

【産業競争力懇談会 2014年度 プロジェクト 最終報告】

【災害対応ロボットの社会実装】

2015年3月5日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリー】

1. 本プロジェクトの基本的考え方

日本の産業競争力を向上させるには、日本の技術力の強化、競争力のある技術の構築が必須である。本プロジェクトでは、災害対応ロボットの社会実装を通して、日本のロボット技術の高度化と、それによる産業競争力の強化を図るための提言を行う。

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。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活用することが求められている。しかるに、災害の発生はそれほど頻度が高くなく、市場も限定的であることから、民間の努力だけでは技術の開発・維持、社会実装を進めることが困難である。また、需要も官需中心であることから、災害対応ロボットの活用に関しては、国が積極的に研究開発を推進するとともに、運用・管理・配備を司る必要がある。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し、安全・安心でレジリエントな社会の構築、国土強靱化を行う上で重要であるばかりでなく、日本の産業競争力強化の重要な柱となる。そこで本プロジェクトでは、災害対応ロボットの社会実装における現状の技術的阻害要因だけでなく、社会的な阻害要因も洗い出し、その解決策を検討し、提言としてまとめる。

2. 活動状況概要

COCN では、2011 年度、2012 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、災害対応ロボットの実用化を推進し、現場での迅速かつスムーズに現場に投入し、活用できるようにするための要件を明らかにし、必要となる研究開発項目や性能評価についてリストアップするとともに、平時利用のための枠組みとして、災害対応ロボットセンターの設置を提言した。2013 年度には「災害対応ロボットセンター設立構想」プロジェクトを実施し、災害対応ロボットセンターに要求される機能を明確化し、それを実現する具体的な方策について提言した。その成果として、研究開発に関しては、経産省と国交省の次世代社会用ロボット開発、および SIP プロジェクトで災害対応ロボット開発などが予算化され、また ImPACT プロジェクトにおいては「タフロボティクス」が採択され、他方、ロボットセンター設立に関しては、福島復興を目指すイノベーション・コースト構想に取り上げられている。

本年度は、これまでの検討と現在の動向に基づき、災害対応ロボットの社会実装を実現し、持続的運用を可能にするための方策について提言をまとめることとした。災害対応ロボットを社会実装するには、技術開発と実証試験だけに留まらず、平時においても継続的に使われるような持続的運用が極めて重要であり、必要なコストを負担するための仕組みやビジネスモデルを構築することが必要となる。また、現場での活用を可能にするためには、性能評価の標準化や認証、制度・法規制、さらにインフラ面では遠隔操作のための通信など、災害対応ロボットの社会実装のための環境・基盤整備が必要となる。そこで、災害対応ロボットの社会実装を推進する上で解決が必要となる上記課題について、それぞれ WG を設置するとともに、これまでにそれぞれの WG 会合を 6 回開催し、その解決のための提言をまとめた。

3. 提言の概要

これまでに議論に基づいて、最終報告としてまとめた提言を以下に述べる。

(1) 持続的運用に関する提言

- ・災害対応ロボットの現場での活用を可能にするためには規制緩和が必要である。また、災害の頻度は低く、災害対応ロボットは官需中心であることから、その社会普及のためには、配備の義務化を含む法制度の整備を行い、国が積極的に市場を形成すべきである。
- ・災害対応ロボットの市場は限定的であり、機器の開発・維持コストを民間だけで負担することは難しい。したがって、国がそれらの必要な予算措置を継続的に講じるべきである。
- ・災害対応ロボットの技術の実用化を推進・維持するためには、それを長期間利用する現場を国が意図的・積極的に設置・活用すべきである。また、持続的運用を可能にする担い手としての中小企業やベンチャー企業などの支援、人材育成を強化すべきである。

(2) 制度・標準化に関する提言

- ・無人航空機の安全性を確保するためのルール制定・認証、法制化を行うべきである。
- ・無人航空機の機能・性能の評価軸を定め、その標準化を行うとともに、調達基準を明確化すべきである。
- ・水上・水中ロボットのルール制定、開発環境の整備を進めるべきである。
- ・災害対応ロボットの防爆に関する検討を、技術と制度の両面から進めるべきである。

(3) インフラ・通信に関する提言

- ・災害現場においてロボットと操作者間の映像等センサー信号と制御信号を、活動に十分なレベルで通信可能な周波数帯「ロボット革命実現周波数帯」を確保すべきである。この周波数帯は免許または登録制で、平常時には制限つきで一般用途に利用可能とすることで、新たなロボットビジネス市場の創出・活性化、無線機の普及と低価格化を図るべきである。ただし災害時には、災害対応に供しない利用については利用を停止させ、専ら災害対応に用いる。この提案により、電波の有効活用、無線機器の低価格化、災害対応時の輻輳低減を図ることができる。
- ・災害対応ロボットは、平時から訓練や実証試験などにおいて利用することが、非常時に活用するための条件となる。したがって、平常時の訓練や開発試験のために、平常時にも災害時と同じ枠組でロボット革命実現周波数帯域を制限なしで利用可能な特区、または他の必要な周波数についても無線通信出力を上げて利用可能な特区を設置すべきである。
- ・無線機の初期開発は費用がかかるため、小数生産しか見込めない災害対応ロボットに関しては積極的な開発支援を行うべきであり、平常時利用や、継続的利用シーンの創出、提供を行う枠組みを作成すべきである。

4. 今後の進め方について

本年度の活動は、以上のワーキンググループによる活動報告であるが、平行して新たに生まれてきた国の機関主導の諸活動にも積極参加し提言してきた。具体的には「福島イノベーション・コースト構想研究会」、政府の「ロボット革命実現会議」、電波産業会の「ロボット用電波利用システム調査研究会」、内閣府支援チームと経産省による「ロボット研究・実証拠点整備等に関する検討会」および COCN の主催する府省庁懇談会、において提言を行ってきた。大きな成果は、

安倍総理から「福島県に世界一の実証フィールドを作る」という方針が出されたことに象徴されるように、我々の活動が具体化の道筋についたと考え、本プロジェクトは完了とする。

今後は、これらの国の動きと連携しつつ、新たに災害対応以外のフィールドロボットまで視野を広げ、以下「事業化のための環境整備」について継続して英知を結集する活動を行うべきと考える。

- フィールドロボットの事業化と産業競争力の強化に必要な制度、施策検討
 - フィールドロボットの社会実装に必要な安全基準、検定基準等の規格整備事業の検討
 - 事業化の基盤となる国際標準の検討
- など

【目 次】

【はじめに】	- 5 -
【プロジェクトメンバー】	- 6 -
【本文】	
1. プロジェクトの背景	- 7 -
2. 昨年度の報告の概要および成果	- 9 -
3. 今年度の検討課題	- 12 -
3. 1 持続的運用検討に関する課題	- 12 -
3. 2 制度・標準化検討に関する課題	- 12 -
3. 3 インフラ・無線通信検討に関する課題	- 12 -
4. 持続的運用に関する提言	- 14 -
4. 1 検討の背景	- 14 -
4. 2 事例研究	- 14 -
4. 2. 1 国土交通省 TEC-FORCE （緊急災害対策派遣隊と災害対策用機械（排水ポンプ車等））	- 14 -
4. 2. 2 消防用機械器具（消防ポンプ自動車等）	- 16 -
4. 2. 3 防衛省装備品（戦闘機等）	- 17 -
4. 2. 4 無人化施工機械（遠隔操作式建設機械）	- 17 -
4. 2. 5 除雪機械	- 18 -
4. 3 災害対応ロボットの保有・使用形態について	- 19 -
4. 3. 1 既に持続的に運用されている類似機械の保有・使用形態を適用する案...	- 19 -
4. 3. 2 リセプション方式（運営権の売却）	- 20 -
4. 4 持続的運用の実現に向けた課題と対応方策（提言に向けて）	- 20 -
4. 4. 1 開発の促進	- 20 -
4. 4. 1. 1 災害発生による想定損失の一定割合を開発費として継続的に予算化	
4. 4. 1. 2 機能のモジュール化とインターフェイスの標準化	
4. 4. 2 開発から社会実装へ	- 21 -
4. 4. 2. 1 運用サイド（ユーザー）の主体性と技術力の確保	
4. 4. 2. 2 国交省・経産省連携「次世代社会インフラ用ロボットの現場検証・ 評価プロジェクト」の継続的实施	
4. 4. 3 社会実装から持続的運用へ	- 22 -
4. 4. 3. 1 国・公的機関等による災害対応ロボットの調達・配備の制度化	
4. 4. 3. 2 海外への積極的な展開支援	
4. 4. 3. 3 運用サイド（民間ユーザー）に対する支援	
4. 4. 3. 4 持続的な利用場面の創出	
4. 4. 3. 5 建設機械の災害時対応化（遠隔操作式への改造）のコストの支援等	
4. 4. 4 持続的に運用するための担い手について	- 24 -
4. 4. 4. 1 災害対応ロボットの開発から運用に至る各フェーズの担い手について	

4. 4. 4. 2	担い手となりうる企業の業種・分野について	
4. 4. 4. 3	担い手企業の規模について	
4. 4. 4. 4	検討すべき担い手のモデル	
4. 4. 5	人材の育成	- 26 -
5.	制度・標準化に関する提言	- 28 -
5. 1	提言の対象課題	- 28 -
5. 2	無人航空機の機能・性能評価	- 29 -
5. 2. 1	検討の背景	- 29 -
5. 2. 2	調査内容・評価項目案・要求事項	- 29 -
5. 2. 2. 1	建造物・土木インフラ・水害・土砂崩れ災害	
5. 2. 2. 2	原子力・プラント災害対応	
5. 2. 3	災害ロボットセンターに対する要求仕様の提言	- 32 -
5. 2. 4	無人航空機の機能強化についての提言	- 34 -
5. 3	無人航空機の認証制度、運用ルール等の構築	- 35 -
5. 3. 1	検討の背景	- 35 -
5. 3. 2	検討の手順	- 36 -
5. 3. 3	法令整備に関する課題抽出	- 36 -
5. 3. 3. 1	社会実装のための論点整理	
5. 3. 3. 2	無人航空機の特性及び用途	
5. 3. 3. 3	用途拡大のために解決すべき課題	
5. 3. 4	無人航空機の認証制度の構築にむけた提言	- 39 -
5. 3. 4. 1	世界の動向	
5. 3. 4. 2	日本の現状	
5. 3. 4. 3	無人航空機の認証制度の構築にむけた提言	
5. 4	水上・水中ロボットの実装における検討課題	- 42 -
5. 4. 1	検討の背景	- 42 -
5. 4. 2	水上・水中ロボットに関する検討事項	- 42 -
5. 4. 2. 1	水上・水中ロボット運用の課題	
5. 4. 2. 2	水上・水中ロボット運用ルールの現状	
5. 4. 2. 3	水上・水中ロボットの開発体制の課題	
5. 4. 2. 4	将来プロダクトとしての展開	
5. 4. 3	水上・水中ロボットの実装における提言	- 45 -
5. 5	ロボットの防爆に関する認証制度	- 48 -
5. 5. 1	検討の背景	- 48 -
5. 5. 2	防爆認証制度の見直しで検討すべき項目	- 48 -
5. 5. 2. 1	技術的な検討事項	
5. 5. 2. 2	社会制度的な検討事項	
5. 5. 3	ロボットの防爆に関する認証制度への提言	- 51 -
5. 6	まとめ	- 52 -

