移動機構)	[水面移動ロボット] ・ソナーにより水中の状況を高速広範囲に探索。大型ラジコン船で実現可能。 [水中探索ロボット] ・Anchor Diver(東工大など) ・RTV(三井造船) ・seamor-ROV(米Seamor Marine) ・SARobot(米SeaBotix) [適用可能技術] ・超音波(ソナー)、カメラ、サーモグラフィ ・体温感知(サーモカメラ/温感センサ) ・GPS ・モバイル通信による探索結果の司令部への報告 ・救助索を発射する銃(火薬は使い勝手が悪い)	・流れのある中での姿勢制御 ・流水・濁水中における瓦礫除去等のハンドリング ・ケーブルが絡まる ・水中の障害物の認識、効率的な探索経路計画 ・視界が悪い状態でのセンシング ・水中での体温検知 ・音波の場合、周囲環境によってはゴーストが発生し、実状況が上手く把握出来ない。 ・ソナーリーディング自体が難しい技術であり訓練が必要		・複数台のロボットが自律航行(＋協調)して生存者を探索(今後5年)	・移動試験 姿勢保持性能評価 操作性評価 ・瓦礫のハンドリング試験 操縦性((絡まった)ロープ切断、(目印ブイ用の)ロープ取り付け) ・水中の模擬的なバイタルサイン(心拍・体温)を備えた人形を検知 ・センサリーディング(探索対象物の標準化)	・河川、港湾または海 ・模範瓦礫 ・大型の水槽 ・小型で安価な流れのある水槽。流れの状況の標準化必要(NIST/ASTMで一部検討中) ・河川、港湾または海 ・大型の水槽(車を沈められる大きさ)	
					生存者の探索	・水が濁っているor泥水 ・瓦礫が流れているor積み上がっている ・厳しい時間的制約(生存者救助は数分～20分(子供の場合)以内に救助要)											ロボット>人
					救助補助	・生存者を傷つけない瓦礫等の除去(ダイバーの補助) ・潜水時の共同作業でダイバーを傷つけない ・アプローチでの足場が悪い ・限られたロジスティック能力 ・道路の冠水											ロボット>人
			復旧時	・川底、海底の現状調査	・水が濁っている	ロボット>人	・視界不良の中でのソナー等を使った探索 ・潜水士等より効率的な探索が可能	・河川、港湾、水深の浅い海(水深数十m程度) ・水が濁っている	・川底、海底等に沈む瓦礫や障害物の検知 ・位置計測	[水中探索ロボット] 上記 水中探索ロボットと同じ	・視界が悪い状態でのセンシング		・自律航行して河底・海底等に沈む瓦礫や障害物の検知(今後3年)	・センシング評価試験(濁り水の標準化)	・河川、港湾または海(・実際の被災地)		
・山間部および麓	土砂崩れ (土砂崩れによる家屋の倒壊)	家屋の半倒壊または倒壊	72時間以内(河川の増水や氾濫が小康状態になった後)	年に数十件	現状調査	・道路の亀裂、地滑りが発生し、被災地に近づけない(地上からのアクセスは困難) ・強風 ・雨、雪	ロボットのみ	・人が入れない場所、有人機飛行禁止エリアの調査 ・シビリアリティのより正確な判断が可能	・災害現場上空 ・雨、風	被災状況の把握 ・空中撮影 ・空中カメラ中継 ・撮影位置把握(GPS) ・本部への報告	[飛行ロボット] ・T-Hawk(米ハネウェル) ・各種クワッドローター [適用可能技術] ・カメラ	・自律安定飛行(特に強風下) ・雨、雪による移動能力低下、センサ能力低下	UAV飛行の航空法上の認証(東日本大震災や原発事故に際しては、ごく限られた活動しかできなかった)	・自律飛行して被災状況を把握し、情報(映像、被災場所)を本部へ送信(今後3年)	・飛行試験(迅速性、安定性、再現性(同じ場所に飛れるか)) ・移動中の画像センサ能力(広さ、分解能)	・通常の山間部や都市部 ・模擬環境(雨雪交じりの強風)	
					瓦礫を移動	・瓦礫や流木等の山足場が悪く不安定	ロボットのみ	・人が入り込めない狭隙部の探索 ・足場が悪く人が立ち入れない所の探索 ・スピーディでより安全に生存者の探索を行うことが可能(救命率の向上)	・倒壊家屋現場 ・瓦礫・流木が堆積した不安定な足場 ・泥が堆積した軟弱な足場	・走破性 ・隙間をくぐり抜ける ・瓦礫を除去 ・瓦礫を破壊して内部に侵入	[瓦礫内の探索ロボット] ・IRS着竜(東工大) ・MOIRA(阪大) [瓦礫上の探索ロボット] ・クインス(千葉工大、IRS他) [適用可能技術] ・カメラ ・体温感知(サーモカメラ/温感センサ) ・匂い?(災害救助犬の能力) ・CO2センサ(狭い閉鎖空間で特に有効) ・電波での探索(シリウス) ・チェーンソー、削岩機、カッター ・マイクロフォンアレイ	・自身の安定度を検知・確保する機能(傾斜・滑り) ・操縦性またはそれを補う自律性 ・泥地移動	・複数台のロボットが自律走行(＋協調)して生存者を探索(今後5年)	・移動試験 姿勢保持性能評価 操作性評価 泥汚れ状況での評価(泥の標準化必要) ・瓦礫のハンドリング試験 操縦性 ・瓦礫内の模擬的なバイタルサイン(音声・心拍・体温・呼吸)＋臭いを備えた人形を検知 ・検出範囲(部位、体温、距離)を評価 ・泥汚れ時のセンサ能力・リカバリ能力(泥の標準化必要)	・模擬瓦礫(倒壊家屋、流木、沼地) ・木造倒壊家屋想定フィールドをロボカップ日本大会で運用、NIST/ASTMに提案中		
					生存者の探索	・生存者を傷つけない手段 ・泥		・人を検知(認識) ・声の認識	・障害物越しに検知する機能 ・土砂内人体センシング								
					救助補助	・生存者を傷つけない除去(人力に近い) ・レスキュー隊員を傷つけない(2次倒壊、釘、使用工具(チェーンソーのキックバック))	ロボット>人	・救助者の肉体的負担の軽減 ・救助活動の安全性向上	・災害現場上空	被災状況の把握 ・空中撮影 ・空中カメラ中継 ・撮影位置把握(GPS) ・本部への報告	[バードスーツ] ・HAL:Hybrid Assistive Limb(サイバーダイン) ・各種ジャッキ ・ケブラー性手袋 ・デュアルソー	・降雨に対する防水性能 ・動作時間(電源)の確保 ・瓦礫より下部に加重をかけずにハンドリング ・狭い場所での作業					
	土砂崩れ (土砂崩れにより、道路等のインフラ崩壊)	土砂や瓦礫の堆積 土砂ダムの生成	緊急対策工事	土砂崩れは年に数十件 土砂ダムは数十年に一件	現状調査	・道路の亀裂、地滑りが発生し、被災地に近づけない(地上からのアクセスは困難) ・強風 ・雨、雪	ロボットのみ	・人が入れない場所、有人機飛行禁止エリアの調査 ・シビリアリティのより正確な判断が可能	・災害現場上空 ・雨、風	被災状況の把握 ・空中撮影 ・空中カメラ中継 ・撮影位置把握(GPS) ・本部への報告	[飛行ロボット] 上記飛行ロボットと同じ	・自律安定飛行(特に強風下) ・雨、雪による移動能力低下、センサ能力低下	UAV飛行の航空法上の認証	・自律飛行して被災状況を把握し、情報(映像、被災場所)を本部へ送信(今後3年)	・飛行試験(迅速性、安定性、再現性(同じ場所に飛れるか)) ・移動中の画像センサ能力(広さ、分解能)	・通常の山間部や都市部 ・模擬環境(雨雪交じりの強風)	
					走行路の確保、障害物(土砂・瓦礫・雪)の除去	・足場が悪い(瓦礫等) ・危険作業のため、搭乗操作できない ・低温、降雪	ロボット>人	・二次崩落が懸念される現場での緊急対策工事が可能 ・重機オペレータの安全確保	・土砂崩れ現場 ・瓦礫・流木が堆積した不安定な足場 ・泥が堆積した軟弱な足場	・安全な場所から遠隔操作 ・足場の悪いところ(土砂、流木等)を走行 ・瓦礫、流木等を除去 ・測量 ・トラフィカビリティの測定 ・二次崩落予測のための計器設置 ・軽量化または空輸可能な重量に分解可能なこと	[無人化施工建機] ・油圧ショベル(UAV、UGVで補助カメラ設置) ・GPS付UAV ・加速度センサー	・搭乗操作と比べ、作業効率が大きく低下 ・安定性確保(自律安定化) ・無線周波数帯の用途別割り当て(通信の集中回避) ・通信障害の回避(回り込みの確保) ・空輸能力のUP(分解の必要無ければ組立時間短縮) ・基地局立上げ時間の短縮	・災害用ホワイトスペースの確保 ・特殊運転技能を有するオペレータの継続的雇用	・スタンドアロンでの周辺空間認識機能(今後5年) ・走行時の安定性評価 ・不安定な足場での作業性評価(不安定状況の標準化:傾度、形状、地面剛性、材質)(作業の標準化必要) ・操作性(作業の標準化必要) ・通信距離と通信障害に対する安定性(森林中での通信)	・模擬瓦礫等の不安定足場(不整地) ・泥地等の軟弱足場 ・見通しがきかない(立木や建屋等通信上の障害物がある)場所 ・長距離通信(過去の崩落規模より決定)		
								・安全な場所から遠隔操作 ・足場の悪いところ(土砂、流木等)を走行 ・瓦礫等を運搬		[無人化施工建機] ・クローラードンプ	・陸上、河川及び水深の浅い海岸での走行(水陸両用運搬車両が必要)						
										[飛行ロボット] ・無人ヘリ RMAX(ヤマハ) [適用可能技術] ・航空レーザー測量		・樹林に覆われた山間地の地形計測(植生の影響)	UAV飛行の航空法上の認証	・自律飛行して被災現場の地形を計測(今後3年)	・飛行試験(迅速性、安定性、再現性(同じ場所に飛れるか))	・通常の山間部や都市部 ・模擬環境(雨雪交じりの強風)	
		土砂の堆積	復旧工事	土砂崩れは年に数十件 土砂ダムは数十年に一件 土砂・雪の除去・整地	地形調査	・二次災害の危険があり、被災現場に人が近づけない ・ご遺体が土砂に混在の可能性あり	ロボット>人	・人が入れない場所、有人機飛行禁止エリアの調査 ・シビリアリティのより正確な判断が可能	・災害現場上空	・地形計測	[飛行ロボット] ・無人ヘリ RMAX(ヤマハ) [適用可能技術] ・航空レーザー測量			災害用ホワイトスペースの確保	・搭乗操作並みの作業効率(今後5年)	・作業効率評価 ・操作性評価 ・先行技術の事前検証 ・混在のご遺体の確認能力(土砂と混在のご遺体の標準化) ・通信距離と通信障害に対する安定性(森林中での通信)	・実際の災害現場を利用(試験フィールド制度等) ・模擬現場と遠隔操縦室 ・混在のご遺体の確認能力(土砂と混在のご遺体の標準化) ・通信距離と通信障害に対する安定性(森林中での通信)
						ロボット>人	・二次崩落が懸念される現場での復旧工事が可能 ・重機オペレータの安全確保	・広い範囲で土砂が崩落した斜面 ・広い範囲に土砂が堆積した麓域	・安全な場所から遠隔操作 ・掘削、整地 ・二次崩落の監視 ・掘削土砂内のご遺体の確認 ・空輸可能な重量に分解可能なこと	[無人化施工建機] ・ダンプ ・油圧ショベル ・ブルドーザ [適用可能技術] ・マシンガイダンス/マシンコントロール ・画像処理	・搭乗操作と比べ、作業効率が低下 ・確認のための作業効率低下 ・無線周波数帯の用途別割り当て(通信の集中回避) ・通信障害の回避(回り込みの確保) ・空輸能力のUP(分解の必要無ければ組立時間短縮)						
								・安全な場所から遠隔操作 ・土砂の運搬		[無人化施工建機] ・クローラードンプ	・陸上、河川及び水深の浅い海岸での走行(水陸両用運搬車両が必要)						

付録表 4－4 試験項目細分表（水害・土砂崩れグループ）

機能分類 ・機能 ・耐環境性 ・耐久性 ・安全性		試験項目	評価		時間軸				対象となるロボット					
			適応範囲・対象・条件 （想定される範囲内で種類や数値、条件等を変えて試験）	評価内容 （計測など）	発生直後	72時間以内	復旧	平常時	飛行型	水面浮上型	水中型	ヘビ型	水陸両用型	クローラ・車輪型
機能	移動能力	空中を移動	天候（風速・降雨・降雪・照度） 障害物（立木・架空線・高架橋等構造物）	速度・位置決め・ホバリングの安定性・飛行時間・操縦性 衝突回避・通信距離・防水性	◎	○	○	○	◎					
		水面を移動	流水（流速・濁度・照度） 障害物（流木・車両） 被災者	速度・位置決め・姿勢保持時間・航行時間・操縦性 衝突回避・耐衝撃性能・通信距離・防水性	○	◎	○	○		◎		○	○	
		水中を移動	水深（水圧・照度） 流水（流速・濁度） 障害物（流木・車両）	耐水性 速度・位置決め・停止性・航行時間・操縦性 衝突回避または耐衝撃性能・通信距離・防水性	○	◎	○	○			◎	○	○	
		斜面の移動	勾配・照度 地盤支持力 障害物（立木・倒木・転石・瓦礫・段差）	速度・進入角度・転倒角・滑り量・走行時間・操縦性 衝突回避・乗越え高さ・通信距離・防水性	○	◎	○	○				○	○	◎
		瓦礫上の移動	勾配・高さ・照度 瓦礫種別（コンガラ・木材） 通信障害（瓦礫）	速度・姿勢保持（踏み抜き回避）・走行時間・操縦性 乗越え高さ・通信距離・防水性 瓦礫下部の人に掛かる荷重	○	◎	○					○	○	◎
		泥濘上の移動	勾配 地盤支持力 障害物（立木・倒木・転石・瓦礫・段差）	速度・姿勢保持（接地圧）・走行時間・操縦性 衝突回避・乗越え高さ・通信距離・防水性	○	◎	○					○	○	◎
	検出能力	人の体温	天候（風速または流速・降雨・降雪・気温または水温）	検知時間・検知距離・検知範囲・最小検知レベル	○	◎			○	○	○	○	○	○
		人の呼吸音・声	天候（風速または流速・降雨・降雪） 暗騒音	検知時間・検知距離・検知範囲・最小検知レベル	○	◎						○	○	○
		人の鼓動	天候（風速または流速・降雨・降雪） 暗騒音・暗振動	検知時間・検知距離・検知範囲・最小検知レベル	○	◎			○	○	○	○	○	○
		人の動き	天候（風速・降雨・降雪） 照度・濁度	検知時間・検知距離・検知範囲・最小検知レベル	○	◎			○	○	○	○	○	○
		人の臭い	天候（風速または流速）	検知時間・検知距離・検知範囲・最小検知レベル	○	◎	○			○	○	○	○	○
		位置	天候（降雨・降雪） 上空障害物（立木・瓦礫・高架橋等構造物） 水深・濁度	検知時間・検知距離・検知範囲・精度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		地形測量	天候（降雨・降雪） 水深・濁度	検知時間・停止の必要性・検知距離・検知範囲・精度	◎	○	○	○	◎	○	○	○	○	○
		障害物検知	大きさ	検知時間・検知距離・検知範囲・精度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		画像	天候（降雨・降雪） 水深・濁度・照度	視認距離・視野角・表示性能（分解能・色判別・空間認知） 亀裂の認識・濁りの認識	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		音	暗騒音	検知時間・検知距離・検知範囲・最小検知レベル 落石音の認識	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	◎
		触力覚	天候（降雨・降雪・風速または流速） かたさ	検知時間・検知距離・検知範囲・対象物の判定	○	○	○	○		○	○	○	○	○
		トラフィカビリティ	コーン指数	測定時間・精度	○	○	◎					○	○	◎
	情報統合能力	3Dデータ作成	天候（降雨・降雪・風速または流速）	精度・再現性・データの汎用性	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	◎
	作業能力	被災者救出	地上・瓦礫下・水面（流速）・水中（流速・水深）	救出時間・被災者へのダメージ・操縦性 運搬（牽引）重量	○	◎	○		○	○	○	○	○	○
		障害物ハンドリング	形状・性状・重量・数・障害物の姿勢（瓦礫・土砂・車両） 風速・流速	撤去時間・揚重重量・操縦性	○	◎	○			○	○	○	○	○
		障害物の加工	材質（木材・コンクリート・金属）・形状・硬さ	切断時間・切断可能な厚み	○	◎				○	○	○	○	
		堆積物の除去	瓦礫・土砂	除去能力（ton/h）・操作の容易性		◎	○						○	○
		掘削・地盤成形	土砂・コンクリート・築堤材料	出来高（作業量）・出来形（精度）			◎	○						◎
	運用	輸送形態		輸送手段・分割最大重量	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		起動時間		組立時間・調整時間	○	○			○	○	○	○	○	○
		稼動時間		稼動時間	○	○			○	○	○	○	○	○
		充電時間・燃料供給時間		充電時間・予備バッテリー交換時間・燃料供給時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		メンテ工数		メンテ時間・消耗品交換頻度・予備品供給能力			○	○	○	○	○	○	○	○
		訓練に必要な時間		訓練に要する時間			○	○	○	○	○	○	○	○
	安全機能	安全装置		過負荷時の停止及び再起動	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		巻き込まれ・挟まれ防止	人との共存作業時	接近警報・接近時の停止・回転部のカバー	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	耐環境性	温度（気温・水温）		作動可能な温度領域	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		湿度		結露の有無	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		防塵		内部への粉じん侵入の有無	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		耐水	降雨量・降雨角度・水深	内部への水分侵入の有無	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		耐雷		規格値	○	○	○		○	○	○	○	○	○
		EMC		規格値	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		通信障害・距離	通信障害（立木・構造物地形・降雨・降雪・霧・漂流物・濁度）・距離	スループット・パケットエラー率 有線はケーブル長・巻取り機能・ひっかかりの解除	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	耐久性	連続運転	規定負荷・規定動作の繰り返し	一定時間での摩耗・劣化・故障	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		振動	運搬時に想定される最大の振動	一定時間での故障・破損	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		衝撃	規定回数、規定高さからの落下	一定回数での故障・破損	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	安全性	通信遮断時の動作		暴走しないこと・再接続時の起動・不時着機能	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	○
		絶縁	規定電圧	規定値以上の絶縁抵抗	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		非常停止		独立性・優先性・再起動条件	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

