【産業競争力懇談会2012年　プロジェクト　最終報告】

【災害対応ロボットと運用システムのあり方】

２０１３年３月１３日

産業競争力懇談会 COCN

【エグゼクティブサマリ】

1．本プロジェクトの基本的な考え方と視点および範囲

災害には、災害予防・緊急対応・復旧・復興という災害の様々なフェーズがあるが、そのいずれのフェーズにおいても、人間が入れない場所や危険性の高い場所での状況調査や作業でロボットの活用が求められている。2011年3月11日に発生した東日本大震災とそれに伴って発生した東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故は、災害対策用のロボットシステムの必要性を再確認させた。昨年度、COCNでは、「災害対応ロボットと運用システムのあり方」のプロジェクトを実施し、防災ロボット，無人化施工システム，原子炉解体ロボットの3つの技術観点において、これからの日本が原発事故等の災害に対して安心、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、関係の省庁に対し予算化等の対応について働きかけを行った。その結果、原発事故対応に関連するロボット技術については、一部開発が行われることになったが、それ以外の一般の自然災害や産業災害に対するロボットなどについては十分な施策が行われておらず、運用体制についても、十分な体制を確立するに至っていない。また、災害対応ロボットの社会実装を果たし、災害発生時に迅速に現場に配備し、活用できるような体制を構築するには、機器や技術が継続的に利用され、維持されるような状況を作る必要があり、さらにそのためには、事業として成立可能にするような、継続的に需要が創出されるような枠組みの構築が求められる。

そこで、本年度は、防災ロボット、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との併用も含め、災害対応ロボットの技術的課題抽出と、産業競争力を高めるための開発戦略に関する提言を行う。また、今後の災害の備えとして、災害対応ロボットを災害時に迅速に投入できるようにするための拠点構想と運用システムのあり方を具体的に示すとともに、防災ロボットの事業化の方策について検討する。

2．産業競争力強化のための提言および施策

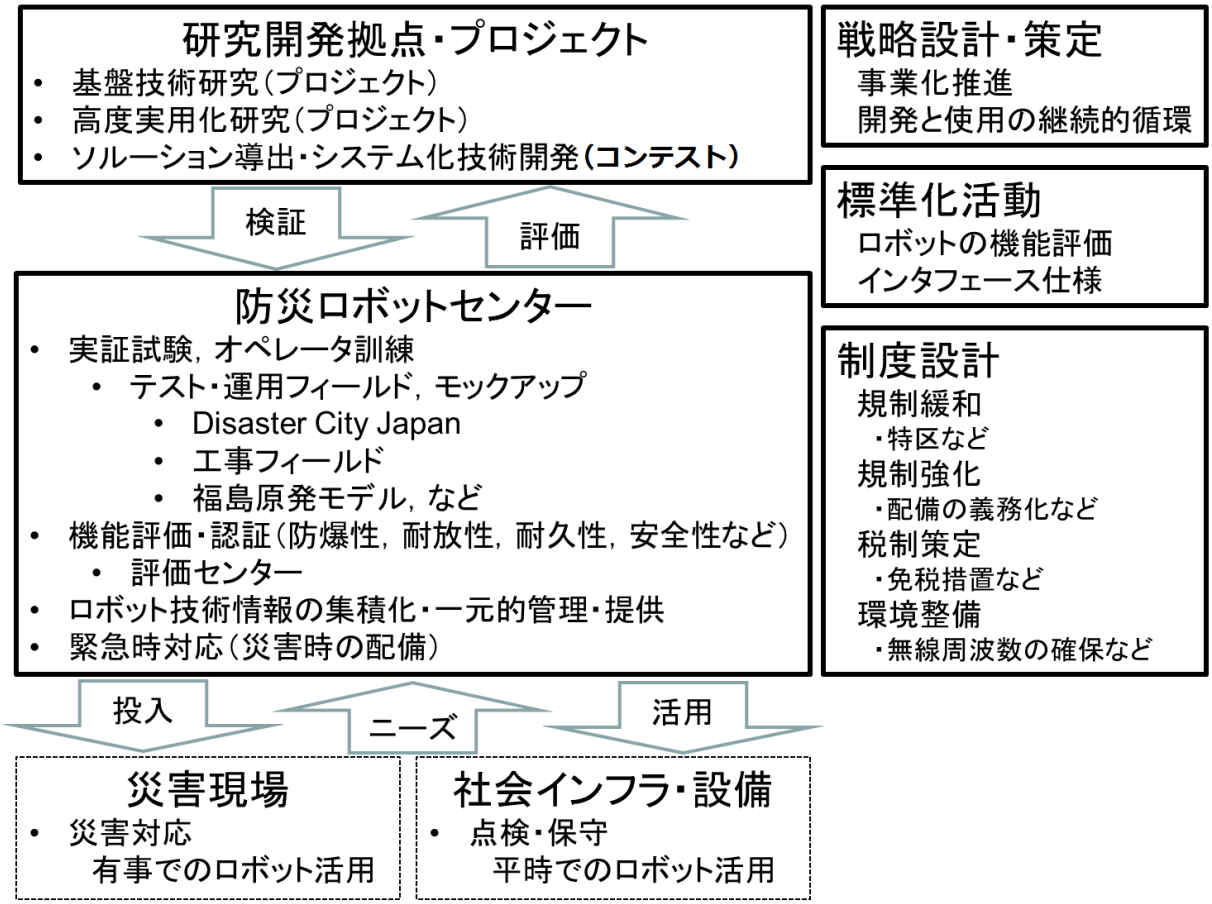
本プロジェクトでは、防災ロボット（WG1）、無人化施工システム（WG2）、インフラ点検／メンテナンスロボット（WG3）、運用システム及び事業化（WG4）に関するWGを設置し、各観点からの提言の内容に関する検討を行った。

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。

また、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。



図E．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

さらに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。

以上の提言は、図E．1のように纏められる。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ルーション導出・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、緊急時対応などの機能を有する）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。

3．産業競争力の強化の視点と今後の課題

ロボット産業は、今後我が国の製造業のコアとなる産業として期待されている。それを支えるロボット技術はロボットのみならず、自動車、情報機器等広い範囲の製品に組み込まれ、その機能や性能の向上に活用されており、日本ロボット工業会で計上している、「ロボット」と呼ばれる限定的機械の範疇に含まれる狭義のロボット産業をはるかに凌ぐ産業的波及効果があると考えられる。日本はこれまでロボット技術において世界的優位を保ってきたが、米国、欧州、韓国、中国等の追い上げは激しい状況である。

しかし、東日本大震災や福島原発事故を経験し、ロボット技術は、日本ばかりでなく、世界における安心・安全を確保するために不可欠な技術であることを再認識させられた。現場では、ロボット技術が随時活用されているものの、今後の備えとしては、さらなる技術開発が必要であるのみならず、それを現場で活用できるように維持し、有事の際に迅速に投入できるようなシステムを構築する必要がある。また、こういったロボット技術は、工事や廃炉、社会インフラや設備の点検・保守などで需要が大きく、国内外で大きなビジネスマーケットを見込まれるため、本プロジェクトで提言している事業化推進の方策を実行に移す必要がある。

以上、我が国の産業競争力を強化するため、この報告書で提案された技術開発や運用体制の実現を図っていくべきである。

本プロジェクトにおいて提言を取りまとめると同時に、関係省庁に対し予算化等の対応について働きかけを行いつつある。一部の省庁において、新たなプロジェクトの立案、モックアップ施設や研究開発拠点、制度に関する議論が進められているものの、本プロジェクトでの提言を実現するには程遠い。今後、福島第一原子力発電所の廃炉に向けた中長期措置研究開発とも歩調を合わせながら、今後起こり得る自然災害や人工災害に対する備えとして、本プロジェクトの提言を、省庁連携、産学官連携のもと、早急に実行に移すよう、努力する必要がある。

【目　次】

【はじめに】 - 6 -
【プロジェクトメンバー】 - 7 -
1. プロジェクトの背景 - 8 -
2. 昨年度の報告の概要及び成果 - 9 -
3. 今年度の検討課題 - 10 -
　3．1　防災ロボットに関する課題 - 10 -
　3．2　無人化施工システムに関する課題 - 10 -
　3．3　インフラ点検／メンテナンスロボットに関する課題 - 10 -
　3．4　運用システム及び事業化に関する課題 - 11 -
4. 防災ロボットに関する提言 - 12 -
　4．1　検討範囲 - 12 -
　4．2　ロボットが必要な理由と災害状況 - 12 -
　4．3　災害対応・復旧のためのロボットの現状と課題 - 14 -
　4．4　重点的に研究開発を進めるべき技術 - 17 -
　4．5　規格・制度の整備、全国に複数の研究開発拠点の整備、フィールド試験のための防災ロボットセンターの開設 - 22 -
　4．6　ロードマップと必要な予算 - 26 -
5. 無人化施工システムに関する提言 - 27 -
　5．1　検討範囲 - 27 -
　5．2　無人化施工システムの重要性 - 28 -
　5．3　無人化施工で開発すべき技術 - 32 -
　5．4　提言 - 40 -
6. インフラ点検／メンテナンス・ロボットに関する提言 - 44 -
　6．1　検討範囲 - 44 -
　6．2　現状のニーズとその課題認識 - 45 -
　6．3　現状のシーズとその課題の認識 - 49 -
　6．4　開発目標と課題 - 52 -
　6．5　点検ロボットの本格実用化への支援体制 - 56 -
　6．6　産業化への提言 - 58 -
7. 運用システム及び事業化に関する提言 - 60 -
　7．1　検討範囲 - 60 -
　7．2　調査結果 - 60 -
　7．3　防災ロボットの運用と事業化のための課題と方向性 - 66 -
　7．4　防災ロボットセンターを核とした運用システムと事業化の提言 - 67 -
8. 産業競争力の強化の視点 - 71 -

９．提言のまとめと提言実現のための課題 - 72 -
参加メンバーリスト - 76 -
会議開催状況 - 78 -
　合同会議の開催 - 78 -
　WGの開催 - 78 -

【はじめに】

COCNでは、一昨年3月に発生した東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故に関連して、昨年度のプロジェクトとして「災害対応ロボットと運用システムのあり方」を取り上げて提言をまとめました。

東日本大震災では、震災と津波により2万人以上の人が犠牲になり、多くの建物や施設が破壊、流出しました。またそれに伴って発生した福島第一発電所の事故は広い範囲に放射性物質を飛散させ、そのため、一年半を経過した現在でもまだ多くの周辺住民の皆様が避難生活を送っています。昨年度のプロジェクトにおいては、災害対策ロボットの3つの分野、すなわち、防災ロボット、無人化施工システム及び原子炉解体ロボットに関し、技術開発課題及び運用体制について議論を重ねられ、短期間の間に提案をまとめていただきました。

COCNのプロジェクトにおいては、その提言はプロジェクトの実施段階から関係省庁に提示され、最終後に関係省庁においてその提言が検討され早くてもプロジェクトの翌年、普通は翌々年に予算を含む施策として取り上げられるというのが通例ですが、この「災害対応ロボットと運用システムのあり方」に関するプロジェクトでは、プロジェクトの検討と並行して関係省庁への働きかけが行われ、提言の一部についてはすでに平成23年度の第三次補正予算や平成24年度予算に取り上げられ、既に試作機が完成して現場投入を検討中のものもあるなど大きな成果が上がっています。ただ、事態の緊急性ということから予算措置については大部分が原子力発電所の事故に対応するための偵察や作業用のロボットシステムや原子炉を安全に除染・解体するためのロボット等の技術開発に重点がおかれ、原子力事故対応以外のロボットや無人化施工システム、また運用システムについてはまだほとんど手がつけられていません。

我が国は今後とも大規模な地震に見舞われる可能性が非常に大きく、また風水害や噴火等の災害また産業事故などの対策も必要不可欠です。こうした観点から今年度も昨年度に引き続き、「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することとしました。重点分野としては防災ロボットと無人化施工システムについては昨年度提案された技術開発テーマについて利用分野毎により詳細な使用を明らかにし、開発計画を策定すること。新たにインフラ点検／メンテナンスロボット分野を取り上げ、必要とされるロボット及びその技術開発項目等を明らかにすること。それらに加え、こうしたロボットの運用システムと防災ロボット等の事業化の道筋について検討を加え、提言することが取り上げることとしました。この提案を実行することにより、直接的には我が国ロボット技術の向上に帰するだけでなく、我が国社会だけでなく世界の安全安心を確保することにつながるものです。今後確実に発生が予想される大地震などの自然災害や事故による被害をから迅速に回復することは、今回の大震災の例で明らかなように産業競争力確保の要ですが、それだけでなく、このプロジェクトで提案されているような技術は、この分野において世界的に大きな競争力を持つことになると考えられます。

提案の実現のためには産官学による協力が不可欠でありますが、政府におかれても引き続きこの提言に示された事項の実現のための施策がとられることを要望いたします。

産業競争力懇談会会長（代表幹事）
榊原　定征

【プロジェクトメンバー】

リーダー	淺間　一	東京大学大学院教授
サブリーダー	田所　諭	東北大学大学院教授
WG1主査	田所　諭	東北大学大学院教授
WG2主査	植木　睦央	鹿島建設(株)東京建築支店機材部担当部長
WG3主査	大石　直樹	新日鐵住金(株)機械技術部長
WG4主査	川妻　伸二	(独)日本原子力研究開発機構福島技術本部技術主幹

メンバー（COCN会員及び関連会社）

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

メンバー（COCN会員外）

(株)大林組、(株)熊谷組、新日本非破壊検査(株)、双日エアロスペース（株）、大成建設(株)、(株)竹中工務店、トピー工業（株）、日立建機(株)、(株)モリタホールディングス、安川電機(株)、東北大学、(独)日本原子力研究開発機構

オブザーバー

(一社)日本ロボット学会、(一社)日本ロボット工業会、(一社)情報通信技術委員会、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、(独)土木技術研究所、経済産業省、文部科学省、国土交通省

事務局

(一財)製造科学技術センター

参加者氏名については巻末の参加メンバーリスト参照

1. プロジェクトの背景

昨年度の提言により、災害対応ロボットとして必要な技術開発課題及びその運用体制について提言を行い、福島第一原子力発電所の事故に対応した防災ロボット及び原子炉解体用ロボットについては予算措置が行われ研究開発も開始された。しかし、一般の自然災害や産業災害に対するロボットについてはまだ具体化しておらず、運用体制については原子力事故対応を含めてほとんど検討が行われていない。地震、噴火、風水害、原子力施設やコンビナート等における産業災害やインフラの老朽化に伴う災害、事故等今後起こりうる災害に備え、災害対応ロボットの開発、調達、配備及び運用について更に具体的な提言を行う必要がある。

防災ロボットの分野においては、米国では軍事用の捜索・偵察ロボットとして PackBot 等を開発し現場に投入しているが、災害現場ではまだ機能的に不十分である。我が国で開発されたロボットは機能面では一部勝っているものもあるが、まだ搭載機器やソフトウェアを含め技術開発が必要である。さらに水中や空中を含め広い範囲での活動を可能にするためのプラットフォームについても検討を進める必要がある。なお、米国ではDARPAチャレンジプログラムとして、危険環境下で人間が使用するツールを使って捜索や作業にあたることのできるヒューマノイド型ロボットの競争開発を開始している。

無人化施工システムについては、雲仙普賢岳における復旧事業から開発及び利用が開始され、今回の福島第一事故においても投入され、有効に利用されているが、津波による被災地屋、産官の洪水被害地等でも利用できるようにするためのシステムの検討が望まれている。

道路、トンネル、橋梁、水道やガスの配管等のインフラストラクチャや製鉄所、石油コンビナート等の大規模産業施設は地震津波等の自然災害発生時に被害を受けることに加え、老朽化や作業ミス等により施設自体が崩壊、爆発等の事故を発生させる可能性がある。我が国のインフラは昭和30年代から40年代にかけての高度成長時代に整備されたものも多く、また産業施設についても新設後年数が経過したものが多数存在している。こうした施設については定期的に点検を行っているが、人手による点検には限界があるためロボット等の自動化システムによる点検をより広く導入していく必要がある。またそうした機材を事故や災害の発生時に有効に活用するための検討も必要である。

災害対応ロボットシステム等の運用及び事業化はそれぞれ難しい問題を抱えている。防災ロボットについては公的な機関が何らかの形で保有し、平時は要員の訓練等を行い有事には直ちに現場に出動するような体制が必要である。無人化施工システムについては平時にも一定の需要があるとは考えられるが、有人の場合とのコスト差が発生する。インフラ点検／メンテナンスロボットについては逆に有事への適用可能性が問題になる。またどの分野についても、必要とする台数は多くなく、優れた機器を開発してもそれを事業として量産化して行くための方策が必要である。

本プロジェクトにおいては以上に述べたような問題を解決するための技術的及び制度的な提言を行う。

2. 昨年度の報告の概要及び成果

2011年3月11日に発生した東日本大震災とそれに伴って発生した福島第一原子力発電所の事故は、災害対策用のロボットシステムの必要性を再確認させた。捜索・偵察用の防災ロボットは海外製のものに続き国産ロボットも現場に投入されたが、まだ性能的には不十分である。遠隔操作の建設機械による無人化施工システムは早い段階で現場に投入されたがまだ課題は多い。事故を起こした原子炉については、最終的には原子炉そのものの除染と解体が必要となるが、そのためのロボットシステムの開発も必要である。

こうした観点から「災害対応ロボットと運用システムのあり方」プロジェクトをスタートし、淺間委員長（東京大学大学院教授）の下に防災ロボットワーキンググループ（WG、主査田所東北大教授））、無人化施工WG（主査：鶴岡鹿島建設機械部長）、原子炉解体ロボットWG（主査：齊藤日立GEニュークリア・エナジー会長）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WGにおいては、システム統合化・標準化・試験評価とキーとなる基盤技術の開発、原子力プラント内調査・モニタリングロボットシステムの開発及び原子力プラント内遠隔危険作業ロボットシステムの開発が提案された。無人化施工WGにおいては、遠隔操作型瓦礫処理システム、災害対応に最適な運搬技術、大型構造物躯体解体・構築技術及び水中版瓦礫処理運搬システムの開発が提案された。原子炉解体ロボットWGでは、原子力災害対応エンジニアリング支援システム、コンクリートサンプリング・表面除染ロボット、機械・電気品解体物の放射線モニタリング・除染・分別技術、原子炉解体ロボットシステム及びコンクリート構造物のロボット化切断技術の開発が提案された。

こうした技術開発に当たっては、大学等の研究開発機関だけでなく、関係企業が、捜索／偵察ロボット、無人化施工システム、原子炉解体用ロボットシステムなど、開発するテーマ毎に、ユーザを含むコンソーシアムを組んで開発するような体制を作り上げていくことが必要であることを指摘し、また専用の実験フィールドの確保、原子力発電所の事故等の災害発生時に防災ロボット等を活用するための即応体制がとれる訓練された人材と機材を有する常設組織の必要性及び災用ロボットや無人化施工システムの効率的な運用を図っていくための専用の帯域の確保と高い電波出力の承認の必要についても提言を行った。

こうした提言については策定作業と平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、平成23年度の第3次補正予算及び平成24年度予算において経済産業省及びNEDOで原子力防災関係のロボット関連技術開発で50億円の予算が認められた他、総務省、国土交通省、防衛省などでも予算が確保されている。技術開発プロジェクトについては既に試作機の開発が行われており、現場への導入も視野に入ってきている。また、電気事業連合会と日本原子力発電（株）は2012年7月にロボット等の資機材を有する「原子力緊急事態支援組織」を2015年中に設置することを発表し、既に日本原子力発電敦賀発電所において、資機材の調達や要員の訓練に着手している。

3. 今年度の検討課題

3．1　防災ロボットに関する課題

東日本大震災及び福島第一原子力発電所の事故の経験を踏まえ、今後、世界中で大規模災害が発生した際には、ロボット技術を使用することが当たり前になると考えられている。このWGでは、さまざまな自然災害・人為災害に対して適用可能なロボットとロボット技術について検討を行う。ロボット技術が求められる理由や必要な災害状況、および、災害に対応できるロボットに関する調査に基づき、その技術の現状と課題、および、ロボットの配備・運用の現状と課題を明らかにし、産業競争力強化の観点からの提言を行う。

具体的には空中、壁面、水中等における探索、作業を行うためのロボットプラットフォームについて必要な開発仕様を確定し所要資金、開発体制等についての検討、提言を行う。

3．2　無人化施工システムに関する課題

雲仙普賢岳の火山災害を契機として開発された土砂災害に対し、安全な場所から遠隔操作で建設機械を操作して復旧作業を行う無人化施工技術はその後、様々な災害への対応で技術が伝承されて、福島第１原子力発電所の事故や、台風によって生じた紀伊半島の天然ダムへの対応にもこの技術が活用されている。

今後想定される自然災害への対応に必要な対策のなかで、無人化施工が必要な作業を明確化して、必要になる無人化施工システムを実現するために取り組むべき新たな技術開発要素を、建設機械とそのロボット化技術、画像システム、通信システム、操作者支援システム等々に分類して提案する。特に「ショベル系双腕型建設機械」と「クローラ式水陸両用運搬機械」について必要な開発仕様を確定し所要資金、開発体制等についての検討、提言を行う。

また、災害対応の無人化施工システムが有事の際の備えとして有効に機能するための通常時と災害発生時の各々について、その使用方法を提案するものとする。

3．3　インフラ点検／メンテナンスロボットに関する課題

自然災害における生産設備やインフラストラクチャの被害を防ぎまた産業事故等の発生を予防するためには、構造体の強度低下や老朽化の程度を把握する事が重要である。さらに、ロボット技術を利用して点検、保全作業等の設備メンテナンスを計画的に行うことは特に大規模装置を持つ産業において産業競争力向上への寄与は大きい。またこうしたロボットは災害や事故発生時においても有効に活用できるものと考えられる。

このWGではこの転用性を踏まえ、鉄鋼、土建、石油化学、社会インフラなどの装置型産業を中心とした、さまざまなインフラ点検、メンテナンスに適用可能なロボットとロボット技術について検討を行い、技術の現状と課題、および、産業化の状況と今後の方策を考え、産業競争力強化の観点からの提言を行う。

３．４ 運用システム及び事業化に関する課題

地震、火山噴火、風水害、原子力事故等の大規模産業事故等が発生した場合それに対応するための防災ロボットや無人化施工システムの運用に関し、内外における現状の調査を行う。それをベースにして災害発生時における防災ロボットや無人化施工システムの運用シナリオを作成し、それを可能にするための運用システムを提言する。またこうした資機材の製造、メンテナンス等の事業化のための方策を検討し、提言を行う。

4. 防災ロボットに関する提言

要約:

災害予防・緊急対応・復旧・復興と変化する災害の各フェーズにおいて、防災ロボットには、人間が入れない場所や危険性の高い場所で、人間に代わって遠隔的・自動的に状況調査や作業を行うことが求められている。それによって我が国の災害リスクを低下させることは、産業競争力の維持発展のために不可欠な要件である。本プロジェクトでは、それに必要な重点課題を検討した。

その結果を要約すると、重点的に研究開発を進めるべき技術として、下記が重要である。

・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

さらには、重点的に進めるべき規格標準化や、重点的に整備すべき組織・制度として、下記が重要である。

・ロボットの性能評価法の国際標準化

・部品の可換性のための国際標準化

・国際安全規格の整備

・全国に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

4.1 検討範囲

東日本大震災では、歴史上初めて数多くのロボットやロボット技術が災害対応や復旧に活用され、防災ロボットの重要性や配備のあり方などについて議論が巻き起こることとなった。ロボットは、福島第一原発事故はもちろんのこと、上空からの写真撮影、海中や湖底の遺体捜索、構造物・港湾・産業施設等の被害調査、あるいは、被災者のメンタルケアなど、さまざまな用途に活用された。今後、世界中で大規模災害が発生した際には、ロボット技術の使用が当たり前になると考えられている。

本章ではその現状を踏まえ、さまざまな自然災害・人為災害に対して適用可能なロボットとロボット技術について検討を行う。ロボット技術が求められる理由や必要な災害状況、および、災害に対応できるロボットに関する調査に基づき、その技術、および、ロボットの配備・運用の現状と課題を明らかにし、産業競争力強化の観点から、重点的に研究開発を進めるべき技術テーマ、重点的に進めるべき規格標準化、重点的に整備すべき組織・制度に関する提言を行う。

4.2 ロボットが必要な理由と災害状況

南海トラフ巨大地震では、東日本大震災の17倍の死者・行方不明者、18倍の建物被害が、最大で発生すると予測されている。CBRNE災害(化学剤、生物剤、放射性物質、核物質、爆発性物質による災害)の危険性はますます高まっており、老朽化したプラント等における爆発・漏洩・火災事故、鳥インフ

ルエンザなどの疫病、地下鉄サリン事件のようなテロの危険性が叫ばれている。ミュンヘン再保険会社によれば、日本の大都市圏は自然災害へのリスクが世界中の都市の中で飛び抜けて最も高く、生命・健康・責任義務・財産に対する甚大な影響の可能性が指摘されている。このように我が国は災害大国であり、世界中のどの国や地域よりも、災害への備えに重点を置かねばならない。大規模自然災害のように頻度の低い過酷事象に対しては、一般企業や個人が行えるリスクヘッジには限界があり、国が施策として重点化し、総合的に推進する義務がある。

人的被害を抑え、災害復旧を加速することは、事業停止期間を大幅に短縮し、それまでの顧客を失ったり、事業機会を逸したりする危険性を減らし、経済的損失を最小限に食い止め、産業競争力の維持のために重要である。日本の災害リスクの高さは、我が国への投資判断の上で、大きなマイナス要因である。ロボット技術等によって投資リスクを下げることは、経済活性化に寄与する。

また、ロボット技術は、自動車産業、家電品産業、建設業、重工業など、さまざまな産業へのスピンアウトが期待されており、防災ロボットの技術は特に屋外でのセンシング・移動・作業などに関する先端技術開発に対しての波及効果が大きく、その市場は大きい。

災害は時間の経過とともにその様相を変化させ、防災ニーズも変化する（図4．1）。ロボットに求められる役割は、それぞれのフェーズで、人間に代わって遠隔的・自動的に情報を収集し、作業を行うことにある。ロボットが必要とされるのは、人間が入れない現場、危険性が高い現場、ロボットにより精度が上がる、あるいは、コストが下がる場合である（図4．2）。

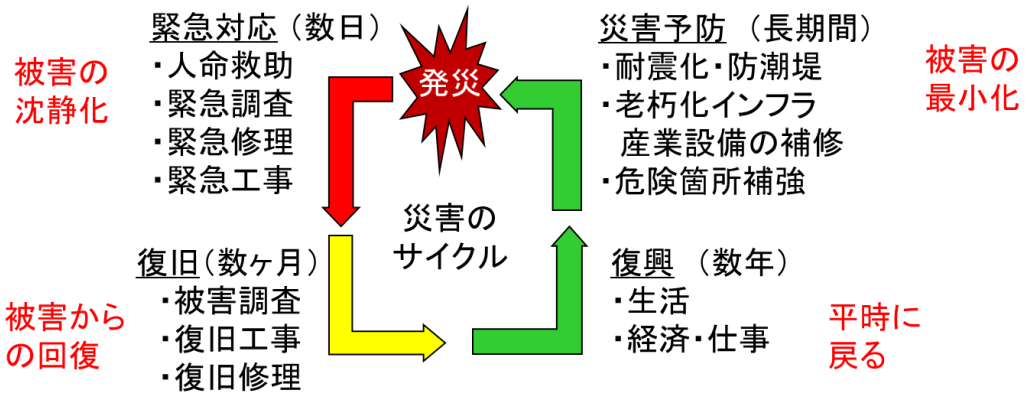


図4．1　時間経過に伴う、災害様相と防災ニーズの変化

ロボットに求められる役割
人間に代わって
遠隔的・自動的に
A) 状況を調査する
B) 作業を行う

×

ロボットが求められる状況
1) 狭所，高所，水中等の人間が入れない場所
2) 汚染や火災爆発の危険性がある場所
　安全が確認できない場所
3) 情報化により品質・精度が上がる場合
　（位置情報と収集情報の統合，など）
　自動化・遠隔化によりコストが下がる場合
　（長期や広域の定型作業の自動化，など）

図4．2　防災ロボットに求められる役割と、ロボットが求められる状況

災害の情報収集としては、要救助者発見、被害状況把握、被害調査、復旧作業の計画手配、被害予防のための老朽化調査、などが挙げられ、ロボット技術は次のような仕事に有効である。