6. インフラ・通信に関する提言.....	- 54 -
6. 1 はじめに.....	- 54 -
6. 2 災害対応ロボットの種別と利用状況.....	- 54 -
6. 2. 1 屋外遠隔作業ロボット.....	- 54 -
6. 2. 2 小型調査ロボット.....	- 56 -
6. 2. 3 無人航空機.....	- 57 -
6. 3 災害対応ロボット運用での無線通信要求.....	- 60 -
6. 3. 1 災害対応ロボットに必要な通信の特徴.....	- 60 -
6. 3. 2 種別毎の災害対応ロボットに必要な通信の要求仕様.....	- 62 -
6. 4 実現上の問題点.....	- 64 -
6. 4. 1 適切な周波数帯と帯域の選定.....	- 64 -
6. 4. 2 限られた電波資源.....	- 65 -
6. 4. 3 一般無線 LAN の輻輳	- 65 -
6. 4. 4 市場の小ささと大きな開発コスト.....	- 66 -
6. 4. 5 平常時／訓練時／災害時の動作	- 66 -
6. 4. 6 マネージメントの必要性.....	- 66 -
6. 4. 7 災害対応ロボットの発展の余地.....	- 66 -
6. 5 災害対応ロボットの通信に関する提言.....	- 66 -
6. 5. 1 提言内容の概要とメリット.....	- 66 -
6. 5. 2 ロボット革命実現周波数帯の確保.....	- 67 -
6. 5. 3 特区テストフィールドの設置.....	- 68 -
6. 5. 4 無線機の開発支援ならびに利用シーンの創出と提供.....	- 68 -
6. 6 通信・インフラに関する提言のまとめと今後検討すべき課題.....	- 68 -
7. 災害対応ロボットの社会実装と産業競争力強化のための提言.....	- 70 -
7. 1 災害対応ロボットの社会実装に向けた活動.....	- 71 -
7. 1. 1 福島イノベーション・コースト構想研究会.....	- 71 -
7. 1. 2 ロボット研究・実証拠点整備に向けた検討会.....	- 72 -
7. 1. 2. 1 利用者の分類	
7. 1. 2. 2 利用に関するアンケート調査	
7. 1. 2. 3 ロボット研究・実証拠点の機能	
7. 1. 2. 4 ロボット研究・実証拠点の規制緩和	
7. 1. 2. 5 ロボット研究・実証拠点の業務マイルストーン	
7. 1. 2. 6 ロボット研究・実証拠点の組織及び施設等	
7. 1. 2. 7 ロボット研究・実証拠点の構想イメージ	
7. 2 災害対応ロボットの社会実装のための提言.....	- 77 -
7. 2. 1 産業競争力強化のための提言.....	- 77 -
7. 2. 2 最終報告における提言.....	- 78 -
7. 2. 2. 1 持続的運用に関する提言	
7. 2. 2. 2 制度・標準化に関する提言	

7. 2. 2. 3 インフラ・通信に関する提言	
7. 3 災害対応ロボットの社会実装に向けた今後の課題と展開.....	- 79 -
8. 参加メンバーリスト.....	- 80 -
9. 開催状況.....	- 83 -

【付録1】第4章関連資料

【付録2】第5章関連資料

【付録3】第6章関連資料

【はじめに】

COCN では、東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故を契機に、災害現場で機能を発揮できるロボットの実現に焦点を当て、プロジェクトチームを構成して検討を行ってきました。2011 年度と 2012 年度には、「災害対応ロボットと運用システムのあり方」プロジェクトにおいて、将来必要になるロボットを活用したシステムについて提言を行いました。またこの提言を踏まえ、2013 年度には「災害対応ロボットセンター設立構想」プロジェクトにおいて、ロボットの研究開発の重要性と、実証試験や認証の機能を併せ持つ指令拠点の必要性について提言しました。

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・自治体からもオブザーバー参加をいただき、本年度は昨年にも増して幅広い、かつ多数のメンバーの集団となっています。その成果として、研究開発においては、経産省と国交省による次世代社会インフラ用ロボット開発、および戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）における災害対応ロボット開発が予算化され、さらに革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）において「タフ・ロボティクス・チャレンジ」が採択されました。またロボットセンター設立についても、福島復興をめざす福島・国際研究産業都市（イノベーション・コースト）構想に取り上げられました。

しかし、災害対応ロボットの社会実装においては、持続的運用が極めて重要であり、そのための仕組みやビジネスモデルを構築することが必要です。また、現場での活用を可能にするためには、性能評価の標準化や認証、制度・法規制の確立や研究・実証拠点の整備、さらにインフラ面では遠隔操作のための通信など、災害対応ロボットの社会実装のための環境・基盤整備が必要です。

そこで、本年度のテーマは「災害対応ロボットの社会実装」とし、災害対応ロボットを社会に普及させるための上記課題を解決するための方策を検討することにいたしました。経済産業省、文部科学省に加え、通信インフラを所管する総務省、現場を持つ組織である国交省、防衛省、消防庁、警察庁、自治体の方にもオブザーバーとして参加いただき、急速な導入が期待される無人航空機の性能評価や法規制はどうあるべきか、遠隔操作のキーでありロボット普及の前提となる通信の課題は何でそれをどのように解決するのか、さらに災害対応ロボット及び研究・実証拠点の持続的運用のためのコストはどれくらいでそれを誰がどのように負担するのか、といった具体的に実践課題を設定し、検討を行いました。

災害対応ロボットをはじめ、ロボットを活用して社会実装を進める仕組みの構築には、国家の戦略的な施策とリーダーシップが必要であります。この点を、本プロジェクトから具体的に提言いたします。

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）
サブリーダー： 秋本 修（日立製作所）、加藤 晋（産業技術総合研究所）
COCN 実行委員： 渡辺裕司（小松製作所）
WG1（制度・標準化検討 WG）： 主査：田所 諭（東北大学）
副査：大隅 久（中央大学）
幹事：神村明哉（産業技術総合研究所）、木村哲也（長岡技科大）
WG2（持続的運用検討 WG）： 主査：油田信一（芝浦工大）
副査：高橋 弘（東北大学）
幹事：森下博之（先端建設技術センター）
WG3（インフラ・通信検討 WG）： 主査：羽田靖史（工学院大学）
副査：北原成郎（熊谷組）
幹事：細田祐司（日本ロボット学会）

メンバー：

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、富士通(株)、JX 日鉱日石エネルギー(株)、三菱重工業(株)、三菱電機(株)、(株)小松製作所、(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)、千代田化工建設(株)、日立建機(株)、(株)本田技術研究所、富士重工業(株)、日本電気(株)、パナソニック(株)、ヤンマー建機(株)、積水化学工業(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)、双日(株)、新日本非破壊検査(株)、(株)アスコ、エンジニア・ビジョン RI.Inc.、知能技術(株)、アイコム(株)、北酸(株)、船山(株)、(株)ディーエスピーリサーチ、アイベックステクノロジー(株)、三菱電機特機システム(株)、東京大学、早稲田大学、東北大学、芝浦工業大学、大阪大学、長岡技術科学大学、中央大学、工学院大学、湘南工科大学、京都大学、九州工業大学、千葉大学、(独)産業技術総合研究所、(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、(独)情報通信研究機構、(独)海上技術安全研究所、(一社)日本ロボット学会

オブザーバー：

経済産業省、文部科学省、国土交通省、総務省、防衛省、消防庁、警察庁、福島県、福島県ハイテクプラザ、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、(独)宇宙航空研究開発機構、(一社)日本ロボット工業会、(一社)日本 UAS 産業振興協議会(JUIDA)、日本電信電話(株)、日本原子力発電(株)、(一社)電波産業会、防衛大学校、(独)科学技術振興機構

事務局：布谷 貞夫、田淵 俊宏（小松製作所）

【本 文】

1. プロジェクトの背景

日本の産業競争力を向上させるには、日本の技術力の強化、競争力のある技術の構築が必須である。本プロジェクトでは、災害対応ロボットの社会実装を通して、日本のロボット技術の高度化と、それによる産業競争力の強化を図るための提言を行う。

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 110 の活火山があり、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いる。

しかしながらこれまでの分析の結果、災害の発生はそれほど頻度が高くなく、市場も限定的であることから、民間の努力だけでは技術の開発・維持、社会実装を進めることが困難であることが明らかになった。また、需要も官需中心であることから、災害対応ロボットの活用に関しては、国が積極的に研究開発のみならず、運用・管理・配備を司る必要があることが明らかとなった。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し、安全・安心でレジリエントな社会の構築、国土強靱化を行う上で重要であるばかりでなく、日本の産業競争力強化の重要な柱となる。

ロボット技術は、センシング、移動、作業などを含む実世界情報通信技術であり、いわゆる「ロボット」と呼ばれる機器だけでなく、輸送機械、産業機械、医療福祉機器など、極めて多様で広範な機器やシステムに組み込まれる技術インフラである。すなわち、ロボット技術の高度化、技術力の強化は、単なるロボット産業の活性化だけでなく、ロボット技術が利用されるあらゆる日本の産業全体に波及効果を与え、日本の産業競争力を強化し、さらには日本の GDP の向上につながるという点で極めて重要である。米国や欧州では、製造業においても、ロボット技術開発を強化している。また中国、韓国においても、ロボット技術開発に対して多大な投資が行われている。このような状況の中、日本もこの流れに乗り遅れてはならない。日本がロボット技術において競争力を失うとその影響は極めて大きい。

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。それに対し、日本では軍事主導による産業競争力の強化という

構造を構築するのは困難であろうと考えられるが、災害対応（安全・安心）主導であれば、実現性は高い。日本が、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研究開発を強く後押しする。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。

以上のような考察から、本プロジェクトでは、災害対応ロボットの社会実装を通して、安全・安心なレジリエントな社会の構築、国土強靱化を実現するとともに、ロボット技術の強化・高度化、競争力のあるロボット技術の維持によって、日本の産業競争力の強化を図る。現状の技術的阻害要因だけでなく、社会的な阻害要因も洗い出し、その解決策を検討し、提言としてまとめるものである。

これまでに産業競争力懇談会では、災害時にロボット技術を導入して現場で災害対応を行えるようにするための様々な検討を行ってきた。2011～2012 年度には、「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、オペレーター訓練、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を提案した。またそれを受け、2013 年度には、「災害対応ロボットセンター設立構想」として、災害対応ロボットセンターに要求される機能を明確化し、それを実現する具体的な方策として、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と、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、災害対応ロボットの様々なフィールド性能評価と認証、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などに関して提言を行った。

本プロジェクトでは、災害対応ロボットの社会実装を目指して 4 年間行ってきた検討の集大成として、持続的運用を可能にするための方策について提言をまとめるとともに、災害対応ロボット社会実装とその持続的運用を実現する上で解決が求められる、特に重要な課題として、制度・標準化、インフラ・通信に関する課題を取り上げ、それぞれ WG を設置し、その解決のための提言をまとめることとした。

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「災害対応ロボットセンター設立構想」では、評価認証（WG1）・技術（WG2）・配備（WG3）に関するワーキング・グループ（WG）を組織して、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するために、平時（緊急でない災害現場や災害が発生していない状況）からロボット技術の継続的な開発・運用を行う組織の必要性和、その具体的な機能や運営の枠組みについて提言をとりまとめた。

評価認証 WG では、災害の種類や現場によって必要となる機能や評価フィールドが異なることから、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、それを活用したユーザーの訓練・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。

技術 WG では、災害対応ロボットに係るデータベースと無線通信技術について検討した。具体的には、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について、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ー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を行った。

配備 WG では、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、およ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4,000億円程度であることが導出された。

各WGでの検討の結果、有事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、平時から危険作業を伴う現場や社会インフラの保守点検、および実証試験などの訓練を通じた継続的利用の推進が必要であること、また平時から利用しつつ有事に迅速に現場に配備できる状況の実現には、図2. 1に示すような「災害対応ロボットセンター」の組織・体制の設立が必要である、との結論に至った。

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な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

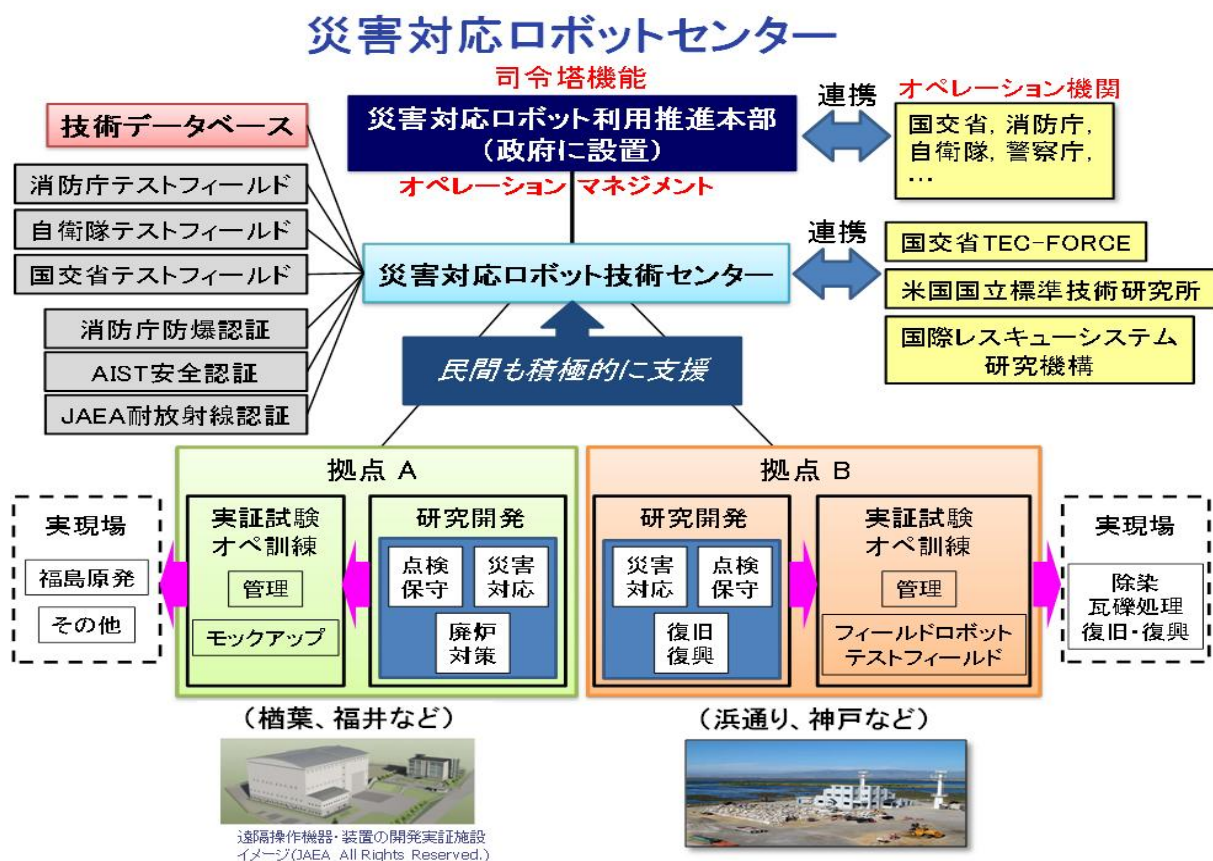


図 2. 1 災害対応ロボットセンターの組織構想

この提言については、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、次のような各府省の平成 26 年度計画に取り上げられている。