付録表 4－5 想定災害とロボットとの関連細分表（テロ・CBRN災害グループ）

想定対象・現場	想定災害・災害種類	被災レベル・被災状況	時間軸(平時, 発生直後, 72時間以内, 復旧)	頻度・タイミング	遂行作業・対応作業	制約条件	ロボット導入の期待	ロボット導入の価値	場所・移動環境(詳細)	必要な機能(移動、作業、環境)	現状技術でできること(適用可能ロボットまたは技術)	技術課題(困難を伴うこと)	非技術課題(規制, 制約など)	将来展望(今後どの程度で実現するか)	行うべき試験(性能, 耐久性, 耐環境性など)	評価フィールドへの要求
公共建屋内部 (地下街を含む)	化学剤攻撃(C) 生物剤攻撃(B)	死者・被害者多数	発生時	非常に稀	被害情報の収集・生存者/周囲状況救助	汚染環境(化学剤/生物剤) 狭隘部通過 煙/暗闇	100%	汚染環境下での運用	建屋内 ・階段/段差 ・斜面 ・エレベーター ・ドア(改札)	【移動】 ・左記移動環境の移動 【作業】 ・動画送信 ・化学剤検知/サンプル収集 ・試薬散布/液拭き取り ・重量物運搬 【環境】 ・防爆/防水/煙/暗闇	クローラロボ	複雑な障害物 自律運用 空中ロボ運用	安全規格 無線免許 航空法	人間と同等の移動/作業	移動能力 遠隔操作 耐環境能力	移動能力評価 非見通し区画からの操作 検知/サンプル収集 耐環境能力評価
			数日間		環境情報収集救助 除染作業		50~80%									
			復旧		環境情報収集 ライフライン復旧		50~80%									
	放射線攻撃(R) 核攻撃(N)	死者・被害者多数	発生時		被害情報の収集・生存者/周囲状況救助	汚染環境(放射線) 狭隘部通過 煙/暗闇	100%	危険作業代行		【移動】 ・左記移動環境の移動 【作業】 ・動画送信 ・放射線検知 ・瓦礫除去 ・重量物運搬 【環境】 ・防爆/防水/煙/暗闇						
			数日間		環境情報収集救助 除染作業		80~100%									
			復旧		環境情報収集 除染作業 ライフライン復旧		80~100%									
	爆発物攻撃(E)	死者・被害者多数	発生時		被害情報の収集・生存者/周囲状況救助	危険環境(爆発物) 狭隘部通過 煙/暗闇	80~100%			【移動】 ・左記移動環境の移動 【作業】 ・動画送信 ・瓦礫除去 ・重量物運搬 【環境】 ・防爆/防水/煙/暗闇						
			数日間		環境情報収集救助		30~50%									
			復旧		環境情報収集 ライフライン復旧		30~50%									
	CBRN(E)攻撃(テロ)を未然に察知・不発	なし	平時・発生時	周囲状況の収集 不審物の識別・処理	危険環境(CBRN(E)) 狭隘部通過 煙/暗闇	80~100%		【移動】 ・左記移動環境の移動 【作業】 ・動画送信 ・瓦礫除去 ・サンプル収集 ・重量物運搬 ・破壊処理(起爆装置) ・防爆/防水/煙/暗闇								

付録表 4－6 試験項目細分表（テロ・C B R N災害グループ）

機能分類 ・機能 ・耐環境性 ・耐久性	試験項目	評価		時間軸			象となるロボ		
		適応範囲・対象・条件 (想定される範囲内で種類や数値、条件等を変えて試験)	評価内容 (計測など)	発生直後	数日間 ～復旧	平常時	クローラ・車輪	飛行型	水中型
機能	移動能力	階段/エスカレータ昇降	形状(直線、踊り場、らせん、手すり有無、幅、高さ)、踏面材質(コンクリート、縞鋼板、グレーチング、反射率)、悪条件(錆、水濡れ、油ぬめり、堆積物)	速度、操縦の容易性	○	○	○	○	
		段差、堰の通過	形状(高さ、奥行、幅、段数)、踏面材質(コンクリート縞鋼板、グレーチング、反射率)、悪条件(錆、水濡れ、油ぬめり、堆積物)	荷重の大きさ、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	
		斜面通過	形状(斜度、長さ)、踏面材質(コンクリート縞鋼板、グレーチング、反射率)、悪条件(錆、水濡れ、油ぬめり、堆積物)、移動向き(真直ぐ、トラバース)	荷重の大きさ、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	
		穴ぼこ通過、回避 (ピット等のフタ外れ等)	形状(面積、深さ)、周囲の障害物	発見能力、回避能力、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	
		エレベータでの昇降	ボタン押下	速度、操縦の容易性	○	○	○	○	
		穴ぼこ通過、回避 (ピット等のフタ外れ等)	形状(面積、深さ)、周囲の障害物	発見能力、回避能力、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	
		水たまり通過、回避	場所(屋内、屋外)、対象(清水、泥水)、水深	発見能力、回避能力、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	
		砂利路面移動	砂利密度	速度、操縦の容易性、砂利の掘れ深さ	○	○	○	○	
		グレーチング上移動	ピッチ、剛性違い、欠落部有無(穴ぼこ)	速度、操縦の容易性	○	○	○	○	
		狭隘部通過(正常状態)	隙間の広さ、障害物反射率	速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○
		ドア通過	種類(押し戸、引き戸、スライド、重さ、反力の有無)、ドアノブ回し、開錠	速度、操縦の容易性	○	○	○	○	
		マンホール通過	種類(垂直、水平、扉付)、形状(径、奥行)、取付高さ	速度、操縦の容易性	○	○	○	○	
		ガレキ上移動	ガレキの大きさ、密度、重なり具合、グラつき度	転倒の有無、速度、操縦の容易性	○	○		○	
		ガレキ内隙間通過	隙間の大きさ、形状	速度、操縦の容易性	○	○			
		狭隘部通過(倒壊状態)	隙間の大きさ、形状	速度、操縦の容易性	○	○		○	○
		移動障害物除去(押しのけ)	障害物の大きさ、重さ、形状、密度、重なり具合	速度、操縦の容易性	○	○		○	
		転倒	転倒場所(平地、階段)、地面硬さ	転倒で故障しないか、転倒時の飛散状況	○	○	○	○	
		落下	落下高さ、地面硬さ	落下で故障しないか、落下時の飛散状況	○	○	○	○	○
		広範囲自律移動	建屋内	自己位置推定精度、経路生成能力、マップ生成や指示工数		○	○	○	○
		走行台車への乗降	走行台車の傾斜、周囲の障害物	時間	○			○	○
		走行台車上での安定性	走行台車が斜面や段差を走行	走行振動で落下、転倒しないか	○			○	○
	検出能力	有害物質検知(G/R/N/(E))	有害物質種類、悪条件(風)	検知	○	○	○	○	○
		画像(転送と処理)	種類(腐食や亀裂、変形、液漏れ箇所、気体漏れ箇所等)、利用波長(可視光、可視光外)、悪条件(逆光、暗闇)	表示性能(分解能、ズーム、色による判別)、異常発見正解率	○	○	○	○	○
		温度検出	場所(配管、タンク等)、接触&非接触(サーモグラフィ)、測定位置	測定精度	○	○	○	○	○
		距離測定	種類(障害物、水深、水位)、向き(上下、左右、前後)	測定精度、時間、操縦の容易性	○	○	○	○	○
	情報統合能力	3Dデータ作成	移動を伴うデータ統合、複数ロボットデータ統合	自己位置推定精度	○	○	○	○	○
		現場モニタリング	複数ロボット位置、対象物位置	自己位置推定精度	○	○	○	○	○
	作業能力	SW操作	種類(プッシュ)、取付位置	時間、操縦の容易性	○	○		○	
		収納扉開閉	ドアノブ種類、取付位置、周囲の障害物	時間、操縦の容易性	○	○		○	
		ピック&プレイス	目的(ガレキ除去、無線機設置、不特定対象物か)、種類(重さ、大きさ、形状、密度、重なり具合)、対象物の位置、周囲の障害物	時間、操縦の容易性	○	○		○	○
		切断、穴あけ	種類(配線、ワイヤ、鉄筋、木材)、工具使用(電動ドリル、電動のこぎり)、切断場所、周囲の障害物	時間、操縦の容易性	○	○		○	○
		検査物質収集(C/B// (E))	有害物質種類、悪条件(風)	時間、操縦の容易性	○	○		○	○
		検査試薬の塗布、ブロー	種類(粉、液体)、塗布位置、周囲の障害物	その後の検査に十分な能力か、時間、操縦の容易性			○	○	
		液漏れ等の拭き取り	拭き取り対象の位置、周囲の障害物	拭き取り能力(残渣)、時間、操縦の容易性			○	○	
		汚染原・不審物対処	有毒物質の密閉、起爆装置(信管等)の破壊	安全性、操縦の容易性、確実性	○	○	○	○	○
		重量物運搬	種類(重量、サイズ、形状、固形か変形物)	搭載安定性、運搬時の移動制約(速度、空間)			○	○	
		起動に必要な時間	起動時間	時間、必要人数	○			○	○
	運用	稼働時間	動作パターンを規定	時間	○	○	○	○	○
		充電時間	充電時間	時間	○	○	○	○	○
		メンテ工数	センサ、工具、消耗品等の交換	時間、必要人数			○	○	○
		除染	高圧洗浄、流水、拭き取り、部品交換等	容易性、時間(被ばく量)、必要人数			○	○	○
		遠隔操作	建屋内、市街地、複数ロボット指揮統制	同時操作ロボット数、操作容易性	○	○	○	○	○
		訓練に必要な時間	操作訓練	時間			○	○	○
	安全性	防振	爆発物への接近	振動により爆発しない	○	○	○	○	
		作業安全性	人の接近	人の検知、人の回避	○	○	○	○	○
		自律運用	ネットワーク切断	フェールセーフ	○	○	○	○	○
耐環境性		粉塵、煙、蒸気		機能に影響のない濃度	○			○	○
		暗闇		機能への影響の有無	○	○		○	○
		高温、低温	稼働、保管、起動	許容範囲	○	○	○	○	○
		防水		規格値	○	○	○	○	○
		防爆		規格値	○	○	○	○	○
		耐放性	瞬時、累積	許容範囲	○	○	○	○	○
		耐放射線	稼働、保管、起動	許容範囲	○	○	○	○	○
		耐雷		規格値	○	○	○	○	
		EMC		規格値	○	○	○	○	○
		通信切れ、通信量制約		機能に影響ない遮断頻度、最低必要通信量、デューティ	○	○	○	○	○
		風		機能に影響のない範囲	○	○	○	○	
耐久性		連続、繰り返し稼働	動作パターンを規定	一定時間での摩耗、劣化、故障	○	○	○	○	○
		運搬	運搬時のGパターンを規定	一定時間での摩耗、劣化、故障	○	○	○	○	○

付録表 4－7 想定災害とロボットとの関連細分表（原子カグループ）

制約条件	ロボット導入の期待	ロボット導入の価値	場所・移動環境（詳細）	必要な機能（必要、作業、環境）	現状技術でできること（適用可能ロボットまたは技術）	技術課題（困難を伴うこと）	非技術課題（規制、制約など）	将来展望（今後どの程度で実現するか）	行うべき試験(性能、耐久性、耐環境性など)	評価フィールドへの要求
作業環境が放射線環境であること	放射線環境下での作業は完全無人化が理想である	作業者（調査者）の安全確保	被災プラント近傍の上空、陸上、水中	上空への移動	遠隔操作基地～観測地点が遠くない（数百m未満）場合は、無人航空機により基本的にはミッション遂行が可能。	遠隔操作基地～観測地点が離れている（数百m以上）場合、飛行時間、通信による情報伝達量の確保が困難となる。	【無人航空機/飛行ロボットに関して】 運用に関する法律/ルールが未整備である。 【通信に関して】 電波法により帯域や出力が規制されている。（無人化施工機械と同様に、災害対応ロボット専用の無線局免許、無線従事者免許の許可申請が前もって必要である。）	【3年以内】 ・原子炉格納容器より外側の各種機器へのアクセスと各種施工の無人化実現 ・数百m未満の距離からの各種遠隔操作 【5年以内】 ・原子炉格納容器内部に対する施工の無人化実現 ・数km未満の距離からの各種遠隔操作	移動精度、速度、稼働可能時間、操作性、可搬重量など	1. 下記の各評価が実施できる機能 ・耐環境検証 * 耐放射線環境（耐放射線） * 揮発可燃性ガス環境（防爆） * 温度、湿度 * 降雨及び水没（防水） ・移動性能検証 * 不整地、段差、階段、梯子、空中（飛行）、水中（遊泳） * 曲がり角、狹隘通路、各種扉やドアの通過 * 通信手段の確保（無線有線） ・メンテナンス検証 * 消耗品部品交換（要する設備、人員、時間等の評価） ・ロボット操作性検証 * オペレーショントレーニング * オペレータの疲労、負荷、ミッション達成に要する時間 * ロボットシミュレーター（操作訓練および実施前の事前評価） 2. 軽度な汚染ロボットをメンテナンスできる放射線管理区域(Hot Shop)
				近傍陸上地点への移動	遠隔操作基地～観測地点が遠くない（数百m未満）場合は、無人化施工機などにより基本的にはミッション遂行が可能。	遠隔操作基地～観測地点が離れている（数百m以上）場合、観測地点までの遠隔操作走行が困難、また走行時間、通信による情報伝達量の確保が困難となる。				
				近傍水中地点への移動	遠隔操作基地～観測地点が遠くなく（数百m未満）かつ有線制御が可能な場合には、水中ロボットが使える場合がある。	遠隔操作基地～観測地点が離れている（数百m以上）、または有線制御が困難な場合、観測地点までの遠隔操作航行が困難、無線通信手段の確保などが困難となる。				
		作業者（調査者）の安全確保、被曝量低減による作業時間の延長	被災プラント近傍／敷地内／建造物内部	建屋入口への移動	遠隔操作ロボット（重機など含む）により、一部のミッションは遂行が可能。ただし、遠隔操作基地～観測地点の距離、通路の状況、ミッションの内容などによっては右記の課題により遂行が困難となる。	【ロボットにとって移動困難な建屋構造】 原子力施設の建屋にはエアロックのような2重扉が多く設けられており、開閉操作が必要。また人の作業を想定して設計されており、通路が狭隘で複雑な形状であることが多い。また、見通しや電波伝搬も悪い。 ⇒ ・狹隘空間での使用を想定した小形軽量設計 ・複数台による協力、協調作業（離れた位置からの目視や扉等の保持等）も考慮した設計 ・有線の場合、ロボットと操作系との接続方法（ベネトレーションの利用法を含む）。ケーブル巻き取り機構等の有線処理機構 ・無線の場合、中継器の必要性と、必要時の設置方法。無線到達距離・エリアの確認 【被災による移動の困難性】 瓦礫／異物の散乱、構造物の変形 ⇒不整地踏破性能の確保 【放射線環境下の場所がある】 通常の電子機器の安定動作が阻害される、また寿命が短くなる。 ⇒耐放射線性の確保 【放射能汚染のためロボットの搬出が制限される】 ロボット自身の修理／保守が通常的环境より困難となる。 ⇒ ・ロボット自身が汚染した場合、除染しやすい構造設計。（例）丸洗い可能 ・ロボット内部が汚染しない構造設計。（例）完全密閉構造、適切なフィルタの使用 ・ロボット自身の除染が不十分な場合も想定し、メンテナンスを容易とする設計。（例） ・車輪やクローラのワンタッチ交換、バッテリーのワンタッチ交換（又は非接触自動充電） ・廃棄する際、小さな部品に簡単に分解可能であること ・部品点数や種類の削減と共通化 【その他、ロボットにとって活動困難な環境である可能性がある】 ・可燃ガス充満 ⇒防爆性の確保 ・高湿度環境 ⇒防水性／防滴性の確保 ・高温環境 ⇒耐熱性の確保	【放射線管理に関して】 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律などにより、作業員の立ち入り可能区域、連続作業可能時間、累積作業時間などが規制されている。また、汚染機器を管理区域外に搬出することもできない。 【原子力施設のデータの取り扱い】 施設内でロボットが移動または作業する場合、施設図面や災害状況が3Dモデル化によりデジタルマッピングされていればロボット操作上極めて重要な情報となる。しかしながらこれらの情報は秘密情報でもあり取り扱いに注意が必要なため、ロボット開発者や利用者に公開されることが難しい。これら原子力施設の図面や各種情報を有効に共有して利用出来る新しいルール作りが必要となる。	【10年以内】 ・原子炉圧力容器内部に対する施工（開口作成、デブリ取出しなど）の無人化実現 ・数km以上の距離からの各種遠隔操作	移動精度、速度、稼働可能時間、操作性、可搬重量など	
				建屋／各部屋入口ドア開閉	対応可能なドアの種類数、開閉抵抗、作業速度、操作性など					
				階段昇降	対応可能な段差高さ、ステップ奥行き、幅、踊り場寸法など					
				梯子昇降	対応可能な段ビッチ、背かごの有無など					
				瓦礫乗り越え	対応可能な瓦礫の高さ、形状など					
				瓦礫／異物撤去	対応可能な瓦礫／異物の形状、サイズ、重量など					
				昇降装置などによる、ロボットや測定機の、高所位置への移送／回収	対応可能な高さ、作業スペースなど					
				放射線量測定、核種特定	測定・検出精度など					
				放射能汚染物質の漏えい個所の検出	検出精度など					
				画像撮影	画質など					
				水位計測	計測精度など					
				温度計測	計測精度など					
				湿度計測	計測精度など					
				異常音計測	計測精度など					
				小片の採取	対応可能な材質など					
				瓦礫／異物撤去	対応可能な瓦礫／異物の形状、サイズ、重量など					
				配管や手摺の切断・撤去	対応可能な材質、作業時間、操作性など					
				バルブ開閉	対応可能なバルブ形状、サイズ、開閉抵抗など					
		仮配管の接続	対応可能な配管材質、サイズ、形状、施工法など							
		遮蔽材の運搬、設置助勢	対応可能な遮蔽材の重量、サイズなど							
		除染	除染性能、作業時間など							
		被災状況に応じた各種施工	施工品質、作業時間、操作性など							

付録表4－8 試験項目細分表(原子カグループ)