1）狭所、高所、水中等で人間が行けない場所の状況を、遠隔的に調べること

倒壊家屋の瓦礫の中、足場を組まないと上がれない被災した橋・鉄塔・大規模設備、津波で水没した家屋や船の中において、救助を求めている人を発見し、被害状況を把握し、救助や復旧の計画を立てることは重要である。ロボットは、災害初期の全体状況把握による対処方針策定、情報収集の迅速化、救助者の生存確率の飛躍的な向上、早期復旧の実現に寄与する。災害予防のために、老朽化したインフラや設備等を点検することは重要であり、ロボット技術によって点検できる範囲が拡大する。

2）汚染、火災爆発の危険、安全が確認できない場所の状況を、遠隔的に調べること

放射能や化学物質による汚染の可能性がある設備内、事故で火災や爆発の危険がある場所、テロや有事などで予期しない事態発生の可能性がある場合など、人間が入って状況を確認し、救助に向かうには危険性が高く、二次災害が予想されるような場合には、勇敢な決死隊を結成するのではなく、ロボットに人間の代理として情報収集させることが必要である。

3）長期や広域のモニタリングの自動化・遠隔化によるコスト低減、調査情報マップの精度向上

水害における水中の広範囲の捜索、噴火が予測される火山の形状変化のモニタリング、放射線源分布のマッピングでは、ロボットによって精度向上やコスト低減を図ることができる。老朽化施設の点検においても、足場を組む必要がなくなるなど、迅速化とコスト低減に寄与し、点検家庭を情報管理できるなど、災害のリスク低下に貢献できる。

4．3　災害対応・復旧のためのロボットの現状と課題

各種ロボットについて、適用場面とその特徴、災害適用上の問題点、もっとも実用配備に近いロボットの技術熟成度レベル（TRL；Technology　Readiness）を表4．1にまとめる。ただし、TRLのレベル値は、NASAの定義に従い、図4．3の右下に示すように定めた。容易な現場では能力の高いロボットであっても、条件が悪い場合には未だ実用性が低い、特定の技術に困難がある、などの問題点を抱えており、今後の高度実用化研究および基盤技術研究が必要である。それとは別に、現場適用にはまだ長期にわたる基盤技術研究を要するロボットもある。

ありとあらゆる防災ロボットは種々の機能モジュールのシステムインテグレーションによりできあがっている（図4．3中央）。それらの機能はそれぞれ、図4．3に示すように、下記のような技術課題を有している。

1）移動・静止能力の技術課題

防災ロボットが使用される理由は、従来の手段では対象へのアクセスが困難であることにあるため、移動・静止能力はロボットにとって最も重要な機能である。移動するための機構や制御の問題だけでなく、センシング、通信、遠隔操作、自律機能などによる、総合システムとしての解決が必要である。

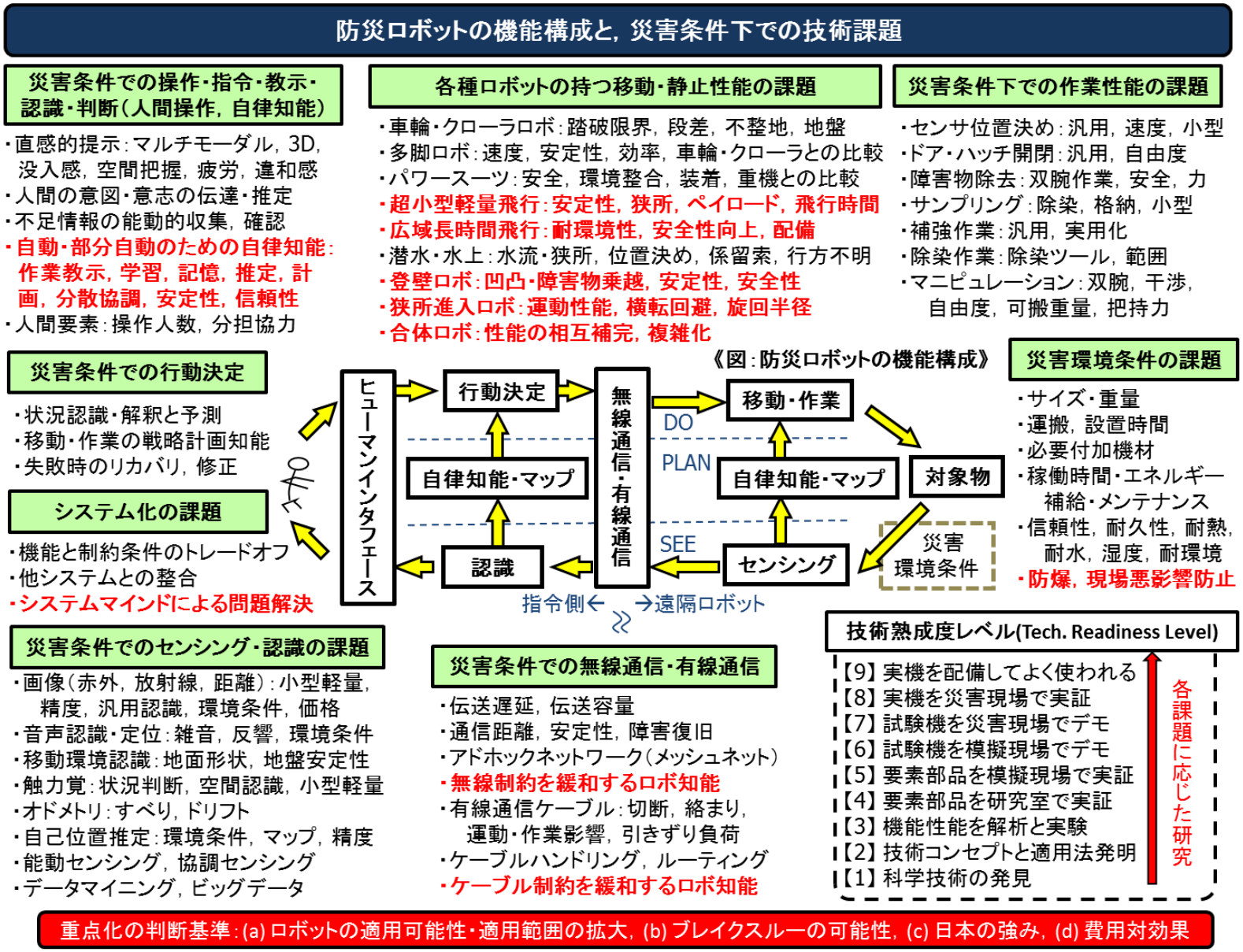


図４．３　防災ロボットの機能構成と、災害条件下での技術課題

表4．1　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）

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

特に、災害現場では、瓦礫などの障害物や、アクセス路などの制約を受けにくいことが必要であり、最近急速に性能が上がってきた超小型軽量飛行体を、概観情報収集や視認調査のために災害現場で活用できるようにすることが必要である。また、さらに詳細な情報を得るためには、至近距離から視認や打診を行うこと、障害物をとりのけてその向こうを視認すること、瓦礫や構造物の狭い場所の視認調査や点検、などが必要であり、登壁ロボットや狭所探査ロボットのブレイクスルーと実用化が必要である。

2）センシング・認識能力の技術課題

現場条件で十分な、目的の情報に関するセンシング能力を持つこと。また、操作者が作業を行う上で十分な現場状況の把握を可能にし、あるいは、自動的な作業を可能にするため、センサ情報を取得・解釈できること。センサ技術、計測技術、診断技術が関連。

移動や作業のためには、遠隔操作や自律機能が不可欠であり、そのためにはセンシング・認識能力が必要である。災害においては、現場の状況が未知であり、移動や作業のための環境を事前に整備することはできないことから、産業用ロボットなどと比べてはるかにセンシング・認識能力の重要性が高い。移動のためには、ロボット周囲の状況を知ることが必要である。ロボットが動いている場所の情報、たとえば、段差・ギャップ・経路・不整地などの形状情報、路面の柔らかさ・崩れやすさ・滑りやすさ・地盤の安定性などの力覚情報などが必要である。それに加えて、ロボットの移動戦略のための情報、たとえば、障害物がある不整地の経路計画を行うための作業戦略に関する情報、滑ったり崩れたりした場合に何が起きるかを予測したり、復帰が可能かどうかの判断や復帰のためのリカバリ戦略に関する情報なども必要である。作業のためにも、移動と全く同様にロボット周囲の状況を知ることが必要である。すなわち、作業対象の形状や力覚情報に加えて、作業戦略やリカバリ戦略のための情報が必要である。そのためには、単にセンサ信号を取得するだけでなく、その解釈を行うことや、多種多数のセンサ信号から総合的に推定するデータマイニングや、戦略的にセンサを動かして必要なデータを取得してくる能動センシングや、人間と計算機とロボットが互いの能力を補完し合う協調センシングや、ネットワーク経由のビッグ

データ活用などが求められる。

3）作業能力の技術課題

移動・静止能力と同様に、作業機構や制御の問題だけでなく、総合システムとしての解決が必要である。

4）通信能力の技術課題

情報収集、作業遂行、遠隔操作等に十分な通信帯域、短い通信時間遅れ、移動や作業時の安定性、障害に対する復旧能力、通信距離を長くすること、が必要である。

無線通信の場合、多数のロボットからの多数の映像情報などを取得するためにチャンネル数の不足が、広い施設の中で遠隔操作を行うために通信距離が、大きな問題である。災害ロボットや災害対応システムのための専用周波数割り当てと電波出力の緩和が強く要望される。ロボットの遠隔操作特有の大きな問題として、中継やメッシュネットの特性に起因する伝送遅延がある。無線技術での解決は限界にあり、無線の制約を考慮したロボットの自律制御による解決が望まれる。

入り組んだ建物内・瓦礫内・水中などでは有線通信が必須だが、ケーブルの切断、障害物への絡まり、ケーブルによるロボットの負荷など、深刻な問題がある。解決のためのケーブルのマニピュレーション法、ルーティングなど、ロボット知能技術による解決が望まれる。

5）ヒューマンインタフェースとロボットの自律知能の技術課題

災害環境下でも指令・教示・認識・判断を誤りなく楽に行えるために、操作者のためのヒューマンインタフェース、部分自律化、自律知能の高度化が必要である。

6）システムインテグレーションの技術課題

災害の制約条件を満たしながら必要な機能を実現し、仕事の目的を果たすことが必要である。

7）ロボットの性能にかかる課題

サイズ、重量、運搬、設置時間、必要付加機材、稼働時間、エネルギー補給、メンテナンス、信頼性、耐久性、耐環境性、耐熱、耐水、防爆などの基本性能が重要である。特に、現場への悪影響の防止、防爆は大きな課題である。可燃物・爆発性物質が関係する災害は数多く、爆発の危険性によってロボットの適用が阻まれた事例は多い。

4．4　重点的に研究開発を進めるべき技術

産業競争力の維持向上に資するために、前節で述べた各種課題に対して、（a）ロボットの適用可能性・適用範囲を拡大できるか、（b）ブレイクスルーをもたらす可能性が高いか、（c）日本の強みを活かせるか、（d）費用対効果が高いか、の4点を詳細に検討した。その結果、重点的に研究開発を進めるべき項目を、次のように整理した（図4．4）。

（Ⅰ）遠隔現場へのアクセシビリティの向上

現在のロボットは必要な場所全てに移動することが困難であり、それが実戦配備の妨げとなっているケースが多い。アクセシビリティの向上は最も基本的な要件であるため、中長期的観点から重点的に研究開発を進めなければならない。この問題の解決のためには、前節に示した課題の多くをシステムとして総合的に解決する必要がある。

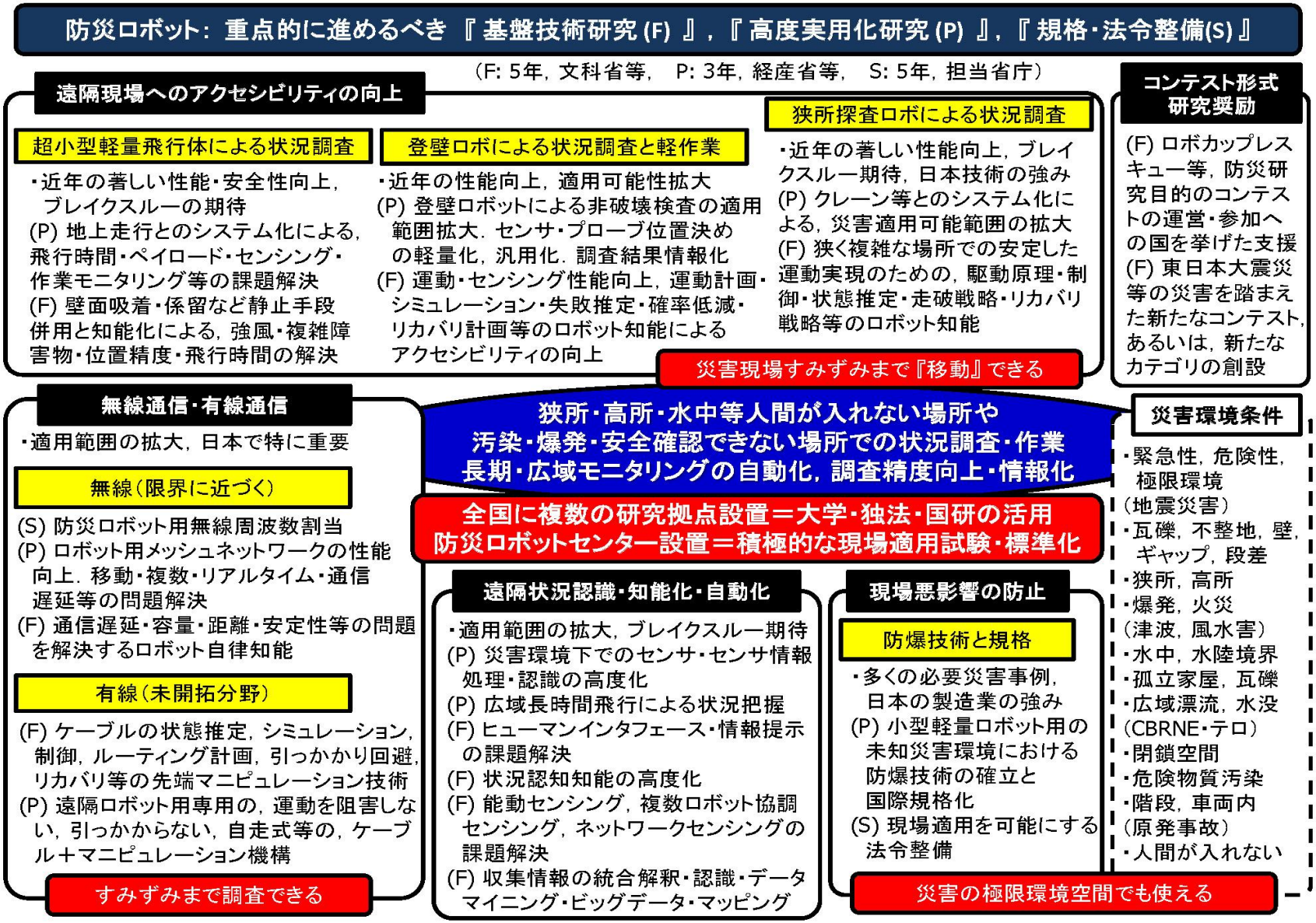


図４．４　重点的に進めるべき基盤技術研究、高度実用化研究、規格・法令整備

（A）超小型軽量飛行体によるモニタリングシステム

重量数kgの超小型UAV（マルチロータヘリコプター、超小型固定翼模型飛行機）の性能がここ数年で飛躍的に向上し、カメラ搭載、GPSによる径路飛行が可能であり、風に対する安定性向上が著しい。短時間に上空から観察でき、足場を組むプロセスを省略できるため、手軽な災害状況調査や点検のための手段としての有用性が高まってきた。小型軽量のため、墜落しても事故にならず、適用範囲は広い。しかしながら、強風時や建物の近くや複雑な配管などがある場所での安定飛行は困難である。屋内では、クワッドロータ型のヘリによるマップ作成の研究がなされ、デモを行える研究室も米国等で少数存在するが、まだ先端研究の段階であり、屋内についてのTRLは6程度である。（a）適用可能性拡大、（b）ブレイクスルー、の観点から、本テーマを重点化すべきである。

1）地上走行ロボットや車両との組み合わせによるシステム化（高度実用化研究）

現場運用を短期に実現するために、地上走行ロボットや車両との組み合わせのシステム化が望まれる。車両からの充電、位置モニタリング制御、センサのデータ統合が可能になる。

2）壁面吸着・壁面走行・係留など静止手段との組み合わせ（基盤技術研究）

センシングのための位置決め、飛行安定性、バッテリー持続時間の問題を解決するため、壁面に吸着して静止する、壁面に沿って走行する、ケーブルなどで係留する、等の方法が有効である。

（B）壁登りロボットによるモニタリングシステム

壁登りロボットの近年の発展は著しく、短時間に広範囲を調べられるため、手軽な災害状況調査や点検のための手段として期待される。（a）適用可能性拡大、の観点から、重点化すべきである。

1）運動性能の向上（基盤技術研究）

複雑な場所を登るために、機構制御、ルート、手がかりの使い方の計画、シミュレーション、失敗可能性を下げる計画、失敗時リカバリの計画、クレーンなどとのシステム化等が必要である。

2）壁登りロボットによる非破壊検査（高度実用化研究）

センサを軽量化し、複雑形状の対象物を検査できる実用システムの研究開発が必要である。

（C）狭所探査ロボットによるモニタリング

狭所探査ロボットの技術発展は急速であり、災害時の瓦礫内やインフラ配管設備・橋梁などの狭い場所の点検、危険箇所内部調査の能力拡大が期待される。（a）適用可能性拡大、（b）ブレイクスルー、（c）日本の強み、の観点から、重点化すべきである。

1）狭く複雑な場所での安定した進入・退避（基盤技術研究）

現状の狭所探査ロボットは、障害物が多数ある災害空間への進入・退避性能が十分でない。走行機構制御、ロボット走行経路の推定、周囲状況の認識、走破戦略、失敗時リカバリの研究が必要である。

2）クレーンなどとの組み合わせによるシステム化（高度実用化研究）

アクセス困難な災害現場への適用のため、クレーン等と組み合わせてシステム化を行い、探査箇所入口までのアクセスを確保するとともに、位置モニタリングやセンサ統合を可能にすることが必要である。

（Ⅱ）ロボットが現場に悪影響を与えることの防止

（A）防爆技術と規格

我が国で発生しているCBRNE災害の多くには可燃物・爆発性物質が関係しており、その危険性によって災害対応・復旧が阻まれた事例も出てきている。新潟県のトンネル内爆発事故ではロボットの適用が検討されたが、防爆性能の不足により断念された。福知山線脱線事故の救助現場には自動車から漏れ出たガソリンが充満しており、狭所探査ロボットがあっても適用は困難だったと考えられる。（a）適用可能性拡大、（c）日本の強み、の観点から、重点化すべきである。

1）小型軽量ロボットに有効な防爆技術の確立と基準の明確化（高度実用化研究）

小型軽量ロボットに実用的に使えるような防爆技術を確立し、現場状況に応じて安全性のレベルを定量的に見積もることができる基準を明確化する必要がある。

2）ロボットが使えるように法令を整備（制度）

ロボットを安全に適用しやすいように国際標準や法令や保険制度を整備することが必要である。

（B）防災ロボットの現場適用のための国際安全規格の策定

防災ロボットは従来の災害対応資機材とは大きく異なる性質を持ち、日常生活用ロボットとも異なる性質を持っている。現場適用のためには独自の安全規格が必要である。防災ロボットセンター（後述）を中心にして、国内外の有識者やその他関連機関の協力を得ながら、標準化や規格化を進めるべきである。

（Ⅲ）無線通信、有線通信の問題点の解決

（A）ロボット（地上、航空）用無線通信の高度化

無線通信のチャンネル数、伝送遅延、安定性、通信距離などの問題を解決することが、（a）適用可能性拡大、の観点から必要である。

1）防災ロボット用専用無線周波数割り当て、電波出力制限緩和（制度）

災害現場運用はもとより、訓練・開発試験のためにも使用できるよう、防災ロボット用の専用無線周波数を割り当て、電波出力の制限を緩和し、必要エリアでの通信を可能にする必要がある。

また、航空向けにITU－Rで議論されている周波数割当の内容も鑑みて、干渉や共用についての検討も引き続き実施する必要がある。

防災ロボットの専用無線に期待される点は、混信が少なく、安定した通信が可能であることである。災害対応には多くのロボットや遠隔操作機器が導入されるため、限られた無線の帯域を有効利用するためには、無線利用のための空間、時間、形態および無線出力を緊急時に合わせて管理していく研究や技術が必要である。

一方、総務省では、ホワイトスペース推進会議を設置し、地上デジタル放送に割り当てられたUHF帯の周波数領域を有効活用するための検討を行っており、災害対応ロボットや機器の利用についても議論されている。これもロボットや機器を有事の際に現場で活用できるようにするための一つの重要な活動である。しかし、訓練時には、空周波数チャネルの確認、申請・登録が必要であり、有事の際にも利用できる周波数チャネルが保証されているわけではない。訓練時および有事の際に確実に利用できる無

線周波数の割り当てが必要である。

2）ロボット用メッシュネットワークの性能向上（高度実用化研究）

防災ロボットの専用無線に期待される点は、混信が少なく、安定した通信が可能であることである。災害対応には多くのロボットや遠隔操作機器が導入されるため、限られた無線の帯域を有効利用するためには、無線利用のための空間、時間、形態および無線出力を緊急時に合わせて管理していく研究や技術が必要であり、ロボットの移動、複数ノード、リアルタイム、伝送遅延、伝送容量の優先割当、ルーティング変更高速化、ハンドオーバー短時間化、アンテナ、ケーブル設置などの問題を解決する無線技術が必要である。

3）無線通信の問題を解決するためのロボットの自律知能（基盤技術研究）

通信遅延・伝送容量・伝送距離・安定性等の問題を、無線技術だけでなく、ロボットの自律知能を使うことにより解決する必要がある。

（B）ロボット用有線通信の高度化

無線通信の条件整備が困難な現場では、有線通信を使う必要がある。さらには、災害現場でロボットが失われないためには、係留索が必須であるケースも多い。このような場合には、通信ケーブルのマニピュレーションが大変困難な課題である。すなわち、ロボットの運動を妨げないこと、ケーブルの切断・絡まり・引っかかりを避ける手法、ケーブルリールの小型軽量化、ケーブル引っ張り負荷の軽減、ケーブルのルーティングなどの問題を解決しなければならない。これら有線通信の問題については研究開発が遅れており、（a）適用可能性拡大、の観点から重点的な取り組みが望まれる。

1）ケーブルマニピュレーションの研究（基盤技術研究）

ケーブルの制御、ケーブルを這わせる、移動させるなどの戦略の計画問題、ケーブルが引っかかった際の外し方、ケーブルの状態推定、などをロボット知能で解決することが必要である。

2）ロボット用専用ケーブルの開発（高度実用化研究）

運動を阻害しない引っかかりにくいケーブル、操作機構、自走式ケーブル、ケーブル材料・構造などの開発が必要である。

（Ⅳ）遠隔状況認識、知能化、自動化

遠隔操作の困難性の多くは、周囲状況やロボットの状態を操作者が直感的に認識できないことに起因している。（a）適用可能性拡大、の観点から、研究開発が必要である。

1）災害環境下でのセンサおよびセンサ情報処理の高度化（高度実用化研究）

災害環境下で有効な小型軽量センサ、センサ情報処理、認識、その現場適用試験評価が重要。

2）広域長時間飛行による災害状況の自動把握の高度実用化（高度実用化研究）

災害の初期情報収集の信頼性と安全性を高め、実戦配備を図ることが重要である。目視外の遠距離での使用を想定し、燃料切れ、データリンクの途絶、突風等の不測事態等への対応能力を高める必要がある。

3）ヒューマンインタフェース・情報提示の課題解決（基盤技術研究）

大型システムは災害現場への導入が不可能なため、簡便で効果的な技術が望まれている。

4）状況認知知能の高度化（基盤技術研究）

マルチモーダルセンシング、マルチモーダルヒューマンインタフェースが重要である。

5）能動センシング、複数ロボット協調センシング、ネットワークセンシングの課題解決（基盤技術研究）

不足情報を能動的に取得するアクティブセンシング、複数台のロボットが協調したセンシング、多数のセンサをばらまくことによるネットワークセンシング、ビッグデータからの状況推定、などが課題である。

6）収集した情報の統合と解釈（基盤技術研究）

収集した情報の統合解釈、3Dマッピング、認識、データ解析、ビッグデータによって、防災における情報の持つ意味を十分に引き出し、活用できるようにする必要がある。

（Ⅴ）コンテスト形式によるロボットの基盤技術研究の奨励

現場模擬環境で災害対応ミッションを完遂させることをテーマとしたロボットコンテストの奨励を図るべきである。Quinceはロボカップへの参加によって実用化が加速され、米国ではDARPA　Robotics Challengeが開始された。フィールドでのきちんとした性能評価基準に基づいたロボットコンテストを開催することによって、大学・独法・国研等のロボットを実用に近づけ、我が国の研究レベルの全体的なレベルアップを図ることが必要である。また、関係省庁・ユーザ・国民一般に対して、研究成果と課題を理解しやすい形で見せることが重要である。

1）ロボカップレスキューなど、防災研究を目的としたコンテストの運営および参加への、国を挙げた支援

防災研究を目的とした国際コンテストの運営、国際コンテストへの参加に対して、国を挙げた支援を行い、防災ロボット研究の奨励を図るべきである。

2）東日本大震災等の災害を踏まえた、新たなコンテスト、あるいは、コンテストのカテゴリの創設

東日本大震災等の災害に関する知見を基に、ロボット技術が防災に役立つための新たなコンテスト、あるいは、既存コンテストの中での新たなカテゴリを、災害環境の解析とロボットの性能評価基準をふまえ、国際的な協力により、創設すべきである。

4．5　規格・制度の整備、全国に複数の研究開発拠点の整備、フィールド試験のための防災ロボットセンターの開設

図4．5に示すように、規格・制度の整備、全国に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が必要である。

（Ⅰ）国際標準化、規格策定

(A)ロボット・ロボット部品・各種モジュールの性能評価法の確立と、その国際標準化

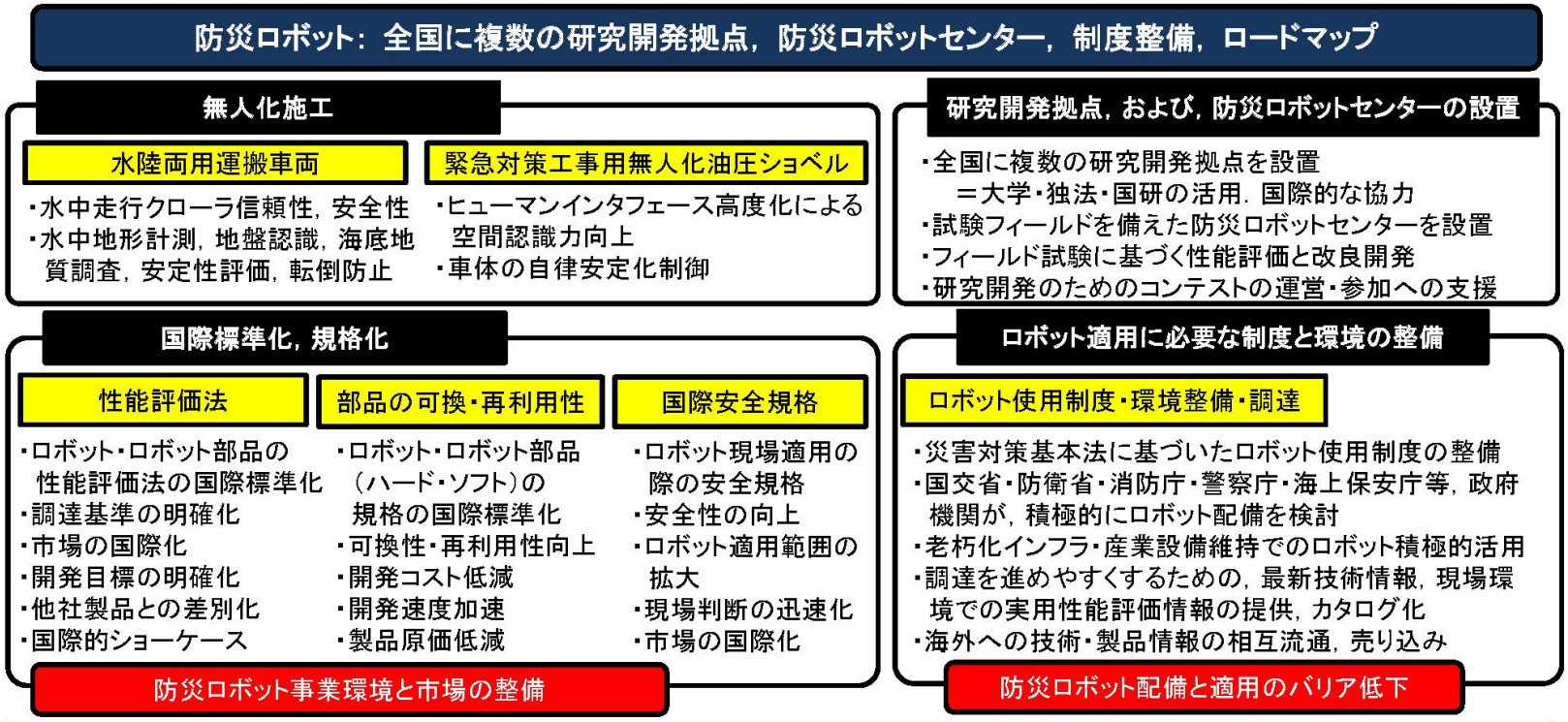
ロボットや部品等を開発・改良する上において、性能評価法を確立し、標準化することは重要である。性能評価によって、現場での実用性能を仮想環境で見積もることが可能になり、実用の観点から研究開発すべきポイントが明確になるため、研究開発の効率が上がり、コスト低下が期待される。評価基準がユーザニーズを適切に反映できれば、必要な仕様などを詳細にわたって正確に定めることが可能となり、研究開発側とユーザ側との間にある死の谷を埋めることができる。