【内 閣 府】

SIP：インフラ維持管理・更新マネージメント技術（ロボット技術の研究開発）

ImPACT：タフ・ロボティクス・チャレンジ

【総 務 省】

災害対応のための消防ロボットの研究開発

スマートなインフラ維持管理に向けた ICT 基盤の確立

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）

【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

【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
災害対応等ロボット産業集積支援事業

【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
IT等を活用した社会資本の維持管理

【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

3. 今年度の検討課題

災害対応ロボットを社会実装するには、技術開発と実証試験だけに留まらず、平時においても継続的に使われるような持続的運用が極めて重要であり、必要なコストを負担するための仕組みやビジネスモデルを構築することが必要となる。また、現場での活用を可能にするためには、性能評価の標準化や認証、制度・法規制、さらにインフラ面では遠隔操作のための通信など、災害対応ロボットの社会実装のための環境・基盤整備が必要となる。そこで、本年度は、災害対応ロボットの社会実装を推進する上で解決が必要となる上記課題について、それぞれ WG を設置し、その解決のための提言をまとめることとした。各課題について、以下に詳細を述べる。

3. 1 持続的運用に関する課題

昨年度までの WG における議論では、災害対応ロボットの開発と導入という機器側の議論が中心であり、導入後にそれをどのように使うか、と言う利用の方法や体制に関する検討はまだ不足している。災害対応ロボットの社会実装と持続的運用のためには、この両輪を並列して回転させる必要がある。特に、災害対応ロボットは災害発生時にのみ活躍する“非”常用という宿命がある。このため、他の通常の機械や装備に比べて稼働率が低く、また想定される必要台数も一般的な製品ほど多くなく、災害対応ロボットを民間サイドで開発・供給するには厳しいビジネス環境となる。また、単発的な（ブーム型）の開発・供給では、実際に社会に貢献する災害対応ロボットが社会実装されることは期待できず、開発から運用までを持続的に実行できるしくみが必要であり、その「コスト」を誰がどのように負担するのかという課題にも帰着する。そこで今年度は、災害対応ロボットに類する機械、設備等が実際に持続的に運用されている事例を取り上げ、その運用体制やライフサイクルコストに関する調査を通じて、災害対応ロボットの持続的運用の実現に向けた課題や対応方策について検討する。

3. 2 制度・標準化に関する課題

災害対応ロボットの配備、実運用においては、ロボットの持つ機能・性能が現場での有効利用に十分なものであること、そして法的側面からも利用可能となっている必要がある。すなわち災害ロボットの社会実装には、機能・性能的側面において、災害現場の状況に対応して求められるロボット機能・性能の明確化、及びそこでの利用を可能とする制度の整備が必要である。昨年度は災害ロボット全般を対象として、災害現場で求められる機能と性能の項目の整理、及び利用にあたり整備の必要な制度・標準化の洗い出しを行った。今年度はその中でも実用化、経済的な観点から特に緊急性が高いと判断された小型飛行ロボットと防爆認証から検討を開始する。小型飛行ロボットについては、より具体的な性能評価項目と必要な性能を明らかにするとともに、その運用に不可欠な無人航空機の認証制度のあり方を検討する。また、法的側面からロボットの災害現場での利用を大きく制約している防爆性能について、その認証制度の必要性と具体的なあり方を検討する。

3. 3 インフラ・通信に関する課題

阪神・淡路大震災以降に行われた研究開発により、我が国の災害対応ロボット技術は大きく発展し、実用性が上がっている。東日本大震災では、東京電力福島第一原子力発電所の災害対応に多くの災害対応ロボットが導入され、その効果と重要性が確認されている。世界的にも先端である我が国の災害対応ロボットが遅れをとっている部分の一つに、通信とネットワークの問題がある。現状では各事業

者が既存の通信技術を応用し対処しているが、これらの努力は限界に達しており、さらなる災害対応ロボットの普及を促進するためには、政府による制度整備が必須となる。今年度は、災害対応ロボット用周波数帯の確保、空中線電力の現場調整の制度化、機材の実用化、災害対応ロボット無線特区の設置、関連団体によるコンソーシアム設置、等の課題を取り扱った。

4. 持続的運用に関する提言

4. 1 検討の背景

自然災害が頻発している。この半年あまりの間だけでも、長野県南木曾町土砂災害、徳島県阿南市那珂川の氾濫、山口県岩国市土砂災害、京都府福知山市浸水被害、広島県広島市の同時多発土砂災害、さらには9月27日の御嶽山噴火等、大規模な自然災害による甚大な被害が全国各地で発生している。いずれの被災箇所においても、人命救助や復旧作業が昼夜を問わず懸命に進められている。このような被災現場において災害対応ロボットが活躍し、社会に貢献する世界を実現することはまさに喫緊の課題である。

一方、災害対応ロボットは災害発生時にのみ活躍する“非”常用という宿命がある。このため、他の通常の機械や装備に比べて稼働率が低く、また想定される必要台数も一般的な製品ほど多くなく、災害対応ロボットを民間サイドで開発・供給するには厳しいビジネス環境となる。また、単発的な（ブーム型）の開発・供給では、実際に社会に貢献する災害対応ロボットが社会実装されることは期待できず、開発から運用までを持続的に実行できるしくみが必要であり、その「コスト」を誰がどのように負担するのかという課題にも帰着する。

本章では、災害対応ロボットに類する機械、設備等が実際に持続的に運用されている事例を取り上げ、その運用体制やライフサイクルコストに関する調査を通じて、災害対策ロボットの持続的運用の実現に向けた課題や対応方策について検討する。

4. 2 事例研究

災害対応ロボットに類する機械、設備等が実際に持続的に運用されている以下の4つの事例を取り上げ、その運用体制やライフサイクルコスト等に関する調査研究を行った。

- 国土交通省 TEC-FORCE（緊急災害対策派遣隊と災害対策用機械（排水ポンプ車等））
- 消防用機械器具（消防ポンプ自動車等）
- 防衛省装備品（戦闘機等）
- 無人化施工機械（遠隔操作式建設機械）
- 除雪機械

4. 2. 1 国土交通省 TEC-FORCE（緊急災害対策派遣隊と災害対策用機械（排水ポンプ車等））

国土交通省 TEC-FORCE とは、大規模な自然災害等に際して被災状況の把握や被災地方自治体の支援を行い、被災地の早期復旧のための技術的支援を迅速に実施することを目的としたものである。支援活動には、国土交通省が河川管理、道路管理のために自ら保有している災害対策用機械の活用も含まれる。主な特徴を以下に示す。

- 国土交通大臣（災害対策本部長）の指揮命令のもと、全国の各地方整備局等の職員が活動
- 通常業務を行っている国土交通省（各地方整備局等も含む）の職員合計 6,609 名（平成 26 年 5 月 19 日現在）をあらかじめ任命し、災害発生時に状況に応じて派遣
- 災害対策用機械は、被災時の迅速な対応のため、あらかじめ各地方整備局に分散配備し、小規模災害時は各地方単位で、大規模災害発生時には全国各地方整備局から終結して対応
- TEC-FORCE 隊員や、災害時における災害応急対策業務に関する協定を締結した民間企業に対する機材使用の講習会等も定期的開催

緊急災害対策派遣隊(TEC-FORCE)の隊員数

TEC-FORCE隊員は全国の地方整備局を主体に任命されており災害の規模によっては全国から集結
※ほか、国土交通省本省、地方運輸局等、国土技術政策総合研究所、気象庁、国土地理院から構成されており、専門性を活かした調査、技術指導等による自治体支援を実施

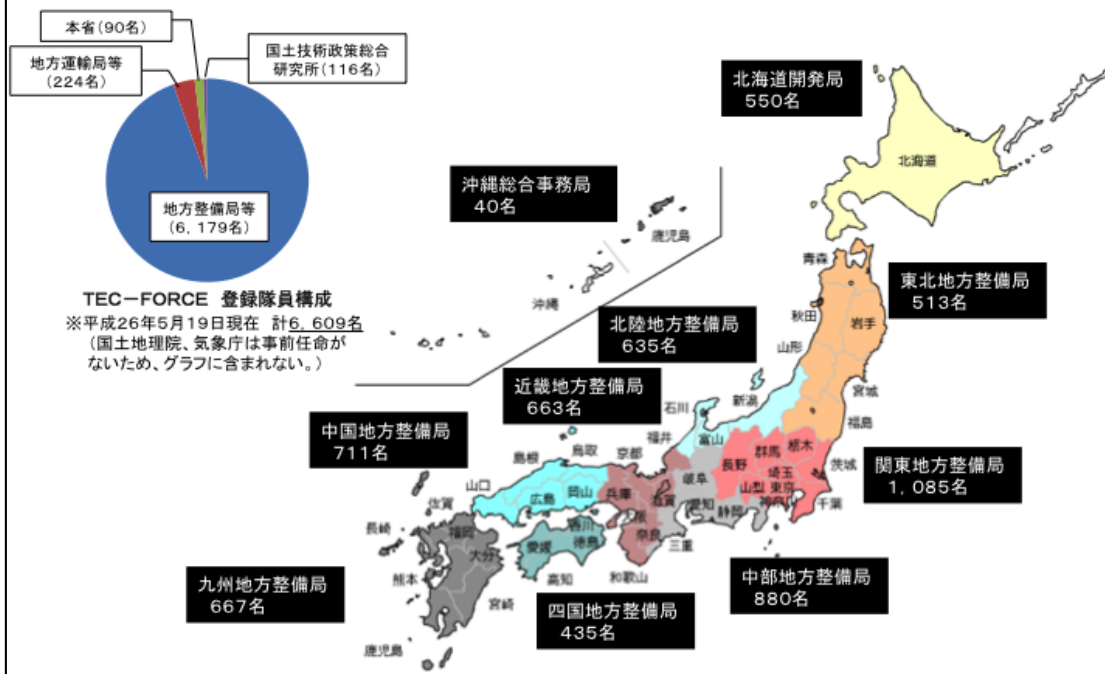


図4. 1 緊急災害対策派遣隊(TEC-FORCE)の隊員数(国土交通省 HP より)

国土交通省の災害対策用機材の配備状況

大規模な災害には全国の機材が集結し支援を行います。

地整名	排水ポンプ車	照明車	対策本部車 待機支援車	遠隔操作式 バックホウ	衛星通信車	Ku-SAT	ヘリコプター	備 考
北海道	27	15	8	1	4	14	1	
東北	45	29	10	2	4	19	1	
関東	41	41	25	2	9	29	1	
北陸	39	37	11	4	3	20	1	
中部	36	34	15	2	6	17	1	
近畿	32	27	17	1	7	21	1	
中国	33	24	6	1	5	16	0	ヘリコプターは 四国地整と 共同管理
四国	33	28	11	2	5	8	1	
九州	60	24	9	1	4	16	1	
沖縄	1	3	1	0	1	6	0	
計	347	262	113	16	48	166	8	



排水ポンプ車



照明車



対策本部車



衛星通信車



小型画像伝送装置 Ku-SAT

その他の機材

土のう造成機(22台)、応急組立橋(30橋)の他、
散水車、橋梁点検車、側溝清掃車、路面清掃車など

平成26年4月1日時点

図4. 2 国土交通省の災害対策用機材の配備状況(国土交通省 HP より)