機能分類 ・機能 ・耐環境性 ・耐久性		試験項目	評価		時間軸			対象となるロボットの移動方式										
			適応範囲・対象・条件 (想定される範囲内で種類や数値、条件等を変えて試験)	評価内容 (計測など) (全試験項目での達成の可否又は、達成率等の確認)	発生直後	72時間以内	復旧	平常時	クローラ・車輪	脚式	ヘビ型	配管内	飛行型	水中型	水陸両用型	吸着型	無移動設置型	
移動能力 (ロボット自身が移動して、人、センサ、施工機などを運搬)	階段昇降	場所(屋内、屋外)、 形状(直線、踊り場、らせん、手すり有無、幅・高さ、蹴上板の有無、踊り場形状)、 路面材質(コンクリート、鉄鋼板、グレーチング、その他(大理石、木材))、端部形状(R形状、滑り止め有無)、 悪条件(錆、水濡れ、油ぬめり、堆積物(砂状、汚泥状、ガレキ類、その他))	速度、操縦の容易性、安全・安定性、踊り場を通過し上階へ移動できるか、上り下り連続階段を通過できるか、移動可否	○	○	○	○	○	○	○				○				
	段差、堰の通過	場所(屋内、屋外)、 形状(高さ、奥行、幅、段数、傾斜(前後・左右・複合)等)、 路面材質(コンクリート、鉄鋼板、グレーチング、その他(大理石、木材))、端部形状(R形状、滑り止め有無)、 悪条件(錆、水濡れ、油ぬめり、堆積物(砂状、汚泥状、ガレキ類、その他))	速度、操縦の容易性、安全・安定性、移動可否	○	○	○	○	○	○	○					○	○		
	斜面通過	場所(屋内、屋外)、 形状(傾度、長さ)、 路面材質(コンクリート鉄鋼板、グレーチング)、 悪条件(錆、水濡れ、油ぬめり、堆積物(砂状、汚泥状、ガレキ類、その他))、 移動向き(斜面に並行、斜面に垂直)	速度、操縦の容易性、安全・安定性、移動可否	○	○	○	○	○	○	○	○				○			
	ロボット運搬車両への自立乗り降り	場所(屋内、屋外)、 パワーゲートの乗り降り、斜面を使用しての荷台への乗り降り	速度、操縦の容易性、安全・安定性、乗り降り可否	○	○	○	○	○	○	○	○				○			
	穴ぼこ通過、回避(ヒット等のフタ外れ等)	場所(屋内、屋外)、 形状(面積、深さ)、周囲の障害物	穴の発見と回避能力、速度、操縦の容易性、移動可否	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○		
	空中移動	風の有無(風速)、離着陸の方法、離着陸に必要なスペース	速度、操縦の容易性、安全・安定性	○	○	○	○						○					
	水中移動	場所(屋内、屋外)、 対象(清水、濁水、泥水、汚泥、汚染水)、 水流の有無	速度、操縦の容易性、安全・安定性	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○			
	はしご、段はしご昇降	場所(屋内、屋外)、 材質(鉄、アルミ、その他)、 形状(丸パイプ状、角パイプ状、平板状、その他)、 背力コゴ有無、キャットウォーク取付向き(前、横、背面)、 手すり有無	速度、操縦の容易性、安全・安定性、移動可否	○	○	○	○				○	○				○		
	平地(不整地)移動・走行	場所(屋内、屋外)、 通路形状(通路幅、コーナ・クランク・交差点形状、段差)、 路面材質(コンクリート、アスファルト、砂利、土、鉄板、鉄鋼板、グレーチング、その他(大理石、木材))、 表面材質(鏡面仕上げ、コーティング、カーペット、フロアマット、ブルーシート)	速度、操縦の容易性、砂利の掘れ深さ、移動可否	○	○	○	○	○	○	○	○				○	○		
	配管上・配管内移動	形状(径、エルボ、分岐、フランジ、サポート、径変化)、複数本(平行、交差、段違い、間隔)	速度、操縦の容易性、安全・安定性、移動可否	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○		
	ドア通過(完全隔離区域含む)	場所(屋内、屋外)、 扉 ^{※4} 機構(開き戸(ドア)(片開き・両開き、押し・引き)、引き戸(レール、上吊り)、スライド、グライドスライドドア、折戸、回転扉、引込み扉、エアロック等二重扉)、 材質(コンクリート、鉄)、 厚さ(一般、遅へい厚)、 重量(扉単体重さ)、 反力の有無(自動、半自動、手動、ドアクローザーの有無)、 ドアノブ回し(ドアノブ、レバーハンドル)、 開錠(鍵の種類) 切断撤去、破壊の可否	速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○			
	ガレキ上移動	ガレキの大きさ、密度、重なり具合、グラつき度	速度、操縦の容易性	○	○	○	○		○	○	○		○		○			
	移動障害物除去(押しのけ)	障害物の大きさ、重さ、形状、密度、重なり具合	速度、操縦の容易性、安定性	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○		
	有線ケーブル引き回し	場所(屋内、屋外)、 引きまわし環境(地上、水上、水中)、 引っ掛かり対象物(配管等)、 経路の種類(コーナ、らせん階段等、小径貫通口(ベネレーション))、 ケーブル水環境特性(中性浮力、沈み勝手、浮き勝手)、 ケーブル材質特性(耐曲率半径、張力)、 送出し・巻き取り機構(有無、送出し可能長さ(内蔵長さ))	張力の運動能力への影響、通信速度減衰率、引っ掛かり外しの容易性	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○		
	機能	壁面、天井面移動 オーバハング裏面アプローチ	形状(曲面、凹面、凸面、梁、ボルト、ウィンドウガーた)、壁面材質(鉄、コンクリート)	速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○	○				○			
		遠隔操作性	ロボット単体で操縦できるか(ほかのロボットや固定カメラが自機を映している映像無しで動作できるか) 通路、狭路部、コーナ・交差点、階段段差等	ロボットを直視できない場所からのロボット操縦可否	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		広範囲自律移動	プラント敷地内(屋外)や屋内	自己位置推定精度、経路生成能力、マップ生成や教示工数			○	○	○	○	○	○	○	○	○			
検出能力		放射線強度	放射線種類、核種、強度、線源方向、分布状況(ガンマカメラ)	測定精度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		ガス漏れ検知	ガス種類(可燃性、毒性)、 測定種類(単独、複合)、 サンプリング(可否) 悪条件(風)	検知濃度	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
		画像(転送と処理)	種類(腐食や亀裂、変形、液漏れ箇所、気体漏れ箇所等)、 利用波長(可視光、可視光外)、 悪条件(逆光、暗闇、高温・低温、多湿度・乾燥、降雨・漏水、霧、水蒸気、放射線強度)、 撮影位置(距離、範囲(水平方向角度、仰角)、ズーム倍率) 画質(カメラ(有効画素数))、ビデオ(映像ビットレート・フレーム数)	表示性能(分解能、ズームING、色による判別)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		温度検出	場所(配管、タンク等)、 接触&非接触(サーモグラフィ)、 測定位置、 測定温度(低温、高温)	測定精度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
通信能力		減肉、肉厚測定	保温材の有無、測定位置、周囲の障害物	測定精度、時間、操縦の容易性				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		打撃検査	打撃位置、周囲の障害物、検出評価性能	異常発見正解率、時間、操縦の容易性				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		距離測定	種類(対象物、水深、水位)、向き(上下、左右、前後)	測定精度、時間、操縦の容易性				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		通信能力(無線・有線)	狭路複雑経路、遮蔽空間、障害物、配管、水中	無線通信距離、通信速度、通信容量、中継器の必要性、資格申請要否	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
情報統合能力		3Dデータ作成	移動を伴うデータ統合、複数ロボットデータ統合	自己位置推定精度、統合データの整合度 マップ作成工数				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		撮像マップ作成	移動を伴うデータ統合、複数ロボットデータ統合	自己位置推定精度、統合データの整合度 マップ作成工数				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		バルブ開閉	種類(手動、電動、丸ハンドル(大～小)、コック)、取付位置&向き、周囲の障害物	時間、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○					○	○	○	
		SW操作	種類(シーソ、ロータリ、プッシュ)、取付位置、周囲の障害物	時間、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○					○	○	○	
作業能力		収納扉開閉	ドアノブ種類、取付位置、周囲の障害物	時間、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○					○	○	○	
		目視・偵察・計測	状況確認のための調査(画像)、計測(水位・温度・放射線・etc.)	視認性、計測作業の容易性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	ピック&プレイス	把持可能な物の大きさ、質量、形状	時間、操縦の容易性	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	配線取り回し、引き回し	種類(電源線、通信線)	引っ掛かりへの対応の容易性、時間、操縦の容易性				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	コネクタ挿抜、配管接続	コネクタ種類、配管種類、取付位置、周囲の障害物	時間、操縦の容易性				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	交換(分解、組立)	交換対象種類、固定方法種類、周囲の障害物	時間、操縦の容易性				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	切断、穴あけ、撤去	種類(配管、手すり、配線、ワイヤ、鉄筋、木材)、工具使用(電動ドリル、電動のこぎり)、切断場所、周囲の障害物	時間、操縦の容易性				○	○	○					○	○	○		
	コンクリートコアサンプリング	除染方式決定のための壁面・床面コンクリートコアサンプリング	時間、操縦の容易性				○	○	○	○					○	○		
	検査試薬の塗布、ブロー	種類(粉、液体)、塗布位置、周囲の障害物	時間、操縦の容易性				○	○	○	○	○				○	○		
	散布・噴霧	種類(粉、液体)、 散布噴霧位置、 環境(風速、雨、漏水)、 周囲の障害物	時間、操縦の容易性				○	○	○	○			○	○	○	○		
	除染(液漏れ等の拭き取り・洗浄・はつり除去)	除染対象の位置、周囲の障害物	除染能力(残渣)、時間、操縦の容易性				○	○	○	○					○	○	○	
	堆積物除去	場所(配管内、タンク内、炉内)、除去対象(スラッジ、触媒)	除去能力(残渣)、時間、操縦の容易性				○	○	○	○	○				○	○	○	
	重量物運搬	種類(重量、サイズ、形状、固形か変形物、遮蔽材)	搭載安定性、運搬時の移動制約(速度、空間)				○	○	○	○	○				○	○	○	
	物品・機器の移動、案内	搭載しているロボットアームやクレーンで物品や機器(ロボットを含む)を輸送・移動・案内して目的地へ届ける(大きさ、重さ)	時間、操縦の容易性				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
運用	起動に必要な時間		時間、必要人数	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	稼働時間	動作パターンを規定	時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	充電時間		時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	メンテナンス工数	センサ、工具、消耗品部品交換、分解容易性	時間、必要人数、部品点数や種類				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	除染	高圧洗浄、流水、拭き取り、部品交換等	密閉性、IP試験、容易性、時間(被ばく量)、必要人数				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	操作性	準備～作業完了までの操作	オペレータの疲労、負荷、ミッション達成に要する時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	協力・協調作業	複数台による相互支援・連携作業	協調動作・支援の容易性	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	トレーニングに必要な時間																	
	検定試験																	
	オペレーション	オペレーターの資格・条件 ・免許(受験資格、試験機関、・・・) ・技能講習(受験資格、講習機関、・・・) ・特別教育(受験資格、教育機関、・・・) ・認定講習(受講資格、講習機関、・・・)	時間、必要な人員、必要な機材					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
安全	一時停止・非常停止・再起動	動作異常時、動作不安定時の停止及び再起動	異常状態の再現と停止性能	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	安全装置作動確認	各種安全装置の作動確認	過負荷等各種安全装置の動作性能	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	故障時対応	遠隔操作時の故障対応(通信切断・動力切断etc.)	複数ロボット支援による協調故障修理	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
耐環境性	基準対策	制御不能になったロボットの基準対策	自律停止、状況データの自動送信、予備制御	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	粉塵、煙、蒸気		機能に影響のない濃度	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	暗闇		機能への影響の有無	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	高温、低温	稼働、保管、起動	許容範囲(耐温度衝撃)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	高湿度・低湿度	稼働、保管、起動	許容範囲(耐高湿度)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	衝撃	稼働、保管、起動	許容範囲(耐衝撃)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	落下	稼働、保管、起動	許容範囲(耐落下)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	振動	稼働、保管、起動	許容範囲(耐振動)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	防水、防塵・耐塵		規格値、IP試験	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	防塩	揮発可燃性ガス環境	規格値	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	耐放射線	瞬時、累積	許容範囲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	耐雷		規格値	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	EMC		規格値	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	風		機能に影響のない範囲	○	○	○	○	○	○	○					○	○	○	
	配管、タンク内環境	液体内、粉体内、流水内、圧力下	機能に影響のない範囲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	耐久性	連続、繰り返し稼働	動作パターンを規定	一定時間での摩耗、劣化、故障	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		運搬	運搬時のGパターンを規定	一定時間での摩耗、劣化、故障	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
衝突・落下衝撃対策		ロボット動作時の周囲への衝突・落下時の衝撃対策	不慮の事故に対するロボットのロバスト性能	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

付録表4－9 想定災害とロボットとの関連細分表（プラントグループ）

想定対象・現場	想定災害・災害種類／平常時作業	被災レベル・被災状況	時間軸（平時、発生直後、72時間以内、復旧）	頻度・タイミング	遂行作業・対応作業	制約条件（環境条件）	ロボット導入の期待される依存比率	ロボット導入の価値	場所・移動環境（詳細）		必要な機能（移動、作業、環境）	現状技術でできること	技術課題（困難を伴うこと）	非技術課題（規制、制約など）	技術的将来展望（今後どの程度で実現するか）	行うべき試験（性能、耐久性、耐環境性など）	評価フィールドへの要求			
									移動環境	作業対象物										
精油、石油化学、製鉄、発電	自然災害（地震、津波、洪水、雷、竜巻、台風、大雪）、または事故	漏えい、火災、爆発、倒壊、水没	発生直後		状況確認（映像、ガス濃度）	倒壊 狭隙 ガス 高温 粉塵・煙 暗闇	ロボット>>人	危険作業代行 計測精度向上 位置情報統合	タンク、塔、配管 の上や周辺	配管、 フランジ	移動 ※移1 ※移2	クローラロボ：砂利、段差、壁、階段 クローラ・ガレキ能動スコープ：ガレキ 飛行：ガレキ飛び越え	らせん階段、配管跨ぎ、はしご、ドア通過、ドア鍵開け、こすりながら狭隙部を通過、歩行踏破、ほふく前進	移動ロボットの防爆規格 災害対応ロボット専用周波数	5年以内	アクセス能力 遠隔操縦 移動耐久 起動時間	構造と表面性状を模擬したテスト環境：狭隙な通路、グレーチング、水たまり、水濡れ階段、錆びた床面や手すり、鏡面の配管など 落下、転倒試験、加振装置			
					漏えい箇所の特定	倒壊 狭隙 高所 ガス 高温 粉塵・煙 暗闇	ロボット>>人	危険作業代行 計測精度向上 位置情報統合	タンク、塔、配管 の上や周辺	配管、 フランジ	移動 ※移1、※移2 ※移3	仮足場設置や吊りによる人作業 飛行、ワイヤー吊り	作業範囲、壁凹凸対応、フランジやサポートの奥り越え、安定性 立面、裏面への安定接近 落下防止策	移動ロボットの防爆規格 災害対応ロボット専用周波数	5年以内	アクセス能力 動作範囲 安定性	逃走・墜落防止策が取られたテスト環境			
					被害拡大を防ぐ機器操作	倒壊 狭隙 ガス 高温 粉塵・煙 暗闇	ロボット>>人	危険作業代行	タンク、塔、配管 の上や周辺	バルブ ハンドル、 SW	作業 ※作1 ※作2	搭載できるセンサの開発 必要なセンサの載せ替え 人：酸素ボンベ、耐火服		移動ロボットの防爆規格 災害対応ロボット専用周波数	10年以内	遠隔検出性能 （操作者が判断） 防備、防水、温湿度、降雨、風	周囲環境を制御できるリグ、チャンバー・煙がある中ででの撮影試験 安全にガス検知性能試験できる 防爆試験			
				数日間	無線機設置	倒壊 ガス 高温 粉塵・煙 暗闇	ロボット>>人	危険作業代行	タンク、塔、配管 の周辺	無線機、 配線、 コネクタ	移動 ※移1、※移2	クローラロボ：搭載可能な人：運搬可能な人：酸素ボンベ、耐火服		移動ロボットの防爆規格 災害対応ロボット専用周波数	10年以内	遠隔作業能力	無線機や設置場所のモック			
					損傷状況の確認マップ生成	倒壊 広範囲 自律移動作業	ロボット>>人	危険作業代行 計測精度向上 位置情報統合	タンク、塔、配管 の上や周辺	梁、壁、 配管	移動 ※移1、※移2、※移3 ※作1 非破壊検査器による計測（接触） 3Dデータ取得、移動による重ね合わせ	クローラロボによるマップ生成	搭載できるセンサの開発 遠隔操作によるセンサ位置合わせ 高所や狭隙部での3Dデータ取得 複数ロボット間のデータ統合		移動ロボットの防爆規格 災害対応ロボット専用周波数	5年以内	遠隔検出性能 （操作者が判断） マップ精度	地震等による損傷の模擬 地震等による損傷の模擬		
				復旧	ガレキ撤去	倒壊 重量物	ロボット>>人	危険作業代行 重作業	タンク、塔、配管 の周辺	ガレキ 倒壊物	移動 ※移1、※移2	クローラロボの防水 軽重アームの防水		移動ロボットの防爆規格 災害対応ロボット専用周波数	10年以内	遠隔作業能力	プラントの倒壊ガレキの模擬			
					電源等の復活	倒壊	ロボット>>人	危険作業代行	タンク、塔、配管 の周辺	配線、配電盤の扉、 ブレーカSW	移動 ※作1、※移2 ※作2 ※作1			移動ロボットの防爆規格 災害対応ロボット専用周波数	10年以内					
			見回り監視、点検	平常時		日に2～3回	機器の動作確認	自律移動作業	ロボット=人	省人化 計測精度向上 位置情報統合	タンク、塔、配管 の上や周辺	モータ、配管、 ポンプ、 監視窓、ウエス	移動 ※移4 ※作1 ※作2	整えられた環境における自律移動 人による作業	自己位置認識、経路生成、連続稼働 押し付け、拭き取り等の自律作業、 自律異常発見	無	10年以内	自律連続稼働 自律診断能力 降雨試験	実プラントに近い規模の広さのテストコース（見回り経路、タンク群） 構造体形状の再現可能なモック 実際に稼働しているポンプなど 濡れや汚れの模擬	
							メータ、流量確認、記録	自律移動作業	ロボット=人	省人化 計測精度向上 位置情報統合	タンク、塔、配管 の上や周辺	メータ	移動 ※移1 ※移4 ※作1 ※作2 ※作2 ※作1	カメラによるメータ読み取り 人による作業	多自由度で力制御等をかけるリンク ロボの軽量コンパクトな防水対策	無	10年以内	自律診断能力	メータや流量計のモック	
							センサ動作確認	自律移動作業	ロボット=人	省人化 計測精度向上 位置情報統合	タンク、塔、配管 の上や周辺	流量センサ、 ハンドル	移動 ※移1 ※作1 ※作2 ※作2 ※作1	バルブ開閉、指ではくカメラによる確認 人による作業	ハンドでハンドル回し 流量レベル変化等の認識 自律作業、自律異常発見	無	10年以内	自律診断能力	実際に動作しているセンサのモック	
							生成物サンプル採取	自律移動作業	ロボット=人	省人化	タンク、塔、配管 の上や周辺	収納扉、 コック、 チューブ、 ピン	移動 ※移1 ※作1 ※作2 ※作2 ※作1	収納扉開閉、コック開閉、ピンのフタ開閉、 チューブの接続、挿入 人による作業	指先を使った器用作業 自律作業、自律異常発見	無	10年以上	自律作業能力	サンプル採取機器のモック	
							グリスタップ、フィルター交換	自律移動作業	ロボット=人	省人化	タンク、塔、配管 の上や周辺	グリスタップ、 フィルター ケース	移動 ※移1 ※移4 ※作1 ※作2 ※作2 ※作1	グリスタップによる注入、ケースの開閉、部品ハンドリング 人による作業	組立、分解作業、工具使用 自律作業	無	10年以上	自律作業能力	グリスタップ注入対象やフィルターのモック	
						24時間・365日	目視点検 液漏れ点検 ガス漏れ検知 （巡回点検による劣化の早期発見）	ガス 広範囲 高所 連続作業 自律移動作業	ロボット>>人	危険作業代行 足場架設不要 広範囲、連続作業 計測精度向上 位置情報統合 異常発見精度向上 省人化	タンク、配管、 塔、煙突、フレア スタックの上や 周辺 および空中	タンク、配管、 カメラによる確認	移動 ※移1 ※移4 ※作1 ※作2 ※作2 ※作1	カメラによる自律液漏れ検出 ガス検知器での計測 機器の発熱、異常加熱、回転機の異常音の発見	液漏れの自律異常発見 煙突、制御不能時対策 カメラ、ガス検知器、サーモグラフィ、 マイク等の複数センサ搭載 無線：通信や制御など他の電波との干渉	移動ロボットの防爆規格	5年以内	自律診断能力	実際に濡れ状態を模擬できるモック 安全にガス検知性能試験できる	
							設備に絡んだRFIDセンサによる計測	広範囲 連続作業 自律移動作業	ロボット>人	広範囲、連続作業	タンク、塔、配管 の上や周辺	タンク、配管	移動 ※移1 ※作1 ※作2 ※作2 ※作1	RFIDセンサへプローブを近づける 人による作業	位置合わせ、障害物回避の自律作業	無	5年以内	自律作業能力	RFIDセンサを組み込んだモック	
							圧延工程の搬送ローラの駆動計測	高温 可動部付近 連続作業	ロボット>人	危険作業代行 製品精度向上	圧延工程	軸受	移動 ※移1 ※作1 ※作2 ※作2 ※作1	振動センサの押し付け 人による作業	軸受けに振動センサ設置 遠隔操作によるセンサ位置合わせ	無	5年以内	遠隔検出性能 （操作者が判断）	実際に回転できるローラのモック	
							連続鋳造機、熱間加工機器の点検	高温 可動部付近 狭隙	ロボット>人	危険作業代行 狭隙	連続鋳造機、熱間加工機器内部	ロール、 フレーム	移動 ※移1 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3	狭隙部のほふく前進 人による作業	環境認識、環境へのならい制御	無	10年以内	アクセス能力 遠隔操縦	狭隙部を模擬したモック	
	保守点検	平常時					一設備につき数年に一度	配管の点検（外側から）	高所	ロボット>>人	危険作業代行 足場架設不要 計測精度向上 位置情報統合	配管上	配管（外側）	作業 ※移1 ※作1 ※作2 ※作2 ※作1	保温カバーを剥ぎ、検査機器を使った人による点検	フランジ、ラック部での移動 落下防止策 保温カバー越しの測定精度 超音波センサ等を押し付けながら移動させる	高圧ガス事業法など	5年以内	遠隔検出性能 （操作者が判断）	腐食や減肉を模擬
									配管の点検（内側から）	狭隙 酸欠 液体中 流水中 圧力下 暗闇	ロボット>>人	危険作業代行 狭隙部 計測精度向上 位置情報統合	配管内部	配管（内部）	移動 ※移1 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3	配管内の移動、分岐点での方向選択 腐食、残厚計測 堆積物の発見、除去	能動スコープのようなプローブ 稼働中の調査 ドレンなどからの挿入（小型化）	高圧ガス事業法など	5年以内	アクセス能力 検出性能 除去性能 遠隔操縦
								炉内の点検	高温 粉塵 暗闇	ロボット>人	危険作業代行 計測精度向上 位置情報統合	炉内	炉内面	移動 ※移1 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3	フロアフル計測機による3次元形状計測、 足場・落下防止 人による点検	搭載できるセンサの開発 遠隔操作によるセンサ位置合わせ	無	10年以内	遠隔検出性能 （操作者が判断）	経年変化による損傷の模擬
								蒸留塔の点検	ガス 高所	ロボット>人	危険作業代行 足場架設不要 計測精度向上 位置情報統合	塔槽外面	塔槽外面	移動 ※移1、※移3 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3			移動ロボットの防爆規格	5年以内		
	タンク上部の点検	ガス 高所					ロボット>人	危険作業代行 足場架設不要 計測精度向上 位置情報統合	タンク外面	タンク上面	移動 ※移1 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3			移動ロボットの防爆規格、消防法、 ガス事業法など	5年以内					
	タンク内部の検査	ガス、酸欠、 高温、 粉塵 高所	ロボット>人	危険作業代行 足場架設不要 計測精度向上 位置情報統合	タンク内	タンク底面	作業 ※移1 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3	人による作業	グラインダ作業 試験による検査	移動ロボットの防爆規格、消防法、 ガス事業法など	5年以内	自律作業能力	減肉や腐食を模擬							
	壁面の点検	立面 高所	ロボット>人	危険作業代行 足場架設不要 計測精度向上 位置情報統合	建物外壁	建物外壁	移動 ※移1 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3			建築基準法	5年以内									
		海底配管の点検・減肉検査	水中 水の濁り 流水 暗闇	ロボット>>人	危険作業代行 計測精度向上、位置情報統合	海底	配管外部	移動 ※移1 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3	ダイバーによる点検作業 潜水圧	濁った水中での視野確保 浮遊物への対応	無	5年以内	移動、検査能力	水中での配管環境の模擬						
	保守修復	平常時	一設備につき数年に一度	触媒交換	ガス、酸欠 高温 暗闇	ロボット>>人	危険作業代行	反応炉内	触媒残渣	移動 ※移1 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3	反応炉底面への昇降 反応炉底面での移動 触媒掻き出し	触媒ボンベを付けた人による作業 残渣触媒上でも安定して移動できる 不安定な足場での力作業	移動ロボットの防爆規格	5年以内	アクセス能力 遠隔操縦 遠隔作業能力	反応炉内残渣触媒を模擬				
					塔槽（タンク）内のスラグ固着物（スラグ等）の除去	ガス 酸欠 高温 粉塵 暗闇 高所 広範囲	ロボット>>人	危険作業代行 足場架設不要 広範囲 省人化	タンク内	スクレーパ 吸引装置	移動 ※移1 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3	壁面昇降 滑りやすい路面での移動 障害物認識、回避 押し付け力制御 障害物へのならい制御	移動ロボットの防爆規格	5年以内	アクセス能力 遠隔操縦 遠隔作業能力	スラグがこびりついたタンク壁面や底の模擬				
				ケレン、塗装	高所 粉塵	ロボット>人	危険作業代行 足場架設不要 省人化	配管、タンク	配管、タンク 外面	作業 ※移1 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3	サンダー、ブラシ、スクレーパ、スプレー、 ハケなどのハンドリング	マスクを付けた人による作業	押し付け力制御 あらゆる角度からアプローチ 遠隔作業	無	5年以内	遠隔作業能力	配管、タンクなど塗装対象			
					足場設置、解体	高所	ロボット>人	危険作業代行 省人化	タンク、塔、配管 の周辺	足場・パイプ、 踏板、ジョイント	移動 ※移1 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3	足場の設置、解体 足場をパイプにつっかける 重量物ハンドリング	対象物の排他 工具を使った組立、分解 遠隔作業	無	10年以上	遠隔作業能力	塔、ラック上配管などの足場設置対象			
				保温材剥がし	高所 粉塵	ロボット>人	危険作業代行 足場架設不要 省人化	配管周辺	配管、保温材	作業 ※移1 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3	スクレーパや工具のハンドリング	マスクを付けた人による作業	押し付け力制御 あらゆる角度からアプローチ 遠隔作業	無	10年以上	遠隔作業能力	保温材つきの配管			
				機器の交換（運搬、据付）	重量物下（落下物危険） 狭隙	ロボット>>人	危険作業代行 重作業 正確性向上 省人化	タンク、塔、配管 の周辺	ポンプ、配管 等の重量物機器	移動 ※移1 ※作1 ※作3 ※作3 ※作3	機械を使った人による作業 重量物持ち上げ、位置決め、運搬	狭い空間で棒やクレーンを使わずに 重量物を持ち上げる、またはクレーン 等を操作する	無	10年以上	遠隔作業能力	狭い空間と交換対象を模擬したモック（ポンプ、バルブ、センサ等）				