そのためには、テストフィールド・モックアップ試験、現場適用試験、ロボットニーズと性能に関するバリアの低下、ビジネスバリアの低下、実戦配備、継続使用、高度実用化研究、基盤技術研究などを、総合

的に進めることが必要である。国内外の関連機関（産総研、消防検定協会、米国NISTなど）との協力が不可欠である。

（B）防災ロボット部品・モジュールの可換性・再利用性を高めるための、国際標準化と規格化

防災ロボットの市場は大きくないので、標準化によって部品や各種モジュール（ハードウェア、ソフトウェア）の可換性や再利用性を向上させることが必要である。防災ロボットセンターが中心となって、国内外の有識者や関連機関の協力を得ながら、標準化や規格化を進めるべきである。



ロードマップ		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021-
基盤技術研究	遠隔現場アクセシビリティ向上	プロジェクト検討	手法開発	手法改良	プロトタイプ開発	模擬現場試験改良	模擬現場実証	現場実証・試験配備	製品検討・開発	製品配備
	無線通信・有線通信									
	遠隔状況認識・知能化・自動化									
高度実用化研究	遠隔現場アクセシビリティ向上		プロトタイプ開発	模擬現場試験改良	現場実証・試験配備	製品検討	製品開発	製品配備		
	無線通信・有線通信									
	遠隔状況認識・知能化・自動化									
	防爆技術									
規格・法令整備		規格検討		標準化運動		規格策定		標準規格化		

図４．５　全国に複数の防災開発拠点、防災ロボットセンター、制度整備、ロードマップ

（C）防災ロボットの国際安全規格の整備

防災ロボットの国際安全規格（含、防爆）の整備を進めるべきである。

（Ⅱ）研究開発拠点の整備、および、防災ロボットセンターの開設

（A）全国に複数の研究開発拠点の整備

防災ロボットの研究開発を推進するため、全国に複数の研究開発拠点を設置することが必要である。複数の拠点を設けることによって、競争原理が働き、さまざまな情報がオープンに流れ、優れた成果と研究開発の加速が期待でき、『村』の形成を防止すべきである。拠点運営の効率化のため、また、人材を容易に確保できるようにするためにも、大学・独法・国研を積極的に活用し、既存組織の中に拠点を設けることが得策である。また、国際的な協力を進め、海外との技術交流、情報や人材の相互流通を進める必要がある。

設置場所としては、関連する省庁とのコミュニケーションが容易な東京地区の大学、防災科学国際研究所を持つ東北大学、防災研究所を持つ京都大学、生活支援ロボット安全検証センターをもつ産総研などが適していると考えられる。いずれにしても、一流の人材が継続的に確保しやすい条件を備えていなければならない。

（B）防災ロボットセンターの開設

種々の災害模擬現場を設置した防災ロボットセンターが必要である。実用的な防災ロボットを開発するには、災害模擬現場で繰り返し試験を行い、改良を進めることが必須であるが、日本にはそのようなセンターが、ロボットに最適な形では存在していなかった。フィールド試験にもとづく性能評価、公開試験会の開催などが望まれる。そこには、種々のロボットを配備し、いつでも使用できるように整備し、試験訓練を行い、防災ロボットのショーケースとして機能させることが望ましい。大規模災害が起きたときには、災害対応組織に対してロボットを貸し出し、協力しながら災害対応活動を進めるべきである。

開設場所としては、ロボットの成果が見えやすく災害時出動が容易な立川や有明の広域防災拠点、東日本大震災で被災して放射能の影響が深刻な南相馬市、などが考えられる。大規模なものを全国に一カ所開設し、小規模なものは全国の複数の研究開発拠点に設置することが望ましい。

（Ⅲ）ロボット適用に必要な制度と環境の整備

（A）災害対策基本法に基づく制度整備

災害対策基本法に基づいたロボット使用のガイドラインの整備を行い、国交省・防衛省・消防庁・警察庁・海上保安庁、自治体等が積極的にロボット配備を進められるようにする必要がある。

（B）老朽化インフラ・産業設備維持における積極的活用

老朽化インフラ・産業設備の補修やメンテナンスにおいて、ロボットが積極的に活用されるためのインセンティブ制度を整備し、平時よりロボットが活用されるようにし、災害発生時に必要なロボットの台数と操作員の人数を確保する必要がある。

(C)調達障壁の低下

調達を進めやすくするため、最新技術情報、現場環境での実用性能評価情報を定期的に収集し、カタログ化しておくことがひつようである。また、海外への技術・製品情報の流通、海外製品の情報の流通を促進すべきであり、国産品を積極的に海外に売り込むべきである。

4．6 ロードマップと必要な予算

ロードマップを図4．5の下に示す。このためには、表4．2の予算措置が必要である。

表4．2 防災ロボットに必要な予算 (単位:百万円)

	高度実用化研究(経産省等)		基盤技術研究(文科省等)	
	内訳	金額	内訳	金額
遠隔現場アクセシビリティ向上	100×6 件×3 年	1,800	50×9 件×5 年	2,250
無線通信・有線通信	100×4 件×3 年	1,200	50×6 件×5 年	1,500
遠隔状況認識・知能化・自動化	100×5 件×3 年	1,500	50×8 件×5 年	2,000
コンテスト形式研究奨励			30×8 件×5 年	1,200
国際標準規格化	20×4 件×6 年	480		
研究開発拠点整備			(800＋100×10 年)×5 件	9,000
防災ロボットセンター開設	8、000＋300×10 年	11,000		
合計		15,980		15,950

5. 無人化施工システムに関する提言

要約:

災害発生時の緊急対応、復旧作業で利用される無人化施工は様々な災害に対する対応が期待される。しかし現状の技術では、無人化施工が可能な作業は限定されており、対応する建機や周辺機材、熟練オペレータも非常に少数である。また災害現場では、機体の安定確保に細心の注意が必要である上、遠隔操作による作業の効率低下も生じる。

今回の提案では、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、またそれを実現するための制度的な課題等についても提言を行った。

新たに開発すべき災害対応ロボットは以下の通り。

・ショベル系建設機械

〇災害発生後、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

車載広角カメラ映像による空間認識、位置・姿勢計測による車体姿勢認識

地盤性状や車体の滑り検出による安定性評価と転倒防止制御

上記情報を遠隔運転に的確に反映する操作支援機能

〇復旧作業を安全かつ効率的に行える高度情報化

環境計測システムにより地形等を把握して施工計画図を作成支援

施工計画に沿ってマシンコントロール技術で正確な作業を支援

〇上記技術により、通常作業時には高度な安全性を確保し、作業効率の向上を実現。

・水陸両用運搬車両

〇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

〇土砂災害等に際し、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

超音波等による水中地形計測技術、触針棒等による地盤認識技術

安定性評価及び転倒防止制御

走行支援ガイダンスシステム

〇上記技術により、浅瀬の海洋工事や河川改修工事等で、従来と大きく異なる作業方法を実現する。

本章の執筆にあたっては、想定される災害毎にどのような無人化施工システムのニーズがあるかについて詳細な検討を行い、それから必要とされる研究課題、必要なインフラや制度等について検討を行った。ただ、検討の結果は大部にわたるので、本提言ではそのエッセンスを示し、詳細な内容はWEB版で付録として添付することとした。

5．1　検討範囲

雲仙普賢岳の火山災害を契機として、火山、地震、台風、暴風雨等に伴って発生する土砂災害に対し、建設機械を安全な場所から遠隔で操作して復旧作業を行う無人化施工技術が開発された。この技術は、

今日に至るまで、最新のICT技術を導入しながら発展し、様々な災害への対応で技術が伝承されてきた。福島第１原子力発電所の事故や、台風によって生じた紀伊半島の天然ダムへの対応にもこの技術が活用されている。

無人化施工技術とは、遠隔操作仕様の建設機械と遠隔操作に必要な画像関連技術、信号伝送技術、これらをまとめてシステム化する技術、遠隔操作を行う操作者等々の総称であるが、様々な自然災害の復旧に対応するためには不足する技術も数多い。本節では、想定される自然災害への対応に必要な対策の中で、無人化施工が必要な作業を明確化し、今後必要とされる無人化施工システムを実現するために取り組むべき新たな技術開発要素とそれを実現するための課題について提言する。

５．２　無人化施工システムの重要性

５．２．１　無人化施工システムのニーズ

自然災害の発生後は、直ちに災害の状況把握と共に再発を防止する緊急工事に取り掛かる必要がある。しかし、現地は危険で、調査のためのアプローチ手段に難がある場合も少なくない。2011 年 9 月に発生した台風 12 号による紀伊山地大水害では、土砂ダムの形成に伴って下流域の住民の避難を余儀なくされた。一刻も早い緊急工事による安定化が要請されていたが、現地までの道路が河川の増水や土砂崩れなどで寸断されており、加えて地すべりの再発や降雨による土石流の2次災害が懸念されることが工事の進捗を阻害する要因となっていた。一般に、大規模な自然災害の直後は、現地の状況調査や緊急で作業を行う初期段階が最も危険な状況下にあるのが実状である。

無人化施工技術は、これらの危険状態の中でも作業可能な唯一の方法といえる。危険区域の作業を無人で行えるという特徴は、災害の多いこの国の対策工事では大きな役割を担う技術である。

一方で、現状の無人化施工技術の実際の活用に際し問題となるのは、これらの期待に包括的に応えるまでに達しておらず、限定的な対応にしか適さないことにある。例えば、調査の初期段階で危険区域に入り現地の情報把握の一助を担うには、機械の走行路の地盤強度や周辺地形の情報を把握するための認知技術、これらのデータの情報処理や通信システム技術など、不足している技術の確立に向けた取り組みが必要となる。

さらに、災害対応の無人化施工システムが有事の際の備えとして有効に機能するためには、通常時でも建設作業に使用されることや、運転操作の訓練等が比較的容易に行われる必要がある。新たに開発する建設機械とそのロボット化技術は、通常時と災害発生時の各々について、機械の保有運用方法を視野に入れて災害時の活用を満足するシステムづくりが求められることとなる。

５．２．２　想定される災害と無人化施工による対策

無人化施工は、雲仙普賢岳での試験フィールドによる施工以来、過去１８年間で有珠山、三宅島、中越地震、岩手宮城内陸地震、桜島等の代表的な災害に対応してきた。２０１１年の東日本大震災以降で起こった災害で学ぶべき点は、大規模災害、複合災害の脅威とその対応についての困難さである。それ以前の災害では、影響範囲が１～２km以内の限定された範囲が多かった。今後は、より広範囲でも対応可能で、原子力災害のような放射線対策やコンビナート火災のような高温対策が同時に求められる。

ここでは、これらの事例から推定される代表的な災害シナリオを想定することで無人化施工技術に求

められる技術を明確にしていきたい。想定される災害は、風水害、地震、火山、原子力に分類される。シナリオを想定する上で重要なポイントは、ロボット技術でどう対応するべきかといったビジョンである。その基本となる考え方として、ロボットで対応しなければならない災害対応のための作業は、下記の2点に集約されると考えられる。

① 危険度が高く、人間での作業が著しく制限を受けたり、不可能な環境下で、かつ緊急性、必要性が高い災害対応

② 通常の条件と異なり、人間での作業が著しく効率が低下するため、効率を上げるためにロボットで行う災害対応

このうち②については、現在の技術では困難であるが将来の災害対応では注目されるものである。

詳細なシナリオについては付録に示すが、各災害毎に必要な技術を表5．1から5．3に示す。

表5．1　風水害、地震、火山噴火、原子力災害等に共通して必要な技術と現状評価

分類	評　価	
	既存技術	開発が必要な技術
調査技術	・地質調査技術（強度、色、成分）が該当し、有人による現地試験およびサンプリングで対応	・サンプリング調査の無人化技術 ・地盤の軟弱度など、機械走路状態の把握
建設機械姿勢制御技術	・機械の傾き程度の簡単かつ大まかな姿勢を把握する方法はある	・ブームの状態など、可動部の詳細な姿勢情報 ・転倒の危険などが生じた場合の安全機能など
画像伝送技術	・一般的なカメラを使用した伝送（速度に難がある）	・HD化や3D化の実用化（特に小遅延、高精度のエンコーダ） ・複数台のカメラに頼らずに車載カメラによる俯瞰表示（空間認知支援） ・不陸や傾斜などの詳細かつ広範囲な情報収集技術 ・悪天候時の可視技術
機械制御技術	・人型ロボットの分野で進んでいる	・建設機械対象の技術 ・機械側情報のフィードバック技術 ・力覚センサ技術の適用
座標管理技術	・汎地球測位航法衛星システム（GNSS）の利用 ・ジャイロの性能を用いた技術（高額）	・地下等での管理技術 ・ジャイロの応用技術、実用化
無線通信技術	・建設機械用の無線が少ないため、一般の無線LANを応用	・フィールドでの利用を考えた無線技術

表5．2　水陸両用の建設機械の無人化に関し必要な技術と現状評価

分類	評価	
	既存技術	開発が必要な技術
水中の調査技術	・水中ソナーや超音波などで水中の地形や構造物の形を測定可能だが、清水であることが条件で、流れのあるところや多少濁っているところは測定不能	・流れや濁りのあることころでも水中の地形や構造物の形などを把握できる技術 ・水底の地盤の軟弱度など、機械走路状態の把握
水中での姿勢制御、機械制御技術	・水中ブルドーザのように水中で作業できるものはあるが、自動姿勢制御などの機能はなく人の判断で操作	・姿勢情報の把握 ・転倒などの危険に対する安全機能 ・機械別情報のフィードバック技術 ・力覚センサ技術の適用

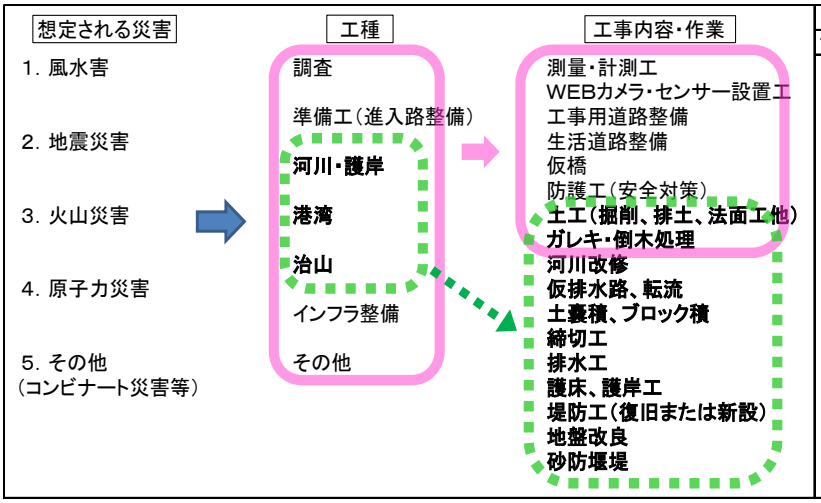
表5．3　原子力災害における除染作業の方法と求められる機能の関係（例）

除染対象	作業方法	使用重機	求められる機能
・道路面、コンクリート面 ・土砂（平坦部） ・土砂（斜面部） ・土砂（田や畑） ・草 ・木 ・瓦礫 ・側溝 ・建造物表面	・撤去、搬出 ・コンクリートで遮蔽 ・大型土のうで遮蔽し搬出 ・覆土	・バックホウ ・ブルドーザ ・ダンプトラック ・発電機	＜操作性＞ ・数キロ（数十キロ）離れての遠隔操作技術 ・同伝送技術 ・重機の姿勢 ・無人給油技術 ＜情報収集＞ ・放射線レベル ・地形 ・基盤の状態 ・障害物の有無

5．2．3　想定される災害と必要とされる建設機械

本検討では自然災害の想定として、風水害、地震災害、火山災害、原子力災害と大別し、発災後に調査・復旧を実施するための工種と工事内容を細分化する。それにより各々につき必要な建設機械が抽出される。無人化施工で対応する場合、既存技術で対応できるものと、新たな技術開発が必要なものを明確化し、広範囲の災害対応無人化施工技術として必要な開発項目を抽出する。

表5．4　想定災害と対策工種と無人化施工機械との関連



主に必要な機械			
ショベル系	ドーザ系	運搬系	クレーン系
－	－	○ 注）	－
－	－	○ 注）	－
○	○	○	－
○	○	○	－
○	○	○	○
○	○	○	○
○	○	○	－
○	○	○	－
○	○	○	－
○	○	○	－
○	○	○ 注）	○
○	○	○	－
○	○	○	○
○	○	○	○
○	○	○	○
○	○	○	－
○	○	○	○

※ドーザ系：ブルドーザ等の建設機械を示す。

注）：対策工事用資機材運搬

表5．4で抽出した、代表的な建設機械であるショベル系、ドーザ系（ブルドーザ等）、運搬機系、クレーン系の無人化施工の対応技術の現況を考えてみると、

ショベル系：様々な作業状況に適した技術としては未完成

ドーザ系：一般の掘削・押土を無人化施工で対応可能

運搬系：無人化施工対応機種が限定的

クレーン系：同上

といった状況である。5．2．2であげた災害シナリオをさらに分析すると、現在必要とする災害技術は下記の分類で表すことが出来る。

① 土砂掘削・瓦礫撤去

② 対策工（構造物設置）

③ 調査・監視

これらの技術に適用した機械を選定すると表5．5のようになる。以上を背景に、無人化施工に必要な遠隔操作仕様建設機械とそのロボット化技術に向けて、さらなる技術開発が必要な建設機械として「ショベル系建設機械」と「運搬機械」があげられる。

表5．5 災害対応技術

項目	*ショベル系*	ドーザ系	運搬系	クレーン系
①土砂掘削・瓦礫撤去	◎	○	◎	×
②対策工（構造物設置）	◎	△	○	△
③調査・監視	◎	×	△	△

※◎重要、○適用可、△一部可、×不適

5．2．4 無人化施工技術の現状と問題点

建設機械によるフィールドでの作業を想定した場合、現在のロボット技術の水準では、無人化施工技術として完全自律制御を確立させることは難しい。緊急時の作業を想定すると、遠隔操作をベースとしてシステムを組み立て、その作業補助・操作支援として部分的に自律制御の技術を取り入れて運用させることとなる。例えば、ブルドーザの情報化施工で使われる排土板制御では、ブルドーザの走行は遠隔操作で実施し、排土板の上下及び傾き動作で汎地球測位航法衛星システム（GNSS）を用いた自動制御が用いられている。制御技術を部分的に操作支援させる位置付けによって、ブルドーザの仕上げ作業の無人化が可能となり、効率向上にも寄与している。

加えて、無人化施工の問題点は、有人施工に比べて効率が悪いことがよく知られている。無人化施工が有人運転と同じ効率とならない原因は、人でいう五感情報の欠落等が指摘されている。

無人化施工の現状は、このように遠隔操作のみ可能な技術では限界があり、空間や環境、機械の安定度などの必要な情報を取り込む技術が未開発なため、これらの分野の新技術の確立が災害対応には必須なものとなる。

これを補う支援技術が重要で、特に以下の技術が求められている。

① 視覚情報を補う空間認知のための技術

② 作業のための地盤等の情報を収集する作業環境計測技術

③ 人間では作業に負担となる部分での、マシンコントロールやマシンガイダンスなどの制御技術や無線技術等

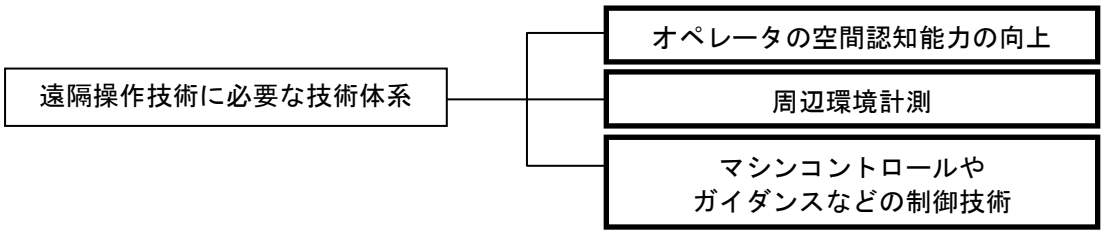


図5．1　無人化施工で必要な開発技術

5．2．5　必要とされるロボット技術

ショベル系建設機械は、その特性から多様な災害への対応に適しているが、遠隔操作での効率の低下が問題点として指摘されている。ショベル系建設機械の研究開発の方向性としては、「機械制御系」と「空間認知系」のテーマの両立が重要であるとの指摘が多い。遠隔操作での施工効率を向上させるには、この2テーマの研究開発が進み、両者の融合が発展することで新たなロボットの開発段階に進化すると考えられる。

運搬機械は通常の建設機械には多くの種類が存在するが、災害時には特に悪路への対応が求められる場合が多い。また、震災以来、海中の瓦礫撤去等で浅瀬の水中作業の難しさを指摘する声もあるため、現存しない「クローラ式水陸両用運搬機械」に特化して検討を進める。

また、新たに開発する無人化施工機械は、その操作方法に関して、従来以上の熟練度や負担を要求することが想定される。このため、走行時の機械の安定性、一定範囲に制御可能な走行、操作者を支援する画像処理方法、情報通信システム等を併せて検討する。

5．3　無人化施工で開発すべき技術

5．3．1　空間認知の課題

遠隔操作においての課題を整理すると

① 作業環境の3次元空間を正確に捉えられない点

② 車両自体の姿勢がわからない点

③ 地盤等の状況がわからない点

があげられる。

これらの問題を総合してオペレータの空間認知の問題として、遠隔操作の大きな障害となっている。この3つの課題はそれぞれ別の問題のように思えるが、人間が行動する上では同一線上にある問題とも

考えられる。作業時、人間が迅速かつ正確に状況を判断するためには、作業員の脳に直接その状況がinput される必要がある。

遠隔操作のオペレータの脳の内部ではこれらの問題をほぼ同時に処理しながら、作業しなければならない。急傾斜の崖部における無人化施工による土砂撤去のような不安定で複雑な作業状況では、『周囲の地形形状を把握し、建設機械自体の姿勢を理解しながら、岩の状況を確認して作業する』ことになり、フィールドでのロボットの移動や作業では、こうした判断は常に求められる。

このオペレータの空間認知の問題を解決するため、現在では車載カメラと外部の固定カメラによるモニタ映像により、遠隔操作を実施している。これはモニタ映像がオペレータに多くの種類の空間情報を提供できることと、リアルタイムの映像であるため、信頼性が高いことにある。しかし、映像だけでは、作業効率が十分に上がらないことも分かっており、より高度な技術が求められている。このことから、空間認知系の技術開発が重要な役割を果たし、今後の遠隔操作技術のために期待される分野であるといえる。

5．3．2　必要となる技術開発要素

災害シナリオにおける課題としては、陸上作業機では周辺地形が分らない等の周囲環境の把握や、機械の姿勢が掴めない等の自車状況の把握、および水際における作業に対する水陸両用運搬機の必要性があげられ、これらを解決するために必要となる技術開発イメージは図5．2となる。

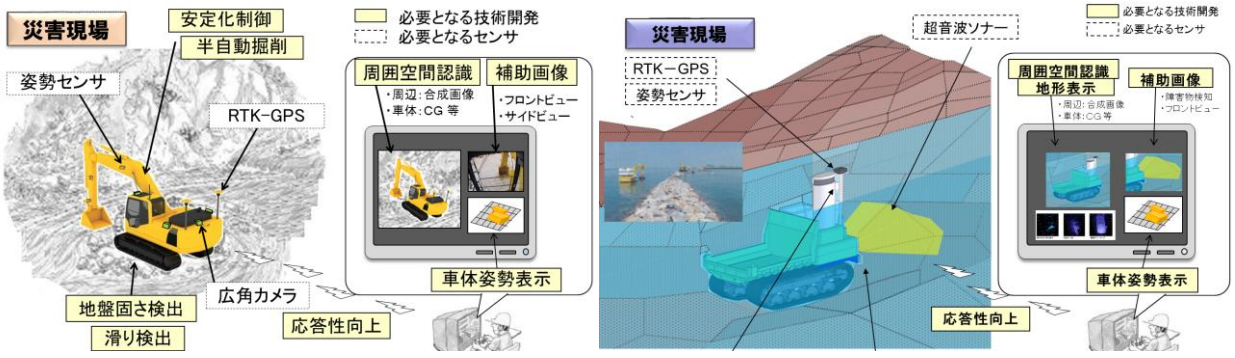


図5．2　必要となる技術開発イメージ

表5．6　必要となる技術開発要素

シナリオにおける課題

分類	主な課題
周囲環境	地形が判らない 地山の状況が不明 作業対象の状況
自車状況	機械の姿勢が不明 機械操作が難しい
水中作業	水陸両用運搬機がない

必要となる技術開発　（ショベル系、水陸運搬系を含む）

分類＼項目		内容説明	適用場面 緊急	適用場面 復旧	実現手段	開発段階
環境計測系	地形計測	地山の地形を3D計測		○	ﾚｰｻﾞﾚｰﾀﾞ	基盤
	地形計測（水中）	海底、障害物を3D計測	○	○	水中ｿﾅｰ	基盤
	地形マッピング	障害物等を含め地形マッピング		○	GPS等	基盤
	地盤固さ検出	貫入装置の車体装備	○		貫入装置	基盤
空間認知系	周囲空間認識	複数の車載カメラ画像より、任意視点からの周辺地形を表示	○		広角ｶﾒﾗ	基盤
	補助画像	双腕にｶﾒﾗ装着しﾌﾛﾝﾄ側方画像を得る、あるいは小型移動ﾛﾎﾞｯﾄ	○		双腕機 小型ﾛﾎﾞｯﾄ	実用化
	地形表示 （障害物含む）	オペに地形を認識させる		○	表示媒体	実用化
	車体姿勢表示	オペに姿勢を認識させる	○	○	姿勢ｾﾝｻ等	実用化
	ルートガイダンス	走行経路のガイダンス機能		○	GPS等	実用化
	滑り検出	車体の滑り量を検出 （水中なら波の影響含む）	○		慣性ｾﾝｻ等	基盤
操作支援系	安定化制御	安定性評価 転倒防止制御	○	○	姿勢ｾﾝｻ等	実用化
	半自動掘削	作業ガイダンスと領域制限制御	○	○	姿勢ｾﾝｻ等	実用化
	自律走行	水陸運搬車両の自律走行		○	GPS等	基盤
通信系	応答性向上	信号伝送時間の短縮	○	○	無線装置	基盤
	通信方法（水中）	水中での通信手段	○	○	－	基盤
車両系	水陸両用車両	水陸運搬車両の新規開発	○	○	－	基盤

必要となる技術開発を分類すると表5．6になる。周囲環境を把握するためには、地形計測をはじめとした環境計測系の技術だけでなく、それを操作者に認識させるため空間認知系の技術が重要となる。また、スタンドアロンで災害現場に突入し緊急作業を行う場合、車載した複数カメラ映像を合成することで、任意の視点から作業機および周辺地形を表示することにより空間認識力を向上するマンマシンインターフェース技術や側方からの補助画像が有効である。その際、地山の状況が判らず、ぬかるみがある場合には、車体の陥没や横滑りの危険性があるため、突入前に地盤固さを把握する必要もある。