4. 2. 2 消防用機械器具（消防ポンプ自動車等）

市町村に設置された消防本部及び消防署には専任の職員が勤務しており、平成 25 年 4 月 1 日現在では、全国に 770 消防本部、1,700 消防署、消防職員は 16 万 392 人となっている。また、消防団は市町村の非常備の消防機関であり、その構成員である消防団員は、他に本業を持ちながらも、権限と責任を有する非常勤特別職の地方公務員として消防・防災活動を行っている。平成 25 年 4 月 1 日現在、全国の消防団数は 2,224 団、消防団員数は 86 万 8,872 人であり、消防団はすべての市町村に設置されている。

消防本部及び消防署においては、消防活動に必要となる消防ポンプ自動車、水槽付消防ポンプ自動車、はしご付消防自動車、化学消防自動車、救急自動車、救助工作車、消防ヘリコプター等が配備されている。また、消防団においては、消防ポンプ自動車、小型動力ポンプ付積載車、救助資機材搭載型車両等が配備されている。

これらの消防車両等の保有数を表 4. 1 に示す。

表 4. 1 消防車両等の保有数（平成 25 年版消防白書より）

（平成 25 年 4 月 1 日現在）（単位：台、艇、機）

区 分	消防本部	消防団	計
消 防 ポ ン プ 自 動 車	3,912	13,536	17,448
水 槽 付 消 防 ポ ン プ 自 動 車	3,817	903	4,720
は し ご 自 動 車	1,214	0	1,214
化 学 消 防 車	1,016	3	1,019
救 急 自 動 車	6,073	0	6,073
指 揮 車	1,857	860	2,717
救 助 工 作 車	1,243	0	1,243
林 野 火 災 工 作 車	52	17	69
電 源 ・ 照 明 車	76	61	137
小型動力ポンプ付積載車	444	35,309	35,753
そ の 他 の 消 防 自 動 車	8,415	1,691	10,106
手 引 き 動 力 ポ ン プ	1,276	2,811	4,087
小 型 動 力 ポ ン プ	1,861	13,714	15,575
消 防 艇	44	18	62
消 防 ヘ リ コ プ タ ー	32	0	32

（備考）「消防防災・震災対策現況調査」、「救急業務実施状況調」、「救助業務実施状況調」により作成

これらの消防機械器具の耐用年数については、市町村毎に消防機械器具管理規定で定められており、その一例を表 4. 2 に示す。

表 4. 2 消防機械器具の耐用年数（一例）

分 類		耐用年数
消防車両	指 揮 車	10 年
	消 防 ポ ン プ 自 動 車	10 年
	高 機 能 消 防 自 動 車	15 年
	救 急 自 動 車	6 年又は 10 万キロメートル
	そ の 他 の 自 動 車	10 年
消防器具	ホ ー ス	7 年
	上 記 以 外 の も の	10 年（製造元において、耐用年数が 10 年以上とされているものは、その年数とする）

さらに、使用期限や保証の期限、修理の対応年数及び交換部品の供給対応年数については、ぎ装メーカーが設定して使用者へ提示することが安全基準で定められており、例えば、はしご車で 17 年、ポンプ車で 15 年という事例がある。

これらを踏まえ、購入費用と運用費用（車検費、オーバーホール等の整備費用及び廃棄費等）を含めたライフサイクルコストの一例として、はしご車（40m 級）では約 2 億 4,500 万円（購入費用約 1 億 8,000 万円、運用費用約 6,500 万円）、ポンプ車では約 1,600 万円（購入費約 1,300 万円、運用費用約 300 万円）という試算例がある。はしご車はオーバーホール（例えば 7 年（または 1500h）と、その後 5 年（またはその後 1000h））を実施するため、運用費用が大きくなっている。ただし、これは機械の調達や維持のみのコストであり、運用やオペレーター・訓練のコストは一般の消防の活動経費によっている。

なお、消防用機械器具も非常用機械であるが、自然災害を対象とした国土交通省災害対策用機械や無人化施工機械よりも稼働率は高いと考えられる。

4. 2. 3 防衛省装備品（戦闘機等）

平成 20 年度以降、防衛省装備品のライフサイクルコスト管理が行われている。装備品を取得するために必要なコストを量産単価だけでなく、構想、開発、量産、運用・維持、廃棄に至る過程（ライフサイクル）に必要な総経費として考え、費用対効果の検討を踏まえた取得判断やコスト面の説明責任の強化、運用・維持段階におけるコスト低減施策などを踏まえた意思決定を目的としている。

（ただし、人件費については算出の困難さからライフサイクルコストにはまだ算入していない）

装備品の取得に関しては、昨今の個々の技術の進展による装備品の高性能化・複雑化に伴い開発・製造コストが上昇し、装備品の取得単価を押し上げている。厳しい財政事情の中、取得単価の押し上げは、調達数量の減少を招来する。調達数量の減少は、さらなる取得価格の高騰を招くことから、企業の事業性はますます低下する悪循環の傾向が指摘されている。

このため、これまでのコスト抑制の努力に加えて、装備品のライフサイクル全般を見据えながら、限られた資源で最大の効果を得られる装備品の取得を行う方策が求められており、取得時点の単価だけでなく、ライフサイクルコストの視点から費用対効果の優れた方策を測る指標としてライフサイクルコスト管理が導入されている。

「平成 25 年度ライフサイクル管理年次報告書（装備施設本部）」では、26 種類の対象装備品ごとにライフサイクルコストの見積金額と現時点までの実績値、見積金額のベースライン等が公開されている。装備品の特徴の一つとして、運用・維持が長期間（例えば戦闘機（F-2）では 30 年）となることから、運用・維持段階のコストが大きな割合を占めていることが分かる。

4. 2. 4 無人化施工機械（遠隔操作式建設機械）

無人化施工は、建設工事を遠隔地より安全かつ円滑に行うことを目的に、ラジコン装置等を取り付けた建設機械群をオペレーターが遠隔地より操作する技術である。本格導入の先駆けとなった長崎県の雲仙・普賢岳の噴火にともなう復興工事において砂防堰堤の築堤、構造物設置、除石工事に採用された他、最近では雲仙・普賢岳のみならず各地の災害復旧工事や福島第一原子力発電所の緊急対応や廃炉に向けた瓦礫撤去等にも適用されている。遠隔操作式建設機械の種別も、ブルドーザ、バックホウ、ダンプトラック、不整地運搬車、振動ローラー、移動式カメラ車、通信中継車など広範囲に展開

されている。

雲仙・普賢岳では 1994 年の試験施工以降、現在まで 20 年以上にわたり継続して事業が実施されており、これが無人化施工機械の持続的運用の大きな柱となっている。しかしながら、最近では民間企業が保有する遠隔操作式建設機械は年々減少しており、現状では全国で 100 台を割り込んでいる状況にある。これは、以下のような理由により、老朽化機械の更新が経済的に困難であることが主な要因である。

○通常の建設機械を遠隔操作式に改造するためのコストが非常に大きい（1 千万以上コスト増）

○遠隔操作式建設機械は平時には通常の建設機械（オペレーター搭乗）として使用していることからベースマシンとなる建設機械の稼働率は比較的高いが、無人化施工機械としての稼働率は低い。遠隔操作式への改造費や付加機器のコストは、無人化施工機械として使用できる工事だけで回収することとなるが、そのような工事が少ない。

この無人化施工はほとんどが国の事業として進められているが、機器の利用は事業を受注した企業活動の一部として行われている。この点は、他の 3 例と異なっているところである。

4. 2. 5 除雪機械

豪雪地帯対策特別措置法の対象となる豪雪地帯は国土の約 51%の面積で人口の約 15%が生活する。雪害は降積雪による交通機関、農作物、構造物などが受ける直接的な被害とそれによって生じるサービス機能の低下等の間接的な被害がある。雪害の低減対策のひとつとして除雪は不可欠なものである。道路の除雪について「積雪寒冷特別地域における道路交通の確保に関する特別措置法（雪寒法）」で、除雪（除雪機械含）、防雪、凍雪害防止の 3 事業が制度化され、実施されている。しかし、防災科学研究所の「平成 18 年豪雪時の雪害種別件数及び死者数」や新潟県警察本部の「雪道における事故（平成 20～24 年平均）」のような豪雪地帯の現状がある。

道路除雪は新雪除雪、拡幅除雪、運搬排雪、路面整形、歩道除雪、凍結防止などがあり、除雪トラック、除雪グレーダ、ロータリー除雪車、歩道除雪車、小型除雪機、除雪ドーザー、雪底処理車、凍結抑制剤散布車、ダンプトラックなどが用いられる。これらの機械は除雪工事の発注者となる道路管理者（国・地方公共団体）と受注者となる各地域の建設会社、そしてリース業者等が保有する。除雪機械の保有状況に対応して契約され、除雪が実施される。除雪業務について全国建設業協会から「積雪地域の安定的・継続的な除雪体制の確保に向けて」（平成 22 年 3 月）で降積雪状況に影響される経営の不安定、除雪機械の維持管理の負担、オペレーターの確保の問題が指摘された。これに対して「冬期道路交通の確保のあり方に関する検討委員会」（国土交通省）が設置され、除排雪にあたり留意すべき点として平成 25 年に「地方自治体による除雪機械の貸与や発注方法の工夫による除排雪体制の確保」などが提言されている。

私有財産の住居などはその所有者などによって除雪される。雪かきには雪はね（雪べら）、各種スコップ、プッシャー、スノーダンプ、つるはし、雪底切りなどの道具、そして小型除雪機などが用いられる。しかし、消防庁の「平成 18 年豪雪による死者の概要」に示されるように屋根の雪下ろし等や除雪作業中、そして 65 歳以上の死者数が多い現状にある。地域の過疎化・高齢化の中、除雪問題を改善するために除雪ボランティア募集などの取組みが行われている。

4. 3 災害対応ロボットの保有・使用形態について

災害対応ロボットは、国や地方自治体等の公的機関がメインユーザーとなることが想定される。また、プラント等の民間管理施設の被災への対応について管理者である民間企業がユーザーとなることが想定される。ここで、検討すべきことは、そのユーザーにおける利用や運用のための体制とそこに要するコストである。

災害対応ロボットの保有・使用の形態として考えられる案について、以下に整理する。

4. 3. 1 既に持続的に運用されている類似機械の保有・使用形態を適用する案

現在の災害対応機械の事例をもとに、その保有・使用形態を整理すると、概ね以下の4つのタイプに整理できる。

- (A) ユーザーである公的機関がロボットを保有・運用
- (B) ユーザーである民間企業がロボットを保有・運用
- (C) ユーザーでない民間企業が保有・運用するロボットを公的機関が使用
- (D) ユーザーでない民間企業が保有・運用するロボットを民間企業が使用

これまでに検討した事例においては、国土交通省災害対策用機械、消防用機械器具（消防ポンプ自動車等）、防衛省設備はすべて（A）に分類できる。ただし、運用については、各公的機関が直接運用するケースの他に、事前に災害協定を締結した民間企業等が公共機関等の保有するロボットを使用して災害復旧工事を行うケースがある。これらの機械・装備は、各公的機関がその責務（国土交通省は水防・砂防・河川や道路等の社会インフラの保全及び管理、消防は火災の防御、災害の防除、救急や救助、行方不明者の搜索等、防衛省は自衛隊災害派遣要請に基づき人命・財産を保護する応急救護及び応急復旧）を果たすために必要不可欠な機械・装備であり、いざというときに直ちに出勤できる即時性と、確実に稼働する信頼性が求められる。このため、ユーザーである公的機関が自ら保有し、日常的な訓練・整備を通じて確実に運用する体制を構築しており、そのためのコストは税金（国民負担）により賄われている。

一方、無人化施工機械（遠隔操作式建設機械）については、（A）から（D）の全てのケースが存在する。現存する無人化施工機械の大半は、人が立ち入ることができない場所での工事を受託した民間企業（施工会社）が、その工事を遂行するために必要な設備として導入されたものであり、施工会社（ユーザー）が直接保有する（B）と、施工会社がリース・レンタルを利用して調達する（D）ケースが存在する。それとは別に、国土交通省では、通常の建設機械の運転席に搭載可能な遠隔操作ロボットを保有・運用している。さらに近年では、遠隔操作式バックホウ（ヘリでの輸送を考慮した分解組み立て型）についても各地方整備局への配備が進められており、これらは（A）に分類できる。さらに、リース・レンタルの無人化施工機械を公的機関が災害時の緊急対応に使用するケースもあり、この場合は（C）に分類できる。

災害対応ロボットの持続的運用を検討するにあたり、これらの4つの分類のどのケースが想定されるかについて、考慮する必要がある。例えば、広島県広島市の同時多発土砂災害や御嶽山噴火を含む最近の災害対応時において、無人航空機による被災状況調査が行われるようになりつつあるが、これは、国や地方自治体の要請により民間企業が保有する無人航空機が使用されているケースが多い。