必要な機能の 凡例	移動	※移1 人と同等のアクセス能力 砂利、段差、壁、配管またぎ&くぐり、階段、斜面、はしご、ドア、キャットウォーク
		※移2 倒壊状況での移動
		※移3 高所、壁面、ラック上配管、オーバークレーン裏面
	作業	※作1 カメラ、サーモグラフィ、ガス検知器による計測（非接触）
		※作2 配線の運搬、取り回し、接続
		※作3 カメラや非破壊検査による腐食、亀裂の検査
	環境	※環1 防水、防塵、高温、煙、暗闇
		※環2 防水

付録表4-10 試験項目細分表(プラントグループ)

機能分類 ・機能 ・耐環境性 ・耐久性 ・安全性				試験項目	評価	時間軸				対象となるロボットの移動方式								
						発生直後	7 2時間 以内	復 旧	平常 時	ク ロ ー ラ ・ 車 輪	脚 式	へ び 型	配 管 内	飛 行 型	水 中 型	水 陸 兩 用 型	吸 着 型 （壁面、配管外面）	
			適応範囲・対象・条件 （想定される範囲内で種類や数値、条件等を変えて試験）	評価内容 （計測など）														
機能分類	移動能力	階段昇降	場所（屋内、屋外）、形状（直線、踊り場、らせん、手すり有無、幅、高さ）、路面材質（コンクリート、縞鋼板、グレーチング、反射率）、悪条件（錆、水濡れ、油ぬめり、堆積物、ガレキ）	安定性、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○						○		
		段差、堰の通過	場所（屋内、屋外）、形状（高さ、奥行、幅、段数）、路面材質（コンクリート縞鋼板、グレーチング、反射率）、悪条件（錆、水濡れ、油ぬめり、堆積物、ガレキ）	安定性、荷重の大きさ、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○							○	
		斜面通過	場所（屋内、屋外）、形状（斜面、長さ、複合）、路面材質（コンクリート縞鋼板、グレーチング、反射率）、悪条件（錆、水濡れ、油ぬめり、堆積物、ガレキ）、移動向き（真直ぐ、トラバース）	安定性、荷重の大きさ、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○							○	
		穴ぼこ通過、回避（ビツ等のフタ外れ等）	場所（屋内、屋外）、形状（面積、深さ）、周囲の障害物	発見能力、回避能力、安定性、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○							○	
		水たまり通過、回避	場所（屋内、屋外）、対象（清水、泥水）、水深	発見能力、回避能力、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○								
		はしご、段はしご昇降	場所（屋内、屋外）、形状（丸、角、平板）、背カゴ有無、キャットウォーク取付向き（前、横、背面）、手すり有無、材質（鉄、アルミ）	安定性、速度、操縦の容易性	○	○	○	○		○								
		路面移動	場所（屋内、屋外）、路面材質（コンクリート、アスファルト、砂利、土、鉄板、縞鋼板、グレーチング、カーペット）、覆う物の有無（フロアマット、養生シート）、砂利（砂利種類、砂利密度）、グレーチング（ピッチ、剛性違い、欠落部有無（穴ぼこ））、土（土質）、悪条件（錆、鏡面、水濡れ、油ぬめり、堆積物、ガレキ）	安定性、速度、操縦の容易性、砂利の掘れ深さ	○	○	○	○	○	○							○	
		配管またぎ	場所（屋内、屋外）、形状（エルボ、分岐）、複数本（平行、交差、段違い、間隔）	安定性、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○							○	
		配管くぐり	場所（屋内、屋外）、形状（エルボ、分岐）、複数本（平行、交差、段違い、間隔）	安定性、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○	○						○	
		キャットウォーク上移動	場所（屋内、屋外）、通路形状（幅、コーナ、分岐、幅変化）、路面材質（グレーチング、縞鋼板、材質変化）、手すり有無	安定性、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○							○	
		配管上移動	形状（径、エルボ、分岐、フランジ、サポート、径変化）、複数本（平行、交差、段違い、間隔）	安定性、速度、操縦の容易性					○	平	平						平	平
		狭隙部通過（正常状態）	隙間の広さ、形状、障害物反射率	安定性、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○	○				○	○	○	
	検出能力	ドア通過	種類（押し戸、引き戸、スライド、回転、水密扉、重さ、反力の有無）、材質、ドアノブ回し（丸、レバー）、開錠	安定性、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○							○	
		マンホール通過	種類（垂直、水平、扉付）、形状（径、奥行）、取付高さ	安定性、速度、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○	○						○	
		ガレキ上移動	場所（屋内、屋外）、ガレキの大きさ、密度、重なり具合、グラツキ度	安定性、速度、操縦の容易性	○	○	○		○	○	○						○	
		ガレキ内隙間通過	場所（屋内、屋外）、隙間の大きさ、形状	速度、操縦の容易性	○	○	○				○						○	
		狭隙部通過（倒壊状態）	場所（屋内、屋外）、隙間の大きさ、形状	安定性、速度、操縦の容易性	○	○	○			○	○			○	○		○	
		移動障害物除去（押しのけ）	場所（屋内、屋外）、障害物の大きさ、重さ、形状、密度、重なり具合	安定性、速度、操縦の容易性	○	○	○			○	○						○	
		有線ケーブル引き回し	経路の種類（コーナ、らせん階段等）、引っ掛かり対象物（配管等）、引き回し環境（地上、水上、水中）	張力の運動能力への影響、通信速度減衰率、引っ掛かり外しの容易性	○	○	○	○	○	○	○	平			○	○	平	
		壁面、天井面移動	場所（屋内、屋外）、形状（曲面、凹面、凸面、梁、ボルト、ウィンドウガータ）、壁面材質（鉄、コンクリート）	安定性、速度、操縦の容易性					○								平	
		広範囲自律移動	プラント敷地内（屋外）や屋内	自己位置推定精度、経路生成能力、マップ生成や教示工数		○	○	○	○	○	○				○	○	○	
		走行台車への乗降	場所（屋内、屋外）、走行台車の傾斜、周囲の障害物	安定性、時間	○					○	○				○	○		
		走行台車上での安定性	場所（屋内、屋外）、走行台車が斜面や段差を走行	走行振動で落下、転倒しないか	○					○	○				○	○		
		配管内移動	形状（径、エルボ、分岐、径変化）、投入口形状、移動距離、悪条件（水濡れ、油ぬめり、堆積物）	自己位置推定精度、速度、操縦の容易性					○				平					
	情報統合能力	ガス漏れ検知	場所（屋内、屋外）、ガス種類（単独、複合）、悪条件（風）	検知濃度	○	○	○	○	○	○	○	○			○		平	
		画像（転送と処理）	場所（屋内、屋外）、種類（顔食や亀裂、剥離、変形、液漏れ箇所、気体漏れ箇所等）、利用波長（可視光、可視光外）、悪条件（逆光、煙、霧、蒸気、粉塵、暗闇）	表示性能（分解能、フレームレート、ズーム倍率、色による判別）、撮影可能範囲（距離、向き、視野角）、異常発見正解率	○	○	○	○	○	○	○	○	平		○	○	○	平
		温度検出	場所（屋内、屋外）、対象（配管、タンク等）、接触&非接触（サーモグラフィ）、測定位置	測定精度	○	○	○			○	○		平		○	○	○	平
		音響検出	場所（屋内、屋外）、種類（機械音、吹き出し音）	測定可能距離、範囲、ズーム可否、雑音除去性能						○	平	平	平	平	平	平	平	平
		異常振動検出	場所（屋内、屋外）、種類（ポンプ、ローラ等）、測定点の位置、周囲の障害物	測定精度、時間、操縦の容易性						○	平	平					平	平
		ガツガツなどの触診	場所（屋内、屋外）、振動印加の位置、印加する力と周波数、周囲の障害物	遠隔での判断精度、時間、操縦の容易性						○	平	平					平	平
		RFIDセンサ読み取り	場所（屋内、屋外）、センサ取付位置、周囲の障害物	時間、操縦の容易性						○	平	平					平	平
		減肉、肉厚測定	保温材の有無、測定位置、周囲の障害物	測定精度、時間、操縦の容易性						○	平	平	平				平	平
		打音検査	場所（屋内、屋外）、打撃位置、周囲の障害物	異常発見正解率、時間、操縦の容易性						○	平	平					平	平
		距離測定	場所（屋内、屋外）、測定対象、種類（障害物、水深、水位）、向き（上下、左右、前後）	測定精度、時間、操縦の容易性						○	平	平			平	平	平	平
		3Dデータ作成	移動を伴うデータ統合、複数ロボットデータ統合	自己位置推定精度、統合データの整合度 マップ作成工数		○	○	○	○	○	○	○	平		○	○	○	平
		撮像マップ作成	移動を伴うデータ統合、複数ロボットデータ統合	自己位置推定精度、統合データの整合度 マップ作成工数		○	○	○	○	○	○	○	平		○	○	○	平
作業能力	バルブ開閉	種類（手動、電動、丸ハンドル（大～小）、コック）、取付位置&向き、周囲の障害物	安定性、時間、操縦の容易性	○	○	○			○	○						○		
	SW操作	種類（シーツ、ロータリ、プッシュ）、取付位置、周囲の障害物	安定性、時間、操縦の容易性	○	○	○			○	○						○		
	収納扉開閉	ドアノブ種類、取付位置、周囲の障害物	安定性、時間、操縦の容易性	○	○	○			○	○						○		
	ピック&プレイス	目的（ガレキ除去、無線機設置、不特定対象物か）、種類（重さ、大きさ、形状、密度、重なり具合）、対象物の位置、周囲の障害物	安定性、時間、操縦の容易性	○	○	○			○	○			○			○		
	サンプリング	スミヤ、削り取り、空気中の気体、水たまりの液体、ドレンコック（気体、液体）、周囲の障害物	純度、量、時間、操縦の容易性	○	○	○	○	○	○	○	平		○	○	○	平		
	配線取り回し、引き回し	種類（電源線、通信線）	引っ掛かりへの対応の容易性、時間、操縦の容易性		○	○			○	○						○		
	コネクタ挿抜	コネクタ種類、取付位置、周囲の障害物	時間、操縦の容易性		○	○			○	○								
	交換（分解、組立）	交換対象種類、固定方法種類、周囲の障害物	時間、操縦の容易性						○	平	平					平		
	切断、穴あけ	種類（配線、ワイヤ、鉄筋、木材）、工具使用（電動ドリル、電動のこぎり）、切断場所、周囲の障害物	安定性、時間、操縦の容易性	○	○	○			○	○					○	平		
	検査試薬の塗布、ブロー	種類（粉、液体）、塗布位置、周囲の障害物	その後の検査に十分な能力か、時間、操縦の容易性						○	平	平					平		
	液漏れ等の拭き取り	拭き取り対象の位置、周囲の障害物	拭き取り能力（残渣）、時間、操縦の容易性						○	平	平					平		
	堆積物除去	場所（配管内、タンク内、炉内）、除去対象（スラッジ、結塊）	除去能力（残渣）、時間、操縦の容易性						○	平	平	平			平			
散布、噴霧	種類（粉、液体）、噴霧位置、悪条件（風、雨、漏水）	噴霧、散布量、範囲、距離、時間、操縦の容易性	○	○	○			○	○			○			平			
運用	クレン、塗装	対象（壁面、配管）、周囲の障害物	仕上がり品質、時間、作業範囲、操縦の容易性						○	平	平					平		
	協力・協調作業	複数台、異種ロボットによる協調	協調動作・支援の容易性		○	○			○	○						○		
	重量物運搬	種類（重量、サイズ、形状、固形か変形物）	搭載安定性、運搬時の移動制約（速度、空間）、時間、操縦の容易性						○	平	平			○		平		
	起動に必要な時間		時間、必要人数	○					○	平	○	○	○	○	○	○		
	稼働時間	動作パターンを規定	時間	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	充電時間		時間	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	ロジスティクス	外部からプラントへの搬入、プラント内での運搬	時間、必要人数、トラックに必要な積載重量と大きさ、リフトやユニックの必要性の有無	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	メンテナンス	センサ、工具、消耗品等の交換	時間、必要人数						○	○	○	○	○	○	○	○		
	除染	高圧洗浄、流水、拭き取り、部品交換等	容易性、時間（被ばく量）、必要人数						○	○	○	○	○	○	○	○		
	訓練に必要な時間		時間						○	○	○	○	○	○	○	○		
	耐環境性	粉塵、煙、霧、蒸気		機能に影響のない濃度	○					○	○	○	○	○	○	○	○	
		暗闇		機能への影響の有無	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	
高温、低温		稼働、保管、起動	許容範囲	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
防水			規格値	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
防塵			規格値	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
耐放性		瞬時、累積	許容範囲	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
耐雷			規格値	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
EMC			規格値	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
通信（有線、無線）		複雑経路、障害物、遮蔽空間、水中、配管内	距離、範囲、速度、容量、中継器の必要性、遮断デューティ	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
風			機能に影響のない範囲	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
配管、タンク内環境		液体内、粉体内、流水内、圧力下	機能に影響のない範囲						○							○		
耐久性		運用	運用時動作パターンを規定し連続動作	一定時間での摩耗、劣化、故障	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	
	サイクル試験	動作（移動、作業）、温度、電源ON/OFF、充放電	一定時間での摩耗、劣化、故障	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	転倒	転倒場所（平地、階段）、地面硬さ	衝撃G、故障、破損、飛散状況	○	○	○			○	○	○					○		
	落下	落下高さ、地面硬さ	衝撃G、故障、破損、飛散状況	○	○	○			○	○	○					○		
安全性	運搬	運搬時のGパターンを規定し連続動作	一定時間での摩耗、劣化、故障	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	異常発生時	電源ダウン、通信遮断、動作異常&不安定時、故障	安全側に動作を停止するか 再起動・動作開始時に異常な動作をせず復帰できるか 他のロボットによる支援で復帰や回収できるか	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	絶縁	規定電圧	規定値以上の絶縁抵抗	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	安全装置	過負荷時	停止及び再起動ができるか	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	巻き込み、挟まれ	人との共存作業時	接近警報、接近時の停止、可動部のカバー	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	非常停止	独立性、優先順位、再起動が設計通りに動作するか		○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	暴走対策	自動停止するか、データの自動送信等で状況を把握できるか		○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	遠隔操作時の人の隔離	遠隔操作時に人が近づかない、または近づいたら検知できる対策や運用がされているか		○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	立ち上げ作業、終了作業時	電源ダウン、通信切れ、操作ミス、故障等により暴走、落下、転倒、挟まれが発生し人に危害を加えることがないか		○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	運搬作業時	吊上げやリフトアップ作業や手動操作時に落下、転倒、挟まれが発生し人に危害を加えることがないか		○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		
	保守作業時	保守作業者の安全が確保される対策や運用がされているか		○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		

※移動能力、検出能力、情報統合能力、作業能力において平常時に使用されるロボットには「平」と表記

付録表4－11 想定災害とロボットとの関連細分表(水道・下水グループ)