自車状況を把握するためには、情報化施工ショベルに搭載される姿勢センサ等の情報を基にして、いかに操作者に車体姿勢を認識させるか技術開発が必要であるとともに、機械側で転倒防止制御を行う等のオペ操作に対する補正制御による支援も効果的である。また、基本的に無人化施工は作業状況に対する情報が限られるだけでなく、通信による応答遅れが大きいため、作業効率の向上を図るためには、作業ガイダンスと領域制限制御による半自動掘削や通信系の改善が有効である。

水中作業に関しては、これらと趣がやや異なるが、まずはそれを実現するための水陸運搬車両の開発が前提となる。さらに水中の障害物や地形の計測技術、復旧作業に移行した段階での自律走行技術等が必要となる。

これら開発した技術要素は次なる災害対応で投入され、そこからさらに課題が指摘され、無人化施工システムで開発すべき新たな技術が明らかとなる。これは図5．3のような技術開発サイクルを描き、継続的に技術開発と災害現場での実証を繰り返すことが必要である。

技術は、「高度実用化研究」と「基盤技術研究」の2つに分けて開発することが必要と考える。「高度実用化研究」とは、すでに基礎技術はあるがそのままでは現場に適用することができない技術を、現場で活用できるように実用という観点から高度化する研究である。「基盤技術研究」とは、まだ世の中にはない技術を研究開発することであり、長期開発期間を要するものである。 表5．7では、この観点から必要となる技術開発を「開発段階」の項目で分類している。

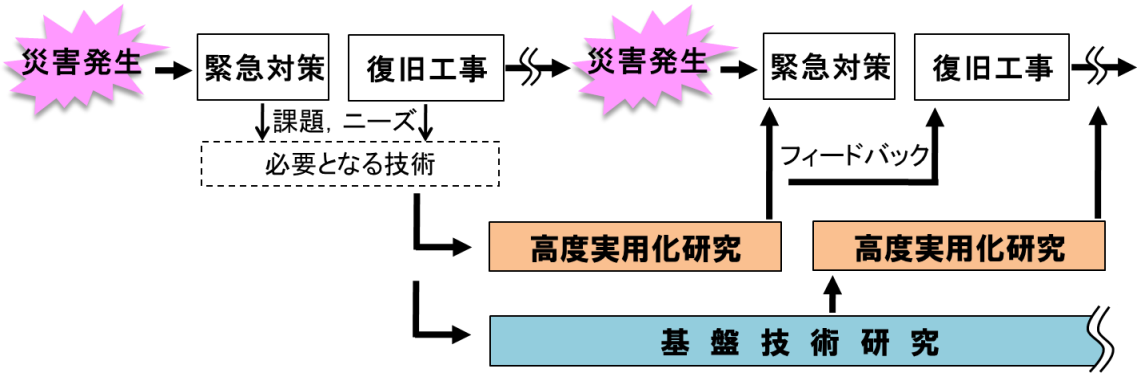


図5．3　技術開発サイクル

5．3．3　具体的な災害対応ロボットの提案

災害シナリオで述べたように、これらを実現するための災害対応ロボットは、平常時の運用やその後の継続性を考慮すると、実績のある建設機械をベースに開発するのが現実的であり、代表的な建設機械として、ショベル系、ドーザ系、運搬系、クレーン系があげられる。

このうち、ショベル系は最も重要度が高く、また多様な工種に適用できることから、第一に開発を推進するべき機種である。また、水際における運搬系については、現状では対応機種がなく、災害時は土砂等撤去の効率化も重要な課題であることから、新規開発すべき機種である。

したがって、新たに開発する無人化施工技術の適用が必要な災害対応ロボットの対象機種としては、「ショベル系建設機械」と「運搬系車両」を挙げることとし、以降では具体的な作業イメージについて説明する。

また、想定される災害の種類に応じて必要となる対策工事は異なるが、大別すると、災害発生直後に必要となる緊急対策工事と、ある程度状況が落ち着いたのち必要となる復旧工事に分けられる。今回はいずれもロボット化に容易に対応可能な既存技術として、姿勢センサやGPSを搭載した情報化施工システム仕様の建設機械をベースマシンとして想定している。

5．3．3．1　ショベル系建設機械

1）緊急対策工事イメージ

災害現場に最初に突入し、スタンドアロンで走行路確保や瓦礫撤去作業等を行う緊急対策工事では、

無線による遠隔操作に対して車載の固定カメラ映像だけでは現場の状況把握が難しいため、オペレータの操作を支援する空間認知系や操作支援系の技術開発が必要となる。(図5．10)

空間認知系としては、複数の車載広角カメラ映像より任意視点からの周辺地形を表示する周囲空間認識、フロントビューやサイドビューを表示する補助画像、GPSや姿勢センサのデータに基づく車体姿勢表示等が考えられ、オペレータが現場や車体の状況を把握するのに役立つ。また、地盤固さ検出や慣性センサによる滑り検出を行うことで、走行時の安全性に寄与できる。操作支援系としては、安定性評価と転倒防止制御を組み合わせた安定化制御等が有効であり、オペレータが不意に操作ミスを起こした場合でも、操作信号を補正することで未然に転倒を防止できる効果がある。

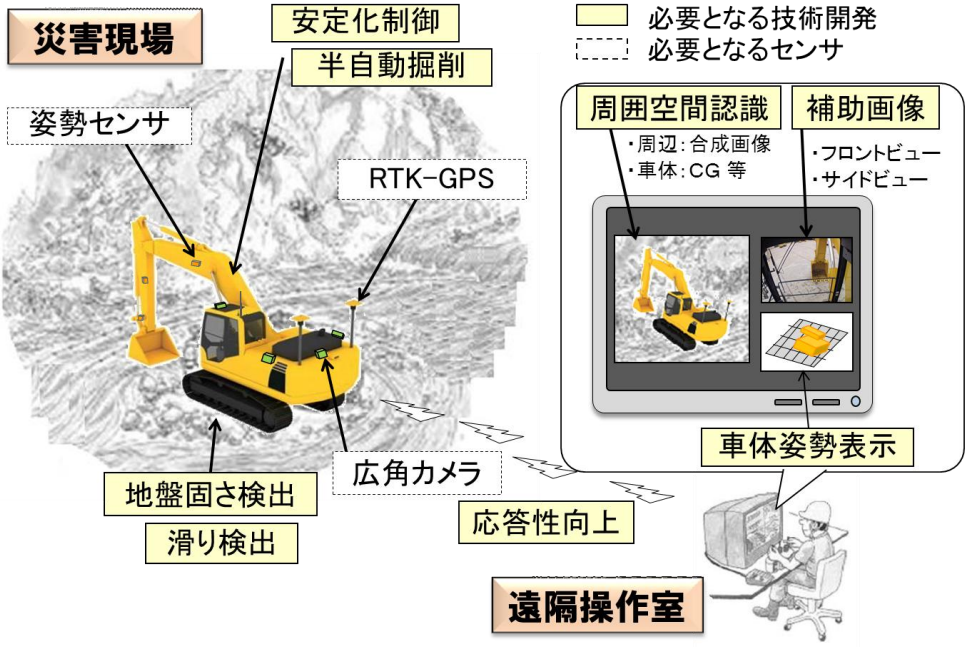


図5．4　緊急対策工事イメージ

2)復旧工事イメージ

緊急対策工事後、複数の重機を投入して本格的に作業を行う復旧工事の段階では、安全かつ効率良く作業を行うために、無人化施工技術と情報化施工技術の高度なコラボレーションを行う必要がある。

まずは、現地の地形を把握するために、航空レーザー測量等により災害現場の地形を計測し、それに基づいて施工計画図を作成する必要がある。領域制限制御は、この施工データを基に掘削が必要な領域を算出、オペレータ操作に対してフロントの補正制御を行うことで、半自動的に制限領域に沿った掘削を実現するマシンコントロール技術であり、状況把握が難しく操作遅れもある無人化施工に対して、正確かつ効率的に掘削作業を行うのに有効である。その際、オペレータは作業ガイダンスに従い、モニタを見ながら大まかな操作を行うだけで容易に意図した掘削作業を行うことができる。

さらに、掘削作業後の出来高もデータとして一元管理できるため、無人化施工による復旧工事に対して、地形計測から施工図作成、半自動掘削、出来高管理まで統合的に工事を運用できる。

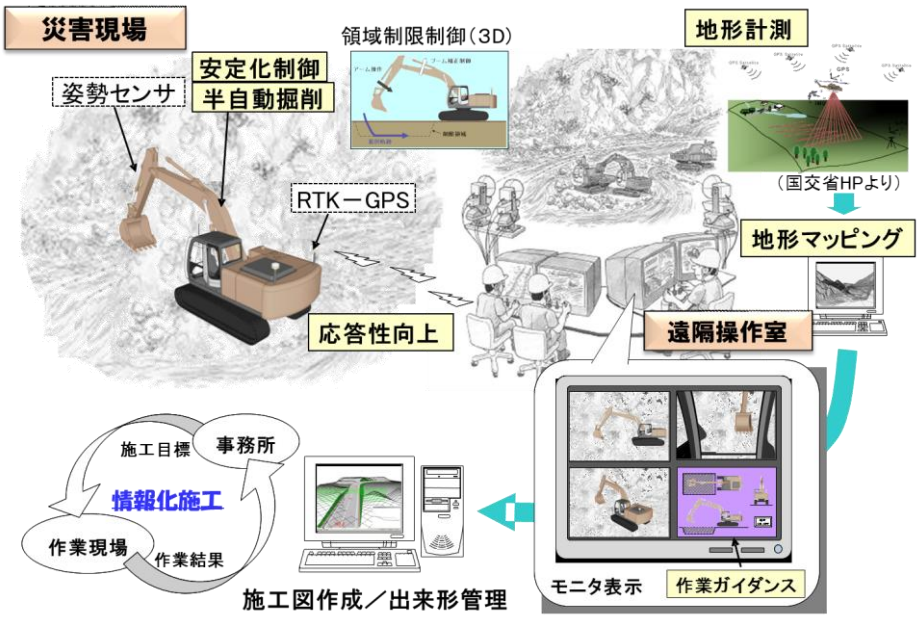


図5．5　復旧工事イメージ

3）運用方法の提案

基本的に、災害対応ロボット技術の適用対象としてはGPSや姿勢センサ等が装備された情報化施工ショベルを想定している。

具体的な開発機の運用方法として、本提案による災害対応機能を付加した情報化施工ショベルをレンタル店等で一定数保有しておけば、災害に対する備えとしての追加費用を抑えながら、平常時は情報化施工ショベルとして一般土木工事の効率向上に貢献できるだけでなく、今回開発した技術により、さらに安全性、操作性の向上に寄与できる。

また、これらの実用化を進めるにあたっては、地山形状や傾斜地、周辺障害物、悪路等に対する実証試験を事前に行うことができるテストフィールドの設立が必須である。

5．3．3．2　水陸両用運搬車両

1)技術開発課題

現在、水中を走行できる運搬車両が無い為、津波等の水災害で作業船が侵入できないエリアにおける復旧工事の効率と、土砂災害等の陸上災害で通常の運搬車両が走行できないエリアの緊急対策工事の効率を著しく低下させている。図5．13にこれらの工事の例を示す。ここでは水陸両用運搬車両に必要な機能を考察し、研究開発課題を明らかにする。

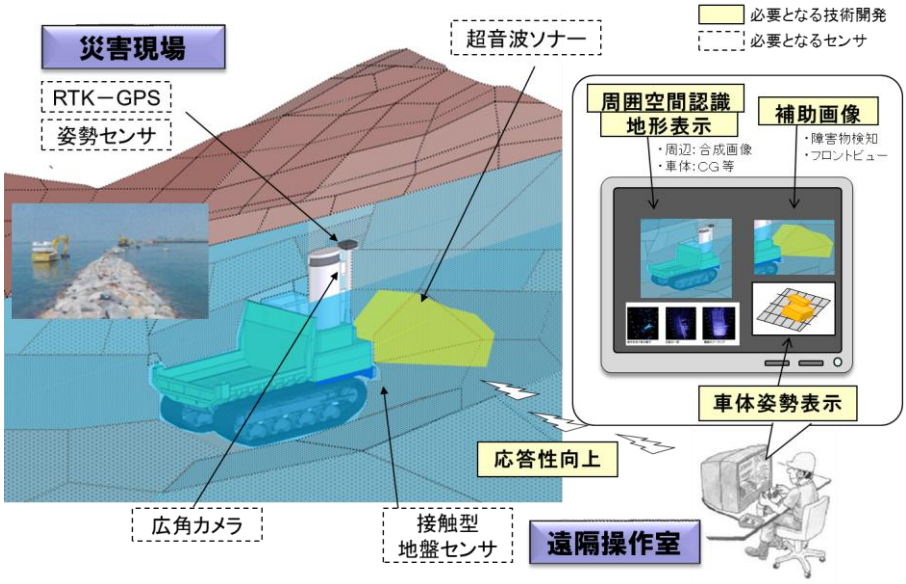


図5．6　水中での工事例

水中にて走行できる運搬機械の開発であるが、大まかに二つの段階に区別できそれぞれに必要な機能は以下のとおりである。

＜第一段階＞

最低限の「環境計測」により大まかな海底地形と地質の調査を行った後、それに基づいた作業計画を作成した上で、ダイバーによる運転操作が可能な機械であると考える。（水がきれいならば水面からの遠隔操作可能機械まで考慮する）技術開発課題としては、水中走行用クローラ技術、エンジンの吸排気対策（冷却システムの構築）、水中走行中の故障対応システム、水中での安定性を向上させる低重心機体、浮力対応などが考えられる。

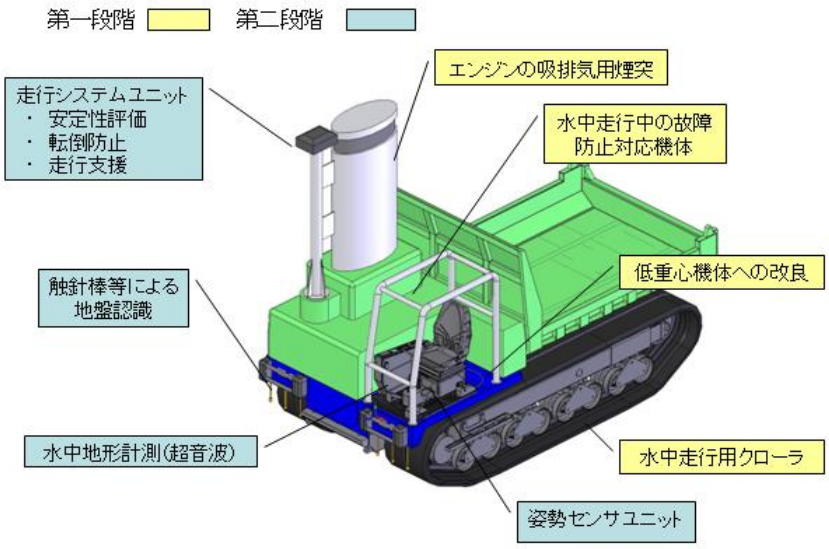


図5．7　水陸両用運搬車の開発

＜第二段階＞

各種センサ情報による無線操縦を目指す。技術開発課題は、超音波による水中地形計測技術の開発、触針棒等による地盤認識技術の開発、超音波等による海底地質調査技術の開発、安定性評価技術、転倒防止制御技術、オペレータの負荷を軽減させる走行支援システムの開発などが考えられる。

2)運用方法の提案

本提案による災害対応機能を付加した機械の架橋下の掘削工事、水中構造物破砕、浚渫工事、防波堤復旧工事等での利用は、一般土木工事における効率向上に大きく貢献するものと考えられる。又、一般の工事利用により運転技術向上が可能である事や、レンタル業者などで保有する事により災害に対する備える事ができるなどのメリットがある。これらの実用化を進めるにあたっては、水中における地形認識技術、触針棒等による地盤認識技術、超音波等による海底地質調査技術、安定性評価技術、転倒防止制御技術などの技術開発においては、事前に様々な実験を行うことのできるテストフィールドの設立が必要不可欠であると考えられる。

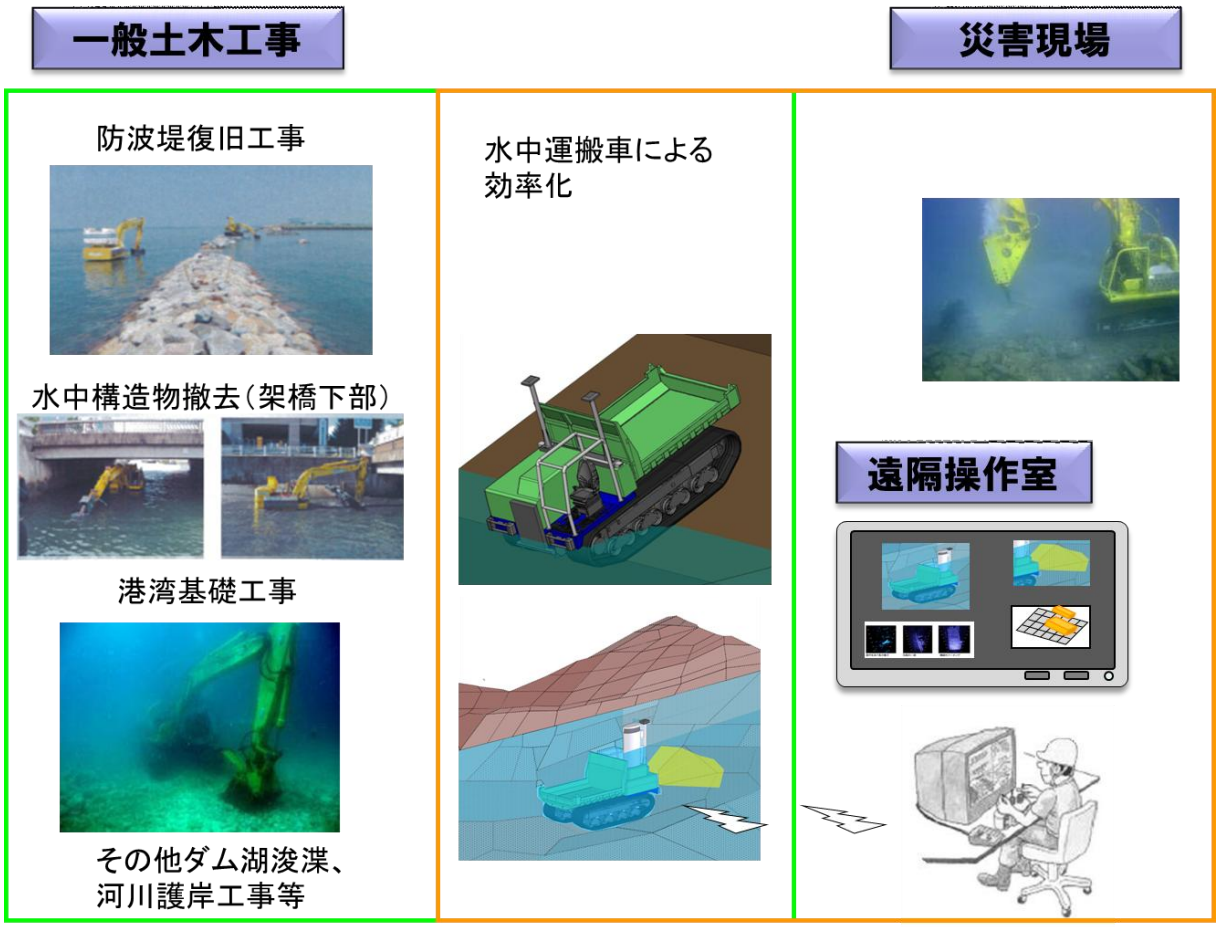


図5．8　一般土木工事利用と災害時利用

５．４ 提言

今後、以上の検討を進めるとともに新たな建設機械の用途をまとめ、構造物解体工事や、河川及び水深の浅い海洋部での建設作業に関する施工方法や、建設機械の安全性を考慮した操作者の支援システムとして下記の観点で提言を行う。

① 建設機械の走行安定性を向上させる技術開発による、無人化施工の範囲拡大と一般の建設作業における安全性向上
② 一般の建設作業に使用する建設機械による、災害時の無人化施工適用範囲の拡大
③ 画像処理と情報通信技術の確立による災害時への備え

５．４．１．基盤技術研究（ハード面）

無人化施工技術は大型建設機械をベースに開発する技術であるため、建設機械メーカが開発した建設機械に、遠隔操作機器および通信機器を組合せて開発されてきた。そのため、多くの分野の技術を組み合わせることで全体が構成される。その構成技術と無人化施工技術とを分けてその開発を考える必要がある。このでは構成技術を大きく以下の要素で考えられる。

① 建設機械およびその要素技術
② 無線通信技術
③ 画像伝送技術
④ ICT（情報化施工技術）

このような分野ごとに遠隔操作技術の切り口で、それぞれ開発を進めていく必要がある。

前述のように、遠隔操作技術に重要なポイントは、

① リアルタイム性
② 連続性
③ 冗長性
④ 耐久性または信頼性

であり、これらの点を考慮した開発が必要である。開発する要素技術に市場性がある場合は大きな問題とならないが、多くの場合ニッチ市場であり、コストがかかるため実現されていない技術が多い。

例えば、画像伝送を考えるとリアルタイムの高画質画像伝送装置は存在するが、それは放送局向けであり、遠隔操作向けの画像圧縮装置の開発にはメーカの開発意欲は高まらない。通信技術も同様で、無線 LAN はインターネットへの接続を考慮したもので、連続性の確保や到達距離を考慮した信頼性を優先したものは少ない。こうした技術を個別に育てていく配慮が今後必要となる。

これらは開発のビジョンを明確に持って、国等が積極的にその要素技術に助成しながら継続性を持って行う必要がある。従って重要な点は、支援する側が開発のビジョンをどのように組み上げていくかが大切となる。これには有識者、災害対応経験者等の意見を汲みあげる組織が重要である。

無人化施工技術の開発上の問題点は、ハードの開発に大きな投資が必要となる点であり、大学や研究機関での開発が盛んにならない原因でもある。市場が未成熟であるため、企業の投資対象となりにくい。こうした点から、企業の投資意欲を促進するため、技術を研鑽する場の提供は重要である。ここでは

小規模での無人化施工技術のコンテストを提案する。

大規模な遠隔操作技術を実現するには試験工事だけでも億単位のコストがかかるため、小規模建設機械の遠隔操作技術コンテストの開催が現実的である。例えば小型調査ロボットを利用した火山災害調査ロボットのコンテスト等である。コンテスト形式の問題点は、日本では参加者への負担が大きく、特殊分野では開催しにくいといったことがあげられる。

また、国の防災のビジョンに基づいた研究開発助成制度により、災害対応のためのロボット技術を基礎技術から育てることが必要である。

5．4．2　高度実用化研究（ハード面）

高度実用化研究とは、完成した基礎技術や実用化技術を、実際の適用する現場環境で稼動することができることを確認すること、またはその場合に新たに発生する課題を検証するための研究活動をいう。

これまでロボット技術がフィールドで活用されない、または開発しながら稼動できないなどの原因として、フィールドでの稼動を実現するための実戦的研究開発が効果的に行われていないことがあげられる。装置開発だけでその後の利用までを十分に考慮されないため、これらの効率的な運用や継続的運用の目処が立たないまま開発が終了することが多いと思われる。また、要素技術の開発がなされても、これを他の複数の技術と組み合わせて、目的とする技術の実用化が実現できなければ、技術が完成したことにはならない場合がある。こうした場合、複合技術や高度技術検証が必要なものでは、実際に技術を活用化するレベルでの研究開発が必要不可欠である。これらを行うことを高度実用化研究として表現する。この高度実用化研究はこれまで重要視されていなかった。

ロボット技術では、フィールドでの実用化にはこうした高度実用化研究が極めて重要である。この高度実用化研究に積極的に投資できるよう、今後、国等による強力な支援をお願いしたい。

5．4．3　防災ロボットセンター（インフラ面）

無人化施工では、各地方整備局に技術事務所があり、防災訓練等を実施している。こうした機関を利用してその拡充を図ることも検討すべきと思われる。

各分野に国や自治体の研究機関が、その分野毎に研究を行っている。これらの研究機関をロボット技術において有機的に連動するための中心的役割を持つ防災ロボットセンターの設立が重要である。

5．4．4　テストフィールド，モックアップセンター（インフラ面）

無人化施工技術において特筆すべき事項として、平成6年の雲仙普賢岳での試験フィールド制度による試験工事があげられる。6工区で平行して工事が行われ当時の遠隔操作技術の検証が行われた。これにより遠隔操作による建設機械群の工事が始まり、砂防堰堤等の構造物を構築できるまでの技術となっている。現在もこの技術は継続され、福島原発への対応や火山災害等への対応が広く行われている。この中で当時から情報化施工技術も同時に採用され、その後の建設分野の技術開発の一つの流れとなった。前述の高度実用化研究を体現した例でもあり、高く評価される試験工事である。このような実工事と密着した試験工事を継続して行うことで、ロボット技術の技術開発は促進されると考えられる。

ロボット技術のレベルを上げるために、また国が描く防災のビジョンを着実に実行するためには、こうした試験フィールド制度や研究開発を伴った試験工事を積極的に実施することを要望したい。

こうした試験工事の課題としては、目標とする開発技術の設定があげられる。適切な目標設定は、その後の開発に大きな影響を与える。高過ぎず、必要性を十分考慮した目標が大切になる。

５．４．５　機能評価標準化（ソフト面）

機能評価は開発者と使用者の双方にとって重要であり、ロボット技術の進化には大きな役割を果たす。無人化施工では、有人運転と比較してその施工効率が低下することが知られている。ただし、その原因と低下の因果関係が十分に解析されているわけではない。その評価手法を確立することは、その原因の分析につなげるものとなる。一部、土木学会等で同様の試みがなされており、今後、さらに多様な評価手法が確立されることが望まれる。

評価の標準化は、標準化による技術の硬直化や開発推進の妨げにならないための工夫が必要である。そのためには常に先進的な研究に対しての評価が判断できる組織、体制が必要となる。

前述の防災ロボットセンターがこうした評価の基礎的ビジョンを作り、これに乗っ取って各研究機関等が評価を行うことが各分野を横断した効率のよい開発を促進すると考える。

５．４．６　試験（テスト）拠点（含む認証）（ソフト面）

無人化施工の試験は、工事以外でその状況を作り出すことは費用面でも環境面でも難しい。崩落土砂のり面などは人工的に再現することが困難である。こうしたフィールド条件が存在する場所を選定して操作室や試験室などの固定施設を設け、継続して試験できる拠点があれば、ロボット技術の検証に役立つものになる。

海洋等の水中ロボットなどは実験そのものに多額の費用を要し、容易に開発を行うことが難しい。こうした実験場を地域に設けることで、地域のロボット開発拠点となり地域活性化の施策にもつながると考える。

こうした地域特性を活かした研究開発拠点は、ロボット研究開発およびロボット産業全体にとって重要である。

５．４．７　制度設計（ソフト面）

ロボット技術の開発・運用において、その制度を検討することは、その技術を継続する上で重要である。またロボット技術は極めて多様であり、市場においても技術においても未成熟なため、制度設計は重要である。課題としては、制度により技術が硬直化することなく、柔軟に変化し、発展することを妨げないものにすることである。