4. 3. 2 リセッション方式（運営権の売却）

新しい考え方として、リセッション方式を適用する案もある。初期投資は国が行い、ロボット自体の使用、運用方法、そのメンテナンス、管理は民間が行う方式である。民間の知恵を積極的に活用することで、これまで考えつかなかった平時の適用先が見つければ、災害対応ロボットの持続的な運用が可能となる。もちろん、災害発生時には民間に利用しているロボットを即時に災害対応に回すしくみが不可欠である。

4. 4. 持続的運用の実現に向けた課題と対応方策

災害対策ロボットの持続的運用を実現するために、民間側の努力のみでは解決できない課題について、3つのフェーズ（開発の促進、開発から社会実装、社会実装から持続的運用）に分けて、それぞれ考えられる対応方策を以下に整理した。

4. 4. 1 開発の促進

現在の災害対応ロボットは、すでに確立された技術があつて単に機器を開発・製作して使おうという段階にはない。現在、災害対応ロボット技術やロボットは、萌芽的技術として存在し、個別の災害時の状況毎にその利用が期待されている状況にあり、個別のニーズに応じた開発を継続的に続けることが不可欠である。

4. 4. 1. 1 災害発生による想定損失の一定割合を開発費として継続的に予算化

特に大規模な災害が発生した場合は、対応の遅れによる経済損失は膨大となることは容易に推測される。しかしながら、災害対応に必要な技術開発は、これまで述べたように開発成果がビジネスとして成立しづらいことから、何らかの大規模災害や事故が発生したときに短期的かつ最小限の範囲で研究開発の予算化が都度なされるケースが多い。しかしながら、特に近年の自然災害の発生頻度の多さや規模の甚大さを鑑みると、計画的かつ十分な開発予算を国主体で継続的に予算化することが必要である。具体的には、過去の災害発生事例等から将来の発生損失額を事前に算出し、災害対応ロボットによる軽減できると考えられる一定の割合を毎年継続的に予算化し、これを原資に産官学一体となって研究開発に取り組むスキームを構築する。

継続的な開発スキームが実現すれば、民間側もビジネスとしての成立が見込めるほか、構想段階から国や地方自治体のニーズをしっかりと把握して技術開発に取り組むことが可能となる。また、システムインテグレーション技術ともいえるロボットの技術開発を支えるセンサー、通信機器、機械、建設、インフラ維持管理、プラントなどの異分野技術の融合が促進され、実際に役立つ災害対応ロボットの開発に繋がることが期待できる。

4. 4. 1. 2 機能のモジュール化とインターフェイスの標準化

使用場面や目的が異なる専用のロボットをそれぞれ個別に準備するのではなく、機能モジュールを必要に応じて自由に組み合わせることにより、導入コストの低減と稼働率の向上が期待できる。具体的には、官民協同の研究体制を構築し、実際の災害対応のニーズをしっかりと把握した上で、災害対応ロボットに求められる機能を適切にモジュール化し、それらの機能を容易に組み合わせることができるハードウェア、ソフトウェアのインターフェイスについて研究開発を行う。さらには、インター

フェイスを共通化、標準化する。これにより災害対応以外のロボットへの拡張も可能となり、用途のさらなる拡大が期待できる。

4. 4. 2 開発から社会実装へ

4. 4. 2. 1 運用サイド（ユーザー）の主体性と技術力の確保

明確なニーズがあり、それを何とかしようとするユーザーが存在することが、ロボットが「使える道具」に育っていく。使える道具が出てくれば、それを使用することで新たなフィードバックも得られ、更に使いやすいロボットの開発を目指すという好循環が生まれる。「使える」ロボット開発には、ユーザーがリードすることが必要である。

また、災害現場の状況は様々であり、かつ時々刻々と変化する。災害対応ロボットも状況に合わせて短時間にその最適化を図る必要がある。例えば、福島第一原子力発電所の事故対応で導入された「Quince」も状況に合わせた改造が行われている。運用組織には、このように、開発者と一体となって災害対応ロボットの状況に合わせた改造を短時間で実施する能力が要求される。

このため、「ニーズ」を感じている既存の各組織における技術力の確保、あるいは、その「ニーズ」にドライブされた新規ユーザー組織の創出を推進する必要がある。

4. 4. 2. 2 国交省・経産省連携「次世代社会インフラ用ロボットの現場検証・評価プロジェクト」の継続的实施

災害対応ロボットを実用化して社会実装していくためには、実際の災害現場等を用いて検証・評価を行う「次世代社会インフラ用ロボットの現場検証・評価プロジェクト」はこれまでにない画期的な取り組みであり、今後も継続すべきである。検証・評価に必要なコストについて、国土交通省が予算化しているが、当面は平成 26～27 年度の 2 カ年の取り組みとされており、3 年目以降の継続性については未定である。

継続的に取り組むために、5 つの重点分野（橋梁点検、トンネル点検、水中心点検、災害調査、災害応急復旧）を同時に進める代わりに、例えば毎年 1 つの重点分野を対象に検証・評価することで検証・評価のコストを削減し、5 つの重点分野を 5 年で一巡させることも一案である。毎年でなくても数年に 1 度の検証の機会があれば、民間の研究開発や、より高い評価を得るための技術革新を進めるモチベーションになると期待できる。

国による継続的な予算確保が困難な場合においても、開発者のコスト負担により検証・評価を受ける制度として継続する可能性について検討すべきものと考えられる。

さらに、検証・評価の結果、役立つことが明らかとなったロボットに対する認定制度のようなものを創設し、民間企業が調達・維持する費用の補助や、ロボットによる作業効率の低下分の補填、固定資産税などの免除、PL 免除、保険付与などの支援策を講じることも考えられる。

ロボットの利用が期待できる現場を提供し、そこで実際にロボットを利用して評価することは、国家戦略にもなり得る取り組みである。例えばデンマークでは、日本のロボットメーカーにデンマークでそのロボットを利用する機会を与え、それを評価することで、ロボット介護先進国になることを国家戦略として推進している。実際に持ち込まれたロボットを、技術的のみならず、経済性、マンパワー、介護効果などの視点から評価して、その導入の可否を判断するというものである。このような活動を通じて、ロボットを介護に活用するノウハウを蓄積するとともに、その社会制度も含めたロボ

ット介護先進国となることを、デンマークの国家戦略として推進している。

「次世代社会インフラ用ロボットの現場検証・評価プロジェクト」は、上記福祉分野でのデンマークの試みの、社会インフラメンテナンス分野と災害対応分野版と位置づけることもできる。国土交通省にはインフラメンテナンスや災害対応にロボットを活用するノウハウが蓄積され、ロボットによるインフラメンテナンス、災害対応先進国となり得る。また、評価結果を地方自治体等他のポテンシャルユーザーと共有することにより、社会インフラ用ロボットのさらなる普及、産業化が促進され、ひいては地域活性化にも資することも期待できる。

4. 4. 3 社会実装から持続的運用へ

4. 4. 3. 1 国・公的機関等による災害対応ロボットの調達・配備の制度化

災害対応に特化したロボットなど、災害対応以外の用途への転用が難しい場合は、災害対策を担う公的機関（国土交通省、防衛省、消防庁、警察庁等）や指定公共機関（電力、ガス、高速道路会社等）がロボットを装備品として調達・配備し、持続的に運用できるような法制度の整備（配備の義務化等）及び必要な予算措置を継続的に講じる必要がある。これによって購入者が明確となり、一定規模の販売台数が見込めるようになれば、災害対応ロボットの製造、販売、メンテナンス等を受け持つ民間企業が増える可能性がある。

はしご車を例にとれば、国内保有台数約 1000 台、実質 15～20 年で更新されたとすると、年間 50 台程度の販売が継続することとなり、供給側のビジネスが成立している。また、購入費用と維持運用費用を合わせると 1 台あたり年間 1 千数百万円規模の大きなコストがかかるが、他に替えられない価値のある機械のため消防本部がコストを負担している。国土交通省の排水ポンプ車も同様であり、内水排除のために欠かせない機械として、約 350 台の排水ポンプ車を持続的に運用している。さらに TEC-FORCE の活動を支援する情報収集用無人航空機の利用も一部で始まっている。現状では民間保有機を利用しているが、この有効性が確認されれば TEC-FORCE の装備として配備されることも十分に考えられる。

これらのように、災害対応ロボットにおいても、他に替えられない価値を生み出し、購入者を明確にし、一定規模の台数を継続的に購入するしくみが必要である。

4. 4. 3. 2 海外への積極的な展開支援

災害対応ロボットの海外への展開について、国が積極的にアピールして、各国での導入の促進を促す努力も必要である。2011 年に甚大な洪水被害を受けたタイへの排水支援のために、国土交通省が保有する排水ポンプ車 10 台が初めて海外に派遣され活躍した。その後、タイにおいて日本の排水ポンプ車の導入が始まっている。

さらに、災害対応ロボットの海外展開分野としては、危険物除去や廃棄物処理等、災害対応以外の用途も考えられる。

4. 4. 3. 3 運用サイド（民間ユーザー）に対する支援

現在、災害対応ロボットやインフラ点検用ロボットの開発に対して、NEDO 等から開発費が支援されている。しかしながら、開発の先にある「事業化」や「市場」は全て経済原則に任されており、企業においても開発・市場参入の意思決定がなされにくい要因となっている。開発に対する支援だけ

でなく、ロボットの運用サイドに対する支援（購入費・運用経費の補助等）が必要である。一定規模の市場が形成されれば、たとえ開発に対する支援がなくても、ロボットメーカーは自ら開発を行い、事業に参入し、運用をサポートするメンテナンス体制を構築することが可能となる。さらには、形成された市場で勝ち残るために、よりニーズに対応した「使える」ロボットの開発に繋がるものと考えられる。運用サイドに対する支援としては、導入のためだけを考えても、購入費の補助等のほかに、オペレーターの訓練施設の設置やトレーニング費用の補助などが有効と考えられる。

4. 4. 3. 4 持続的な利用場面の創出

災害対応ロボットが“もしも”の時に役立つためには“いつも”利用されていなければ使えないし、持続的に存在できない。このためには、以下のような方策が考えられる。

（１）長期間利用できる現場の意図的設置・活用

雲仙・普賢岳では 1994 年の試験施工以降、現在まで 20 年以上にわたり継続して事業が実施されており、これが無人化施工機械の持続的運用の大きな柱となっている。今後、福島第一原子力発電所の廃炉作業のような長期間にわたる利用現場が災害や事故等によって発生することを待つだけでなく、長期間利用する現場を意図的・積極的に設置・活用することも必要である。

具体的には、通常であればロボットを導入しないような現場においても、あえてロボットを導入することを推進する。これにより、平時からロボットを利用する環境が生まれ、維持管理も進み、オペレーターも育成される。当然、通常よりも費用がかかるため、災害対応ロボットの持続的運用のために必要なコストとして、国が助成する制度等が必要となる。

ノーリフトポリシーで人搬送器具が発達した例や、塵埃災害防止条例で解体用遠隔操作ロボットが産業化した事例も参考とすべきである。

（２）訓練で利用する

各機関の防災訓練や全国各地で行われている水防演習等に積極的に参画し、災害対策ロボットの稼働頻度を高めるとともに、積極的な PR 活動を通じて持続的運用のためのコスト負担の必要性について国民の理解を得られるように努める。

（３）平時にも利用する

災害対応だけでなく他の用途にも適用できるロボットであれば、普及台数の拡大や稼働率の向上が見込めることから、販売価格やメンテナンス費用を低減できる可能性がある。さらに、常に利用されることで作業員のスキル向上にもつながる。災害対応時にそのまま適用できる場合は問題ないが、改造が必要となる場合も想定される。これには構想段階からデュアルユースを想定したロボット開発も必要となる。例えば、危険物の処理など災害対応に近い用途での活用や、社会インフラの点検やパトロールなどへの活用なども考えられる。

特に、石油化学コンビナートや製鉄所などのプラントを対象とした災害対応ロボットを継続的に運用するためには、災害発生時の調査や初期対応のみでなく、平常時に稼働中のプラントの見回り監視や補修、休止中の点検、保守、改修などの作業に役立つことが求められる。ロボットを平常時の保守点検に使用することにより、保守にかかる期間や工数を削減できるなど、プラントオーナーのコストメリットも期待できる。

4. 4. 3. 5 建設機械の災害時対応化（遠隔操作式への改造）のコストの支援等

無人化施工（遠隔操作式建設機械）の平時には通常の建設機械として稼働しており、ベースマシンとしての稼働率は高い。しかしながら、遠隔操作のための改造費や付加装置に要するコストが1千万円以上かかり、そのコストを回収できるだけの無人化施工の現場が今はなく、なかなか老朽化機械の更新がなされないという状況にある。