想定対象・現場	想定災害・災害種類	被災レベル・被災状況	時間軸 (平時、発生直後、72時間以内、復旧)	頻度・タイミング	遂行作業・対応作業	制約条件	ロボット導入の期待される依存比率	ロボット導入の価値	場所・移動環境(詳細)	必要な機能(移動、作業、環境)	現状技術でできること(適用可能ロボットまたは技術)	技術課題(困難を伴うこと)	非技術課題(規制、制約など)	将来展望(今後どの程度で実現するか)	行うべき試験(性能、耐久性、耐環境性など)	評価フィールドへの要求
下水道管路施設 (処理場等の施設は除く)	地震 (液状化・地割れ)	マンホール浮上により発生する道路交通障害 マンホール周辺の土砂流ぼう孔への人の落下 下水本管座屈により発生する道路陥没	発生直後	数十年に一度	・危険箇所の特定 ・危険箇所と人との隔離	自動車等路面移動手段による調査が出来ない	ロボット>>>人	路面障害に影響を及ぼされない調査が可能 ・安全性 ・二次災害防止 ・広域・短時間・詳細把握	鳥瞰的視野がとれる場所	航空機調査 ・広域調査 ・リモートコントロール ×風雨環境下での走行 ・夜間走行 ・写真、動画撮影 ・3Dマッピング	<無人航空機> ○広域調査 △リモートコントロール ×風雨環境下での走行 ×夜間走行 ○写真、動画撮影 ○3Dマッピング	・長距離飛行 ・長時間飛行 ・電波障害等による誤作動 ・ホバリング性能 ・夜間・悪天候下飛行・撮影解像度 ・複数人同時制御による操作ネットワーク	専用周波数の準備	3年後実用化	・方向制御 ・滞空時間 ・通信距離 ・画像撮影 ・3Dマッピング ・耐風雨性能 ・耐高温・低温 ・耐雷	陥没した道路 浮上したマンホールを設置した模擬施設
	地震 (管破損による土砂流入)	流下障害	発生直後	数十年に一度	・管路内土砂除去 小中口径管により作業スペース狭い	管損傷が激しく二次災害の恐れ有り	ロボットのみ	管座屈など二次災害から人命を守る 小中口径管で人が入れない場所での作業	損傷の激しい埋設管路内	<無人土砂排出機> ・自動掘削 ・自動高圧洗浄 ・自動排出 ・遠隔操作機能	有人・手動による洗浄・バキューム	・遠隔操作性 ・精度 ・完全防水	専用周波数の準備	5年後70機 10年後実用化	・遠隔操作精度(通信距離・作業の正確性) ・土砂排出能力 ・水浸漬下での動作	土砂で埋まったマンホール、管路を再現した施設
	地震 (管破損・老朽化)	流下障害	復旧・平時	劣化による調査は常時	・管路破損状況、劣化状況把握 小中口径管により作業スペース狭い	管損傷が激しく二次災害の恐れ有り	ロボットのみ	管座屈など二次災害から人命を守る 小中口径管で人が入れない場所での作業	損傷の激しい埋設管路内 管底滞留物有り メタン・CO・H2S雰囲気	<TVカメラ> <画像展開カメラ> <衝撃弾性波測定> △段差走行 △斜面走行 ×管底滞留物上走行 ・簡易滞留物除去 ・防水性能 ・クラック撮影 ・残存強度推定 ・管径計測 ・管たわみ計測 ・管路3D地図化	<TVカメラ> <画像展開カメラ> <衝撃弾性波測定> △段差走行 △斜面走行 ×管底滞留物上走行 ×簡易滞留物除去 △防水性能 △クラック撮影 △残存強度推定(一部管種のみ) ○管径計測 △管たわみ計測 ×管路3Dマッピング	・段差の乗り越え ・斜面安定走行 ・障害物除去 ・自己位置特定(GPSレス) &3D地図化 ・内径・タワミ 精度計測 ・残存強度寿命推定(管種問わず) ・高感度撮影 &クラック画像解析 ・高湿度・濃霧環境・視界不良状況	なし	3年後70機 5年後実用化	段差走行性能 斜面走行性能 障害物通過 管路3D測量(径・タワミ・変形) 管内撮影・画像よりクラック検知 衝撃弾性波データ収集 耐水性能	被災状況を再現した模擬管路(曲がり・タワミ・破損管路)
	地震 (管破損・老朽化)	流下障害	復旧・平時	劣化による調査は常時	管路内面補修・更生	下水流下環境管損傷環境	ロボット>>>人	管座屈など二次災害から人命を守る 小中口径管で人が入れない場所での作業	管底汚泥滞留 管形状変形 メタン・CO・H2S雰囲気	段差走行 斜面走行 ・管底滞留物上走行 防水性能 管形状対応 管路更生・部分補修	<管路更生製管機> <部分補修工法> △段差走行 △斜面走行 ×滞留物除去 ○防水 △管形状対応 △部分補修	段差の乗り越え 斜面での安定走行 簡易障害物の除去 部分補修(湿潤化での)	なし	3年後実用化	段差走行性能 斜面走行性能 障害物通過 耐水性 非開削更生工法の管形状影響 光硬化補修工法	被災状況を再現した模擬管路(曲がり・タワミ・破損管路)
水道管路施設 (浄水場等の施設は除く)	地震 (管破損・老朽化)	管路破断による圧力水噴出による路面二次災害	直後	劣化による噴出しは年に数回程度	・水噴出箇所の特定	現場に近づけない	ロボット>>>人	早期状況確認 二次災害防止	大量の水噴出環境	航空機調査 ・広域調査 ・リモートコントロール ×風雨環境下での走行 ・夜間走行 ・写真、動画撮影 ・3Dマッピング	<無人航空機> ○広域調査 △リモートコントロール ×風雨環境下での走行 ×夜間走行 ○写真、動画撮影 ○3Dマッピング	・長距離飛行 ・長時間飛行 ・電波障害等による誤作動 ・ホバリング性能 ・夜間・悪天候での飛行能力 ・夜間・悪天候での撮影解像度 ・複数人同時制御による操作ネットワーク	専用周波数の準備	3年後実用化	・移動方向制御 ・滞空時間 ・通信距離制御 ・写真撮影 ・動画撮影 ・3Dマッピング ・耐風雨性能 ・耐高温・低温 ・耐雷	水噴出模擬管路 陥没路面
	地震 (管破損・老朽化)	管路破断・圧力水流出による管路外周の地中空洞化	復旧・平時	劣化による漏水による空洞化は常時	・将来路面陥没リスクの高い架設所の特定	・管内から管外面にある埋設土の状況観察 ・道路上から埋設管路周辺の空洞を非開削で検知	小中口径：ロボットのみ 大口径：ロボット>>>人	人手では箇所特定に長時間を要する 人手では二次災害発生の危険がある	損傷管路内 道路面上	<管路内からの探知> ×自動走行 ○口径対応力 <道路からの探知> ・オペレーティングによる無人化探知	<管路内からのレーザ探知> ×自動走行 △口径対応力 ×無人化 ○レーザ探知 <道路上からの地中レーザ探知> ・オーバーレーティングによる無人化探知	・長距離飛行 ・長時間飛行 ・電波障害等による誤作動 ・ホバリング性能 ・夜間・悪天候での飛行能力 ・夜間・悪天候での撮影解像度 ・複数人同時制御による操作ネットワーク	専用周波数の準備	5年後70機 10年度実用化	<管路内> ・管内走行距離 ・口径対応機構 ・無人化調査 <道路上> ・方向制御 ・通信距離 ・耐風雨性能 ・耐高温・低温	管周囲に空洞を再現した模擬管路
	地震 (管破損・老朽化)	管路破断による漏水・断水	復旧・平時	劣化による漏水箇所は常時	・管路破損状況把握 ・劣化状況把握	水圧環境下	小中口径：ロボットのみ 大口径：ロボット>>>人	不断水調査 水中調査	水圧環境下 錆発生閉塞管路 損傷管路	・水圧下走行 ・破断位置特定 ・管内面状況把握 ・管減肉量測定 ・可とう管変位置把握	<不断水TVカメラ> <音響検知機> <超音波測定機> △水圧下走行 ×閉塞箇所走行 △水中漏水音検知 ×残存強度推定 ×管内径計測 ×可とう管変位置計測	障害物の除去 ⇒閉塞箇所走行 漏水音長距離検知 非破壊減肉計測	水道法に基づく水質基準	3年後実用化	水中走行 水圧下走行 漏水音響検知 外面腐食減肉計測(超音波) 走行可能距離 水中への成分溶出検査	老朽化・破損を再現した模擬管路(鉄管・樹脂管・口径別)
	地震 (管破損・老朽化)	管路破断による漏水・断水	復旧・平時	劣化による漏水箇所は常時	・補修・更生	・埋設配管内	ロボットのみ	非開削での修復	錆発生閉塞管路 損傷管路	・自動溶接 ・管路更生	<自動溶接機> ×遠隔操作 ×口径問わない ○湿潤状態・水中での溶接 <管内面ライニング圧力管更生工法> ×遠隔操作 △非開削更生工法(一部管種・径のみ) △耐水圧・耐震機能更生管の敷設	<自動溶接機> 障害物の除去 ⇒閉塞箇所走行 クラック精度検知⇒自動溶接 <管内面ライニング更生機> 口径・管種によらない工法の開発 湿潤化でのライニング工法(光硬化など) 耐震機能付与	水道法に基づく水質基準	3年後70機 5年後実用化	・管内走行距離 ・閉塞部状況VS走行可否 ・補修箇所特定精度 ・映像解像度 ・溶接性能 ・耐水圧試験 ・耐震試験 ・光硬化条件 ・水中への成分溶出検査	老朽化・破損を再現した模擬管路(鉄管・樹脂管・口径別)

付録表 4－１２ 試験項目細分表（水道・下水グループ）

【下水道】			評価			時間軸				対象となるロボット							
機能分類 ・機能 ・耐環境性 ・耐久性 ・安全性		試験項目			発生直後	72時間以内	復旧	平常時	クローラ・車輪	脚式	ヘビ型	配管内	飛行型	水中型	水陸両用型	吸着型	
			適応範囲・対象・条件 (想定される範囲内で種類や数値、条件等を変えて試験)	評価内容 (計測など)													
機能	移動能力	無人航空(上空)	滞空時間・航空速度 遠隔操作距離 夜間飛行／風雨下条件飛行／高温・低温下／耐雷 街中(建築障害物有り)／地方(障害物少)／ 電波障害発生地域	速度目標精度／目標地点までの時間／速度／ ホバリング安定性	○	○		○					○				
		下水管路内移動	段差／斜面角度／たわみ量／曲がり角度／底面滞留物量／ 下水流下条件(量)	誤作動(電波障害等)発生リスク 移動可能距離／移動速度／防水性能			○	○				○					
	検出能力	路面形状異常検知: 画像撮影(上空)	標準環境下・夜間環境下・風雨環境下	解像度・路面形状異常判別(画像識別)正解率	○	○		○						○			
		下水管路破損・劣化検知: 管路内面画像	濃霧環境・口径別・管種類別	解像度・クラック検知正解率			○	○					○				
		下水管路破損・劣化検知: 衝撃弾性波計測	口径別・管種類別	残存強度推定値			○	○					○				
		下水管路破損・劣化検知: 管路内径／3Dレーザ計測	口径別・管種類別	たわみ・偏平度精度・3D			○	○					○				
		下水管路破損・劣化位置 特定:自己位置特定	段差／斜面角度／たわみ量／曲がり角度／底面滞留物量／下水流下条件(量)	GPSレスでの精度			○	○					○				
	情報統合能力	3Dマッピング(路面)	風雨下条件	自己位置特定精度・危険箇所マッピング精度	○	○		○						○			
		3Dマッピング(埋設管路)		自己位置特定精度・危険箇所マッピング精度			○	○					○				
	作業能力	下水管路内土砂排出	土砂の量／遠隔操作距離	土砂排出能力(速度・量)／操作性(精度)			○						○				
		下水管路更生 (樹脂管ライニング)	口径別・管種類別 段差／斜面角度／たわみ量／曲がり角度／底面滞 留物量／下水流下条件(量)／硫化水素環境下	補修速度(日進量)／ライニング更生速度(日進量)／品質(口径精度)			○	○					○				
		下水管路補修 (光更化)	管種・口径別 クラックサイズ(長さ・深さ) 光照射条件(時間・量)	補修速度／クラックへの浸透度			○	○					○				
	運用	連続移動 管内への挿入し易さ メンテ(清掃・修理)		連続稼働時間 挿入に必要な工数・時間 洗浄に必要な工数・時間・補修の頻度	○	○	○	○	○				○	○			
耐環境性	無人航空(上空):耐風雨・耐雷・ 耐高温低温	風雨強度・電圧負荷・高温環境下・低温環境下	速度目標精度／目標地点までの時間／速度／ ホバリング安定性	○	○	○	○	○					○				
	劣化検知&下水管路更生: 耐水性	水浸漬	劣化度の各種検知精度・連続使用時間	○	○	○	○	○				○					
耐久性	連続繰り返し稼働 振動 衝撃	規定負荷・規定動作の繰り返し 運搬時に想定される最大の振動 規定回数・規定高さからの落下	一定時間での磨耗・劣化・故障 一定時間での故障・破損 一定回数での故障・破損	○	○	○	○	○				○	○				
安全性	無人航空(上空):電波障害	他電波の影響評価	誤作動発生頻度・リスク	○	○		○						○				

【水道】																	
機能	移動能力	無人航空(上空)		滞空時間・航空速度 遠隔操作距離 夜間飛行／風雨下条件飛行／高温・低温下／耐雷 街中(建築障害物有り)／地方(障害物少)／ 電波障害発生地域	速度目標精度／目標地点までの時間／速度／ホバリング安定性	○	○		○					○			
		水道管路内移動		水圧環境下／内面錆コブ量	誤作動(電波障害等)発生リスク 移動可能距離／移動速度		○	○	○			○	○		○		
	検出能力	路面形状異常検知: 画像撮影(上空)		標準環境下・夜間環境下・風雨環境下	解像度・路面形状異常判別(画像識別)正解率	○	○							○			
		水道管路劣化検知: 管路内面撮影		水圧環境下 口径別・管種別	解像度			○	○			○	○		○		
		水道管路劣化検知: 漏水箇所特定		水圧環境下 口径別・管種別	漏水音響判別精度 漏水位置精度			○	○			○	○		○		
		水道管路劣化検知: 肉厚計測		水圧環境下 口径別・管種別 超音波条件	外面腐食減肉精度			○	○			○	○		○		
		埋設管周囲空洞		口径別・管種類別 錆コブ量	空洞位置精度 空洞サイズ検知能力			○	○				○				
	情報統合能力	3Dマッピング(路面)		風雨下条件	自己位置特定精度・危険箇所特定精度	○	○							○			
		3Dマッピング(埋設管路)			自己位置精度・危険箇所特定精度	○	○	○	○				○		○		
	作業能力	水道管路更生 (圧力管内面ライニング)		口径別・管種類別 錆コブ量	補修速度(日進量)／ライニング更生速度(日進量)／ 品質(口径精度・耐圧力・耐震)			○					○				
		水道管路補修 (自動溶接)		漏水状態	補修速度／品質(耐圧力)／ 溶接肉厚測定(超音波探傷)			○		○	○		○				
	運用	連続稼働 管内への挿入し易さ メンテ(清掃・修理)			連続稼働時間 挿入に必要な工数・時間 洗浄に必要な工数・時間・補修の頻度	○	○	○	○	○				○	○	○	
耐環境性		無人航空(上空):耐風雨・耐雷・ 耐高温・低温		風雨強度・電圧負荷・高温環境下・低温環境下	速度目標精度／目標地点までの時間／速度／ホバリング安定性	○	○	○	○	○				○			
		劣化検知&下水管路更生: 耐水性		水圧下	劣化度の各種検知精度・連続使用時間	○	○	○	○	○			○		○		
耐久性		連続繰り返し稼働 振動 衝撃		規定負荷・規定動作の繰り返し 運搬時に想定される最大の振動 規定回数・規定高さからの落下	一定時間での磨耗・劣化・故障 一定時間での故障・破損 一定回数での故障・破損	○	○	○	○	○				○	○	○	
安全性		水道管路内:水質安全性			水中への溶出物・量の計測	○	○	○	○				○		○		

付録表4－13 NIST による災害対応ロボットの要素性能評価法 (ASTM 国際標準) の現状 (2013.1 現在)

項目	ASTM 標準化完了	投票中	検証中	内容検討中
専門用語	・都市型災害救助 (ASTM E2521-07A)			・爆発物処理
運動性能 (路面)	・閉鎖空間路面 (連続ピッチ・ロール斜面) (ASTM E2826) ・閉鎖空間路面 (クロスピッチ・ロール斜面) (ASTM E2827) ・閉鎖空間路面 (対称ステップフィールド) (ASTM E2828)	・閉鎖空間路面 (砂利地) ・閉鎖空間路面 (砂地)		・閉鎖空間路面 (泥地)
運動性能 (障害物)	・閉鎖空間障害物 (ギャップ) (ASTM E2801) ・閉鎖空間障害物 (ハードル) (ASTM E2802) ・閉鎖空間障害物 (傾斜面) (ASTM E2803) ・閉鎖空間障害物 (階段・踊り場) (ASTM E2804)		・閉鎖空間障害物 (垂直挿入)	
エネルギー・出力			・耐久性 (連続ピッチロール斜面) (W34433)	・ピーク出力 (障害物)
無線通信	・制御・点検タスク (見通し環境) (ASTM E2854) ・制御・点検タスク (見通しできない環境) (ASTM E2855)			・制御・認知タスク (構造貫通環境) ・制御・認知タスク (都市谷間環境) ・制御・認知タスク (妨害信号環境)
マニピュレーション			・器用な点検タスク (WK27851) ・把持・放す・置く (WK27852) ・ドア開け通過タスク (WK27852) ・腕伸ばし強度 ・ツール使用タスク (破壊、穴開け)	
人間システムインタラクション	・戦略行動タスク (一定速度) (ASTM E2829) ・戦略行動タスク (引きずり) (ASTM E2830) ・探索タスク (複雑路面のランダム迷路) (ASTM E2853)	・ナビゲーションタスク (複雑系路のランダム迷路) (WK33260)		・操作者インタフェース制約 (着衣、姿勢、照明) ・操作者インタフェースの表示 (バッテリー低下、ボディ傾斜)
センサ	・ビデオ (視力・視野チャート、視野検査) (ASTM E2566-08)	・ビデオ (パン・チルト・ズームタスク) (WK33261)	・ビデオ (ダイナミックレンジ) ・ビデオ (カラー視認性) ・ビデオ (レイテンシー) ・音響 (会話認識、双方向) (WK34435)	・音響 (周波数応答音) ・レーザ距離計 (空間解像度) ・位置推定・マッピング (不整地の廊下迷路) ・位置推定・マッピング (特徴の少ない環境)
安全・環境			・洗浄・除染 (WK33262) ・渡河	・通信切れの際の動作
ロジスティクス	・パッケージの重量とロボットの体積 (ASTM E259)			