① 研究開発助成制度
② 入札への優遇制度
③ 研究費等税制優遇措置
④ 雇用確保のためのオペレータ評価制度等

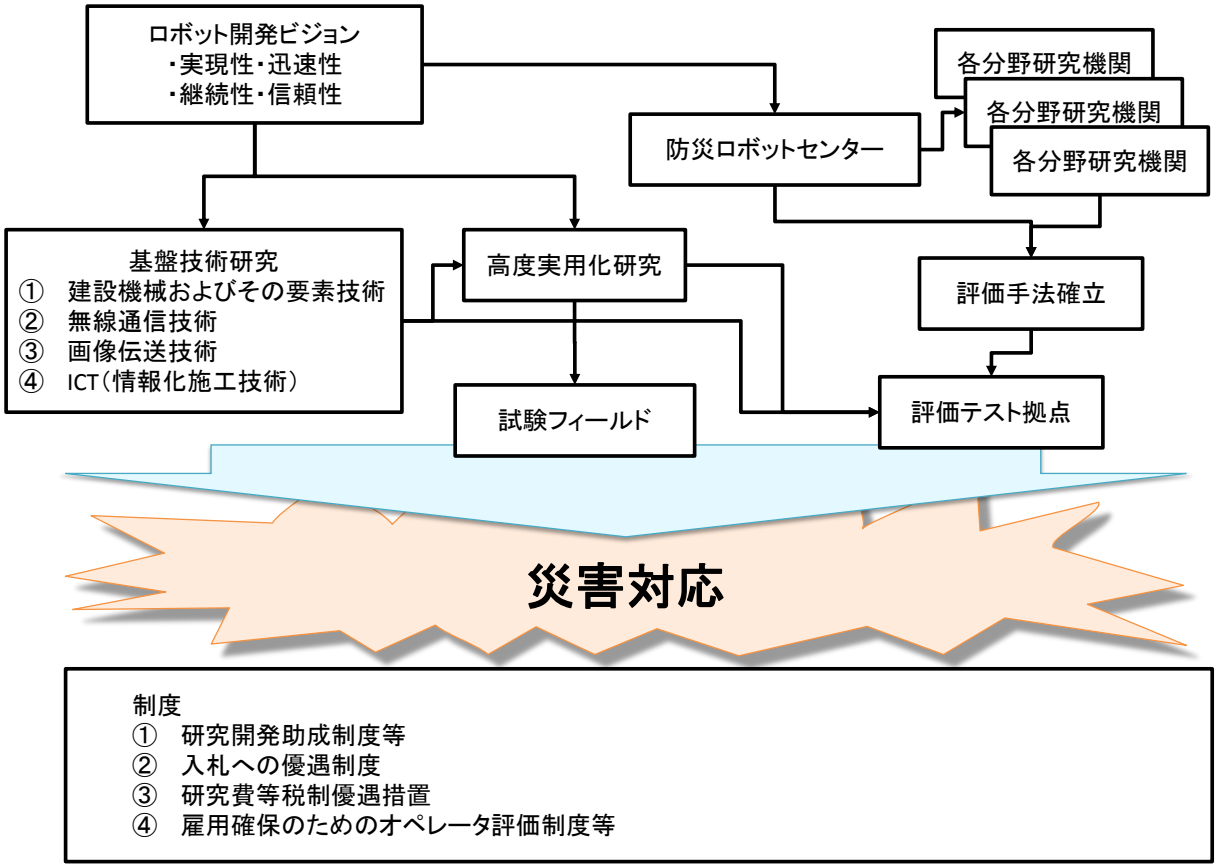

ロボット開発ビジョン
・実現性・迅速性
・継続性・信頼性
各分野研究機関
各分野研究機関
各分野研究機関
防災ロボットセンター
基盤技術研究
① 建設機械およびその要素技術
② 無線通信技術
③ 画像伝送技術
④ ICT（情報化施工技術）
高度実用化研究
評価手法確立
試験フィールド
評価テスト拠点
災害対応
制度
① 研究開発助成制度等
② 入札への優遇制度
③ 研究費等税制優遇措置
④ 雇用確保のためのオペレータ評価制度等

図5．8　提案概要図

6. インフラ点検／メンテナンス・ロボットに関する提言

要約:

日本では設備インフラの老朽化が進んでおり、点検、メンテナンス・ロボットの必要性が増している。ロボット化は人のアクセスが困難な場合に有効であり、その能力は災害対応ロボットとしての転用が充分可能である。機能転用を実現し、実際の現場に適用可能とするため、本章では技術課題と運用上の制度、組織について提言する。

〇社会インフラの現状認識とメンテナンスの市場規模からロボットの必要性と経済性を検討し、点検ロボットが産業、社会に有用であることを示した。

〇点検・メンテナンスにおけるアクセス困難性と必要な計測情報から点検ロボットの必要機能と、現状の移動ロボットや、産業化できている点検ロボットで実現している機能などを比較検討し、これからの実用的な点検ロボットの機能の目標を以下とした。

・インフラ・工場設備でアクセスしにくい（難アクセスエリア（高所、狭隘、悪性ガス等））ために、長期間放置されている部品、部位(溶接線等) を網羅する点検を実現。

・コスト、所要時間が人手作業より経済的に点検可能。

・災害時にもインフラ点検ロボットの持つアクセス機能、点検機能が活かせること

〇この機能実現に必要な技術開発として、

・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

・システム化と規格化・標準化 ― 部品の規格化による、汎用化とコスト削減 ―

〇高度実用化研究として、

・防災ロボットセンターが、平時から災害発生時、復旧時までの全ての局面で点検ロボットの機能検証と技術情報の評価、交換の場となること

・とりわけ点検ロボットの防爆機能認定の役割が大きく、法整備とあわせて実現すべきである

6．1 検討範囲

被災前に生産設備や道路、鉄道の社会インフラの構造体の強度低下や老朽化の程度を把握し、適切に補修する事は減災のためには重要である。 さらに、中長期の設備メンテナンス課題として、状態把握に依る計画的メンテナンスは産業競争力向上、また安全安心な社会実現に大変重要である。自然災害の救助や工業設備の復旧に利用可能なロボットは、人が見られない、近づけない危険で劣悪な環境へのアクセスが必要な点検、保全作業でも使えると考えられる。

本節ではこの転用性を踏まえ，鉄鋼、土建、石油化学、社会インフラなどの装置型産業を中心とした、さまざまなインフラ点検、メンテナンスに適用可能なロボットとロボット技術について検討を行い、

〇技術の現状と課題

〇本格実用化と災害ロボットとしての併用への支援体制（防災ロボットセンターとの関わり）

〇産業化の状況と今後の方策

について、産業競争力強化の観点からの提言を行う。

6．2　現状のニーズとその課題認識

（1）社会的な動向の認識と対応の考え方

社会的なインフラの更新費用については、H21年度の文部科学省、厚生労働省、経済産業省の参画した“第23回民間資金等活用事業推進委員会”の報告資料の中の、「社会資本老朽化に伴う更新投資財源不足問題とPFI／PPPの活用の提案」（根本祐二；東洋大学）で試算が示されている。 それによれば、“現在のストックを50年間（道路舗装は15年間）で更新するための更新投資額をおおまかに試算すると、総額337兆円、8．1兆円／年となる。 これに対して、現在の社会資本投資（フロー）に占める更新投資（10%と仮定）を控除した後、将来の人口減少に比例して公共投資の事業仕分けを実施する（50年平均で15%削減）対策を織り込んでも、なお2．1兆円／年不足する。” 民間資金活用推進も対応策の一つと言えるが、事前の点検作業の高精度化は更新費用の低減に大いに寄与できる。また、更新の順序の適正化は大きな設備事故の回避のためにも必要である。

例えば、天井板落下事故（2012年12月2日、山梨県大月市の中央自動車道笹子トンネル。 天井板のコンクリート板がおよそ130mにわたって落下）において、同トンネルは交通量が多く大量の換気が必要とされていたため、天井板からトンネル最上部まで5．3mもあり、他のトンネル（多くは3m以下）と比べて点検が困難だったという。（出典：毎日新聞2012年12月09日大阪朝刊記事での東大大学院・藤野陽三教授（社会基盤学）の指摘。 図6．1）

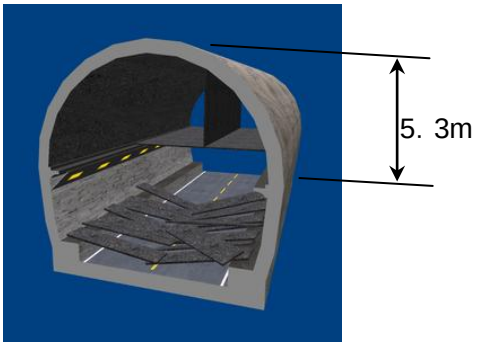


図 6．1　天井板が崩落した状態（模式図）

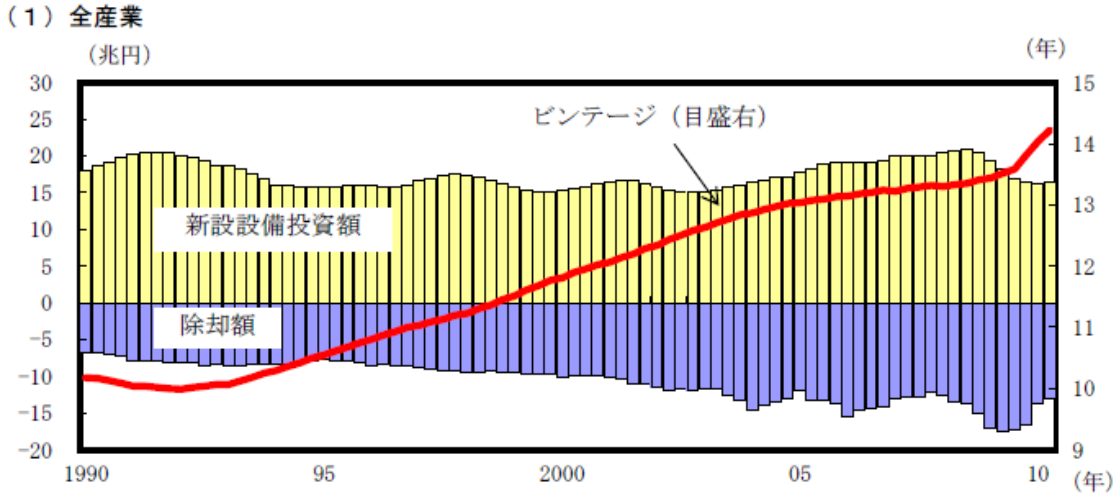


図 6．2(1/2)　設備ビンテージの推移　（全産業）
2010 年 12 月 10 日 － 内閣府「国富調査」、「民間企業資本ストック」により作成。

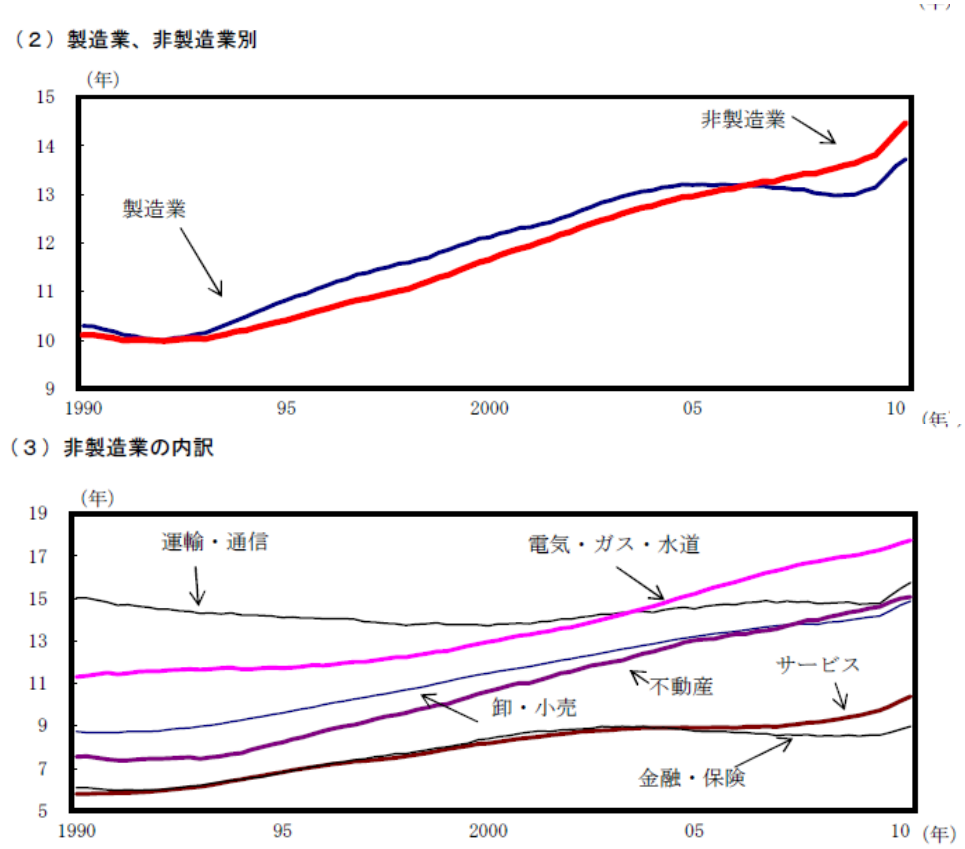
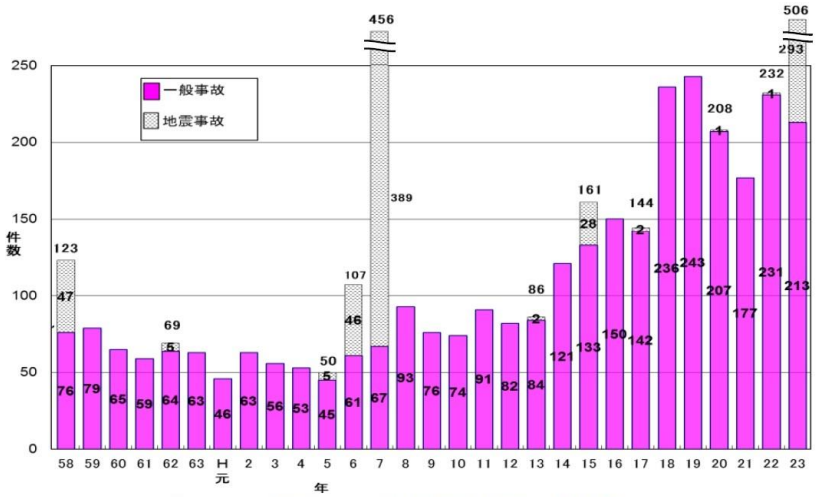


図 6. 2(2/2)　設備ビンテージの推移　（分野別内訳）
2010 年 12 月 10 日　－　内閣府「国富調査」、「民間企業資本ストック」により作成。



【図　　事故発生件数の推移】

図6. 3　石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所における事故概要（平成23年中）
2012年8月10日－ 総務省消防庁特殊災害室　より作成。
件数で評価すると“コンビナート・クライシス”とも言われる

リスクを予想していても、点検作業の負荷の大きさに負けて維持管理が不足し、適切な工事交換時期を誤ると、非常に大きな損失に繋がる例である。

生産設備について見ると、内閣府資料（図6．2）において、日本の製造業のビンテージ（設備装置の平均的な経過年齢）は1993年度以降で上昇に転じて、2010年度で13～14年に達してなお上昇し続け、さらに2009年度以降では上昇率も増大して、老朽化が加速していることが判る。

また、最近のテレビ報道で“コンビナート・クライシス”と呼ばれるように、石油コンビナートでは老朽化に比例して事故件数の増加が懸念されている。 概ね十年間で数倍の件数増である。（図6．3）

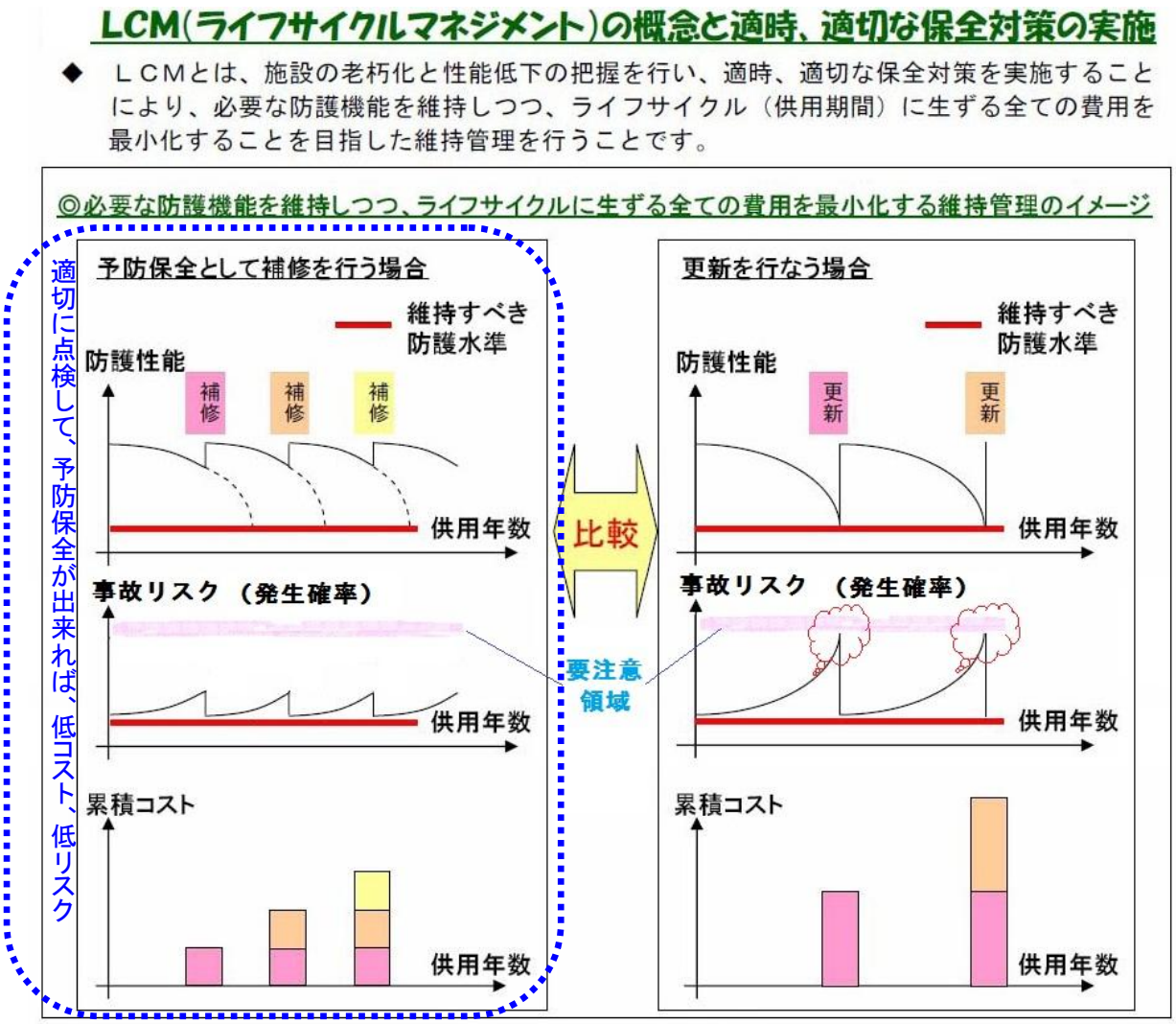


図 6．4 ライフサイクル・マネジメントの概念と保全対策
出典：ライフサイクルマネジメントのための海岸保全施設維持管理マニュアル（案）
～堤防・護岸・胸壁の点検・診断～ 平成20年2月
農林水産省農村振興局防災課、農林水産省水産庁防災漁村課、
国土交通省河川局海岸室、国土交通省港湾局海岸・防災課（一部筆者にて改）

老朽化するインフラ設備に対するメンテナンスには、以下のようにいくつかの考え方がある。 更新前提で寿命限界まで使う考え方と、予防保全として補修しながら使う方法、のふたつが主要な考え方（図6．4）であるが、いずれも設備の状態把握が適切でなければ、つまり適切な点検に基く設備診断が機能しなければライフサイクル・マネジメントのコストやリスクが増大する。

しかし、設備点検作業は人手集約的であり、また点検者の或る程度熟練した技能レベルを要するた

め、多くの国内の製造業の経営視点では、より綿密な点検が出来ないまま設備老朽化による保全費用増大、また大規模トラブルのリスク増大に遭遇している。

ロボットによる点検の遠隔化、定量化、可視化によって、人手集約性や技能依存性を排し、人のアクセス困難な個所の点検作業を実現することによって、リスク管理のレベル向上とライフサイクル・コストの低減が両立できる。

（2）点検・メンテナンスの市場規模

現在、産業向けメンテナンス・サービス市場は年間8千億円規模で今後の拡大が見込まれている。コストを増やさずにより綿密な点検による早期・適切な補修時期の設定、という課題に対して、インフラ点検／メンテナンス・ロボットはひとつの回答である。

次に具体的な点検対象の市場規模を検討する。

・コンクリート建屋（ビル）の外壁検査：毎年3万6千棟余の新規ビルが建設され3年に一回の外壁検査が法的に義務付けられている。 平均的には毎年、約9万棟の外壁点検が必要であるが、実際の工事は 6 万棟程度と言われている。 10階建てビル 1 棟あたり検査費は30～100万円程度である。
（国土交通省資料・定期報告実施状況（平成22年度）、公益法人全国ビルメンテナンス協会　平成15年度特定建築物棟数データ、他より）

・橋梁点検：国内に15万橋程度あり、鋼橋40%、コンクリート橋57%。 いずれも底面の亀裂、腐食などの点検必要。（「道路統計年報」（平成18年4月1日現在）より）

・トンネル点検：国内に9千程度あり、老朽化した壁面の剥離、構造物の脱落などの点検が必要。（「道路統計年報」（平成18年4月1日現在）より）

・石油化学プラントの大型塔槽類の鉄鋼架構、鉄鋼プラントの大型ベルト・コンベアの架構、高所エネルギー配管や、ガス、水道の地中配管など、殆どの構造物に鉄鋼材料が用いられ、腐食、高荷重による亀裂などの点検作業が必須。

機械化、遠隔化による点検作業の効率化は、以上の生活・産業インフラの機能維持に有効である。

（3）点検・メンテナンスにおける現状の課題

1）環境要因

適切な補修時期の見極めのためには、これまでの人手では点検困難であった個所の点検をロボットで行う必要がある。 例えば以下のような環境でロボット化のニーズがある。

・高所；鋼構造物、橋梁、ビルなど足場構築が必要。

・狭隘：パイプラインや橋脚の背面など。 直径300mm以下のパイプの内部。

・有害環境：ガスタンクやパイプラインの点検では、通常点検の場合でも漏えい調査では危険なガス環境（人体毒性、爆発性、等）を想定せねばならない。 人への毒性の強いCOガスやシランガス、引火性可燃ガス環境は、瞬時に人体への悪影響が発現する。

・水中：配管内やタンク・槽の内側からの点検

・地中：配管などの埋設物は、長期使用後や被災（地震、風水害等）後とくに点検ニーズ高く、要補修個所の判定が困難な場合が多い。

・高温：災害時の火災状況に比べれば低温だが、炉設備近傍などは高温環境となる。
・高電圧：電力設備には上空架線のみならず地上の点検必要個所に高電圧設備があり、災害時には特に保護が破壊されて、高電圧が露出している環境が発生する。

2）計測・測定方法

また設備点検に必要な計測・測定方法についても、以下のいくつかの方法において、ロボット化−実用化に当たって、軽量化、小型化、駆動時間確保、データ伝送、操作インターフェースなどの開発課題が発生する。

・画像撮影；最も一般的な点検手法で動画と静止画ともに有効で、最近の民生用コンパクト・デジカメによる記録で充分実用的である。 しかし機器内部などのcm，mmオーダーの狭隘部の撮影には専用カメラが必要となりコスト増となる。
・打診（打音）点検：タンク、クレーン等鋼構造物溶接部、コンクリ外壁などに適用され、接触操作が必要となるが、人手官能検査が主流だが、高所や狭隘部などの難アクセス環境も多い。
・残厚計測（単一プローブ）：超音波、X 線などで、容器、作用装置のような工業的構造物で要請多い。人手操作用の専用装置が販売されているが、事前処理や接触操作の必要な精密計測でもある。
・内部欠陥検査（複数プローブ）：電流や音響、アコースティックエミッションなどの外部エネルギーを被計測設備に印加し複数個所でその影響波等を採集して判定する工事的な手法である。
・レーザードップラー法、光音響法などのように非接触、遠隔で点検対象にエネルギー投入し何らかの放射エネルギーを計測する方法も実用的になってきている。
・微小な漏洩ガスの光学的な特性差を見分けるサーモグラフィ装置も市販され始めた。

（4）ニーズまとめ

上記（1）で述べたように抜けの無い点検によって予防保全を実現し、重大設備事故のリスクを低減して老朽化したインフラを使いきることが社会全体の生産性向上で重要だが、実際には、前項（3）で述べたように、膨大なインフラに多くの難アクセスエリアがあり、必ずしもリスクを回避し切れていない状態が存在する。 その結果、最近のトンネル内設備の崩落事故に見られるような重大設備事故の発生に繋がっている。

6．3 現状のシーズとその課題の認識

（1） 実施環境とアクセス機能

・地上移動ロボット（クローラ型、脚型、車輪型等）：人の歩行移動の60～70%であり、大きな段差や衝立などは乗り越え困難
・飛行ロボット（固定翼、回転翼、気球等）：近年技術向上が著しいが、人の歩行～走行レベルで対象物に密着するような位置精度は無い。また屋外の強風下では使用困難な場合がある。
・小型潜水艇（有線型、自律型等）：人の潜水能力以上の移動能力もあるが、周囲の視認性、また作業能力は人の1／3～1／2程度。

・壁登りロボット（気圧吸着式、ワイヤー懸垂式、磁性吸着式（鋼構造物のみ）、等）：磁性体非磁性体の差はあるが、多くは平面的な壁では適用可能。 実際のビル、鋼構造体の凹凸、指示構造などの形状には自動的には対応できず、多くの段取り換えが必要となる。
・狭所進入ロボット（エンドスコープ型、ヘビ型、内視鏡系統等）：人のアクセス不可能エリアへの進入機能では人を上回る。供給ケーブル等スタンドアロンでの移動困難のためアクセスエリアの限界がある。
・地中掘削ロボット（技術的未確立）：開発途上で実用的なシステムは少ない。

などが、現状の主要なシーズ技術である。 6。2(4)で示したような、人では点検困難な悪環境へのアクセスの速度や能率は、通常人より劣り、半分程度であるが、飛行ロボットなどのように人の数倍のものもある。 インフラ点検ロボットの“人の行けない所に進入する能力”はレスキュー作業への転用性は高いと考えられる。

（2）点検計測の機械化−センサ機器

インフラ点検に必要な、画像採集、打診、残厚計測等、いずれの計測手法も、人をベースにした計測機能は充実している。 しかし、遠隔操作に適した計測端末機能は充分とは言えず、課題である。

建築物の打診検査などでは、打音装置も含めたシステムの開発、試作は進んでいるが、一般的には広まっていない。 汎用のデジタル・カメラのような普及した画像センシング機器でもロボット遠隔化に適した機能は乏しく、通常の計測機器の多くは遠隔操作に適さない。

例：鋼板用の超音波厚み計は、小型の機種では点検マンの胸ポケットに入る程の小型化が実現しているが、遠隔化を考えた場合、必要となる人−機械インターフェース機能は殆ど提供されていない。（例：計測の開始停止等のトリガー入力、計測機外部へのデータの出力ポート等）

例：以前は市販されていたカメラには赤外線リモコンが提供されるケースがあったが、最近のコンパクト・デジタル・カメラはリモコン機能が無いもの殆どである。 リモコンは遠隔操作には有効であった。

（3）現在実用化しているシステムの例

上述のような、様々な点検条件を満足するアクセス機能やセンシング機能を有する点検ロボットは現状では存在しないが、個々の点検対象に応じたシステム提案を具体化でき、コスト対効果の高い分野では商業的に成立している領域もある。 これらの領域では今日の技術レベルで実現性の高いものから先行して実用化されている。

例えば、高所点検の足場構築などの事前準備作業の省略・低減効果（工費削減、工期短縮）が得られる点検・補修作業などである。 これらは、ソリューションビジネス、つまり適用システム込みでの販売で成立する例が多い。

・例：配管内点検ロボット：配管点検では法的規制による定期点検が求められるため、管内走行型+ケーブルにて画像点検が主流。（図 6. 5）

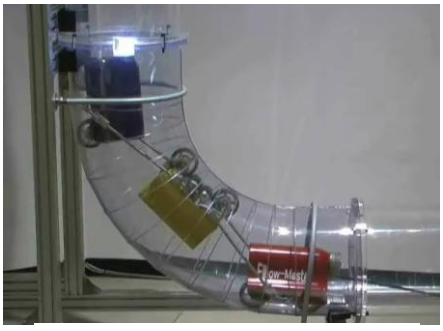


図 6. 5 管内点検ロボット
新日本非破壊検査社提供

・例：橋梁点検カメラシステム：ロボットと言うよりポールカメラシステム。 一直線の伸縮型やコの字型アームを橋梁上や建屋近傍

で支持して、橋梁“裏面”、屋根面をデジカメで撮像し、コンクリートや構造鋼、屋根材の劣化を判断。 点検作業を請け負う業者で自社開発、自社使用のケースが多い。 国内で数社が営業している。(図6．6)

・例：鋼構造物点検ロボット：磁性を持った車輪、連続履帯などの移動機構＋ケーブル(給電・データ伝送)で鋼構造物の溶接部などを撮像点検、接触式探傷計測する。点検作業請負社の自主開発ロボットが多い。 やはり国内数社が営業している。(図6．7)

図 6．6　橋梁点検システム
インテス社提供

・例：床下点検ロボット・システム：小型クローラ型無線遠隔操作システム。 国内では1～3社が開発販売し、多くはリフォーム業者の営業活動用に供されている。(図6．8)