稼働率の低い無人化施工機械のコストを民間企業が回収できるように、工事積算に用いる損料を上げるなど、通常の建設機械を遠隔操作式に改造する（老朽化した遠隔操作式建設機械を更新する）インセンティブを付与するしくみが必要である。

一方、建機メーカーでは、国土交通省が普及を促進している「情報化施工」に対応した建設機械の開発が進んでいる。これにより、施工の効率化・高精度化、ベテランオペレーター減少への対応という平時利用におけるユーザーのメリットのみならず、ベースマシンの電子制御化が進むことで、遠隔操作化に必要な電子・油圧部品が減少することとなり、遠隔操作式への改造コストの低減にもつながる。また、作業の一部が自動化されることにより、遠隔操作による作業効率の低下（搭乗操作に比べて約4割程度低下）を補うことも可能となり、これまで遠隔操作を導入していない工事においても、より安全に作業を行うために遠隔操作を導入することも期待できる。また、GPS 等による所在地把握の標準搭載も進んでおり、災害緊急時における建設機械の迅速な手配が可能となる。官民一体となって、情報化施工対応建設機械の普及をさらに推進することが求められる。

4. 4. 4 持続的に運用するための担い手について

4. 4. 4. 1 災害対応ロボットの開発から運用に至る各フェーズの担い手について

災害対応ロボットの社会への実装は、それを担う人なしに進めることはできない。したがって、これを実際に開発し配備して使っていく担い手をしっかり想定する必要がある。また、場合によっては、その担い手を育てることが求められる。災害対応ロボットの社会実装においては、その開発・製造から、その配備・維持・運用に至るまでのフェーズ毎に、その担い手が異なると考えられる。これらの各フェーズの担い手は、原則として、各々、それを得意とする者が分業して担当することになる。

一方、災害対応ロボット技術は、現在も、そして将来にわたっても、進歩し続けるべきであり、実使用の経験をフィードバックしながら、技術やシステムのレベルの向上を図っていかなければならない。そのためには、開発の担い手と運用の担い手の間の十分な情報の共有化が不可欠であり、可能なら、開発者と運用者が同一組織であることが望まれる。

さて、災害対応ロボットは、対象となるべき災害の種類によって、それが果たすべき役割も大きく異なっている（2013 年度の本プロジェクト報告書、p.10～）。したがって、これらを一律に議論することには若干無理がある。しかし、ここでは、一般論として可能な範囲で検討を加えることにする。災害対応ロボットの担い手としては、国や地方自治体、公的機関、防災活動を行っている NPO、企業、個人が考えられる。が、国や地方自治体や公的機関は、必要に応じて全体の企画を行い、それらのための経費を負担するが、原則として具体的なこれらの各フェーズを分担して作業を進めるのは企業である。災害対応ロボットの開発・運用を、

① 機械（災害対応ロボットシステム）を開発・製造・メンテナンスするフェーズ。

② 災害対応ロボットシステムを保有して運用し、災害時に出動するフェーズ

に分けた場合、各企業は、これらの各フェーズを、ロボットの販売、あるいは、作業の受注等により、

経済活動として担うこととなる。

4. 4. 4. 2 担い手となりうる企業の業種・分野について

これらの各フェーズを担う企業としては、以下の業種が想定される。このように災害対応ロボットを社会実装していく上では、製造業からサービス業に至る幅広い業種の参画が期待される。

① 開発・製造、および、機械のメンテナンスのフェーズ

ここを担当するのは、原則として、機械等の製造業である。開発については、大学・研究所等の協力を得ることもあるが、製造業の企業がロボットシステムの具体的な設計を行い、それを製造する。一般に、製造と言っても大量生産ではない。したがって、既存の商品化されているシステムを改造することがこの製造に当たることもあろう。

また、メンテナンスについては、メンテナンス・修理の専門企業が考えられる。とくに、市場の規模を考えると、製造する企業を横断して、多社の製品のメンテナンスを一つの企業が担うのが適切な場合もあろう。（たとえば、メンテナンスの専門企業である、(株)テック（常陸大宮市）は、複数の製造会社の家電製品を対象に全国規模の範囲でメンテナンスを行っている。）

② 配備・保有・運用のフェーズ

このフェーズの主な担い手は、製造業よりサービス業が想定される。

運用の担い手としては、災害時に実際に調査等を行うコンサルタント会社、あるいは、警備会社、さらに、建設業（オペレーターが操作する機械による作業の担当者である）、プラントの検査やメンテナンス業、あるいは、人材派遣業などが考えられる。

また、保有については、レンタル業も想定できる。たとえば、建設機械については、現状でもレンタル業者が保有する例が多い。

このフェーズでは、各企業が得意な形態を持ち寄る形となってよいが、責任を持って運用の主体となる企業は必要である。

4. 4. 4. 3 担い手企業の規模について

災害対応ロボットの開発から運用までを担いうる企業には、その規模についてもいろいろな幅が考えられる。大企業や中堅・中小企業について、各々有利な点と不利な点が各々存在する。これについては以下のようにまとめられる。

A. 大企業、全国規模の企業

- 高い技術力
- 広い視野や、情報ネットワークを持つ
- × ビジネスとして取り組むためには一定の大きさのマーケットが必要で、ニッチな分野には入りにくい。
- × 冒険ができない

B. 中堅・中小企業、地域企業

- △ 専門分野については技術力を持つが、カバーする分野の巾は狭い
- 地域に根ざす企業は、その地域の災害についての情報や経験を有する
- 小回りがきくため、機動力がある
- × 広範囲な分野に技術を持ってシステム全体を構築することが難しい

- × 資金力の不足等により、長期的な取り組みができてにくい

4. 4. 4. 4 検討すべき担い手のモデル

災害対応ロボットを開発し運用するのにかかる経費は、社会の合意の下で国や公的機関が負担するとしても、マーケットとしてはニッチなサイズである。したがって、それほど大きなビジネスは期待しにくい。大企業はなかなか参入しにくい状況にある。いっぽう、災害対応ロボットは、開発も運用もかなりの技術力やマネージメント能力が必要であり、中小企業にとっても、参入は簡単ではない。

これを解決するためには、中堅・中小企業が参加できるよう、次のようなモデルを検討する必要がある。

- 大企業のグループにある中堅企業が、グループの技術力と人材、および、独自性による小回りがきくことを活かして、システムの開発を担う
- 大企業の有する技術を吸い上げて中小・ベンチャーに移転しその事業とする仕組み。あるいは、大学・研究機関の技術開発と人材育成の機能を、中堅・中小の企業に連結する仕組みを構築する。
- 地域を中心とした中堅・中小企業の連合体として、災害対応ロボットの製造・維持から運用までを通して担当できる、企業グループを育成する。

4. 4. 5 人材の育成

実際に災害時に有用に働くロボットを開発して運用していくためには、それを担う人材が必要であることは言うまでもなく、技術力に加えて高い志と責任感を有する人材の育成が求められる。しかし、精神論や道徳の教育によって、この分野の人材の育成を図ることは不可能でありするべきでもない。能力に見合った賃金や負傷した場合の補償などの制度を確立することなしに、人材の育成を議論することは不毛であり、まずこれを前提とする必要がある。

さて、災害時への対応や、災害対応ロボットの開発や運用を担う人材を考えると、求められる専門的な知識や能力はかなり高く広範囲でもあり、その全体を担う人材の育成を計画することには、若干無理がある。したがって、テクノロジー（開発）とマネージメント（運用）については、ある程度分けて考える必要がある。

災害対応ロボットシステムについては、その開発から運用に至る各フェーズにおいて、各々に必要な専門性を有する人材の育成を図る必要がある。しかし一方、この分野で働くべき人材に求められる能力は、個別のフェーズについての専門性だけでは不足であり、

- ・ 技術の限界および可能性の分かる運用担当者
- ・ 現場のニーズを確実に理解できる機器の開発・製造の担当者
- ・ 全体のニーズを概観して、具体的なシステムやその運用法を計画できるシステムインテグレーション担当者

の育成が不可欠である。このような能力を有する人材を、大学、あるいは、専門学校で積極的に育成していくことが期待される。

一方、工学系の大学や教育機関では、一般に、社会の問題まで含めた広い視野を有する人材、および、適確な目的意識と責任感を有する人材、を育成することが強く求められている。これらの要素を

有する人材の育成には、例として、災害対応ロボットの開発と運用を課題として PBL(Problem Based Learning) は丁度適切であり、それを推進することには大いに意義があると考えられる。

5. 制度・標準化に関する提言

5. 1 提言の対象課題

災害緊急対応はもとより、災害の予防・減災、災害復旧においても、ロボットが重要な役割を果たすことが期待されている。福島第一原発事故では高線量下の危険作業を行うためのロボットの使用が円滑に進まなかったことが大きな社会問題となったが、その後の廃炉作業の実施では様々なロボットが開発・適用され、実績を上げつつある。火山等の災害によって生じた復旧工事現場では無人化施工ロボットが使用されており、人間に代わって危険作業を遂行している。大規模な地滑り現場の調査には超小型飛行ロボットが適用され、迅速な上空からの情報収集に寄与した。また、橋梁やトンネルの災害予防のための点検を目的としてさまざまなロボットが研究開発・実用化されている。しかしながら、これら災害ロボットの社会適用は世界的に見ても端緒に就いたばかりである。

今後 10 年の間には、世界各国で、作業の安全化、能力拡大、効率化のために、ロボットの社会実装が飛躍的に進み、ロボットが大きな役割を果たすようになると予測されている。それは、近年のロボット技術の高度化によって、ロボットの性能や環境適合性が格段に向上してきているためである。

災害ロボットの円滑な社会実装のためには、制度の整備と標準化の推進は必須である。COCN では、2011～2013 年度に行った災害ロボット関連プロジェクトにて、表 5. 1 に示すように必要な制度と標準化の洗い出しを行ってきた。2014 年度はこの成果を踏まえ、また、その中でも実用化、経済的な観点から特に緊急性が高いと判断された無人航空機、水上・水中ロボット、及び防爆認証を検討する。具体的には無人航空機の機能・性能評価、無人航空機の認証制度の構築及び運用、水上・水中ロボットの制度と運用、ロボットの防爆に関する認証制度について、調査提言を行うこととした。

表 5. 1 災害ロボット関連で必要な制度の整備および標準化

種別	項目	必要性
制度	装備義務	ロボットの普及促進による災害対応能力の着実な向上
制度	使用推奨	ロボットにより点検・保守能力の向上。普及促進により、ロボットの能力向上
制度	無線	ロボット操縦・取得データ送信に必要な帯域を確保。普及のためには、緊急時限定でなく平常時から使用できる必要がある
制度	防爆規格	現在の規格は構造規格であり小型移動ロボットの使用形態との適合性が悪い。規格がガラパゴス化しており輸出に障害となる
制度	事故免責	災害対応ロボットを突入させ、それが引火点となって爆発等が起きた場合の免責がないと、リスクとベネフィットのバランスを取った投入判断が出来ない
制度	プラント検査基準	定期検査方法が人間による目視となっている場合、ロボットによる点検代行ができない
制度	操縦免許	安全と作業効率の確保
制度	プライバシー	ロボット使用に対する社会からの受容を得る必要がある
制度	安全性	災害対応時の安全性の確保
標準化	性能評価	踏破能力、作業能力、検知能力など。ユーザーのロボット活用・選定への判断材料を提供。ロボットへの投資効果の可視化

標準化	耐久性	耐環境性（防爆、対放射線性、他）、消費エネルギー、安全性など。 ユーザーのロボット活用・選定への判断材料を提供
標準化	操作インターフェイス	操作習熟コストや操作者確保コストの削減
標準化	搭載機器インターフェイス	開発コスト、初期投資コストの削減（センサー、ロボット、バッテリー、マニピュレータ、他）
標準化	リサイクル	環境配慮
標準化	データフォーマット	複数、多種ロボットのデータ統合、コストの削減

5. 2 無人航空機の機能・性能評価

5. 2. 1 検討の背景

無人航空機を災害の予防・減災・災害時の調査・復旧等の用途で使用する際、災害の種別および作業フィールドにより求められる性能は異なる。よって 2013 年度の性能評価試験方法の検討と同様、作業フィールドとして建造物・土木インフラ・水害・土砂崩れ災害対応および原子力・プラント災害対応に分けて機能・性能評価の作業を行う。ここで抽出する試験項目や試験方法は、災害対応ロボットセンターが備えるべき試験フィールドと試験環境を再現するための装置の選定につながる。また、それら装置のスペックや定量的評価のための各種計測装置は試験条件にもとづいて選定される。センターへの配置人員に求められる技能等についてもこれによると考えられる。災害対応では固定翼・回転翼問わず活用が見込まれるが、本項では、無人航空機の中で近年技術的進歩が著しく、今後急速な利用拡大が予想されるマルチローターヘリコプター等の小型飛行ロボットを対象とする。