付録表 4－１４ 世界中で活性化している、教育や啓蒙を主目的としない、防災・フィールド関連ロボット競技会

名称	開催地	開始年	目的	開催組織
屋外フィールド競技会				
International Aerial Robotics Competition	米国	1991	飛行ロボットによる災害等への対応技術の向上。上空からの災害現場のマッピング、ビル内撮影、小物体のハンドリング、複数ロボット協調などをミッションとする。	AUVSI
Intelligent Ground Vehicle Competition	米国	1993	無人自律自動車によるコース走破、ロボット設計、標準に従ったシステム開発、をテーマとした競技会で、地上走行自律車両の技術向上を目的とする	AUVSI
RoboSub Competition	米国	1998	自律水中ロボット(AUV)の技術向上。	AUVSI, ONR
ELROB	ヨーロッパ	2007	実際のシナリオと路面状況の下で動く無人地上システムについて、現在利用可能な技術を調査する事を目的とする。民生用との C-ELROB と軍事用途の M-ELROB がある。	EURON
DARPA Grand Challenge	米国		砂漠の屋外道路を長距離に渡って無人走行し、目的地に到達する。DARPA Urban Challenge 開催に発展。	DARPA
DARPA Urban Challenge	米国		市内道路を法規に従って無人走行する。駐車、交通信号、一時停止、追い越し、など。Google Car の実現に貢献	DARPA
つくばチャレンジ	日本		人通りの多い公園内の道路数 km を無人走行する。	つくばチャレンジ実行委員会
euRathlon	EU	2013	2013 年：地上走行ロボットによる、プラント災害(バルブ開閉、物体操作)、建物内搜索(廃墟内)、爆発物処理、屋外自律走行(山中)。	EU FP7
Maritime RobotX Challenge	米国	2014	自律ボートの技術向上	AUVSI, ONR
European Robotics Challenge	EU	2014	プラント点検とサービスを目的とする競技会	EU HORIZON 2020
ARGOS	ヨーロッパ	2014	ガス・石油に関する自律ロボットの競技会	石油関連会社、フランス政府
屋内模擬災害空間競技会				
RoboCupRescue Robot League	世界	2001	実物大の模擬フィールド(不整地、迷路、隠された要救助者・操作物)での要救助者の発見、マップ作成、遠隔操作＋自律移動、マニピュレーション。日本発。Quince 開発などに貢献。	RoboCup Federation
DARPA Robotics Challenge	米国	2012	福島原発モチーフ(車両、不整地、猿梯子、瓦礫排除、ドア開け、壁穴開け、バルブ回し、ホース接続)、ヒューマノイド研究を奨励することに特化。	DARPA
シミュレーション競技会				
RoboCupRescue Simulation League	世界	2001	大規模地震災害(建物倒壊、火災延焼、道路閉塞)の数 km 四方の都市、防災シミュレータ、部隊を模擬したエージェントシミュレーションで、火災消火、道路啓開、被災者救出の資源配分・ロジ戦略を競技。日本発。世界に先駆けて行われた防災ロボット研究のシミュレーションの世界競技会。	RoboCup Federation
RoboCupRescue Virtual Robot League	世界	2007	都市災害の建物内、物理シミュレータ(ゲームエンジン)、個別ロボットシミュレーションで、要救助者の発見、マップ作成、遠隔操作＋自律移動を課題とする。	RoboCup Federation
DARPA Virtual Robotics Challenge	米国	2012	福島原発モチーフ(車両、不整地、猿梯子、瓦礫排除、ドア開け、壁穴開け、バルブ回し、ホース接続)、ヒューマノイド研究を奨励することに特化。	DARPA

付録表4－15 災害対応ロボットに対する安全性の評価認証の必要性に関する専門家からのコメント

非常時の災害対応ロボットや、平時のインフラ点検ロボットなどに対する、安全性の評価認証の必要性について	欧州においては、橋梁の点検などに使う機械は機械指令の対象になります。（例えば、脚にインターロックをつけて、きちんと開かないとアームが動かなかったり、アームの速度も一定を超えるとインターロックがかかるなど） 機械指令と同程度の安全性が要求されるかと存じます。また、非常時の災害対応ロボットについては、医療機器などと同様、リスクとベネフィットのバランスかと存じます。災害時は緊急を要しますので、ある程度の安全性は無視されても仕方ない（無視せざるを得ない）ところかと存じます。（一般財団法人日本品質保証機構（JQA）清水雄一郎氏） 災害対応ロボットや、平時のインフラ点検ロボットは業務として利用されるため、労働安全衛生法第 28 条の 2 に基づき、リスクアセスメントを実施し、残留リスクとその対応方策を使用者に伝える義務がメーカー、雇用主にある。よって、安全性の評価なしにロボットを使うことは、労働安全衛生法違反である。（福島原発のロボット利用でリスクアセスメントが適切に実施されているか、個人的には大変気になっています。）また、災害対応ロボットや、平時のインフラ点検ロボットは、事故発生時に周囲にいる第 3 者に被害を与える可能性がある。また、災害対応ロボットで人命救助する場合は、被救助者に事前にロボットの残留リスクを説明をすることが困難である。よって、災害対応ロボットや、平時のインフラ点検ロボットは、災害対応ロボットセンターにより事前に安全認証をし残留リスクを明らかにし、広く国民にその残留リスクの同意をとることが、必要である。（長岡科技大 木村委員）
災害対応ロボットセンターは、関連するロボットの評価や訓練などの役割を持つことが考えられておりますが、必要性に対するご意見	安全性だけでなく、災害現場でキチンと機能が発揮できる得る信頼性も必要になるかと存じます。また、ロボットを正しく使用する（使いこなす）ための要員を養成（訓練など）するなどの役割を担っていただけるような機関となるべく期待いたします。（JQA 清水氏） 安全性の評価は合理的予見可能な誤使用・故障も考慮する必要がある。合理的予見可能な誤使用・故障を考慮した安全評価を適切に実施するためには、実環境か実環境の特性を十分に反映した環境で試験する事が必要である。災害対応ロボットでこのような環境を準備するのは、個々のメーカーや使用者では困難であり、災害対応ロボットセンターのような国策として安全評価環境を準備する事が必要である。適切な訓練でも、同様に実環境か実環境の特性を十分に反映した環境が必要であり、災害対応ロボットセンターの利用が望まれる。（長岡科技大 木村委員）
安全認証専門機関との協力の可能性など	JQA で持ち得る知見がお役に立つようであれば、協力は惜しみません。（JQA 清水氏） 災害対応ロボットの安全は、各分野の安全の専門家の緊密な協力が必要である。災害対応ロボットセンターの実環境で実際のロボットを用いて議論をすることが、分野を超えた意思疎通を円滑にするのに役立つ。災害対応ロボットの安全を考えるためには、下記の安全分野の専門家の関与が必要である。 -ロボット安全（機械的安全、電気安全（EMC 含む）、制御安全、機能安全） -労働安全 -環境依存の安全（防爆、防塵防水） -国民とのリスクコミュニケーション また、これらを統合する安全インテグレータ（リスクマネジメント）も必要である。下記の機関との連携が考えられる -ロボット安全：TUV、JQA 等各種認証機関 -労働安全：労働安全衛生総合研究所、消防研究所、中災防 -環境依存の安全：産業安全技術協会（防爆）、防塵防水は各種認証機関 -国民とのリスクコミュニケーション：製品安全協会、消費者庁 -安全インテグレータ：直接の該当なし。関連として有人宇宙システム（株）等の航空宇宙安全団体、本学安全安心社会研究センター（システム安全）等。 安全認証をするためには関連規格の整備が必要であるが、現状ではバックデータが少なく、規格作成は困難である。災害対応ロボットセンターでバックデータの蓄積をすることを希望する。（長岡科技大 木村委員）

【災害対応ロボットセンター設立構想】

最終報告書 付録(技術 WG データベースサンプル)

表 A. 「技術カタログ」のサンプル

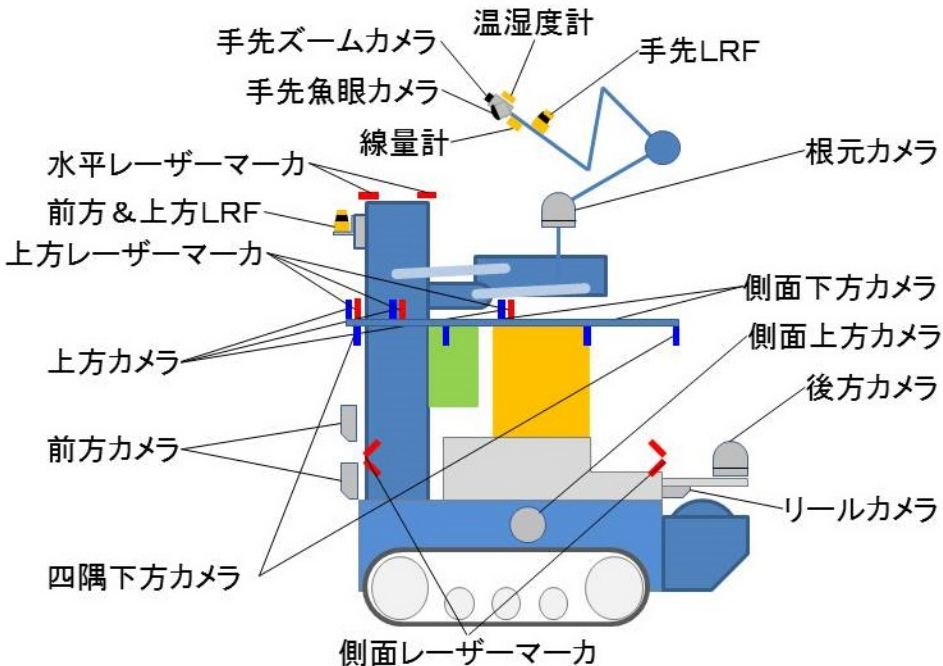
高所調査用ロボット (株)本田技術研究所・(独)産業技術総合研究所.....	1
水陸両用ブルドーザ (株)小松製作所.....	7
エルボマスター 新日本非破壊検査(株).....	9
Super Giraffe 三菱重工業(株).....	14
ASTACO-SoRa (株)日立パワーソリューションズ・日立建機(株).....	16
櫻Ⅱ号 千葉工業大学未来ロボット技術研究センター・三菱重工(株).....	18
Quince (株)移動ロボット研究所.....	20
マルチコプター (株)エンルート.....	24

表 B. 「ニーズカタログ(事例集)」のサンプル

新潟県中越地震(2004. 10. 23)	26
茨城県つくば市の竜巻災害(2012. 5. 6)	29

表 A「技術カタログ」のサンプルフォーマット（案）

■ 基本情報

名 称	高所調査用ロボット
機能・性能の概要	高線量などの理由により人が立ち入ることが困難で、また通路幅や高さが比較的狭隘な原子炉建屋内において、マストを昇降することで高さ7 mまでのフロア高所の配管や梁に囲まれた狭隘部奥の線量や温度湿度の計測、および画像や3Dデータの取得を行う。 操作は現場の無線インフラなしに有線通信を用い安全な場所から遠隔にて行うことができる
写真・動画	  High-access survey robot 2013.06.17 High-access survey robot 2013.06.17
センサ配置図	

COCN(災害対応ロボットセンター設立構想)
技術 WG2 データベースサンプル

サイズ	全長 1720mm ×全幅 830mm ×全高 1800mm		
重量	1100kg		
技術区分	☒ 完結品（システム） ☐ 部品（パーツ） ☐ 要素技術		
登録年月日	平成25年12月〇〇日		
開発者名	株式会社本田技術研究所 独立行政法人産業技術総合研究所	最終更新年月日	平成25年12月〇〇日
登録者名	株式会社本田技術研究所、独立行政法人産業技術総合研究所		
問い合わせ先	〇〇〇〇		
問い合わせ先	TEL		
緊急連絡先	メール	××-××××-××××	FAX
(24時間)	〇〇〇〇	XXXXX@XXXXX	
緊急連絡先	TEL		
(24時間)	メール	××-××××-××××	FAX
		××-××××-××××	

■分類情報

災害の種類	☐ 地震・津波 ☐ 火山 ☐ 風水害 ☒ 原子力事故 ☐ その他（ ）
作業の内容	☒ 調査 ☒ 移動 ☐ 通信 ☐ 制御 ☐ 重作業 ☐ 軽作業 ☐ 支援
移動の方法	☐ 飛行 ☒ 陸上移動 ☐ 水中移動 ☐ その他（ ）
技術区分	☒ 完結品（インテグレート） ☐ 部品（パーツ） ☐ 要素技術 ☐ 周辺技術
公開レベル	☐ 一般公開 ☒ 制限付きで公開 ☐ 災害対応ロボットセンターのみで利用
想定する場面 (ユースケース)	原子炉建屋内フロア高所（3～7m）狭隘部の線量や温湿度の計測、および画像や3Dデータの取得を免震重要棟からの操縦で行う
適用範囲	晴天時の屋外、または建屋内の高所狭隘部の温湿度、画像、3次元形状の調査

活動実績	福島第一原子力発電所 2 号機原子炉建屋 1 階のエアロック室周辺にて、高所の線量計測や画像による設備の損傷状況の確認、L R F による 3 D データの取得を行った（2 0 1 3 年 6 月 1 8 日と同年 7 月 2 3 日の 2 回） 参考 U R L （東京電力 W e b サイト） http://photo.tepco.co.jp/date/2013/201306-j/130617-02j.html http://photo.tepco.co.jp/date/2013/201306-j/130619-01j.html http://photo.tepco.co.jp/date/2013/201307-j/130724-02j.html
試験実績	・ 停止中の原子力発電所原子炉建屋 1 階において実証実験（〇〇間） ・ 福島第一原子力発電所 5 号機原子炉建屋 1 階においてモックアップ試験（〇〇回以上）

■その他詳細情報

（準備状況） Technology Readiness Level 8 . 福島第一原子力発電所内にて待機（1 台） （調達に必要な期間・概算費用） 現存する機体を福島第一原子力発電所外に持ち出すには除染が必要であり、期間は汚染度合いによる 本ロボットは量産品ではなく、一品ものであり、新規にロボットを製作するには期間〇〇程度。費用は要相談 （改造への対応） 新規に製作する場合、アーム先端に搭載するセンサは可搬重量内であれば変更可能。 （オペレータ）【手配方法、資格条件等】 資格条件なし。P C の操作が出来る方が対象。 操作・運用訓練は期間〇〇程度。操作マニュアル、訓練用シミュレータ完備 （使用条件）【温度、風速、防水性、対応可能な障害等】 温湿度（保管および起動時） ロボット 温度〇〇～〇〇℃ 湿度〇〇～〇〇％ 操作卓 温度〇〇～〇〇℃、湿度〇〇～〇〇％（結露なきこと） 温湿度（動作時） ロボット 温度〇〇～〇〇℃ 湿度〇〇～〇〇％ 操作卓 温度〇〇～〇〇℃ 湿度〇〇～〇〇％（結露なきこと） 照度 ロボット本体に L E D 照明を装備し暗闇でも作業可能 防水性 ロボット 降水量〇〇mm/h で〇〇分間以内 操作卓 屋内でのみ使用 防爆性 なし 風速
--

未検証

その他確認済項目

急激な温度変化による結露やカメラのくもりの有無

(耐環境性能)【耐爆性能、耐放射線性能、耐雷性能等】

耐放性能

ロボットのアーム部 ○○mS v/h 以内

ロボットのアーム部以外 ○○mS v/h 以内

ロボット本体の累積被曝量を管理し、上限値に達したら使用を中止

操作卓 耐放性なし

耐爆性能なし. 耐雷性能なし

(通信方法)

自動送り出し・巻き取りの光ケーブル(400m) または無線

(使用する通信インフラ)

ロボットの移動開始位置と操作卓の間にギガビットクラスのイントラネットが必要

(電源)

- ・台車、マスト、アームとも電動モータ駆動で、搭載バッテリーにて動作. 充電時間○時間
- ・遠隔操作場所の操作卓や通信用機器は100～240Vの家庭用電源(必要最大容量○A)
- ・保管メンテ場所のロボット本体バッテリー充電器は100～240Vの家庭用電源(必要最大容量○A)

(操作・運用方法)

- ・操作卓側にPC操作とサポートの2名、ロボットの運搬等現場作業に2名の計4名で運用
- ・ノートPC1台で操作可能.
- ・操作卓側とロボット側はマイク&スピーカを介して通話可能
- ・台車は台車操縦Box(有線)により、走行とマスト昇降が可能

(計測能力)

- ・アーム先端に線量計(瞬時、累積)、温湿度計、光学10倍ズームカメラと魚眼カメラ(LED照明付)、LRFを装備
- ・画像、線量、温湿度、LRFによる3Dデータは保存可能

(移動能力)

- ・最大移動速度2km/h. 超信地旋回可能
- ・通信用光ケーブル長400m
- ・最大踏破段差60mm 最大斜面15度(前後)、20度(左右)
- ・最大水たまり深さ○○mm

最小通路幅850mm 最小通路高さ1850mm

- ・停止時は自動的にブレーキがかかり斜面でのずり落ちを防止

(作業能力)

- ・アーム先端リーチ 高さ7m 前方1.3m 左右1.2m
- ・アーム先端可搬重量 ○kg(負荷に応じて自動姿勢制限機能有)
- ・マストリフトアップ可能最大傾斜角 ○度(アウトリガなし)

- ・マストリフトアップ可能最小空間 700mm角
- ・狭隘部へのアームの挿入可能
 - ・障害物回避のための多自由度アーム（11自由度）
 - ・LRFで取得した環境の3Dデータをポイントクラウドとしてロボットアニメーションと重ねて表示し、アームと環境とのクリアランスをあらゆる角度から確認可能。また動作実行前にアーム姿勢をシミュレート表示し環境との干渉の有無を確認した後、実際に動作を指示することで衝突を回避。
 - ・アームに力センサを装備し、力制御により衝突時の衝撃力を緩和
- ・本ロボットと無線通信によってお供ロボを伴走させ、お供ロボのカメラ画像を確認しながら操作可能
- ・アーム関節の一部にブレーキを装備し電源ダウン時でも姿勢を維持

（稼働時間）

5時間

（安全性）

- ・ロボット本体に動作状態を示す3色シグナルタワーを装備し、産業機械における「隔離の原則」に則りロボットの傍の作業者の安全性を確保
- ・ロボット本体に非常停止スイッチ、操作卓側に保護停止スイッチを装備
- ・台車走行、マスト昇降時にはロボット本体から警報音
- ・操作卓側とロボット側はマイク&スピーカを介して通話可能
- ・操作訓練で安全に関する項目を実施
- ・挟み込みやレーザなどの注意喚起のステッカー添付
- ・操作マニュアルに禁止・注意事項記載

（信頼性）

- ・原子炉建屋内でのスタックを防止するため通信ケーブル切断、ソフトウェア異常、電源ダウンなど異常発生時の対応として、出来る限り遠隔操作で復帰できる、どうしても現場作業が必要な場合でも作業時間を最小化できるよう、復帰・回収のための手段を段階的に複数用意し、操作訓練で異常時からの復帰・回収作業訓練を実施
- ・システム初期故障対応動作実施済
 - ・段差走行、マスト昇降、屋外路走行、トラック運搬
 - ・モックアップ環境において起動から運搬、調査作業、撤収まで一連の模擬ミッション

（耐久性）

設定寿命までの動作回数や加振回数を想定し、各コンポーネントにおいて耐久性確認済

- ・コンポーネント振動（アーム、カメラ等） 〇〇回
- ・アーム動作 〇〇回
- ・アーム電装品温度サイクル 〇度～〇度で〇〇回
- ・アームバッテリー充放電システムの充放電サイクル 〇〇回

（運搬）

- ・可搬重量1.2トン以上のユニックまたはリフタ付きトラックにて運搬
- ・吊り治具を使用しクレーン等でロボット本体を吊上げることが可能

(保管スペース)

- ・ロボット本体 2 m×3 m (保管温湿度条件は使用条件の項を参照)
- ・消耗品等の備品 6 m×2 m

(メンテナンス)

- ・バッテリー充電 ○○毎
- ・マスト摺動部グリスアップ ○○毎
- ・履帯、アームカバー交換可能

(課題)

稼働時間、雨天時運用、高圧洗浄による除染、耐放性、高い段差や階段昇降、アーム可搬重量、無線操縦時の通信容量、自己位置推定、走行を伴う3Dデータの重ね合せ、障害物回避

(評価情報)

なし

(その他)

なし

表 A「技術カタログ」のサンプルフォーマット（案）

■基本情報

名 称	水陸両用ブルドーザ				
機能・性能の概要	水深 7 m までの水中作業と陸上作業を、ラジコン操縦できるブルドーザ				
写真・動画	 無線遠隔操縦式水陸両用ブルドーザD 1 5 5 W-1				
サイズ	全長 9. 3 m ×全幅 4 m ×全高 9. 8 m（アンテナ含む）				
重量	4 3 5 0 0 k g（陸上）				
技術区分	☒ 完結品（システム） ☐ 部品（パーツ） ☐ 要素技術				
登録年月日	平成 2 4 年 1 2 月 1 1 日		最終更新年月日	平成 2 4 年 1 2 月 1 1 日	
開発者名	（株）小松製作所				
登録者名	（株）小松製作所				
問い合わせ先	（株）小松製作所 開発本部 商品企画室				
	TEL	0 3 - 5 5 6 1 - 2 7 5 7		FAX	0 3 - 5 5 6 1 - 2 8 9 8
	メール	sadao_nunotani@komatsu.co.jp			
緊急連絡先 （24 時間）	〇〇〇〇株式会社〇〇部 〇〇〇				
	TEL	××-××××-××××		FAX	××-××××-××××
	メール	XXXXXX@XXXXX			