図 6．7　鋼構造物点検ロボット
新日本非破壊検査社提供

過去の例では、人の作業代替としてロボット適用を考えると、多くが費用対効果の不足を経験している。点検も同様で、人のアクセス可能な場所でのロボット化は、人手作業に対するコスト競争となり優位性が確保出来ない場合が多い。

(4)インフラ点検ロボット実現に向けた課題 (標準化、規格化)

上述の経済的に成立しているロボット／サービスは、ハード的開発要素が少なく、汎用部品と既存の加工技術で殆どが構成されるロボット／装置である。 したがってハードはいずれも軽自動車～乗用車並みの価格である。 しかし災害レスキュー転用、適用を考えると、機能向上やコンパクト化などカスタム化要望が発生するので、その分コスト増となる。

図 6．8　床下点検ロボット
トピー工業社提供

転用利用のコスト削減(コスト圧縮)には、構成コンポーネントのレベルで標準化、汎用化が重要かつ必要である。 メカニズムでもソフトでも同様だが、ハードのみならず供給体制を含めたソフト面でも規格化は重要である。

ソフトでは、通信インフラに対応する送受信機のプロトコルの標準化や、遠隔操作システムで共通性の高い制御ソフトのデファクト版の早期確立なども製品コストを削減する可能性がある。

ハード面では、各コンポーネントのインターフェースを規格化することで、相互の使いまわし、特に平時のインフラ点検用コンポーネントを、災害時の非常用コンポーネントに換えることで、転用性を増し、それぞれのコンポーネントの供給業者の増大とコスト削減の原動力となる。

供給体制でいえば、レスキュー・ロボットも、点検ロボットも、社会的認知が乏しく、それぞれの機能、コスト情報の公開が必要とも言われている。

6．4　開発目標と課題

（1）最終的なビジョンと目標仕様

〇難アクセスエリア（高所、狭隘、悪性ガス等）の点検頻度の向上：インフラ・工場設備でアクセスしにくいために、長期間放置されている部品、部位(溶接線等) を網羅する。

〇コスト・所要時間：人手作業と同等以下、より経済的に点検可能である。

〇災害対応ロボットへの転用性：災害時にもインフラ点検ロボットの持つアクセス機能、点検機能を活かし被災後の状況把握に利用

（2）開発すべき技術目標

1）基盤技術研究課題：

＜インフラ点検ロボットを用いた機械化・遠隔点検/診断システムの開発＞

〇複合型アクセス・シーズの開発

・走行シーズと飛行シーズの融合型によるアクセス能力の拡大：障害物回避能力（図6．9）

・走行系の施設側改良：

　点検ロボットへの適合

・飛行型ロボットの制御ソフトの共用化（オープンソース化）：

　この技術により、既存の形状多様なインフラ・鋼構造物を迅速に一次点検できる。

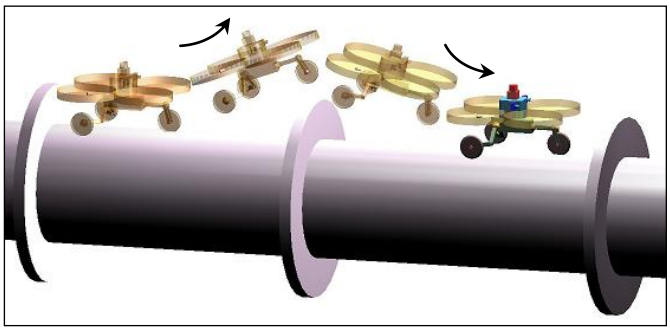


図 6．9　4 ローターヘリ+車輪複合型点検ロボット
寄り付き・障害物回避は飛行モード、車輪移動で点検

〇壁面移動技術の開発

・吸着/移動シーズの向上による、既存設備（コンクリート・鋼構造物）へのアクセス範囲の拡大（90%レベル）：磁力の有効利用/脚型化（図6．10）、気圧吸着型の改良（ボルテックス効果、ファン制御）による、高所点検作業の足場レス化、稼働中点検機能強化

・既存技術（ワイヤー検索、負圧吸着等の複合化（図6．11））と運用技術（計測システム化支援による操作能力）の組み合わせよるアクセス・システムのエンジニアリングと運用技術：壁面上モジュールは上記（複合型アクセス・シーズ）を含む壁面吸着移動装置と、それに積載された検査計測モジュールと、そのユニットをワイヤーで懸架・操作する複合ウインチシステムと、これらの操作/運用/メンテ・ノウハウの明文化がなされることである。

2）高度実用化研究課題

＜インフラ点検ロボットによる災害レスキュー作業の支援システムの構築＞

〇点検ロボットの災害ロボット転用

　アクセス機能を持つ点検ロボットは、緊急時にはセンサー、無線操作方法（有線→無線/有線）の迅速な変更可能であること。

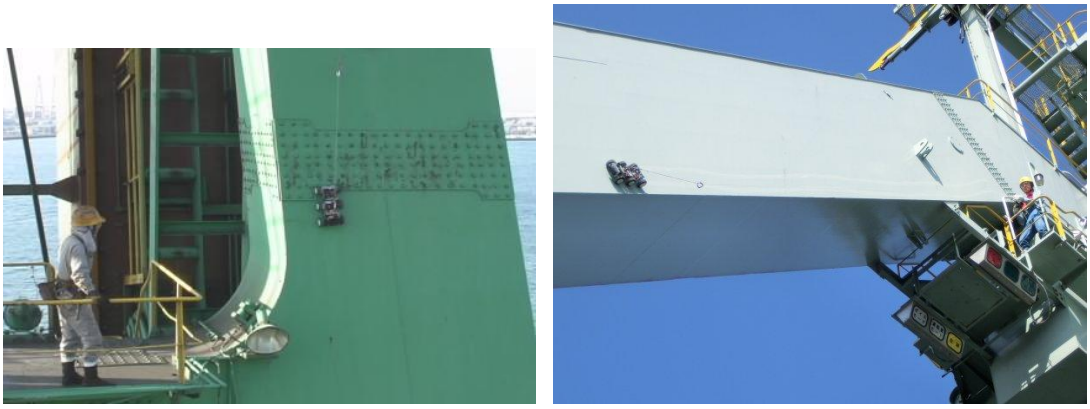


図 6. 10　磁石車輪型点検ロボット
磁力で鋼構造物の外壁面に吸着して点検
左：鋼構造物リベット部の乗り越え走行状況　　右：釜石#5 号岸壁ｸﾚｰﾝ橋脚部点検（2011。7。21）

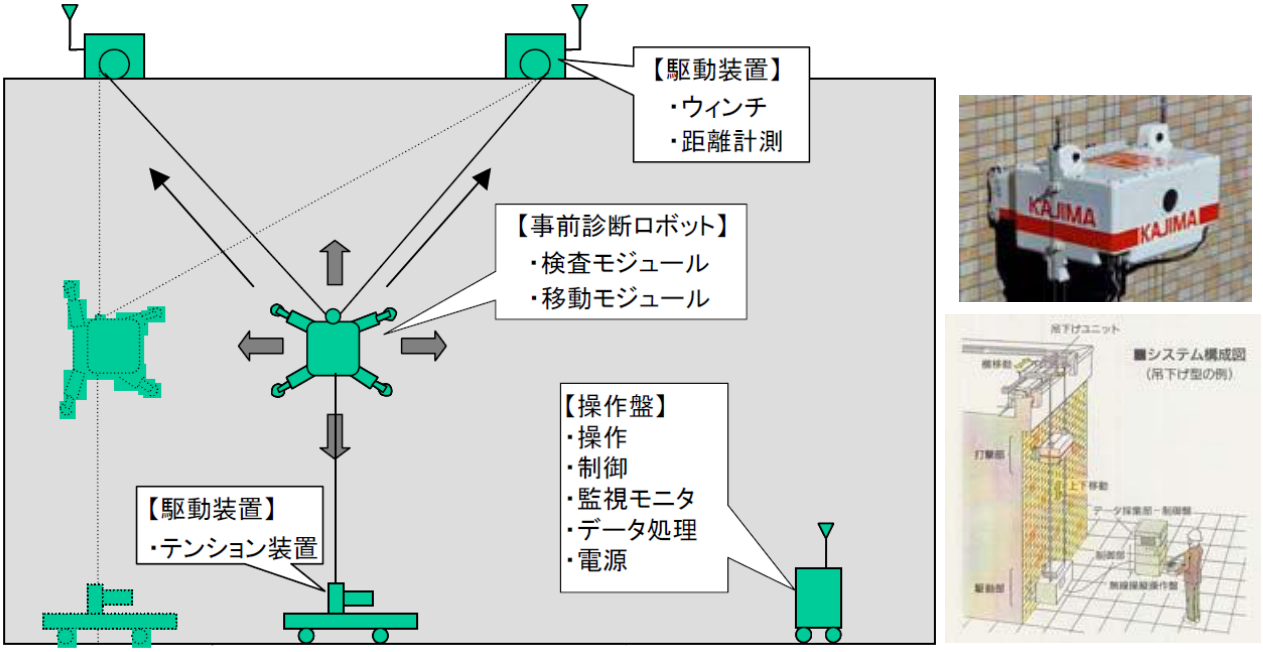


図 6. 11　ビル外壁の点検システムの例
吸着機能+移動機能+ワイヤー牽引で点検・検査
左：外壁点検ロボットの概念図、　　右：大手ゼネコン社（鹿島建設））での開発例
（出典：（社）建築業協会　ロボット専門部会報告書（H17年度）より）

通常の点検作業では逸走防止ワイヤー、命綱等の安全装置は、安全確認型の作業システムとしては必要であるが、災害発生時に人手で点検する際は不要となり、作業の迅速化をはかり、未知環境での操作性が確保できるシステムとして開発することが望ましい。（図6．12）

また、大規模な発災時には、複数の点検ロボットが災害ロボットとして、機能を分担でき、また各ロボットの情報の集約化が出来ることが重要である。（図6．13）

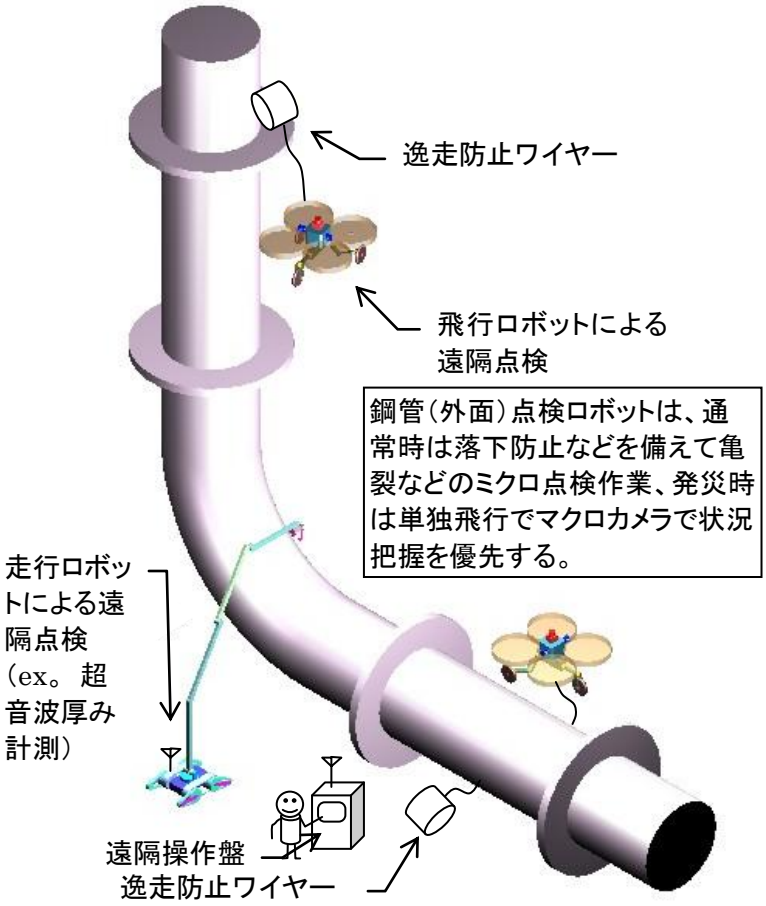


図 6. 12　通常生産時のインフラ点検ロボットの運用システム

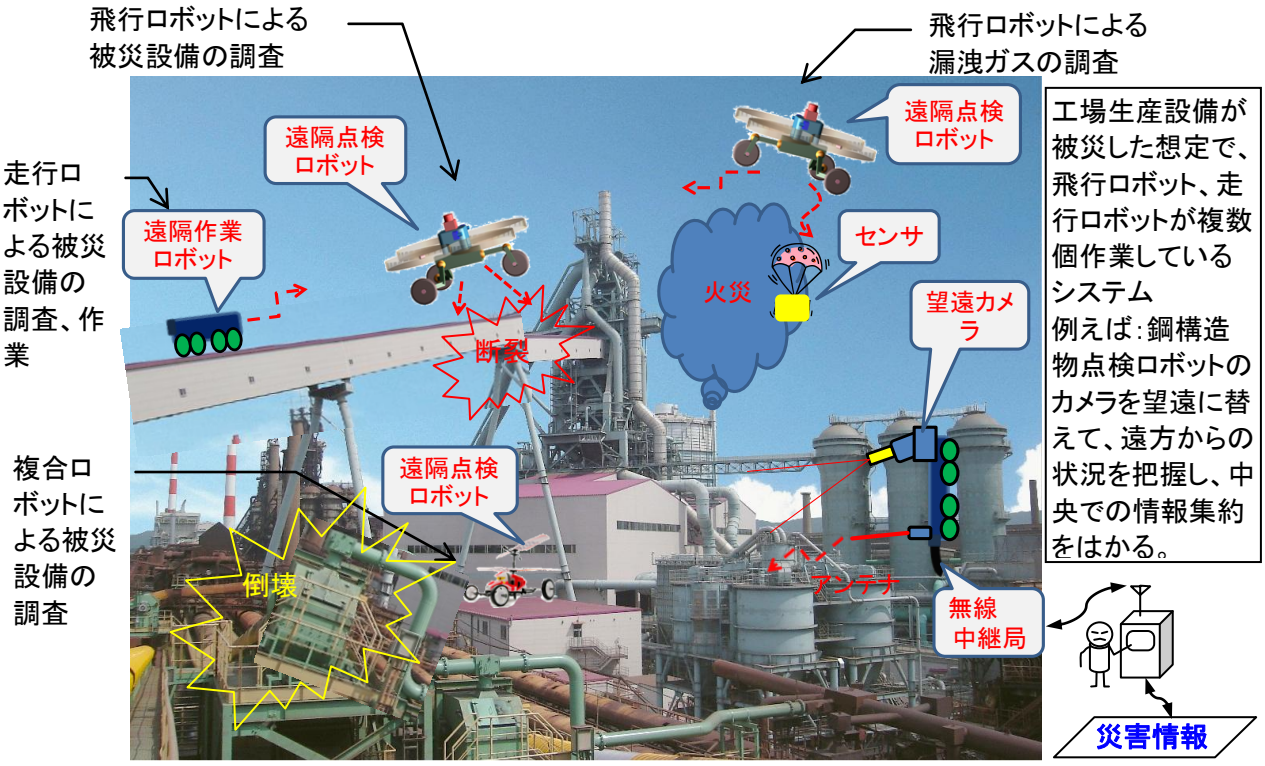


図 6. 13　災害発生時の設備点検ロボットの役割
工場生産設備が被災した想定で、飛行ロボット、走行ロボットが複数個作業しているシステム。
多数のロボットが利用されるが、高所からの状況把握などの情報収集が主要な役割。

（3）個別の開発課題と対応技術

上記（2）の研究課題（基盤技術、本格実用化）の具体的な検討ポイントを示す。

1）複合型アクセス・シーズの開発の個別課題

①飛行ロボットの点検用制御ソフト開発

日本の飛行ロボットは研究開発は、世界的には必ずしもトップランナーでは無く、とりわけ制御ソフトに関しては日本の競争力は高いとは言えない。 広域サーベイランス（風景写真の撮影等）用途から出発した欧米に対して、日本は狭い国土と産業応用を考慮した開発に取り組むべきで、この視点では欧米との差は小さい。 点検、被災エリアでの詳細調査（被災者探索）までを考慮した低速の飛行探索制御技術で、飛行ロボットの実用領域の拡大を目指すべきである。

②移動体防爆基準の策定と移動ロボット防爆技術の開発

災害現場適用では防爆性の課題は重要であり、産業応用でも防爆エリアは多く存在して、人の立ち入りを回避して点検できるメリットは大きい。（図6．14）

しかし、移動体の防爆性に関する研究開発事例の少なさから、今日でも移動体の防爆性に関する技術情報は乏しい。 まず、規格として要望される防爆レベルの使用環境による階層化、分類を検討し、それを実現する各段階の技術開発を進めるべきである。 階層分けする目的は、発災時においてはロボットの誘爆リスクと救助ベネフィットとが、通常の工業生産環境とは異なる事、つまり操作者の立ち会いのもと、救助ベネフィットが大きい環境では構造上下位の防爆構造でも利用すべきであることに依っている。

防爆技術は、現状規定では構造的規定であるが、高圧ボンベと不活性ガスによる周囲ガスとの機体内点火源の遮断と、今日のセンサ技術による遮断機能モニタリングによって、機能的な防爆ロボットの実現を目指すべきである。

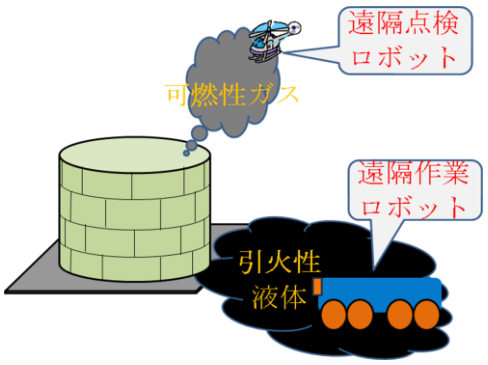


図 6．14　災害ロボットと防爆機能

2）壁面移動技術の開発

立壁面へのアクセスや、探索、点検に伴う軽作業の能力となると、いまだ開発段階と言え、実用的壁面ロボットは、特定対象でしか実現していない。一方で、気圧吸着式、ワイヤー懸垂式、磁性吸着式（鋼構造物のみ）、などの古典的な手法のほか、化学粘着、ベルヌイ効果式などの新たなシーズ、また図6．11のようなビル用のゼネコン各社の既開発システムの課題（装置コスト低減）などを検討すれば、実用的な方案を創出できると思われる。

3）点検ロボットの災害ロボット転用に必要な施策

①レスキューとインフラ点検のアクセス技術の転用性検討

現状の点検／メンテナンス・ロボットをレスキュー・ロボットとして転用するには、使用可能な範囲も大きいが、未だアクセス能力が不足している領域もかなり存在する。

既製ロボットの対応環境は、常温、通常大気中、高所でも逸走防止ロープの届く範囲など、人のアクセス可能エリアの近傍である。

高所ではヘリや飛行機などの飛行ロボット、狭隘領域ではヘビ型ロボット、管内点検用の水中ロボット

などのレスキュー・ロボットが、技術的にはインフラ点検ロボットへ転用可能であるが、現状では点検作業適用には非常に高価、点検に必要な接近機能、作業能率、継続時間などで、仕様的に不足する等の問題を有する。 これらの課題に対し、災害ロボットセンターの試験エリアを活用し実証試験的に開発を進めて、克服すれば経済的に見合うシステムの構築が可能と思われる。

②ロボット自体の耐環境能力

雨風や落下衝撃、海水の塩分や酸アルカリの化学成分、油脂や溶媒などの成分への抵抗力も実機では考慮すべき環境要因であり、現状ではこれらの要因への対応が充分な製品は乏しい。iRobot社製PackBotなどは、数千台の実績により、この点で競争力が高い。 我々は先行メーカーの長所を積極的に取り入れ、早急に海外製品のレベルに追い付く必要がある。

③システム化と規格化・標準化 ― 部品の規格化による、汎用化とコスト削減 ―

〇共通部品の規格化／デファクトスタンダードによる産業化を図る。 同様の機能のロボットでは、共通コンポーネントの利用割合を高くする事が期待できる。 共通性、互換性があれば、専業のコンポーネント供給メーカーの登場と、それによるコスト低下が期待できる。 また私企業からのアプローチの難しい分野ではNPO法人のような管理機関での供給管理が望ましく、以下のような案が考えられる。

例：通信、制御ソフトの規格化、共通化；例えば飛行ロボットの制御ソフトを、研究の先行している大学、メーカー等でモジュール化して汎用部品化し、国有財産として、IRSなどのNPO法人で管理して、国内企業に有償かつ安価に提供し、開発の重複を回避して、産業化に必要な応用アプリの開発、普及、産業化を促進する。

例：災害レスキュー・ロボットとの両用性／転用性設計の推進

平時と災害時での機能や構成の変更可能な柔軟性のある設計と仕様の実現；例えば、ある遠隔点検装置（ロボット）の仕様を、平時では有線で回収ライン付きだが、災害時対応では回収ライン無しの無線で操作できる。 また無線操作も、平時ではスマートフォンなど公衆回線利用だが、災害時にはピア2ピアでの無線操作が可能とか、いった両用性、転用性のあるレスキュー・ロボット／点検ロボットの設計を実現するため、必要な設計条件を検討、明確化し、可能であれば規格として産業利用のポイントとする。

〇遠隔計測の規格化

各種センサ分野での遠隔操作化への推奨規格を整備し、民生用汎用カメラでも遠隔操作機器へ転用できるような機能性拡張をメーカーへ提言すべきである。 また、ハンディの計測機の遠隔操作化をはかるシステムの開発や、計測機器自体の遠隔化が望ましい。 最近のコンパクト・デジタルカメラのWiFiによる遠隔操作化などが好例である。

6．5 点検ロボットの本格実用化への支援体制

（1）防災ロボットセンター

インフラ点検ロボットは、通常生産時、発災時、そして災害復旧時と、自然災害の前後の全てのフェーズで活用できるように、提言されている防災ロボットセンターにて、開発／転用の支援を受けることで、本格実用化と経済的確立が期待できる。 点検機能そのものは、平時、発災時とも類似の機能であるが、

使用環境の変化や、被災者捜索等の要望の高い目的へも転用できるような、運用情報と部品レベルからの支援が望ましい。

(2)防災ロボットセンターの平時での機能

一方、平時でもロボット開発の重要な支援機能として、ロボットの作業機能認定、特にシミュレータ／テストベッド等による能力認定試験機関として機能させる。 これは、人に代替する試験作業の実施に当たっては、ロボット作業の品質、達成度をモニタリングする第三者機関が必要で、利用の普及を促進する手段ともなる。 一方で、認証、試験機関は、最初から営利的経営が成立することが保証されないので、公的な資金にて先行実施することで、ロボットの開発と使用市場の形成が促進される。(図6．15参照)

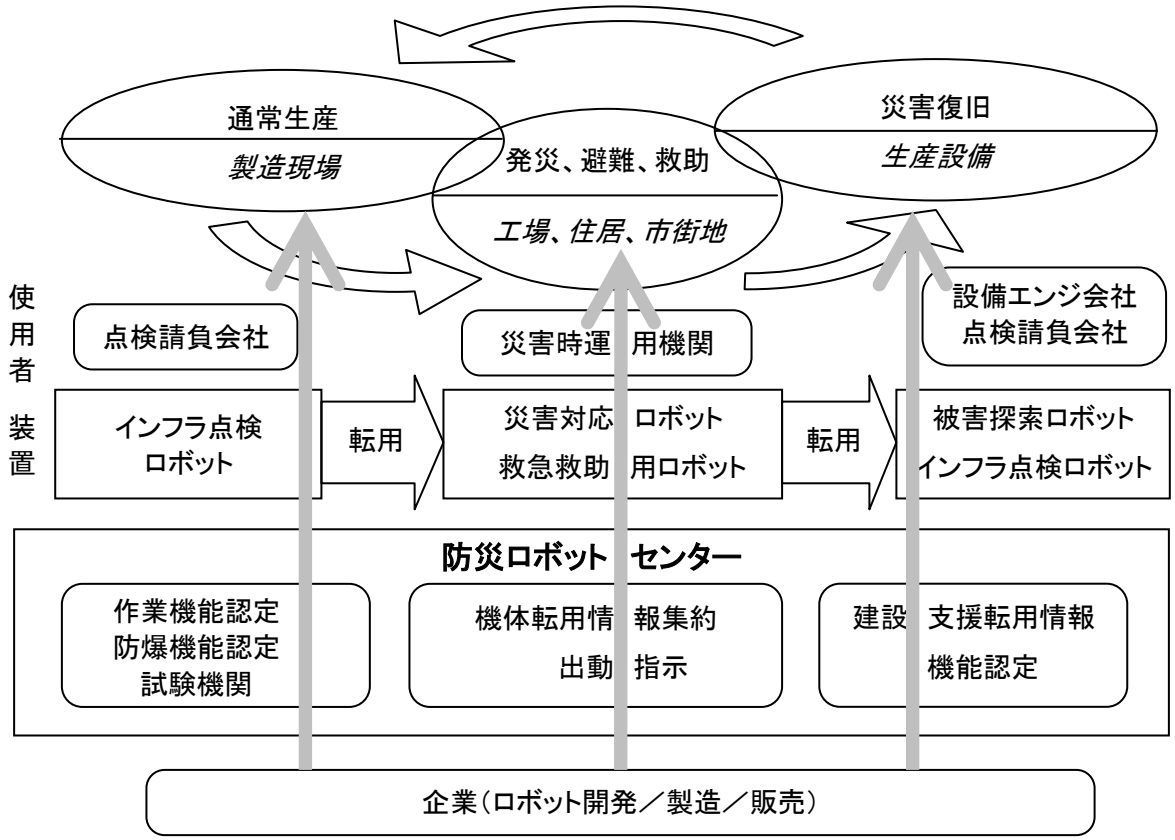


図 6．15 設備点検ロボットと防災ロボットセンターの関係

(3)発災および災害復旧での機能

上述の点検ロボットの「システム化と規格化・標準化」の推進が前提であるが、平時の標準化活動の成果として、インフラ点検ロボットを発災時に迅速に災害対応ロボットへ転用できる。

具体的には、センシング機器の換装によって、設備点検用途から被災者発見用への変更、また平時のミクロ撮影機能は、被災エリアの状況画像情報を得られるようなマクロ撮像機能へ変更すれば、発災後の迅速な初動対応が実現する。

６．６ 産業化への提言

（1）防災ロボットセンターでのセンシング機能の規格化、標準化作業の推進

上述のように、点検用途にせよ災害対応用途にせよ、インフラ点検ロボットのプライマリーな機能は、“五感”による情報収集、あわせてサンプル採集／回収のような調査ミッションである。 そこで、対応すべき環境に応じて複数のロボット群が準備されるはずだが、そこでの調査測定機能には共通性があるはずである。

現在の、米NISTの規格化推進と歩調をあわせて国内の、点検／探索ロボットの調査機能を標準化し、個別のロボットにおいては１～２時間でセンサーユニットを交換できるような標準化、共通化を推進すべきである。 幸い、国内の多くのセンサーメーカーは国際的なシェアを獲得している分野も多い筈で、日本からの発信が世界標準となるチャンスがあり、あらたな国際競争力の根源となりうると思われる。

（2）防災ロボットセンターでの作業機能認定試験制度

上述の米NISTの試験規準を活用して、防災ロボットセンターは点検ロボットの試験機関としても機能させるべきである。 産業化のために、メーカーコスト低減をはかる規格統一、互換性向上は、そのままユーザメリットでもある。

1） 防爆機能認定

認証機能の中で、喫緊の課題として、点検ロボットを含めた移動ロボットの防爆規格の制定が挙げられる。 現状の防爆規格では、小型の移動ロボットが爆発性環境に入る事を想定していない、また実験的なデータの蓄積が乏しい、などのため国内外での法的整備が遅れている。 一方で、ガス管の内部点検のニーズなどの需要は存在し、一部の業者で経験的に対応してきている。

これは点検/災害ロボットとしての重要な機能の裏付けが欠落した状態なので、規制緩和措置を含めた法制度整備を進めるとともに、防災ロボットセンターを制度の実行機関とすることで、これまでの点検ロボットの市場形成障壁を打破できる。（表６．１参照）

2） “見本市”機能

試験実施場所は国内の２，３のサイトに集約し、それによって、点検ロボット／災害ロボットの“見本市”としての機能も発揮させる。 使用者は、防災ロボットセンターを訪問することで、操作に習熟する機会や、メーカー情報の収集を行う事で、最適な投資活動への指針となり、点検ロボットの市場形成を促進できる。