本検討では災害時に必要な飛行ロボットの機能・性能について検討したが、第 4 章に述べられているように、平時の維持点検作業等に飛行ロボットを使用することで、持続的運用の可能性が高まると考えられる。ハードな環境で使用される災害用ロボットは平時に適用しやすいと考えられるが、対象とする平時作業は千差万別であり、持続的運用が可能な平時の作業システムを構築するためにはさらに機能・性能の検討が必要である。また、建造物のように、多数の超高層ビルや長大スパンの吊り橋の主塔、煙突などが高さ 150m を超える現状では、平時使用の効果を高めるために、150m を超える建造物でもその周囲の定められた範囲を飛行可能とするなど、法整備の面からの検討なども必要となる。

評価に際し、機体に要求される動作（性能）は同時に、オペレーターの技能レベルに対する要求でもある。これは技能検定の指標ともなり免許制度の確立に際し技術的側面を支える基準となる。

5. 2. 2 調査内容・評価項目案・要求事項

5. 2. 2. 1 建造物・土木インフラ・水害・土砂崩れ災害

本グループでは、小型飛行ロボットの機能・性能評価に必要な評価項目と評価方法について検討を行う。評価項目の抽出は、災害の予防・減災・復旧対応を行うユーザーが求める性能規定的側面と、機体特性に知見のあるメーカー側からみた仕様規定的側面の両面で行う。

- ・ビルの倒壊等建造物の災害で要求される項目（ユーザー視点）
- ・トンネル崩落等土木インフラの災害で要求される項目（ユーザー視点）

- ・ 水害・土砂崩れ災害で要求される項目（ユーザー視点）
- ・ 機械の特性的に評価すべき項目（メーカー視点）

評価項目は大別すると以下の分類が考えられ、これら単独項目か複数の項目が複合した条件での試験が想定される。

- ・ 移動能力：飛行そのものの能力
- ・ 作業能力：目的地で行う計測等の能力
- ・ 運用：運用上考慮すべき項目
- ・ 安全・環境性能：第三者の安全確保や故障回避に関する機能
- ・ 耐久性：実用性や運用コストを評価する項目

付録表 1～3（巻末）に、建造物、土木インフラ、水害・土砂崩れの各シーンにおける上記 5 つの評価項目について、試験方法、測定・評価項目、試験条件の範囲をまとめる。また、付録表 4（巻末）に機械の特性的に評価すべき項目についてリストアップした内容をまとめる。

ここで抽出した試験項目について、必須の実施項目とユーザーが任意に実施する選択項目に分類を行い、前者の試験項目が災害ロボットセンターに備えるべき試験環境と想定される。

5. 2. 2. 2 原子力・プラント災害対応

原子力及びプラント災害に飛行ロボットを用いる際、ロボットに要求される作業・機能で分類し、評価検証方法について整理をする。評価対象とするロボットは、固定翼、回転翼、浮遊体及びこれらの複合タイプ、遠隔操縦及び自律航行の両方について、広く評価を実施する。作業環境としては、屋内、屋外を想定する。

原子力・プラント災害時の飛行ロボットによる要求作業・機能について、災害前、災害時、災害後のカテゴリで検討した結果、以下となった。

①災害前（平時）の予防減災

- ・ 非破壊検査
- ・ 点検
- ・ 設備が健全な状態の記録（目視画像、3Dマップ）
- ・ 有事に備えた日常訓練
（機材健全性維持のためメンテナンスと、日々のオペレーショントレーニング）

②災害時の緊急対応

- ・ 点検（状況把握、搜索）
- ・ 物資運搬
- ・ ガス、放射線、温度、風速等の計測
- ・ 無線中継機能

③災害後の復旧

- ・ 点検（状況把握、復旧作業監視）
- ・ 物資運搬
- ・ ガス、放射線、温度、風速等の計測
- ・ 無線中継機能

これらの要求作業・機能を実現させるために、飛行ロボットに要求したい性能を検討した結果、どのカテゴリーについても飛行ロボットに必要とされる性能はほぼ同等であった。それぞれの評価項目の概要と共に以下に示す。

①基本性能

- ・ロボットの仕様に関する内容

②移動性能

- ・離着陸、飛行による移動能力、静止能力（天候、照明有無の影響等）
- ・移動できる環境条件
- ・遠隔操作性
- ・自律での動作性能

③検出性能

- ・現場の映像や画像
- ・現場での各種データ（放射線、温度、ガス有無等）計測
- ・RFID タグ、QR コード等の読み取り
- ・音検出（異音、ノイズ）

④3D把握性能

- ・平時及び災害時の上空からの3D計測及びマップ作成（マッピング）
- ・自己位置の把握（ローカリゼーション）

⑤作業性能

- ・非接触作業
目視調査、薬品等散布・塗布・噴霧、流体サンプリング、物資運搬、コミュニケーション（音声通話）
- ・接触作業
物資運搬、ドア・バルブ操作、プローブ押し当てを伴う非破壊検査

⑥運用性能

- ・稼働（飛行）時間
- ・起動・準備に要する時間
- ・持ち運びの容易さ
- ・操作、習熟の容易さ
- ・メンテナンスの容易さ
- ・自身の除染の容易さ

⑦安全性能

- ・異常時の適切な挙動
- ・絶縁、巻き込まれ、挟まれ、保守の安全性

⑧耐環境性能

⑨耐久性能

- ・長寿命
- ・落下や運搬に対する堅剛性

⑩事故対応性能

- ・フライトレコーダー、ボイスレコーダー
- ・想定されたトラブルケースに対する対応能力、性能

これら性能を評価項目とし、適用範囲と評価内容（試験検証内容）を検討した結果を付録表 5（巻末）に示す。

5. 2. 3 災害ロボットセンターに対する要求仕様の提言

付録表 1～5 で抽出した必須試験項目から、災害ロボットセンターに備えるべき試験フィールドには下記の施設、設備の設置が望まれる。ただし、現実には備えるのが難しいダム、化学プラント等規模の大きなものは、実インフラの借用なども考慮すべきである。

【構造物災害の場合】

試験フィールド：ビル（3 階建て程度）×2 棟以上

- ・建物構造は無線の飛びにくい SRC 造と S 像の複合構造
- ・複数の建物種別（オフィスビル・商業ビル・集合住宅）を 1 棟内に構成
- ・1 棟の屋上にアンテナタワーを模した鉄骨造建造物（10m 程度）を設置
- ・エレベータシャフトや階段室棟の開口部、ダクト、配管・配線等の設備は一般レベルで装備
- ・ビル間飛行の試験も行うため 2 棟以上隣接の設置
- ・ビル間には飛行の障害となる架空線を設置

試験装置：

- ・室内飛行の環境再現のため、空調設備（風の再現）及び照明設備（照度の明暗再現）を設置
- ・ビル風再現用の屋外用ファン（移動式）

【土木インフラ災害の場合】

試験フィールド：可能な限り既存設備を使用

①トンネル

- ・一般的な 2 車線道路断面でコンクリート構造
- ・奥行は数十 m 以上が望ましい
- ・湿度及び照度管理用として両抗口はカーテン付き

②鋼橋及びコンクリート橋

- ・一般的な 1 車線道路を供する床版構造
- ・奥行は数十 m 以上が望ましい
- ・標識、欄干、街灯等の付帯構造を有する

試験装置：評価項目に応じて必要な装置を設置

- ・トンネル換気用ブローア（風の再現）
- ・トンネル坑内照明設備（水銀灯区間（白色）及びナトリウム灯（黄色）区間を併設）
- ・視界可変用煙幕装置
- ・火災検出用ダミーガス発生装置
- ・障害物（平時：トンネル／橋梁等付帯構造物、災害時：崩落コンクリート塊、土砂、車輛等）

【水害・土砂崩れ災害の場合】

試験フィールド：

①山林

- ・通信及び飛行障害となる高木の箇所
- ・離着陸の障害となる低木の箇所
- ・泥濘地
- ・岩塊
- ・法面（崩落地の再現として）

②水槽

試験装置：

- ・（管理用として）外部照明
- ・（泥濘地管理用として）給水設備及び油圧ショベル
- ・人体ダミー（遭難者捜索用、模擬体温あり）
- ・水中ポンプ（河川流水の再現）

【原子力災害の場合】

試験フィールド・装置：

① 全な状態の原子炉建屋等の屋内を想定

- ・鉄筋コンクリート 2 階建（1 階天井高さ 5m、2 階 3m 程度）
- ・フロア間は幅 90cm 程度、傾斜 40 度程度の階段で移動
- ・階段については、蹴上、踏面の寸法を可変できる設備であることが望ましい。
- ・ロボットの動作エリアとして、フロア面積は 20m×20m 程度
- ・2 階床は一部コンクリート、一部吹き抜けにグレーチング
- ・建屋内は外部からは電波を通さない。
- ・ロボットにとって外部内部とのアクセスは、直径 100～300mm のペネトレーション（貫通孔）のみ（＝建屋外部からロボットを制御する場合、ロボットは有線、又は、本ペネトレーションを通して有線接続された無線機を建屋内部に設置）、又は、通常時に人が出入りする扉（エアロックのような 2 重扉）を用いる。なおエアロックを用いる場合は、通常は 2 重扉の片方は閉止されるため、有線を外部から内部へ引き込むことができない点に注意が必要。
- ・フロア内には、コンクリート壁や制御盤、壁面及び天井に各種配管を取り付け
- ・実際の原子炉建屋に準じた明るさの照明及び空調設備
- ・目視や作業の対象物となるマーカー（視力検査シートやカラーチャート等）
- ・放射線の影響試験は、別途ロボット単体で別施設を用いて行う事とし、ここでは考慮しない。

②破損した建屋及び屋外を想定

- ・破損した建屋は、環境や破損状況等により様々で明確にできないため、事前にフィールド内に機器や設備の模擬は設けないが、福島第一原子力発電所の今後の調査結果を踏まえて、将来的にモックアップ試験に対応できるような空間（20m 四方、高さ 5m）を整備しておくことが望ましい。
- ・屋外はプラント災害のフィールド・装置（後述）と共通
- ・夜間の SBO（全電源喪失）を想定し、暗闇試験が可能な設備が必要

【プラント災害の場合】

試験フィールド・装置：

① 学プラントや機械系重工業等の屋外環境を想定

- ・ 30m 四方位程度のエリアを確保。
- ・ 高さは 60m 程度確保し、ロボットが制御不能となっても回収できるよう、ネットで覆った専用エリアとする（バッティングセンターやゴルフ練習場のようなイメージ）。
- ・ エリア内には、コンクリート又は鉄板で、プラント内の建物やタンク及び建物の間を配管で接続した配管橋の模擬を、高所の鋼構造物として 50m 高さの塔、槽、煙突を、またこれらのサポートのトラス構造鋼構造物を再現し、機器への寄り付き等 UAV の飛行を困難とする空間障壁と電波の届きにくい場所・状況を模擬。
- ・ 通路幅は一般的な化学プラントを模擬（狭い通路、片側車線ある広い通路等）
- ・ 夜間試験用に、通常の化学プラント相当の照明を準備
- ・ 目視や作業の対象物となるマーカー（視力検査シートやカラーチャート、建造物番号等）。耐力診断試験を想定して 0.5mm の亀裂を目視検出できる性能を確認するため、0.1mm～1mm の線又は模擬亀裂チャートを取り付ける
- ・ 様々な電波を使えるような特令や法の整備（電波特区）
- ・ 墜落試験を実施できるグラウンド及び模擬地上設備を別途準備
→ 自機の破損に関する試験（発火有無を含む）、及び、地上設備への影響度合（地上設備を破壊してしまう影響度合）評価に関する試験が実施できること。

【機械特性による共通項目】

試験フィールド：室内試験室

- ・ スプリンクラー（降雨環境）
- ・ 送風機（風環境）
- ・ 加湿器（多湿環境）
- ・ 暖房（高温環境）
- ・ 冷凍機（氷点下環境）

※以上、気象に関わる降雨・風・湿度・気温の 4 項目については複合環境での試験が必要

- ・（床の）加振機（振動環境）
- ・ 電波暗室（電磁波環境）

尚、回転翼に限らず、災害ロボットセンターにて固定翼の飛行ロボットの試験にも対応する場合、離着陸用の滑走路を備えた広いエリア（15km 四方位程度、高度 600m 程度の飛行が可能な）を試験フィールドとして備えるのが望ましい。