■分類情報

災害の種類	☒ 地震・津波 ☐ 火山 ☒ 風水害 ☐ 原子力事故 ☐ その他（ ）
作業の内容	☐ 調査 ☒ 移動 ☐ 通信 ☐ 制御 ☒ 重作業 ☐ 軽作業 ☐ 支援
移動の方法	☐ 飛行 ☒ 陸上移動 ☒ 水中移動 ☐ その他（ ）
技術区分	☒ 完結品（インテグレート） ☐ 部品（パーツ） ☐ 要素技術 ☐ 周辺技術
公開レベル	☒ 一般公開 ☐ 制限付きで公開 ☐ 災害対応ロボットセンターのみで利用

想定する場面	災害復旧時、以下の工事をラジコン操縦で行う。 ・土石流発生により河川または港湾の浅水域に堆積した土砂等を取り除く。 ・橋脚の補強工事（津波が遡上して橋脚基礎部分の土砂が洗掘されてむき出しとなった橋脚を埋戻し、護床工を施工する）を行う。
適用範囲	浅水域（0～7 m）での掘削・押土・敷き均し・リッピング作業
活動実績	東日本大震災 名取川橋脚補強工事（宮城県名取市） 2013 年 1 月～2 月 動画 http://www.kenkenkikki.jp/activity/no03/index.html

■その他詳細情報

（準備状況） 現在生産中止。 現存するのは5台のみ、国内で稼働中（青木あすなろ建設 保有） （調達に必要な期間・概算費用） （オペレータ）【手配方法、資格条件等】 （使用条件）【温度、風速、防水性、対応可能な障害等】 水深 7 m まで。 （耐環境性能）【耐爆性能、耐放射線性能、対雷性能等】 （使用する通信インフラ） 無線 2 低周波組み合わせ式 1 4 0 ～ 1 4 2 M H z の 1 波 （操作方式） ラジコン送信機を用い、オペレータが直接目視しながら遠隔操作する 操作可能距離：5 0 m まで（障害物がない） （電源） ディーゼルエンジン 2 7 0 P S （エンジンは車載。特別な外部電源を必要としない） （評価情報） （その他） ・ 1971 年より生産開始。累計 36 台生産し、1993 年に生産中止。現在でも国内で 5 台が稼働（青木あすなろ建設が保有） ・ 陸上機械、作業船等が使用できない浅水域（0～7 m）を作業領域とする無線操縦式水中機械。 ・ 漁港・漁場の整備、護岸工事、河川災害の復旧整備等で幅広く使用できる。 ・ 作業支援船を必要とせず、ブルドーザ単体で作業ができる。 （参考資料） 水陸両用ブルドーザ関連工法 http://www.aconst.co.jp/technology_001.html 水陸両用ブルドーザ D155W-1 カタログ http://www55.tok2.com/home2/history/d155w-1.html

表 A「技術カタログ」のサンプルフォーマット（案）

■基本情報

名 称	エルボマスター		
機能・性能の概要	・配管内を「へ」の字に突っ張ることで配管材質に依存せず、様々なサイズの配管を走行。（三種類の台車でφ100～φ750の配管に対応） ・カメラにより配管内の状況を観察する。 ・水平管だけでなく垂直部やエルボ部の走行が可能で、ローリング機能により障害物を回避することも可能。		
写真・動画	添付ファイル		
サイズ	別紙		
技術区分	☒ 完結品（システム） ☐ 部品（パーツ） ☐ 要素技術		
登録年月日	平成〇〇年〇月〇日	最終更新年月日	平成〇〇年〇月〇日
開発者名	新日本非破壊検査株式会社		
登録者名	新日本非破壊検査株式会社		
問い合わせ先	新日本非破壊検査株式会社 メカトロニクス部		
	TEL	093-581-1234	FAX 093-581-2232
	メール	h-wada@shk-k.co.jp	
緊急連絡先 (24 時間)	新日本非破壊検査株式会社 メカトロニクス部		
	TEL	093-581-1234	FAX 093-581-2232
	メール	h-wada@shk-k.co.jp	

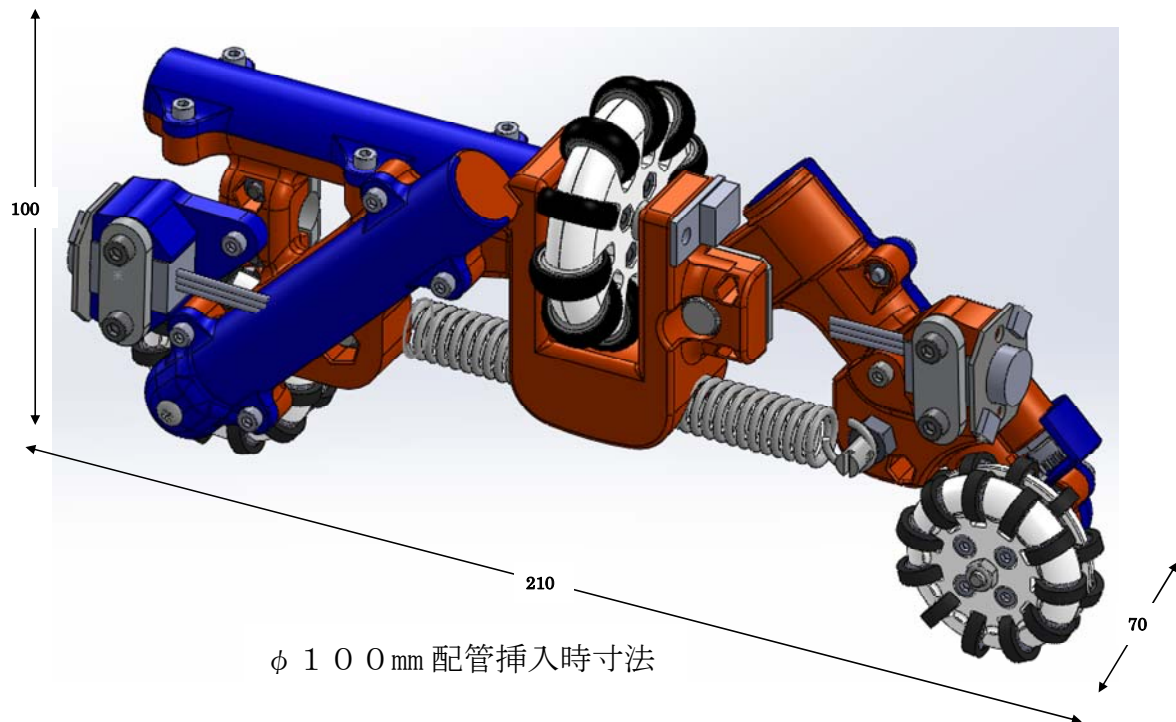
■分類情報

災害の種類	☐ 地震・津波 ☐ 火山 ☐ 風水害 ☐ 原子力事故 ☒ その他（ プラント災害 ）
作業の内容	☒ 調査 ☐ 移動 ☐ 通信 ☐ 制御 ☐ 重作業 ☐ 軽作業 ☐ 支援
移動の方法	☐ 飛行 ☐ 陸上移動 ☐ 水中移動 ☒ その他（ 配管内 ）
技術区分	☒ 完結品（インテグレート） ☐ 部品（パーツ） ☐ 要素技術 ☐ 周辺技術
公開レベル	☒ 一般公開 ☐ 制限付きで公開 ☐ 災害対応ロボットセンターのみで利用
想定する場面	プラントでの災害発生時に、配管内を調査することができる。
適用範囲	配管径：φ100～φ650 最大100m
活動実績	発電プラント配管（原子力：冷却用水管、火力：主蒸気管、水力：水圧鉄管、地熱：蒸気管）、化学プラント配管、その他配管点検 ＊蒸気配管で発生した噴発事故の復旧作業として、配管内の状況および飛散物調査の実績あり。

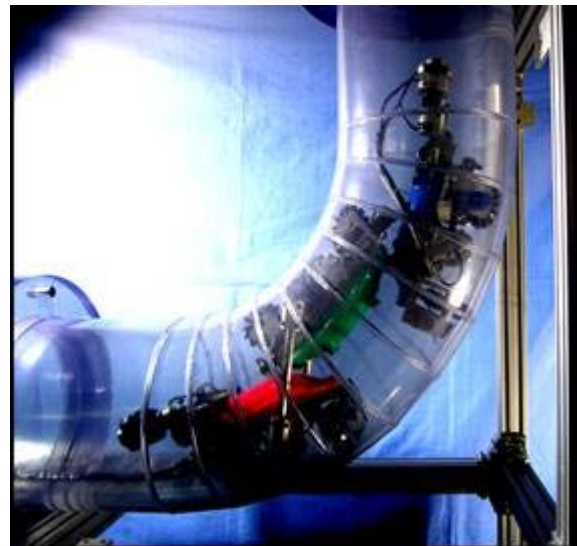
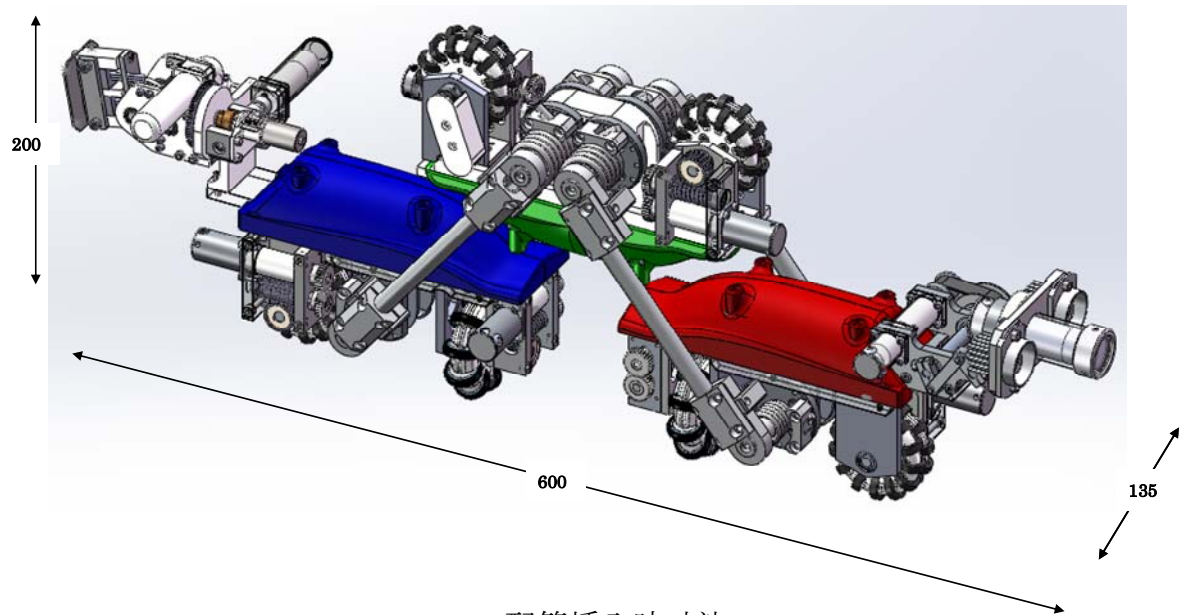
■その他詳細情報

(準備状況)【Technology Readiness Level (TRL)等】
(調達に必要な期間・概算費用)
(オペレータ)【手配方法、資格条件等】
(使用条件)【温度、風速、防水性、対応可能な障害等】 配管内が液体または固体で満たされていない
(耐環境性能)【耐爆性能、耐放射線性能、対雷性能等】 特になし
(使用する通信インフラ) 特になし
(電源) AC100V 5A
(評価情報)
(その他)

μ エルボマスター ($\phi 100 \sim 200$ mm 用)



小型エルボマスター (φ 200 ~ 350 mm 用)



エルボマスター (φ 350 ~ 650 mm 用)

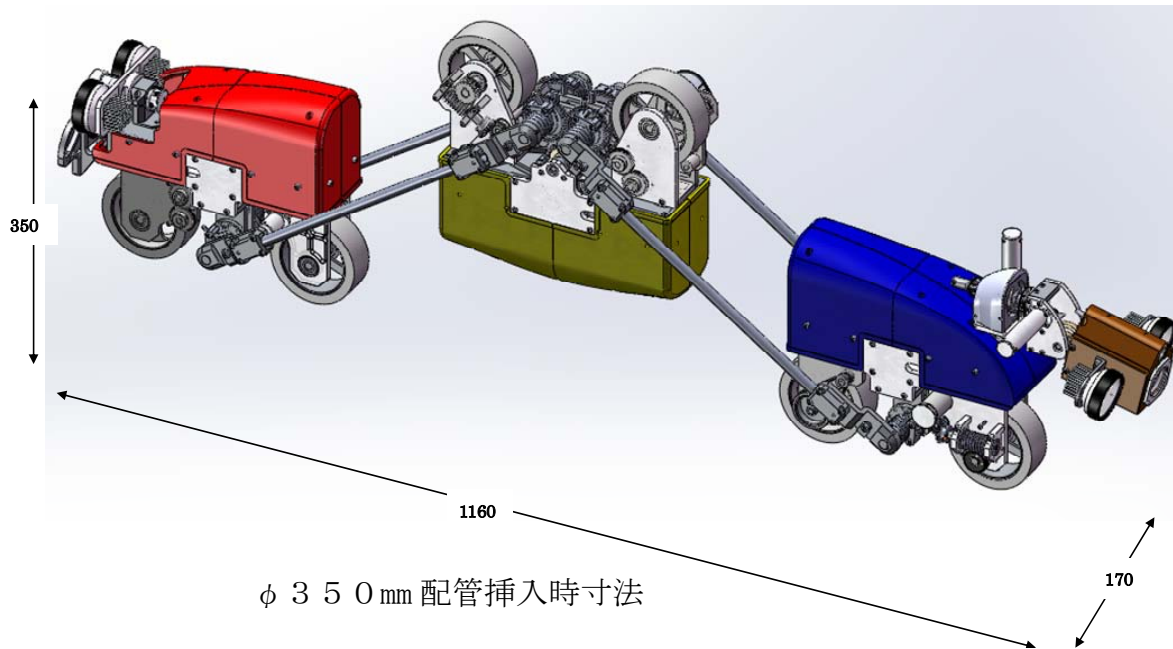


表 A「技術カタログ」のサンプルフォーマット（案）

■ 基本情報

名 称	Super Giraffe		
機能・性能の概要	8 m高所作業が可能なマニピュレータを搭載した移動ロボット。移動台車部は4輪駆動4輪操舵で、その場旋回や真横・斜めへの並進が可能。		
写真・動画			
サイズ	全長 2350mm ×全幅 800mm ×全高 2000mm		
技術区分	☒ 完結品（システム） ☐ 部品（パーツ） ☐ 要素技術		
登録年月日	平成26年1月〇〇日	最終更新年月日	平成〇〇年〇月〇日
開発者名	三菱重工業株式会社		
登録者名	三菱重工業株式会社		
問い合わせ先	三菱重工業株式会社 〇〇部 〇〇〇		
	TEL	〇〇〇-〇〇〇-〇〇〇〇	FAX 〇〇〇-〇〇〇-〇〇〇〇
	メール	XXXXX@mhi.co.jp	
緊急連絡先 (24 時間)	三菱重工業株式会社〇〇部 〇〇〇		
	TEL	〇〇〇-〇〇〇-〇〇〇〇	FAX 〇〇〇-〇〇〇-〇〇〇〇
	メール	XXXXX@mhi.co.jp	

■分類情報

災害の種類	☐ 地震・津波 ☐ 火山 ☐ 風水害 ☒ 原子力事故 ☒ その他（災害全般）
作業の内容	☒ 調査 ☒ 移動 ☐ 通信 ☐ 制御 ☐ 重作業 ☒ 軽作業 ☒ 支援
移動の方法	☐ 飛行 ☒ 陸上移動 ☐ 水中移動 ☐ その他（ ）
技術区分	☒ 完結品（インテグレート） ☒ 部品（パーツ） ☐ 要素技術 ☐ 周辺技術
公開レベル	☒ 一般公開 ☐ 制限付きで公開 ☐ 災害対応ロボットセンターのみで利用
想定する場面	災害発生時に、各種作業をすることができる。 モジュール設計により、必要なモジュールを組み合わせ、様々なニーズに対応可能
適用範囲	○○○○○○○○○○
活動実績	○○○○○○○○○○

■その他詳細情報

（準備状況）【Technology Readiness Level (TRL)等】 即受注可 （調達に必要な期間・概算費用） 約 10 か月、費用は要求仕様による （オペレータ）【手配方法、資格条件等】 事前の操作トレーニングを要する （使用条件）【温度、風速、防水性、対応可能な障害等】 IP55 （耐環境性能）【耐爆性能、耐放射線性能、対雷性能等】 耐放射線性 100Gy （使用する通信インフラ） 有線 LAN または無線 LAN （電源） φ 3 AC200V で充電（空から満充電まで約 10 時間） （評価情報） ○○○○ （その他） ○○○○

表 A「技術カタログ」のサンプルフォーマット（案）

■ 基本情報

名 称	原子力災害対応用小型双腕重機型ロボット “ASTACO-SoRa”		
機能・性能の概要	・コンパクトなボディーに搭載した2本のアームによる自由度の高い作業が可能 ・アーム最大高さ約2.5m、各アームの最大取扱荷重約150kg ・2本のアームの先端に、掴み具・切断具・回転具・カメラ付長尺アームが装着可能 ・各種ツールは遠隔操作での交換が可能（カメラ付長尺アームを除く） ・カメラ付き長尺アームは高さ約6.5mにおける環境調査および測定が可能 ・線量率計および酸素水素濃度計を搭載し、建屋環境を常時測定、記録可能 ・専用の操作盤から遠隔操作可能(本体に6台のカメラを搭載) ・レーザー距離計、レーザー光、アームの原点復帰機能により運転操作を補助		
写真・動画	  ロボット本体 遠隔操作盤		
サイズ	【ロボット本体】 全長：1,570mm（走行姿勢時） 全幅：980～1280mm（クローラ幅可変） 全高：1,500mm（カメラなどの突起物を除く） 重量：約 2.5ton(装着する先端ツールによる) 【遠隔操作盤】 全長：1,010mm 全幅：1,700mm 全高：1,635mm 重量：約 400kg		
技術区分	☒ 完結品（システム） ☐ 部品（パーツ） ☐ 要素技術		
登録年月日	平成〇〇年〇月〇日	最終更新年月日	平成〇〇年〇月〇日
開発者名	(株)日立パワーソリューションズ、日立建機(株)		
登録者名	〇〇〇〇株式会社		
問い合わせ先	〇〇〇〇株式会社〇〇部 〇〇〇		

COCN(災害対応ロボットセンター設立構想)
技術 WG2 データベースサンプル

	TEL	××-××××-××××	FAX	××-××××-××××
	メール	XXXXX@XXXXX		
緊急連絡先 (24 時間)	〇〇〇〇株式会社〇〇部 〇〇〇			
	TEL	××-××××-××××	FAX	××-××××-××××
	メール	XXXXX@XXXXX		

■分類情報

災害の種類	☐ 地震・津波 ☐ 火山 ☐ 風水害 ☒ 原子力事故 ☐ その他（ ）
作業の内容	☒ 調査 ☐ 移動 ☐ 通信 ☐ 制御 ☒ 重作業 ☐ 軽作業 ☐ 支援
移動の方法	☐ 飛行 ☒ 陸上移動 ☐ 水中移動 ☐ その他（ ）
技術区分	☒ 完結品（インテグレート） ☐ 部品（パーツ） ☐ 要素技術 ☐ 周辺技術
公開レベル	☒ 一般公開 ☐ 制限付きで公開 ☐ 災害対応ロボットセンターのみで利用
想定する場面	原子力災害発生時に、遠隔操作による がれき撤去などの重作業が可能
適用範囲	〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇
活動実績	福島第一原発建屋内のがれき撤去作業に従事

■その他詳細情報

（準備状況）【Technology Readiness Level (TRL)等】 （調達に必要な期間・概算費用） （オペレータ）【手配方法、資格条件等】 （使用条件）【温度、風速、防水性、対応可能な障害等】 （耐環境性能）【耐爆性能、耐放射線性能、対雷性能等】 （使用する通信インフラ） （電源） （評価情報） （その他）