また、“見本市”を国際化すれば、国外のメーカーからの参加も期待出来、仮に海外ロボットのシェア拡大となったとしても、日本のインフラ保全状況、また防災体制の強化といった効果が期待できるので、長期視点では日本の国際競争力向上の目的に合致していると考えられる。

表 6. 1　設備点検ロボットと防災ロボットセンターの関係
関連法規：労働安全衛生法（厚生労働省所管）、消防法（総務省所管　各自治体消防署）、
　　電気事業法（経済産業省所管）

☆規制緩和：移動ロボットに適合した防爆規準の新設　（適用環境の階層化）
☆技術開発：移動ロボット特有の防爆機能の開発（機能防爆技術）

爆発性雰囲気		使用できる防爆構造		防災ロボットセンターの役割
分類	意味	現行基準	新設　＜発災時＞	
Zone**0**（**0** 種危険場所）	通常の状態で、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	●**本質**安全防爆構造（Exia ,Exib）：点火源とならないように、使用エネルギー（電気）を抑制したもの。	●**本質**安全防爆構造（Exia ,Exib） ○**ロボット型耐圧**防爆構造（Exd?） ○**ロボット型内圧**防爆構造（Exp？）	・装置の認証
Zone**1**（**1** 種危険場所）	しばしば生成する可能性がある（通常の状態にて）	●**耐圧**防爆構造（Exd）：周囲の危険ガスが侵入して爆発が起きても、周囲に爆発が波及しないようにした構造 ●**内圧**防爆構造（Exp）：容器で囲み陽圧保護ガスを満たすことによって、周囲の可燃性ガスと点火源を隔離する。	●**耐圧**防爆構造（Exd） ●**内圧**防爆構造（Exp） ○**ロボット型耐圧**防爆構造（Exd?） ○**ロボット型内圧**防爆構造（Exp？）	・構造及び安全の検証 ・防爆試験
Zone**2**（**2** 種危険場所）	生成する可能性が小さく、又生成した場合でも短時間しか持続しない（通常状態）	■　その他 ・安全**増**防爆構造（Exe） ・**油入**防爆構造（Exo）	■　その他 ・安全増防爆構造（Exe） ・油入防爆構造（Exo）	・構造及び安全の評価

7. 運用システム及び事業化に関する提言

要約:

防災ロボットの運用システムは、地震大国でありながら日本には未だなく、まずは防災ロボットセンターを立ち上げ、運用（研究）を通じて課題解決を図っていくことが重要である。具体的には、現状手配可能なロボットや周辺機材等でシステムを構築し、モックアップ試験や実働訓練を行なうとともに、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ことが考えられる。

防災ロボットの事業化については、上述の防災ロボットセンターによる防災ロボットシステムの三者への貸出や操作員訓練を行うことを始めること等により潜在的ニーズが掘り起こされることが期待されるほか、防災ロボットを使った災害対応や危険環境下点検などのサービスを売るビジネスモデルが創出されることも期待される。

7．1　検討範囲

昨年度の活動成果を踏まえ、国内外で防災ロボット等を運用している事例等について調査を行い、防災ロボットの運用システムおよび事業化の課題と方向性を抽出したうえで、提言をまとめた。

7．2　調査結果

防災ロボット等の運用事例として以下について調査を行った。

① 無人化施工
② 製鉄所における適用例
③ 原子力用ロボット
④ 欧州における原子力防災組織について（独 KHG・仏 GI）について
⑤ 米国における緊急時の体制について
⑥ DMAT

7．2．1　無人化施工

無人化施工は、被災地等危険な作業現場で、遠隔操作可能な建設機械（無人重機）等を、安全な遠隔地よりオペレータが操作し、緊急あるいは復旧作業を行うものであり、1991年の雲仙普賢岳噴火が契機になって推進されるようになった。これは無人重機や防災ロボットを売るというものではなく、無人重機を使った工事というサービスを提供するものであった。 また、噴火直後のみならず、平時においても雨水等により毎年砂防ダムにたまる火山灰などの土砂の除去工事などを国交省が継続的に発注してきたこと、その後に有珠山噴火、三宅島の雄山、福井県の大雪、奈良の大雨などで無人化施工の需要があり、無人化施工のモチベーションを維持することができているが、無人化施工は有人施工と比べて機器は割高で、作業効率も悪く、現状ではビジネスとして成り立っていない。また、災害現場に適した無人化施工のための無人重機やオペレータをシステムを編成するには、ゼネコン等の経験豊かなコーディネータが重要であり、経験豊かなコーディネータの育成には、無人化施工を継続することが必要である。

図7．1　無人化施工（現場シーンと操作画面の例）

自然災害発生時の無人化施工を行うための窓口は建設無人化施工協会であるが、実務に関してはゼネコンなどが無人化重機やオペレータの手配を行っている。自然災害発生時に早急に無人重機等による無人化施工を開始するためには、通常の公募などの手続きでは無人化重機の手配開始、現場投入までの時間がかかりすぎ、何らかの対策が必要である。

無人化施工においては、オペレータが通常の有人重機と同様に目視に頼ってしまい、うまくいかず、無人重機を破損させてしまうこともあった。そのため、無人重機を効率的かつ確実に行えるシステムの開発も継続していく必要がある。

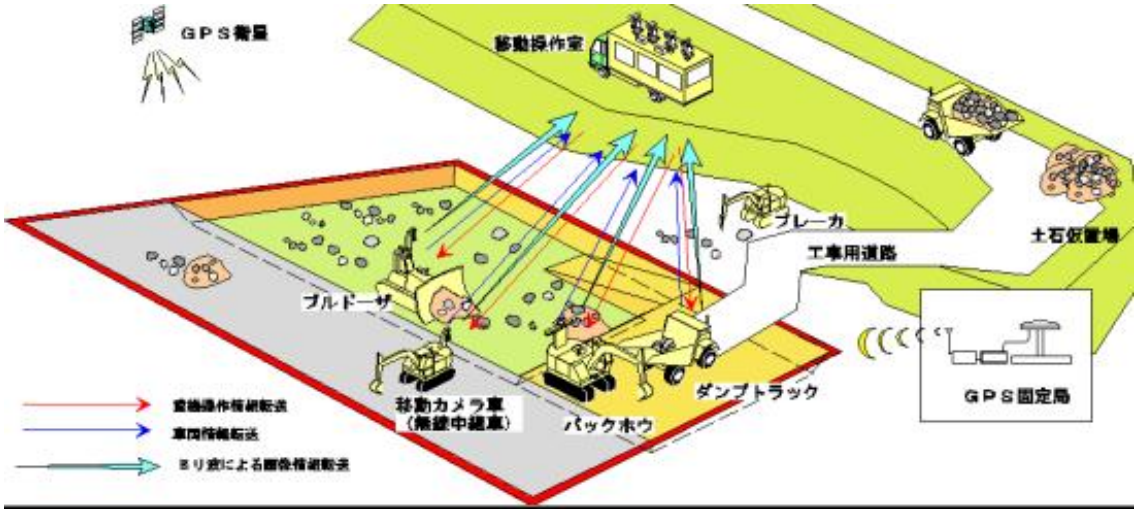


図7．2　無人化施工（通信系イメージ図）

7．2．2　製鉄所等特殊環境における適用例

製鉄所の高炉やコークス炉等の炉設備は、1000℃以上の高温に耐え、温度管理等の厳密な制御を行う必要があること、稼働停止は多大な損失になることから、メンテナンスの重要性は極めて高く、また可能な限り炉の停止をせずにメンテナンスを行う必要性がある。現在、稼働している高炉を有する一貫製鉄所の設備の大半は30年から50年経っており、設備の劣化も顕著でメンテナンスの重要性は増してきている。複雑な構造を有する高炉等は各社での独自性があり、かつ主要な製造設備であるため、製鉄会社各社が独自にメンテナンス部署を保有している場合が多い（一所数十名程度）。メンテナンスは、補修工事コストの削減と併せて要補修箇所を正確に見つけ出すことが重要であり、点検・補修作業が超高温下や高所で行われることから、ロボットの利用が期待されている。これまで、各社でメンテナンスのためのロボット開発を独自に行われたが、融通性がないこと、要求ニーズを満足するロボットの開発と維持費が高額なことから、メンテナンスの機械化、ロボット化は進んで来なかった。

しかしながら、最近、デジタルカメラの高度化や低価格化等により、再び点検用ロボット開発に期待が高まってきている。最近のロボットの成功例としては、東日本大震災の時、船舶が岸壁の大型クレーンにぶつかり、上部を損傷した大型クレーンの復旧に際して、基礎構造材の健全性を証明するための溶接部等の詳細確認が必要となり、最新の高解像度デジカメを搭載した自走式検査ロボットによる撮像調査のケースがあげられる。基礎構造材の再利用の安全性を証明でき、復旧工事の短縮に寄与した。

高所での検査や俯瞰的状況把握では、自律飛行可能な小型ヘリ等のニーズがあるほか、パワースーツによる重量物の搬送などの潜在的なニーズもある。

橋梁等の検査のマーケットサイズは未だ数十億程度と小さいが、地方自治体等が発注し地域のメンテナンス業者が行っている。検査作業効率化のためのツールも開発されており、今後、ロボットを適用できる分野である。

ガスタンク等溶接部分の検査は法令化されおり、高所での検査などはロボットを適用できる分野である。

（図等については第6章参照）

7．2．3　原子力用ロボット

冷戦下の核兵器開発や原子力開発においては、人が立ち入れない放射線の高い環境下での作業はクレーンにインパクトレンチや天秤型の吊具等の簡易な治工具のみで作業を行われていた。その後、トング、機械式マニピュレータや電動マニピュレータが開発され、作業員の被ばくや肉体的な負担は減ってきたが、ロボットやマニピュレータは万能ではなく、足りない部分を作業内容に合わせてインパクトレンチ等の治工具等をつくって補完してきている。

サーボマニピュレータの中には、故障しても作業員が高放射線下に立ち入ることなく、別のマニピュレータ等で遠隔で直すことができるものも開発されている。これは放射線被ばくという切実な課題を抱えていたユーザがリードして、10年以上の年月をかけて開発して実用化にこぎつけたものである。

JCO事故後に作業員に代わり原子力災害対応を行うロボットが、原子力安全技術センター（屋外モニタリング用）、旧日本原子力研究所（屋内情報収集用）、製造科学技術センター（屋内作業用）で開発された。これらの開発では、事故や復旧作業内容を想定して、明確な課題設定をしないままロボットの仕様が決められた。この様にして開発された原子力災害ロボットシステムには、技術的な開発課題は多々

存在したが、当該原子力防災支援ロボットシステムができたことは大きな前進であった。残念ながらこれらロボットシステムを継続して運用・改良していく体制は実現できなかった。

2011年3月11日の東日本太平洋沖地により発生した東京電力福島第一原子力発電所事故の際には、原子力安全技術センターのモニロボAが事故後J－Villageで待機した。しかしながら、重心が高く、瓦礫が散乱した現場での走行が不安定になること、重量が重く現場に敷設された仮設配管（ホース）やケーブルを傷つけることが懸念され、投入されるには至らなかった。旧日本原子力研究所のロボットはメンテナンスがされておらず直ちには動かない状態であった。また、製造科学技術センターのロボットは既に廃棄されていた。

4月17日以降iRobot社のPackBotが原子炉建屋内偵察用に、同社のWarriorが瓦礫撤去等に使用された。これらは、原子炉建屋内での無線通信の信頼性や階段走破性の観点から1階での使用に限定されていた。

PackBotで偵察できなかった上層階の偵察用に、千葉工大、東北大、国際レスキューロボット研究機構がNEDOプロジェクトにより開発した踏破性能の高いQuinceが2011年6月から使用された。Quinceの使用に先立ち、現地の状況に合わせて放射線計測装置搭載や有線通信などの改造を行うとともに、千葉工大での操作員訓練、類似原子炉でのモックアップ試験等を繰り返し行われた。その後、通信ケーブルトラブル時にでも、無線通信でバックアップして帰還できるように改良されたQuince2，3号機が開発され、同様の訓練試験等を経て、現在も使用されている。国産のQuinceにより、原子炉建屋最上階（5階）のオペレーションフロアまでの状況を把握する事が出来るようになった。

トピー工業は、東京電力と協力して通常よりも幅の狭い階段および踊り場を走行できるサーベイランナーを開発し、トーラス室内の偵察を行った。開発に際してはモックアップ試験を繰り返すことで、問題点の抽出と改良を進め、現場投入に至った経緯がある。

7．2．4　海外の緊急時対応組織

（1） ドイツの原子力緊急時対応組織

ドイツでは放射線防護条例第38条により、「異常事象の後、施設を安定させ、原因を分析し、異常事象の結果を除去するための、技術上及び人員上の準備をしておくことが義務づけられており、電力・核燃燃料サイクル関連会社や大規模研究所の共同出資で、1977年秋に原子力防災組織KHG（Kemtechnische Hilfsdienst GmbH）が設立された。KHGは、原子力施設内外の放射線測定、職員（特に運用スタッフ）の放射線防護の監視、遠隔操作機器による線量率測定や放射性物質除去、人員・設備・エリアの除染、モバイル機器による空気のフィルタリング、汚染水のサンプリング、防護服や呼吸装置の保有と、幅広く原子力災害に備えている。要員は常勤者24名と外部応援員140名から構成されており、発災後12時間以内に発災現場で活動開始できることとされている。

（2） フランスの原子力緊急時対応組織Groupe INTRA（GI）

チェルノブイリ事故後にフランス電力公社（EDF）、COGEMA社（現AREVA社）、フランス原子力・代替エネルギー庁（CEA）により設立された。

緊急時対応用のロボットは、CEAが開発し民間のロボットメーカが製品化したものを購入して使用している。ロボットのメンテナンスはGIの職員ができるように訓練している。

事故後24時間以内に発災現場で活動開始できるとしているが、福島事故後にEDFと連携して発災後12時間以内に活動開始できるように検討しているとのことである。

（3） 米国における緊急時の体制について

米国におけるテロ、災害等緊急対応の際に関連省庁と連携して対応するのは米国国土安全保障省（DHS）の米国連邦緊急事態管理庁（FEMA）である。

米国国土安全保障省（DHS）／米国連邦緊急事態管理庁（FEMA）は、あらゆる災害に対応できる様に国家対応枠組（NRF）が整えており、災害の種類によって主担当官庁（連符政府機関側の調整機関）も決められており、災害対応の支援機能の役割及び責任も明確に定められている。また、州政府や地方政府との災害時の連携、支援要請の受け入れ、現地での支援活動まで大枠での計画が定められており、災害の種類を問わず、柔軟な対応がとれるようになっている。さらに、複数の地点での災害対応や広範囲の地域に対する災害対応も可能。NRC同様複合災害に関しての取り決めはないが、柔軟に対応ができる様な仕組みとなっている。

原子力災害の場合には、米国原子力規制委員会（NRC）が地震やハリケーンといった自然災害や爆発等の外部ハザード、テロを含めて幅広い災害等を対象に、災害対応計画の中で対応体制が作っており、同時に数力所で事故が起きても対応出来る体制になっている。原子力事業者は、災害対応計画を作成し、NRCの審査で承認を受け、定期的に有効性を確認する演習を実施している。

参考文献：（（独）原子力安全基盤機構「平成20年度米国原子力発電所での複合災害時の対応等調査（平成21年3月発行）：調査機関：日本エヌ・ユー・エス」）

7．2．5 災害医療派遣チーム（DMAT：Japan Disaster Medical Assistance Team）

DMAT（災害派遣医療チーム）とは、医師、看護師等で構成され、地域の救急医療体制だけでは対応出来ないほどの大規模災害や事故などの現場に急行する医療チームであるが、新たな防災ロボット運用システムの検討のため、その設立の背景や予算、体制等に関する調査を行った。

DMATは、医師、看護師、業務調整員（救急救命士、薬剤師、コメディカル、事務員等）で構成され、大規模災害発生後概ね48時間以内に、現場で活動できる医療チームであり、現在では638の中核病院と6500名の登録隊員を数え、過去17回の出動実績（福知山線事故、中越地震、宮城地震、サミットの際の医療バックアップ）が有る。災害現場での医療だけでなく、災害時に被災地の病院の医療行為を支援する病院支援や、広域地震等の際に、患者を被災地外に搬送する広域医療搬送など、多岐にわたる医療支援を行っている。

阪神・淡路大震災後の検証で、現地で緊急医療活動ができていれば500名位の命を助けられる可能性あったとの教訓に基づき、医療関係者有志による体制づくりの検討が開始された。新潟中越地震（平成16年10月23日）時に災害医療チームの派遣では出遅れ、日頃の訓練や派遣隊員の教育の重要性が課題とされた。これらを踏まえて、消防、警察、自衛隊等の救助活動と連携して災害現場で医療を行うチームの必要性が認識され、DMATが平成17年4月に発足した。

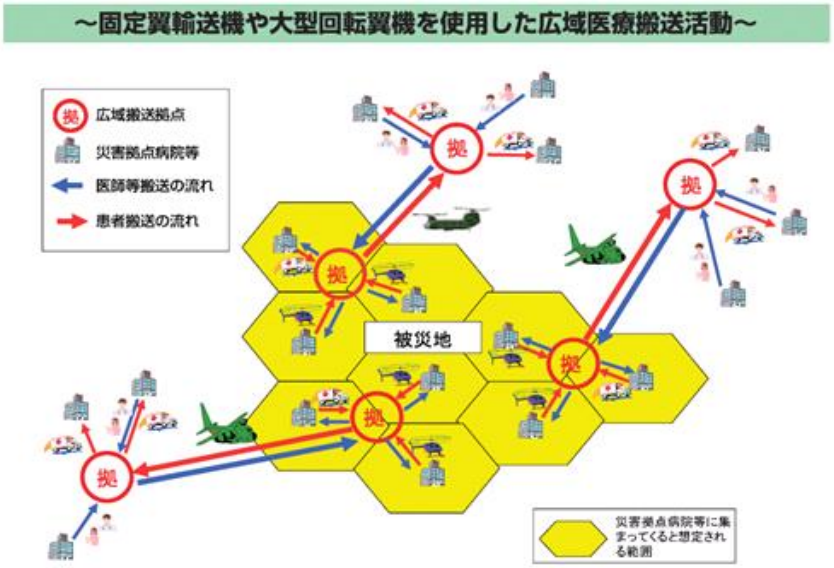


図7．3　航空機を用いた広域医療搬送活動

図7．4　DMAT広域緊急医療

防災基本計画に役割を記載されており、予め都道府県と協定を結び、災害派遣に要する経費は都道府県が負担することになっている。被災地知事が非被災地知事にDMAT出動を要請、非被災地知事がDMAT指定病院に出動を指示する。

図7．５　DMAT出動シーン

DMAT隊員の研修は、東京都立川市の国立病院機構災害医療センターと兵庫県災害医療センターで行っている。研修に係る費用として1回60万円が厚生労働省から支出されるが隊員や講師の旅費、会場費としては足りていない。DMAT指定病院は保険制度で加点できることになっており、病院にもよるが数百万程度が保険制度から支払われているが、実質的にはボランティアベースであり、病院の理解がなければできない。DMAT事務局は、平成17年4月に厚生労働省の認可を受けて、平成22年に（独）国立病院機構災害医療センター内に設置した法人格を持たない任意組織であり、常勤2名と非常勤12名で構成される。隊員のモチベーションの維持が大事である。幸い、DMATは注目されやすいため、新規隊員希望が多い。現時点では医療人のボランティアのよるところが大きいが、今後は予算や身分保障などで改善が必要であることが指摘されている。

7．2．6　その他

トピー工業は消防向けに検知探査型災害対策用ロボット1台、検知型ロボット2台を、総務省消防庁からの貸与として東京消防庁に納めた。検知探査型災害対策用ロボットについては、毎年メンテナンスを受注している。

また、トピー工業は民間用途として床下点検ロボットを開発し住宅メーカへの販売に取り組んできており、新しいビジネスモデルとして実績をあげ始めている。（図6－8）

7．3　防災ロボットの運用と事業化のための課題と方向性

① DMATは、大規模災害等時でもより多くの人命を助けるという医療関係者の理念が原動力となり発足し、その後の災害時での救命活動経験を基に、体制、指令命令系統、教育訓練、機材備蓄等を改善しながら現在に至っている。現在でも資金不足という課題を抱えながらも、医療関係者の矜持とボランティアにより活動をしている。防災ロボットでの運用と事業化でも、その重要性を国民や国が再認識し、運用と事業化に向けた新たな一歩を踏み出す必要がある。関係者の矜持とボランティアに頼るのは限界があり、国や国民の一定の支持と支援が重要である。

② 欧米では「想定外の事故も起り得る」との認識の下に、発生確率が小さい事象も想定し、小規模な操作教育から大規模な実働訓練を実施してきている。そのため、遠隔機材の改良や体制などの見直し

も可能となり、不慮の事態にも対応できるよう努めている。原子力災害については、ドイツのKHGが1977年から、フランスのGIが1988年から原子力災害ロボットの運用を開始しており、これらの実績を踏まえて、日本でも原子力緊急時支援組織を整備することが望まれる。日本は、その国土の特徴として火山帯の上に存在する為、日本は地震大国であるとともに、毎年台風に襲われているにもかかわらず、常設の防災ロボットの運用組織は日本には存在していない。

③ 防災ロボットの事業化が進まない背景には、災害形態も対応担当部署もが多種多様であることから、ユーザが防災ロボットに何が出来るか理解できていなかったり、研究者。開発者・メーカユーザのニーズを把握できていないことがあげられる。これを解消する一助として、ユーザが防災ロボットを平時から試験的に利用でき、ユーザとメーカが相互理解を深める仕組みが必要である。また、作業員がリスある場所での作業を、事業者が防災ロボット等で行えるようにするためには、規制や減免措置などの制度面での対応も必要である。

④ 2011年3月の福島第一原子力発電所事故では、メルトダウンによる線量率の異常上昇、水素爆発による高汚染瓦礫の飛散という想定されていなかった事象であったにも関わらず、関係者の努力により無人重機（無人化施工）、Quince（千葉工大）、サーベイランナー（トピー工業）等の日本製ロボットが活躍した（7．2章参照）。平時から課題解決型の研究開発等を実施し、想定外事象に対する、技術力の底上げを図っておくことが、日本という国の危機管理能力の向上にもつながる。

⑤ 無人化施工は、雲仙普賢岳の火山災害対応以来継続して技術改良がなされてきているとともに、ハードを振るのではなく災害対応工事というサービスの提供という新しいビジネスモデルに先鞭をつけた良い例であるが、緊急時対応での制度的課題がある。また、現状では無人化施工がビジネスとして成立しているとは言えない状況を踏まえ、より高度な技術開発を進める為にも無人化施工の範囲を広げることは重要である。

⑥ 防災ロボットの潜在的なニーズはあると思われるが、ユーザはロボットに何ができるかを知らないために、ユーザ自身も潜在的ニーズを正確に把握できていない。また、ロボットメーカ、大学研究機関等にはシーズはあるものの、潜在的なニーズや事業化・実用化する上での課題が明確になっておらず、これらに対する研究開発が十分になされているとは言い難い。

防災ロボットの形態は多種多様にわたり、事業規模も小さいため量産製品事業を展開している企業では継続的な対応が困難な面もあるが、米国では、量産されているPackBotやWarrierを原子力施設の日常の点検保守に使用して作業員の放射線被ばくを下げる努力をしている例がある。日本のメーカでも積極的にユーザのニーズを探り、課題解決策を提案できるよう取り組まれることが強く期待される。

7．4 防災ロボットセンターを核とした運用システムと事業化の提言

① 総合科学技術会議は、防災ロボットを含むロボットの実用化に向けた戦略を立案し、防災ロボットの（試）運用と実用化の重要性を再確認するとともに、研究者や開発者のみならず、国や国民の防災ロボット運用ならびに実用化へのモチベーションを持続させることに努めるべきである。

② 国は、防災ロボットセンターを設置し、防災ロボットシステムの整備と運用システムの構築を図るべきである。災害は火災、大規模地震や水害などの自然災害、産業災害、インフラ災害と多岐にわたることから省庁横断型の組織とすることが好ましく、防災ロボットセンターを防災基本計画の中で指定公共機

関（専門家）と位置付けることで、警察や自衛隊と緊密に連携して災害に対応することが可能となる。具体的には、国内外の防災ロボット等のデータベースの構築、既存技術のロボットおよび周辺設備からなる防災ロボットシステムを整備し、より実践的なモックアップを用いた操作訓練や防災訓練などの実働訓練により操作員の練度向上に努め、災害の発生に備える必要がある。また、防災基本計画の中で災害発生時にロボットを運用する指定公共機関と位置付けることで、警察や自衛隊との連携を密にして各地の災害に機動的に対応可能となる。これらを実施することで、災害に対する国民の安全強化と安心感醸成に資することができる。

③ 防災ロボットセンターの防災ロボットシステムの貸出しや操作員訓練、操作員の技量認定などを行うことで、消防や道路管理者などの公的ユーザやプラントオペレータなどの民間ユーザで、単独ではロボットを運用できないユーザにも防災ロボットを使用できる機会を設ける。ユーザがインフラの点検や補修にも使用することで、作業員の安全に供することもできる。上述のような運用や訓練を通じて、防災ロボットシステムに必要となる技術的課題、制度的課題、潜在的なニーズ等を明確化するとともに、メーカが開発する各種防災ロボットの評価方法標準化等を実施することで、防災ロボットの国際的な産業競争力の向上に資することができる。防災ロボットセンターの設置に際しては、電気事業者が整備中の原子力緊急時支援組織や国が計画中の福島第一発電所廃炉のための研究開発拠点と密な連携が取れるよう、検討段階から十分な調整を行うべきである。

④ 大学や研究開発機関は、防災ロボットの整備や開発の下支えとなるよう研究成果を防災ロボットセンターや防災ロボットメーカ等に提供していくことが望ましい。また防災ロボットセンターの施設を利用した研究を行うことで防災ロボットに直結する研究を行い成果を出すことも望ましい。そのため、国は大学や研究機関の基礎基盤的研究を支援するとともに、米国のDARPA Challengeのようなソリューション解決策提案型の研究開発を計画実施し、基盤技術研究を促進することも必要である。

⑤ 国は、老朽化したトンネルや橋梁などの社会インフラや、製鉄所など産業設備等の点検保守作業、東日本大震災で被災地の復旧作業、福島第一原子力発電所の廃炉作業、福島第一原発事故により汚染密度が高く除染が手付かずの地域の除染作業など、作業員のリスクを伴うものについて、無人化重機などの防災ロボットを活用して行うようなサービス提供型事業が促進されるよう検討することが望ましい。

⑥ 産業界（防災ロボットメーカ、重機メーカ、ゼネコン等）は、ユーザの潜在的ニーズの掘り起こしを行うとともに、保有するシーズ技術をユーザのニーズに応じて提供することで、社会的役割の一端を担う必要がある。また、活動の中で産官学の連携を積極的に行い、優れた先進技術をさらに発展させることで、将来の海外展開を視野に入れた産業競争力の強化に努めなければならない。