表 A「技術カタログ」のサンプルフォーマット（案）

■基本情報

名 称	櫻Ⅱ号		
機能・性能の概要	重量約 70kg で無線操縦により 45° の階段の登坂と 900mm の範囲内でのその場旋回や水中の走行により，画像の撮影やマニピュレータによる軽作業が可能。		
写真・動画	http://www.youtube.com/playlist?feature=edit_ok&list=PLFziC-NvygOHYJbtYJbFAEUqlSCUiLcQ7 		
サイズ	全長 1040mm ×全幅 510mm ×全高 450mm		
技術区分	☒ 完結品（システム） ☐ 部品（パーツ） ☐ 要素技術		
登録年月日	平成 26 年 1 月 9 日	最終更新年月日	平成 26 年 1 月 9 日
開発者名	千葉工業大学未来ロボット技術研究センター		
登録者名	三菱重工業株式会社		
問い合わせ先	○○○○株式会社○○部 ○○○ T E L ××-××××-×××× F A X ××-××××-×××× メール XXXXX@mhi.co.jp		
緊急連絡先 (24 時間)	○○○○株式会社○○部 ○○○ T E L ××-××××-×××× F A X ××-××××-×××× メール XXXXX@mhi.co.jp		

■分類情報

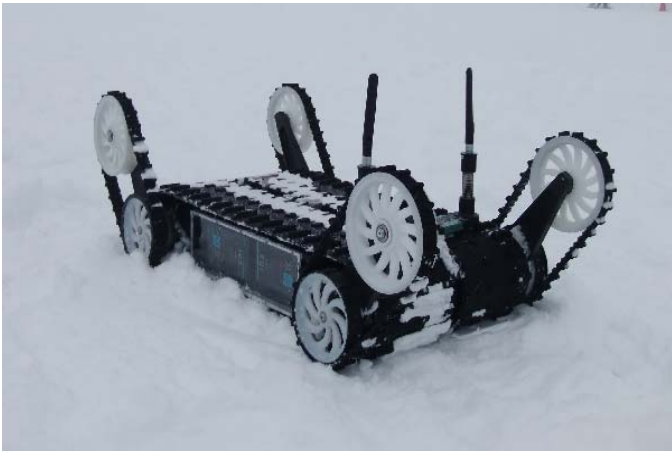
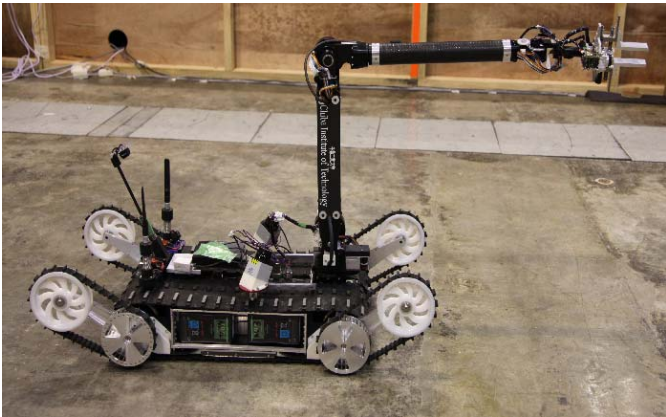
災害の種類	■地震・津波 □火山 ■風水害 ■原子力事故 □その他（ ）
作業の内容	■調査 ■移動 ■通信 □制御 □重作業 ■軽作業 ■支援
移動の方法	□飛行 ■陸上移動 □水中移動 □その他（ ）
技術区分	■完結品（インテグレート） □部品（パーツ） □要素技術 □周辺技術
公開レベル	■一般公開 □制限付きで公開 □災害対応ロボットセンターのみで利用
想定する場面	災害発生時に、ガレキや悪路，階段を走破し，画像の撮影や軽作業を実施することができる。またはその他ロボットの無線 LAN の基地局として活用可能。
適用範囲	○○○○○○○○○○
活動実績	東京電力福島第一原子力発電所

■その他詳細情報

（準備状況）【Technology Readiness Level (TRL)等】即受注可 （調達に必要な期間・概算費用）約 5 ヶ月，費用は要求仕様による （オペレータ）【手配方法、資格条件等】事前の操作トレーニングを要す。 （使用条件）【温度、風速、防水性、対応可能な障害等】IP67 相当 （耐環境性能）【耐爆性能、耐放射線性能、対雷性能等】耐放射線性 100Gy （使用する通信インフラ）有線 LAN 及び無線 LAN （電源）充電式バッテリー（充電時は AC100～240V） （評価情報） （その他）

表 A「技術カタログ」のサンプルフォーマット（案）

■基本情報

名 称	Quince
機能・性能の概要	災害時の要救助者の搜索、施設設備等の被害状況調査. 瓦礫上の走破性能, 35cm の段差踏破機能, 65 度の階段昇降機能. 無線, 有線(500m)による遠隔操作.
写真・動画	 標準仕様の Quince  6 自由度マニピュレータを装備した Quince

	Quince各部名称 福島原発モニタリングロボットとして改造した Quince 1 号
サイズ	標準仕様：全長 710mm(1100) ×全幅 500mm ×全高 165mm 重量 26kg 福島対応：全長 710mm(1240) ×全幅 500mm ×全高 1250mm 重量 56kg
技術区分	☒完結品（システム） ☐部品（パーツ） ☐要素技術
登録年月日	平成〇〇年〇月〇日 最終更新年月日 平成〇〇年〇月〇日
開発者名	NEDO：戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト（2006～2011） 委託先：国際レスキューシステム研究開発機構，東北大学 福島原発への対応：国際レスキューシステム研究開発機構，東北大学，千葉工業大学
登録者名	株式会社 移動ロボット研究所
問い合わせ先	〇〇〇〇株式会社〇〇部 〇〇〇
	TEL ××-××××-×××× FAX ××-××××-××××
	メール XXXXX@XXXXX
緊急連絡先	〇〇〇〇株式会社〇〇部 〇〇〇
(24 時間)	TEL ××-××××-×××× FAX ××-××××-××××
	メール XXXXX@XXXXX

■分類情報

災害の種類	■地震・津波 ■火山 □風水害 ■原子力事故 □その他（ ）
作業の内容	■調査 □移動 ■通信 □制御 □重作業 □軽作業 ■支援
移動の方法	□飛行 ■陸上移動 □水中移動 □その他（ ）
技術区分	■完結品（インテグレート） □部品（パーツ） □要素技術 □周辺技術
公開レベル	■一般公開 □制限付きで公開 □災害対応ロボットセンターのみで利用
想定する場面	・ 災害発生時、建物内に取り残された人たちの捜索をする。 ・ 被災建造物内の被害状況調査，3Dマップの作成。 ・ 火山噴火に対し，火山灰の堆積状況の調査。 ・ 原発建屋内の線量測定，高線量下での調査。 ・ 大型作業機械の支援(通信関連，移動カメラ台車)
適用範囲	○○○○○○○○○○○○
活動実績	2011 年 6 月下旬より福島原発にて稼働。 ・ 3 号建屋，冷温停止に向けた施設設備の保全状況調査。 ・ 建屋内の線量測定。 ・ 2 号建屋，燃料プールの被害状況調査，保全状況調査。 ・ 2011 年 10 月，2 号建屋 3 階にて通信ケーブルが切断し，帰還不能。 ・ 2012 年 1 月，有線，無線ハイブリッドシステムを構築した Quince2 号,3 号を導入。 ・ 2 号建屋,5 階の被害状況調査,燃料プールの調査を行う。 ・ PackBot との協調作業に従事。

■その他詳細情報

(準備状況)【Technology Readiness Level (TRL)等】 ・ Quince はレスキューロボットとして開発しており，走行性能を中心に開発している．災害現場は多様性に富み，「汎用」ロボットの開発は難しい．このため，移動する能力+オプション機材で対応する方式を検討している。 ・ NIST の Response Robot Evaluation Exercise に参加し，その要求を満たすことを基本に設計。 (調達に必要な期間・概算費用) ・ ベースとなる移動台車：3 ヶ月 ・ 現場特有のオプションに 3~6 ヶ月 (オペレータ)【手配方法、資格条件等】 ・ 訓練に 1 ヶ月 ・ 基本的には現場スタッフが対応。 (使用条件)【温度、風速、防水性、対応可能な障害等】 (耐環境性能)【耐爆性能、耐放射線性能、対雷性能等】 (使用する通信インフラ)

- ・無線 LAN
- ・有線：VDSL 方式(500m：福島原発仕様)
(電源)
- ・Li-Ion 電池：稼働時間 3 時間
(評価情報)
(その他)

NIST の評価方式の内

- ・32kg のキャリングケース 4 個にて分散，運搬できる.
これは，航空機での搬送に必要な条件を満たす.
同様に，充電済みの電池も航空機にて搬送可能.
山間地の災害現場も，軽トラ 1 台で機材の運搬可能.
現地での組み立ては 8 分以内で，迅速な初動調査が可能.

表 A「技術カタログ」のサンプルフォーマット（案）

■基本情報

名 称	マルチローター型小型飛行ロボット			
機能・性能の概要	小型軽量で安全性の高い飛行ロボットで、自立航行も可能。 シンプルな構造で効率が良いため、自重以上のペイロードを搭載することができる。 機体寸法は、幅 450mm 程度の小型の物から、幅 2m 程度で 50Kg ペイロードのものまでバリエーションが豊富。 有線給電による長時間飛行にも適している。			
写真・動画	 			
サイズ	全長 450mm ×全幅 450mm ×全高 100mm から 全長 2300mm ×全幅 2300mm ×全高 400mm までのバリエーション			
技術区分	☐ 完結品（システム）			
登録年月日	平成〇〇年〇月〇日	最終更新年月日	平成〇〇年〇月〇日	
開発者名	株式会社エンルート			
登録者名	株式会社エンルート			
問い合わせ先	株式会社エンルート			
	TEL	049-293-4567	FAX	××-××××-××××
	メール	info@enroute.co.jp		
緊急連絡先 (24 時間)	〇〇〇〇株式会社〇〇部 〇〇〇			
	TEL	××-××××-××××	FAX	××-××××-××××
	メール	XXXXX@XXXXX		

■分類情報

災害の種類	☒ 地震・津波 ☒ 火山 ☒ 風水害 ☒ 原子力事故 ☒ その他（ 河川氾濫 ）			
作業の内容	☒ 調査 ☒ 移動 ☐ 通信 ☐ 制御 ☐ 重作業 ☒ 軽作業 ☒ 支援			
移動の方法	☒ 飛行 ☐ 陸上移動 ☐ 水中移動 ☐ その他（ ）			
技術区分	☒ 完結品（インテグレート） ☐ 部品（パーツ） ☐ 要素技術 ☐ 周辺技術			
公開レベル	☒ 一般公開 ☐ 制限付きで公開 ☐ 災害対応ロボットセンターのみで利用			

想定する場面	火災などの監視 : カメラを搭載し上空より遠方をモニターする 火山噴火などの観測 : 観測地点まで自動飛行、観測機器の運搬 救命胴衣やロープの運搬 : 機材や、ロープを引いて飛行 危険箇所への立入り : 有毒ガスなど人間の接近が危険な場所へのアクセス 画像処理による三次元測量 : 災害場所上空へ自動測量飛行が可能
適用範囲	飛行距離 20Km 程度の観測。5Kg の機材を 3Km 運搬（市販機体の範囲）
活動実績	○○○○○○○○○○○○

■その他詳細情報

（準備状況）8 インチから、28 インチまでのプロペラに対応。GPS による自動航行。有線給電による長時間飛行。 （調達に必要な期間・概算費用）納期：2 週間から 6 週間 概算費用：20 万円から 300 万円 （オペレータ）【手配方法、資格条件等】専門オペレータを用意 （使用条件）【温度、風速、防水性、対応可能な障害等】温度：-20 から 80 度 風速：10m 以下 雨量：20mm 毎時以下 （耐環境性能）【耐爆性能、耐放射線性能、対雷性能等】 （使用する通信インフラ）2.4GHz 帯無線、GPS による自動航行 （電源）10V から 200V までのリチウムポリマーバッテリー。 （評価情報） （その他）
--

表 B「ニーズカタログ（事例集）」のサンプルフォーマット（案）

■ 基本情報

災害名称	新潟県中越地震（長岡市妙見町浦柄地区土砂崩落）		
発生年月日	西暦 2004 年（平成 16 年）年 10 月 23 日		
災害及び被害の概要	2004 年（平成 16 年）10 月 23 日に発生した新潟県中越地震で、長岡市妙見町地内（小千谷駅北約 4km）の石坂山の西斜面が幅約 240m、高さ約 60m にわたって崩壊。真下を経由する小千谷長岡線の道路施設は完全に崩壊し、その土砂は信濃川まで流れ込んだ（崩落土砂量は推定約 600,000m ³ ）。地震発生時、現場付近では車両 2 台が通行していたが、このうちトラック 1 台は路盤ごと川へ転落し、乗用車 1 台は土砂や岩石に呑み込まれた。		
写真・動画			
登録年月日	平成〇〇年〇月〇日	最終更新年月日	平成〇〇年〇月〇日
情報提供元	国土交通省、（一財）先端建設技術センター、（一社）日本建設機械施工協会、鹿島・大成・前田・熊谷・福田 JV		
災害報告資料	新潟県中越地震と土砂災害 http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/864/780/chuetsujisin.pdf		

	国土交通省 HP 新潟県中越地震関連情報 http://www.mlit.go.jp/chuetsujishin/index.html 日経コンストラクション 2004.11.26 号
--	---

■分類情報

災害の種類	☒ 地震・津波 ☐ 火山 ☐ 風水害 ☐ 原子力事故 ☐ その他 ()
被害状況	☒ 土砂くずれ ☐ 土石流 ☐ 火砕流 ☒ 構造物崩壊 ☐ 浸水 ☐ その他 ()

■その他詳細情報

(対応状況)

中越地震による浦柄橋（県道）付近の崩壊地点において、被災者の収容を新潟県警が安全に実施するために必要な取付道路を施工するにあたり、取付道路設置箇所は危険区域であるため、約 200m 離れた安全地帯から二次災害の危険を回避可能な無人化施工を実施した。



(ロボット技術の適用の有無)

無人化施工機械の投入状況

機械名	機能・型式	台数	使用工種	摘要
遠隔操作式バックホウ	0.8m ³ 級	1	掘削・整形	北陸地整保有
遠隔操作式バックホウ	1.4m ³ 級	1	ブレーカ破碎	北陸地整保有
遠隔操作式バックホウ	1.4m ³ 級	1	掘削・整形	JV 手配
遠隔操作式バックホウ	1.4m ³ 級	1	掘削・整形	JV 手配
遠隔操作式クローラークラップ	11t 級	1	運搬	JV 手配
全旋回式グラブプル		1	転石把持・破碎	JV 手配
遠隔操作室	ユニットハウス	1	作業基地	JV 手配

(実際にできたこと・できなかったこと等) ※現場 JV 担当技術者へのヒアリングによる

- ・ 無人化施工システムでは、遠隔操作室からの遠隔操作データが常時伝送でき、かつ、重機側からの映像情報が遠隔操作室に常時伝送されなければ成り立たない。したがって、見通し線上に遮蔽物（構造物・樹木等）があると電波が遮断され施工が困難となる可能性がある。
- ・ 遠隔操作室と重機間の最大離隔距離が約 200m 程度となることが判明したため、標準の特定小電力無線機搭載の操作装置に別途取付ける外部発信機を急遽用意した。離隔距離が想定以上になると、建設無線などや到達距離が長い他の無線機や中継方式を検討しなければならない可能性があった。
- ・ 施工中、午前中は対岸側の太陽が川に反射し、伝送されてくる映像が芳しくないため、太陽の影響のない限られた映像のみで施工を実施しなければならないケースがあった。
- ・ 被災者の収容のような緊急を要するケースでは、当初計画時に把握できない事象への対応が時間的に困難なため、上述のような状況を回避する手段がなかった。映像の有無は施工に大きい影響を及ぼすため、こういった課題を克服可能な移動カメラ車の必要性をあらためて痛感した。
- ・ 被災とともに現地にいち早く導入された遠隔操作仕様のバックホウ 2 台と固定カメラは、北陸技術事務所保有の機械であり、わずか 1 日で遠隔施工の準備ができた。
- ・ このように特別仕様の機械が官保有であれば、いち早く被災地の緊急対策工に使用でき、民間で手配するよりも導入がスムーズである。したがって、緊急性を要する場合は、今後ともこのような体制は有効であると感じた。ただし、映像伝送装置など、購入した時点では最新の設備であっても、コンピュータ等を利用した装置・機器は 4～5 年でメーカー等によるバージョンアップや基本ソフトの更新が行われ、使用困難になるため、導入機器の継続的なリニューアルが必要不可欠であると感じた。

表 B「ニーズカタログ（事例集）」のサンプルフォーマット（案）

■基本情報

災害名称	つくば市の竜巻災害
発生年月日	2012年5月6日(日)
災害及び被害の概要	災害の特徴 - 被害は局所的。巾が狭く細長いエリア(幅 500m、長さ 17km だが、とくに被害は幅 30m で甚大) - 被害があったのがつくば市北条の古い商店街。住民には老人が多い。 - 人的被害もあり、住宅の倒壊もあったが、ガレキに人が埋もれたケースはなく、人命救助のための作業はほとんど発生しなかった。(自衛隊の搜索活動は3日間) 被害概要 - 人的被害 H25.11.1現在 死者1名, 負傷者37名 - 住家被害(合計 1,114棟) H25.11.1現在 全壊住宅 210棟 大規模半壊 50棟 半壊 209棟 一部損壊 645棟 - ライフライン被害 電気 一時停電 5月6日発生直後 21,012世帯 5月9日完全復旧 上水道 一部断水(5月6日復旧) 道路 一時通行止め(5月9日復旧) 電話 一時不通(5月13日復旧)

写真・動画



平成24年5月6日(日)に発生した竜巻



被災直後

北条の町内

	 被災直後の北条商店街		
登録年月日	平成〇〇年〇月〇日	最終更新年月日	平成〇〇年〇月〇日
情報提供元	つくば市生活環境部 生活環境部 山王部長にヒヤリング（2014.01.14、油田）		
災害報告資料	http://www.city.tsukuba.ibaraki.jp/14210/14226/010505.html		

■分類情報

災害の種類	☐ 地震・津波 ☐ 火山 ☐ 風水害 ☐ 原子力事故 ☐ その他（竜巻）
被害状況	☐ 土砂くずれ ☐ 土石流 ☐ 火砕流 ☒ 構造物崩壊 ☐ 浸水 ☐ その他（ ）

■その他詳細情報

（対応状況） 1. 電力線の処理と復旧 災害直後は電気が来ている電力線が垂れ下がっており、危険なため、まずその対処が急がされた。 これには、災害後即座に東電と関電工が対応し、1晩で電力はほぼ復旧。 2. 次いで、道路上のガレキの除去(3日間程度) これには、地元の建設業者が当たった。建設業組合(つくば市支部?)とつくば市の間の被害時のための対応協定(前年に締結?)が有効に働いた。 3. それが早かったため。その後、各個人住宅の復旧も早かったと考えられる。 4. 住宅の被害は大きかったが、緊急な仮設住宅の必要性は薄かった。(田舎の地域であったため、住民の相互扶助が働いた?)

(ロボット技術の適用の有無) なし。

(実際にできたこと)

(実際にできなかったこと)

(その他) とくにロボット技術に期待が集まることはなかった。

ただし、地域住民は高齢者がおおく、復旧作業の働き手になりにくかった。

とくに、屋根が壊れた家屋のために、つくば市は備蓄のあったブルーシートを配布した。しかし、高齢者が屋根に上ることは難しく、シートを屋根にかぶせる手がない住民が多かった。これについて住民からつくば市への作業の依頼があったが、危険のため、市の職員が対応することはできなかった。後から見れば、それに使えるツールがあるとよかったと考えられる。(つくば市、山王部長)

産業競争力懇談会（COCN）

東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 〒100-8280

日本生命丸の内ビル（株式会社日立製作所内）

Tel : 03-4564-2382 Fax : 03-4564-2159

E-mail : cocn.office.aj@hitachi.com

URL : [http : //www.cocn.jp/](http://www.cocn.jp/)

事務局長 中塚隆雄