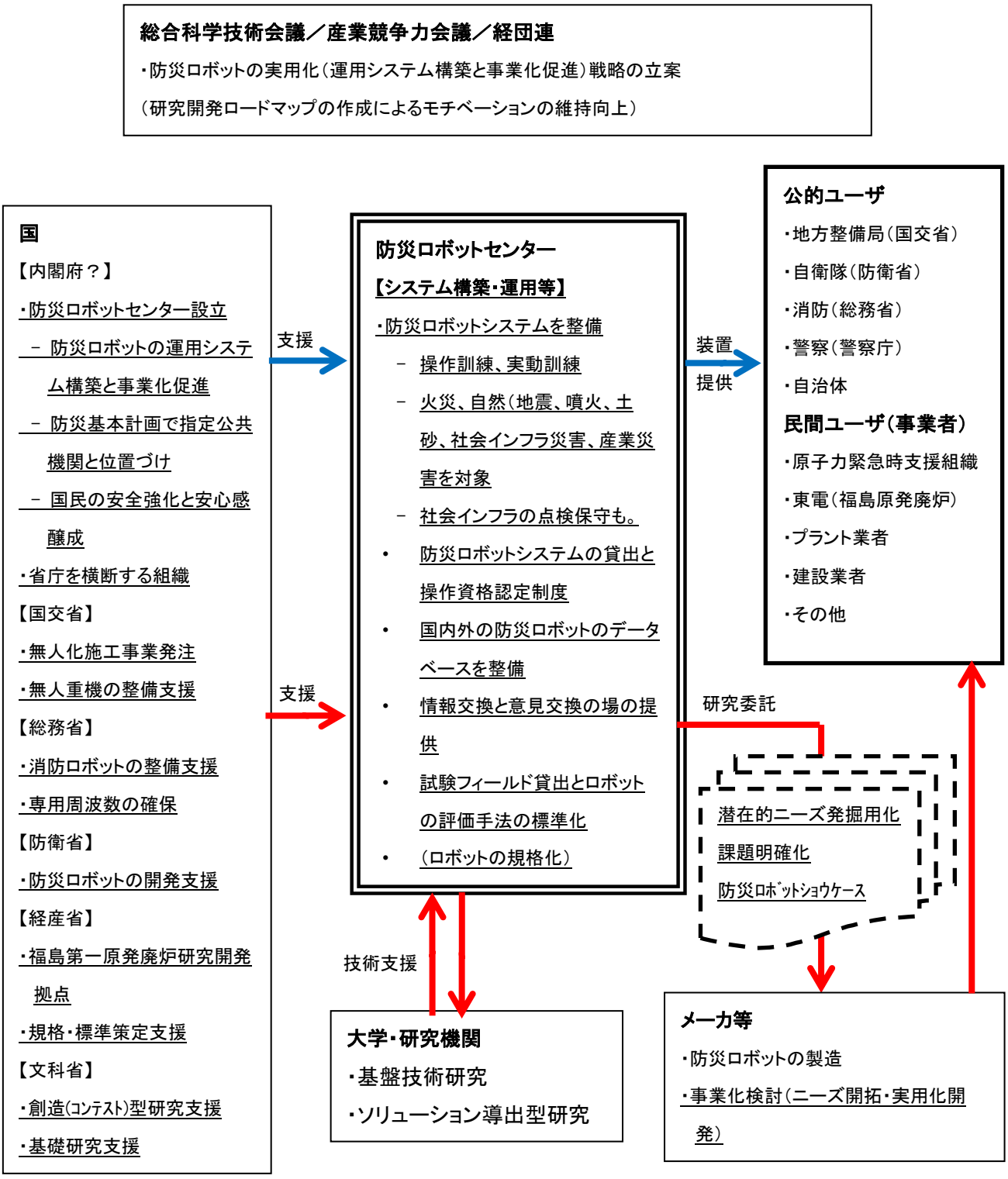


図7．6　防災ロボットセンターを核とした運用システム

防災ロボットセンターと事業化

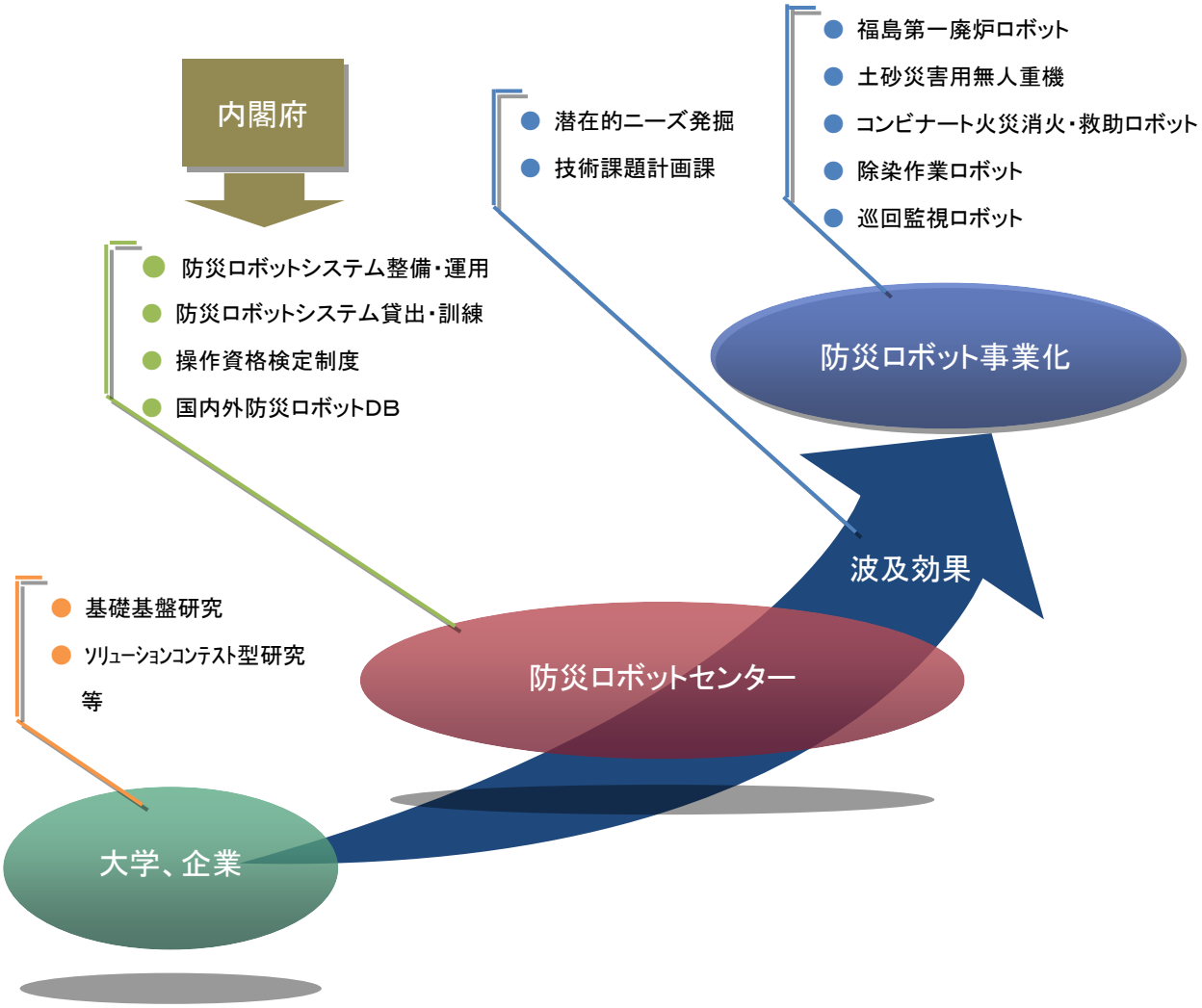


図7．7　防災ロボットセンター事業化構想

8. 産業競争力の強化の視点

ロボット産業は、今後我が国の製造業のコアとなる産業として期待されている。それを支えるロボット技術はロボットのみならず、自動車、情報機器等広い範囲の製品に組み込まれ、その機能や性能の向上に活用されており、日本ロボット工業会で計上している、「ロボット」と呼ばれる限定的機械の範疇に含まれる狭義のロボット産業をはるかに凌ぐ産業的波及効果があると考えられる。日本はこれまでロボット技術において世界的優位を保ってきたが、米国、欧州、韓国、中国等の追い上げは激しい状況である。

しかし、東日本大震災や福島原発事故を経験し、ロボット技術は、日本ばかりでなく、世界における安心・安全を確保するために不可欠な技術であることを再認識させられた。現場では、ロボット技術が随時活用されているものの、今後の備えとしては、さらなる技術開発が必要であるのみならず、それを現場で活用できるように維持し、有事の際に迅速に投入できるようなシステムを構築する必要がある。それにより我が国国土の脆弱性を克服することが、今後世界の中で我が国の産業競争力を保っていくために強く求められている。

防災ロボットや無人化施工システムは、有事対応という性格からして大きな需要を見込める製品ではないが、そこで必要となる技術は最も先端的なロボット技術やICT技術であり、その波及効果は非常に大きい。ロボット産業が産業用ロボットからサービスロボットやパーソナルモビリティ等の分野に拡大していく中で、そうした最先端の技術は必要不可欠である。そうした観点からも、官民協力による技術開発と需要の創出を行うことにより技術的優位性を確保していく必要がある。

また、今回取り上げた産業設備や社会インフラの点検・保守などは我が国のみならず、世界的にもこれから大きなニーズがある。点検・保守作業の自動化やロボット化については、今後国内外で大きなビジネスマーケットを見込まれる。

以上のように、我が国の産業競争力を強化するため、この報告書で提案された技術開発や運用体制の実現を図っていくべきである。

9. 提言のまとめと提言実現のための課題

これまで述べてきたように、災害対応ロボットは今後発生する対応困難な災害に対して重要な対抗手段となる。しかしながら、これまでのような研究機関や民間企業等の個別の研究開発では継続は困難である。その社会的貢献度の大きさ、産業競争力強化の視点から、国家ビジョンとして災害対応ロボットの活用を推進し、国家戦略の柱としてその継続的研究開発を図るべきである。

総合科学技術会議のような場で国家として開発の方向性を議論し、中央防災会議等でその運用を計画していくことが、災害対応ロボットを国民の財産として生かしていくための大切な道筋であると考える。以下に、前章までの議論を整理し、提言を図9．1にまとめる。その具体的な内容を以下に記す。

（1）研究開発拠点・プロジェクト（ハード面での提言）

東日本大震災および福島原発事故への対応において様々なロボット技術が適用されているものの、これから起こり得る災害に対する備えとしては、研究開発が必要な課題がまだ多く残されている。災害対応ロボット技術に関する研究開発拠点を設置し、実用化を指向した基盤技術研究や、高度実用化研究（基礎技術を現場に適用できるようにするための研究開発）を実施するためのプロジェクトを早急に立ち上げ、推進することを提言する。基盤技術研究や高度実用化研究において研究開発すべき主な項目は以下の通りである。

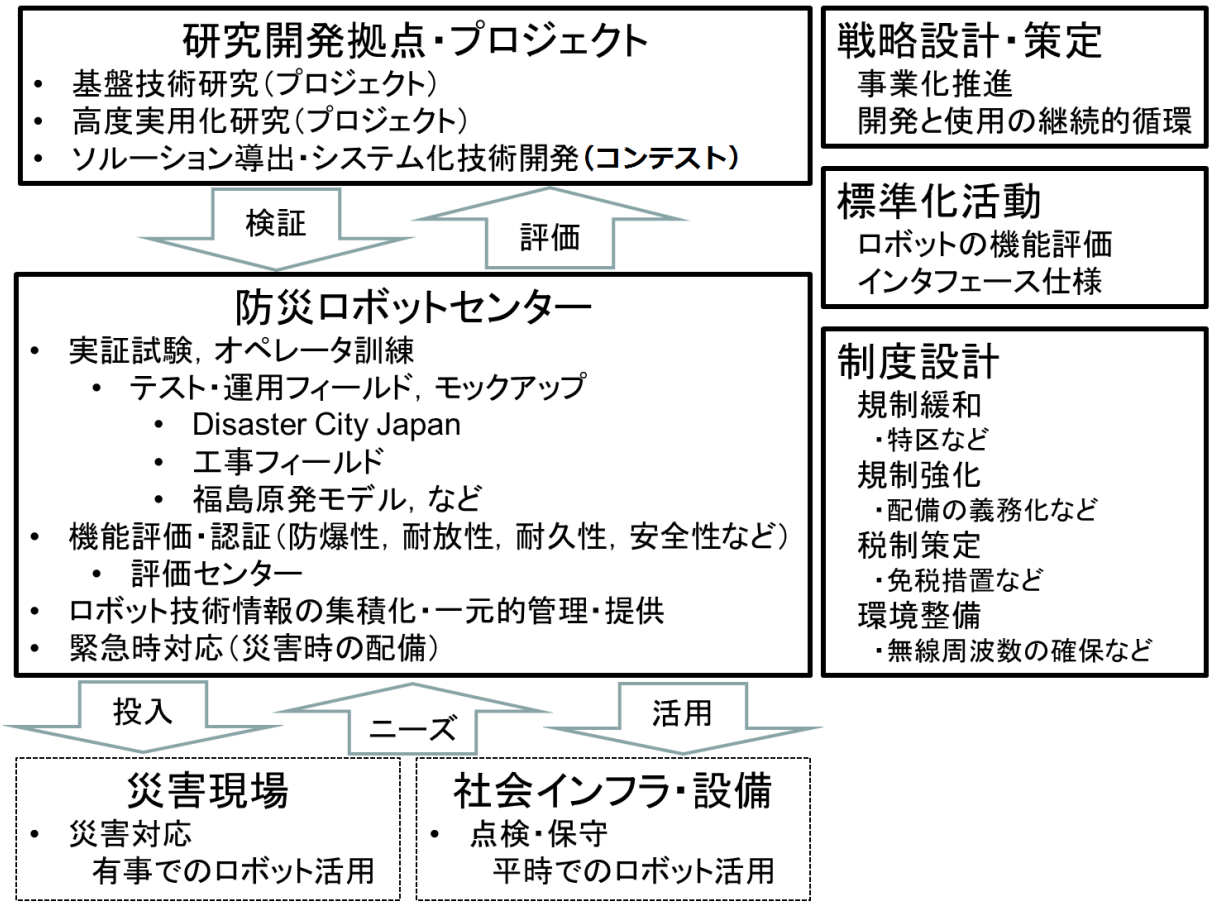


図9．1　災害対応ロボットと運用システムのあり方の提言のまとめ

【防災ロボット】

〇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）

〇ロボットによる現場悪影響の防止（特に、防爆技術・規格）

〇無線通信・有線通信の問題点解決

〇遠隔状況認識・知能化・自動化

〇コンテスト形式による基盤技術研究の奨励

【無人化施工システム】

〇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

・通常作業時における高度な安全性の確保、作業効率の向上。

〇水陸両用運搬車両

・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

【インフラ点検／メンテナンス・ロボット】

〇複合型アクセス・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）

〇移動体防爆基準の策定と移動ロボット防爆技術の開発

〇壁面移動技術の開発

〇システム化と規格化・標準化 ― 部品の規格化による汎用化とコスト削減 ―

これらの技術開発においては、総合科学技術会議による戦略設計、文部科学省や経済産業省によるプロジェクトの企画・実施、研究開発拠点の設置が求められる。

（2）防災ロボットセンター（インフラ面での提言）

現場で活用可能な防災ロボット技術を構築・維持するための組織・システムとして、防災ロボットセンターの設置を提言する。

現場で活用できるような機器やシステムを開発するには、その実証試験による機能評価が極めて重要となる。また、緊急対応において、ロボットを迅速に現場に投入し活用するためには、日ごろからオペレータの訓練を実施する必要がある。これらは、個別に行うのみならず、一体で行うことが有効である。すなわち、オペレータが実際の訓練環境でロボットを使用することで、オペレータの訓練を行うと同時に、ロボットや機器が現場での使用に適しているか、耐えられるかを評価し、日々保守・メンテナンスを怠らないようにするのみならず、継続的に評価結果をシステム改良にフィードバックすることが重要である。この実証試験・オペレータ訓練が、防災ロボットセンターの一つの重要な機能である。

また、それを実施する場としてのテストフィールドやモックアップを設置することを提言する。米国テキサスには、Disaster City[2]と呼ばれるレスキュー隊員などの訓練フィールドがあり、それが災害対応ロボットの機能評価や訓練に用いられているが、日本国内にもそのような場を消防庁や防衛省の協力のもと設置することが必要である。また、無人化施工システムが雲仙普賢岳の工事を行う中で、ここが開発された技術を試験するフィールドとしての役割を果たしていたことから、このような長期間の工事が求

められる工事フィールドを、国土交通省の協力のもと、確保することが必要である。また、原子力発電所やコンビナートなどの設備に投入すべき防災ロボットについては、設備のモックアップを設置し、活用することが必要となる。福島原発の廃炉に向けた中長期措置においては、資源エネルギー庁が福島原発のモデルモックアップの構築を計画しているが、このようなモックアップを活用することが有効である。なお、実証試験・オペレータ訓練のためのテストフィールド・モックアップや、機能評価を行う拠点は、必ずしも集中化させる必要はない。自治体や各省庁の協力のもと、日本全国に分散的に設けることが有効である。ただし、その統括・管理に関しては、集中的な機能が重要であり、それを防災ロボットセンターという組織が担う必要がある。

一方、災害は多様であり、ロボットを導入する環境も多様である。環境によっては、ロボットに防爆性や耐放性が求められることになる。これまでに防爆性、耐放性、耐久性、安全性などを評価し、保証するようなシステムが存在しないために、これまで多くの場面でロボットの投入が躊躇されたケースがある。このことを鑑み、防災ロボットセンターのもう一つの機能として、これらの防災ロボットの機能評価を行い、それを認証できるような機能を備えることが重要である。

また、情報共有が極めて重要となる。東日本大震災や福島原発事故で、ロボットや遠隔操作機器がスムーズに導入できなかった要因として、ロボットや機器のユーザと提供者の間でロボット技術に関する情報をうまく共有できなかったことが挙げられる。防災ロボットセンターは、有事の際のこのような情報共有の要となる必要がある。活用可能なロボット技術のリストや、その所在、評価などに関する情報を集積化し、一元的に管理するとともに、有事の際にその情報を容易に提供できるような（ユーザが容易にその情報にアクセスできるような）機能を、防災ロボットセンターが持つことが必要である。

さらに、有事の際には、普段用いられているロボットを、迅速に現場に配備する必要がある。DMAT などを参考にしつつ、ロボット・機器と、オペレータやメンテ要員などの技術者をひとまとめにして、自衛隊の協力のもと、現場に迅速に配備できるような体制を整える必要がある。

以上が防災ロボとセンターに求められる機能である。これらの機能を有する防災ロボットセンター（仮称）を国のリーダーシップのもと設置することを提言する。防災ロボットセンターは、省庁連携のもとに設置・運用することが求められるが、災害対策本部のような緊急的・一時的な組織ではなく、パーマネントな組織である必要があり、中央防災会議の一つの機能として位置づけられることからも、内閣府で設置することが望ましいと考えられる。

（3）戦略策定・標準化・制度設計（ソフト面での提言）

上記の災害対応ロボットに関する技術開発と運用を、より効果的なものにし、かつ継続的に回す仕掛けを構築するには、ソフト面での検討も欠かせない。戦略策定・標準化・制度設計など、ソフト面についての提言は以下の通りである。

起こるかどうか不確定な災害という事象に対し、どれだけの投資を行い備えるかの判断は容易ではない。備えを継続的に維持するには、民間の参入が不可欠であり、そのためにはその活動を事業として成立させる必要がある。すなわち、事業化推進という観点も含めた戦略設計・策定が、それを産業競争力の基盤としていくためには重要となる。特に、必要な技術開発を行うとともに、開発と使用を継続的に循環させていく戦略、事業化のビジネスモデルが重要となる。将来の日本にとって重要な技術開発を行う

ための戦略策定は、総合科学技術会議で検討する必要がある。

有事の際に災害現場で活用できるロボットは、災害時にしか使用されないとなると、ビジネスとして成り立たせることが厳しい。国や自治体などが、それを積極的に活用したり調達することが求められる。また、民間ベースでそれを事業として行うには、有事のみならず、社会インフラ・設備の点検、ヘルスモニタリング、保守など、平時においてもロボットを活用し、有事の際にもそれを併用することも可能とするような工夫が必要であろう。それについては、民間のさらなる努力が必要である。

一方、標準化活動も極めて重要である。特に、機能評価に関しては、ロボットや機器の機能評価のための標準化が重要となる。米国では、NIST（National Institute of Standards and Technology）がその機能評価の標準化を進めているが[3]、日本でも同様な取り組みを行う必要がある。また、災害時にシステムを動的に設計構築する上で、共通基盤技術を構築するとともに、機器のインタフェースを標準化することも重要である。これらの標準化活動を産学官連携のもとに推進することを提言する。

最後に、ソフト面で最も重要となるのが、制度設計である。特区など、災害対応ロボットをより導入しやすくするための規制緩和と同時に、災害対応ロボットや機器の配備を事業者や自治体に義務付けるなどの規制強化も考える必要がある。免税措置などの税制優遇策や、ロボットや機器の使用に対する補助金、新たな保険制度の導入なども、事業として民間が参入しやすくするのに効果的である。また、災害対応ロボットの遠隔操作には、安定した無線通信の確保が必須であり、無線周波数の確保など環境整備も極めて重要である。税制を含めた法整備は財務省や内閣府、無線周波数に関しては総務省が主体となって推進することが求められる。

以上、災害対応ロボットとその運用システムのあり方に関する提言をまとめた。これを絵に描いた餅としないためには、省庁連携、産学官連携が必須である。この連携をコーディネートする機能を国の中に構築し、それを積極的に推進することが切に望まれる。

参考文献

[1] http://www.theroboticschallenge.org/default.aspx

[2] http://www.teex.com/sitemap.cfm?Div=USAR

[3] http://www.nist.gov/el/isd/ks/response_robot_test_methods.cfm

参加メンバーリスト

		機 関 名	氏 名	参加 WG			
				防 災	無人化	インフラ	運 用
1	PL	東京大学	浅間 一	○	○	○	○
2	SPL/WG 主査	東北大学	田所 諭	○		○	○
3	SPL/SWG 主査	新日鐵住金	大石 直樹	○		○	
4	WG 主査	日本原子力研究開発機構	川妻 伸二				○
5	SWG 主査	鹿島建設	植木 睦央		○		
6	企業委員(会員)	鹿島建設	宮崎 康信	○		○	
7		鹿島建設	船迫 俊雄		○		
8		清水建設	金森 洋史	○			
9		コマツ	浅田 寿士		○		
10		コマツ	野瀬 松男		○		
11		新日鐵住金	礒原 豊司雄	○		○	
12		新日鐵住金	高田 亮平	○		○	○
13		東芝	久保 智彰			○	
14		東芝	小川 秀樹	○			
15		日立製作所 ディフェンスシステム社	秋本 修	○			○
16		日立 GE ニュークリア・エナジー	大谷 健一				○
17		富士通研究所	神田 真司	○	○		
18		三菱重工業	大谷 知未				○
19		三菱重工業	磯崎 芳史	○			
20		三菱重工業	見持 圭一	○			
21		三菱電機	野田 哲男	○			
22		IHI	山西 晃郎		○		
23		IHI 建機	千坂 修		○		
24		IHI 建機	金子 隆宏		○		
25	企業委員(会員外)	熊谷組	北原 成郎		○		○
26		熊谷組	松村 修治			○	○
27		大林組	大野 耕太郎				○
28		大林組	栗生 暢雄		○		
29		大林組	井上 文宏	○		○	
30		大成建設	立石 洋二		○		○

		機 関 名	氏 名	参加 WG			
				防 災	無人化	インフラ	運 用
31		日立建機	江川　栄治		○		○
32		安川電機	横山　和彦		○		
33		竹中工務店	星野　春夫	○			
34		竹中工務店	鈴木　稔	○			
35		モリタホールディングス	関　修治	○			○
36		トピー工業	津久井　慎吾			○	○
37		双日エアロスペース	山口　一郎	○			○
38		新日本非破壊検査	和田　秀樹			○	
39	学識経験者	京都大学	松野　文俊	○	○		○
40		早稲田大学	岩田　浩康		○	○	○
41		東京大学	岡田　慧	○			○
42		産業技術総合研究所	神村　明哉	○			○
43	団体(O)	日本ロボット学会	細田　祐司	○			○
44		日本ロボット工業会	冨士原　寛	○	○	○	○
45		日本ロボット工業会	濱田　彰一	○		○	○
46		日本ロボット工業会	畑　能正		○		
47		日本ロボット工業会	三浦　敏道		○	○	○
48	省庁(O)	経済産業省	北島　明文	○	○	○	○
49		経済産業省	中坊　嘉宏	○	○	○	○
50		文部科学省	西城　祐輝	○	○		
51		文部科学省	立元　恵	○	○	○	○
52		国土交通省	山元　弘		○		
53		国土交通省	宮武　一郎		○		
54		国土交通省	森川　博邦		○		
55		土木技術研究所	藤野　健一		○		
56		新エネルギー・産業技術総合開発機構	真野　敦史	○	○	○	○
57	事務局	COCN事務局	中塚　隆雄				
58		製造科学技術センター	瀬戸屋　英雄	○	○	○	○
59		製造科学技術センター	加藤　雅弘	○	○	○	○
60		製造科学技術センター	間野　隆久	○	○	○	○
61	COCN 実行委員長	日立製作所	住川　雅晴				
62	COCN 担当実行委員	東京大学	有信　睦弘		○	○	○

会議開催状況

合同会議の開催

回	月日	時間	場所	内容
第 1 回	7/3	10:00 - 12:00	東京大学　山上会館地階 001	キックオフミーティング

WGの開催

災害ロボット3テーマ（①防災ロボット、②無人化施工システム、③インフラ点検/メンテナンスロボット）と④運用システム及び事業化のテーマにつき、それぞれをWGにて検討した。

WG1「防災ロボット」田所　諭　主査

回	月日	時間	場所	内容
第 1 回	7/25	10:00 - 12:00	製造科学技術センター会議室	昨年度の活動のレビュー 今年度の活動の重要項目 活動方針に関する自由討論
第 2 回	8/6	15:30 - 17:30	文部科学省旧文部省庁舎　第 2 会議室	報告書骨子
第 3 回	8/27	12:00 - 14:00	真福寺　5F 第 2 会議室	問題点の整理
第 4 回	9/14	10:00 - 12:00	真福寺　5F 第 2 会議室	問題点のﾌﾞﾚｰｸｽﾙｰの仕方について
第 5 回	10/22	13:00 - 14:30	真福寺　5F 第 3 会議室	中間報告の内容に関する審議
第 6 回	11/22	10:00 - 12:00	真福寺　5F 第 3 会議室	最終報告の内容に関する審議
第 7 回	12/14	17:00 - 19:00	東大工学部 14 号館　330 号室	最終報告の内容に関する審議
第 8 回	1/8	17:30 - 19:30	製造科学技術センター会議室	最終報告の内容に関する審議

WG2「無人化施工システム」植木　睦央　主査

回	月日	時間	場所	内容
第 1 回	8/2	13:00 - 15:00	製造科学技術センター会議室	昨年度の活動のレビュー 今年度の活動の重要項目 活動方針に関する自由討論
第 2 回	8/28	14:00 - 16:00	製造科学技術センター会議室	報告書骨子
第 3 回	9/12	14:00 - 16:00	製造科学技術センター会議室	新テーマ提案について審議 ・先行開発技術との相違点 ・アピールするキーワード
第 4 回	10/16	10:00 - 12:00	製造科学技術センター会議室	中間報告の内容に関する審議
第 5 回	11/16	15:00 - 17:00	製造科学技術センター会議室	最終報告の内容に関する審議

	月日	時間	場所	内容
第 6 回	12/4	09:00 - 11:00	東大工学部 14 号館　330 号室	最終報告の内容に関する審議
第 7 回	12/25	13:30 - 15:30	東大工学部 14 号館　330 号室	最終報告の内容に関する審議
第 8 回	1/11	13:00 - 15:00	東大工学部 14 号館　330 号室	最終報告の内容に関する審議
第 9 回	2/1	15:00 - 17:00	機械振興会館　B3 階 3 号室	最終報告の内容に関する審議

WG3「インフラ点検/メンテナンスロボット」大石　直樹　主査

回	月日	時間	場所	内容
第 1 回	8/6	13:00 - 15:00	製造科学技術センター会議室	インフラ点検/メンテナンスロボットの現状について 今年度の活動の重点項目 活動方針に関する自由討論
第 2 回	8/27	15:00 - 17:00	製造科学技術センター会議室	報告書骨子
第 3 回	9/27	13:00 - 15:00	製造科学技術センター会議室	実用化に向けた機能検討 需要の定量化 配備の方法論
第 4 回	10/16	12:00 - 14:00	製造科学技術センター会議室	中間報告の内容に関する審議
第 5 回	11/16	17:00 - 19:00	製造科学技術センター会議室	最終報告の内容に関する審議
第 6 回	12/11	13:00 - 15:00	製造科学技術センター会議室	最終報告の内容に関する審議
第 7 回	1/11	15:00 - 17:00	東大工学部 14 号館　330 号室	最終報告の内容に関する審議

WG4「運用システム及び事業化」川妻　伸二　主査

回	月日	時間	場所	内容
第 1 回	8/2	16:00 - 18:00	製造科学技術センター会議室	昨年度の活動のレビュー 今年度の活動の重点項目 活動方針に関する自由討論
第 2 回	9/3	14:00 - 17:00	製造科学技術センター会議室	報告書骨子
第 3 回	10/19	13:00 - 15:00	真福寺　5F 第 3 会議室	事例報告、自由討論 中間報告の内容に関する審議
第 4 回	11/15	16:40-18:00	東大工学部 14 号館　330 号室	最終報告の内容に関する審議
第 5 回	12/4	11:00-13:00	東大工学部 14 号館　330 号室	最終報告の内容に関する審議
第 6 回	1/8	09:00-11:00	製造科学技術センター会議室	最終報告の内容に関する審議
第 7 回	1/24	16:30-18:30	東大工学部 14 号館　330 号室	最終報告の内容に関する審議

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/
事務局長　中塚隆雄