5. 2. 4 無人航空機の機能強化についての提言

飛行ロボットは、急速に技術開発が進み、様々な可能性が見えてきたロボットであるが、実際に現場へ投入されるロボットへの作りこみについては未熟である。今後災害ロボットセンターのフィールドで、現場と同様の環境を構築して試験を行ない不足点を洗い出す必要がある。浮き彫りとなった弱点箇所について随時強化するべきである。一方直近の課題として、特に災害対応の用途で機能（飛行）するロボットに求められる性能では、高い信頼性や堅剛性（＝壊れにくく取扱いに気を使わなくてよいという意味）は無視できない重要な要求となる。しかし、この 2 つの性能向上は、飛行型ロボットにとって大変ハードルの高いものである。

信頼性の向上は、最終的には墜落に対する様々なケアで安定した飛行能力を確保するという事に

なるが、以下の機能性能を強化することで高められる。

- ・ 横風に対する安定した姿勢制御
- ・ 障害物に接触しないための検知機能及び回避機能
- ・ 自身に異常が起きていることを検出する機能及びロジックの確立
- ・ 異常レベルに応じた対応能力
 - 機体制御が可能な場合は、安全な不時着
 - 機体制御が不可能な場合は、安全な墜落（全体をバルーンで覆う機能等の搭載）
- ・ エネルギー切れの懸念を低減
 - 高密度高容量バッテリーの開発
 - 消費エネルギーの低減に関する研究
 - 有線によるエネルギー供給方式の採用（ケースバイケース）
 - 空中給電ステーションに関する研究
- ・ 可動部及び電気回路の寿命延長。又は高精度な寿命予測による適切な交換
 - 交換しやすい構造が必要
- ・ 万が一に備えた保険の整備

堅剛性を高めることは機体の質量増加につながってしまう事が多く、技術的なトレードオフを要する問題であるが、以下の機能性能を強化することが有効である。

- ・ 運搬把持しやすい構造や取っ手等の工夫を行い、持ち運びや運搬による機体損傷を防止
- ・ 万一障害物や構造物に接触した場合に破損しない構造及び構造物の破損を助長しないための保護構造
- ・ スーパーエンブラ等の軽量高硬度材料の研究及び、同材料の採用
- ・ 耐環境性の向上（風雨、海水、粉塵、保管する環境）

5. 3 無人航空機の認証制度、運用ルール等の構築

5. 3. 1 検討の背景

2013 年度の COCN のプロジェクトであった【災害対応ロボットセンター設立構想】において、災害対応ロボットの性能評価試験・認証の必要性が謳われた。災害対応ロボットを社会実装する上で、安全の確保は必須条件である。ところが、現状を振り返ると、無人航空機の安全性確保のルール、法制化については国際的にも国内的にも未整備あるいは整備しつつある状況である。

また、米国においては今後 10 年間の経済効果が 820 億ドルと見積もられるほど、無人航空機の民間利用への期待は大きく、2020 年に定常的な運航を実現するべく、安全性確保のルール制定、法制化が急ピッチで進められている。欧州においてもほぼ同じような時間軸でルール作りが進められている。各国が無人機に関するルール作りを競って急いでいる背景としては、無人航空機の潜在マーケットが有望であると共に、自国の基準を国際標準に採用されれば、輸出を考えた場合、自国産業に優位に働くと考えられているためである。

これらの周囲環境を踏まえると、「安全性・信頼性の向上」、「無人機の運用領域の拡大」、「国際基準との調和」、「国際競争力の強化」に資する無人航空機の法制化並びに認証制度の構築及び運用を確立する必要がある。

5. 3. 2 検討の手順

実効性がある無人航空機の法制化並びに認証制度の構築及び運用を実現するための具体的提言をまとめるために、以下のような手順で検討を行う。まず、原点に立ち返り、社会実装のための論点整理を行った上で、運用において発生が予見される問題点を抽出する（5. 3. 3 項）。次に、この問題点に基づき、解決すべき課題を明らかにし、世界の動向及び日本の現状を踏まえた解決策を提言する（5. 3. 4 項）。

5. 3. 3 法令整備に関する課題抽出

5. 3. 3. 1 社会実装のための論点整理

無人航空機が社会に根付かせるためには、自動車のリスク・ベネフィットの関係と同様に、無人機航空機の運用を含めた安全性を高めると共に、その利用について社会的コンセンサスを得る取り組みをすることが必要である。つまり、「無人航空機を利用することによる社会的利益が得られること」及び「無人航空機を利用することに伴うリスクを社会が許容できるレベルに抑えこむこと」が必要である。前者については、民間の自由な発想のもと活用場面は自ずと拡大してゆくが、後者については、無人航空機が運用される場面においては発生が予見される問題を未然に防止あるいは局限する具体的なルールを社会全体で構築し、遵守すること、すなわち「無人航空機の安全性・信頼性」の担保が必要であり、社会実装のための最大のポイントである。また、この「無人航空機の安全性・信頼性」の担保は、無人航空機の特性を踏まえたものとする必要がある。

5. 3. 3. 2 無人航空機の特性及び用途

現在、実用あるいは開発中の無人航空機を調査した結果（調査結果の詳細は巻末別紙 1 参照）、機体の形態としては、固定翼、回転翼などそれぞれ異なった性能上の特性及び適する用途があり、その概要を表 5. 2 に示す。機体の形態としては人が搭乗する有人航空機と同様であり、飛行するという機能の観点からは、無人航空機と有人航空機の本質的な差異はないと言える。

一方、自明のことではあるが、有人航空機では「機体」に操縦者が搭乗しているのに対して、無人航空機には「機体」に操縦者が搭乗していないことに大きな特徴がある。無人航空機は、一般的に「機体」とそれを操作するための「操作装置」に分かれており、地上の操作員が「機体」を無線で操作する。現在の無人航空機は、自動航行する機能を有しているものが多く、GPS などの高精度航法装置を利用し、あらかじめ設定した飛行経路を正確に飛行するため、実際の操作は撮像装置などの搭載器材の操作や飛行状況に伴う経路変更などが主である。このように飛行自体は、ほぼ自動化されているため、あらかじめ決められた飛行だけを行い、機体に対して無線操作ができない機種も見受けられる。ただし、現在、世界の基準となる無人航空機のルール作りを進めている国際民間航空機関（International Civil Aviation Organization 以下「ICAO」と言う。）は、飛行安全の確保のため、「機体に対して無線による操作ができなければならない。」としている。

また、無人航空機はグローバル・ホークなどの一部の大型無人航空機を除き、小型であることも大きな特徴である。

表 5. 2 各種無人航空機の特徴、適する主な用途

無人航空機の形式	性能の特徴		適する主な用途
	速度	航続性能	
固定翼（プロペラ機）	50～200km/h 程度	長時間	広域の情報収集
回転翼	0～150km/h 程度	数時間	中域～広域の情報収集、定点監視、物資輸送
マルチローターヘリコプター	0～50km/h 程度	数十分	狭域の情報収集、定点監視
飛行船	0～50km/h 程度	数時間	中域の情報収集、定点監視
係留型	移動できない	長時間	定点監視、通信中継

5. 3. 3. 3 用途拡大のために解決すべき課題

現在、無人航空機は、我が国において農業用途で病害虫防除などに活用されているが、その用途と運用場所はますます広がってゆくものと考えられている（表 5. 3 参照）。これにともない、様々な問題が顕著になってくるものと考えられる。

表 5. 3 想定される用途と主な運用場所

用途	主な運用場所
森林火災監視	山間部
作物生育モニター	農地
災害監視	市街地、山間部、沿岸、離島
橋、送電線等のインフラ点検	市街地、道路、河川
法律執行	市街地、道路
通信	市街地、山間部
気象観測(Weather monitoring)	国土全般
航空撮影(Aerial imaging/mapping)	市街地、道路、山間部
報道、スポーツイベント、映画製作 (Television news coverage, sporting events, moviemaking)	市街地、競技場
環境監視(Environmental monitoring)	国土全般、
資源探査(Oil and gas exploration)	山間部、沿岸、海洋上
航空輸送(Freight transport)	航空路、飛行場、市街地、離島、山間部（限界集落など）

注：THE ECONOMIC IMPACT OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS INTEGRATION IN THE UNITED STATES, AUVSI を参考に作成

特にマルチローターヘリコプターに代表される小型の無人航空機は、上空からの映像を手軽に撮影できる利点があるため、急速に普及しつつある。一方、飛行体である限り、衝突や墜落のリスクをゼロにすることはできないのは自明であり、今後、市街地などでの利用が予想されることから、安全を確保することが必須となる。具体的には、安全性の担保（他の航空交通との衝突回避、地上への安

全確保)、事故発生時の補償、悪用防止などの課題(表5. 4)を解決し、安全に運航できる状態を維持すること非常に重要となる。安全運航の維持のためには、認証制度を確立することが必要である。

表5. 4 解決すべき課題

解決すべき課題			抽出理由、要考慮事項等
項目		内容	
安全性	耐空性 (設計、製造)	・ 構造、操縦性、信頼性規定等	・ 耐空性を保証するためには、技術的根拠に基づく基準が必要。 ・ 基準適合性の確認は、実証が必要。 ・ 墜落時の人命損失リスクが有人航空機と比較し、低いことを考慮し、過度な安全要求にならぬよう、運航地域(人、住居等の有無)に応じた基準が望ましい。 ・ 再発防止、安全性向上のために、第三者的な事故調査委員会の設置が望ましい。
	製品が備えるべき安全性 (製造物責任法)	・ 耐空性と同等の内容	・ 無人航空機は、複雑な機能を持つ製品であるため、欠陥の有無を判断するための基準が必要。 ・ 自動車、クレーンなどと同様に法令で基準を明確化することが望ましい。
	運航規則	・ 他航空機との衝突防止方法 ・ 飛行制限地域の明確化(重要施設、人口密集地など) ・ 事故等の報告義務化	・ 無人航空機には操縦者が搭乗しないため、特性を考慮したルールが必要。 ・ 無人航空機は、小型軽量の場合が多く、有人航空機と同等の信頼性の確保が難しく、運航面でカバーすることが必要。 ・ 再発防止、安全性向上のために、第三者的な事故調査委員会の設置が望ましい。
	操縦者資格	・ 操縦者資格制度の確立(必要技量、知識、免許、登録)	・ 安全な運航のためには、操縦者が技量や運航のための知識を得ることを担保する制度が必要。
	保守点検	・ 運航に必要な整備・点検(始業点検、定期点検)の明確化	・ 耐空性を維持、担保するためには整備・点検が必要。 ・ 自動車、有人航空機と同様に整備・点検の基準の明確化を法令で義務付ける必要。

表 5. 4 解決すべき課題（つづき）

解決すべき課題		抽出理由、要考慮事項等
項目	内容	
事故発生時の補償	・ 保険制度の確立	・ 墜落等の事故のリスクがあるため、補償のための保険は必要であるが、業務目的で運航する無人航空機を対象とした保険制度は確立していない。
悪用防止（テロ防止、プライバシー保護）	・ 機体登録制度の確立、転売の禁止 ・ 飛行制限地域の明確化	・ 悪意のある運航を防止するために、購入者の身元確認、購入者による悪用しない旨の誓約書の義務付けなどを課した上での販売、機体登録制度の確立及び転売の禁止が有効である。 ・ 上空からの盗撮の防止のため、飛行できる地域を制限する必要がある。
低高度空域 ^{*1} の活用促進	・ 上空の自由通過の保証	・ 無人航空機が有人航空機と飛行高度を分離するために、最低安全高度以下で飛行する場合、土地の所有者の地上権 ^{*2} を侵害する可能性がある。安全性・信頼性確保が前提であるが、飛行ルート下の土地の所有者のすべてに上空通過の了解を得るには多大な労力を要すると考えられるため、無人航空機が自由に飛行できる高度帯等を設定することが望ましい。少なくとも災害時における運航には必須であり、将来的な無人航空機の利用推進のためには、平時においても上空通過を認められることが望ましい。

*1 航空法で規定している最低安全高度以下の空域を本項において「低高度空域」と称する。最低安全高度は、場所によって多少異なるが地表から 150m の地域が大部分である。小型の無人航空機の多くは、「低高度空域」を飛行しているとみられるが、農業用途以外の運用実態の公開情報は無い。

*2 民法 207 条では「土地の所有権は、法令の制限内において、その土地の上下に及ぶ。」との規定があり、地上権と呼ばれる。最低安全高度以上で飛行する航空機は所有権を侵害しないとの解釈がある。

5. 3. 4 無人航空機の認証制度の構築にむけた提言

5. 3. 4. 1 世界の動向

航空無人機は主に軍用での ISR(情報収集・監視・偵察) 任務に適する装備として発展してきた。また、近年、その有用性が軍関係者にとどまらず広く社会に認識されるに伴い、民生用途でも無人航

空機を活用しようとの機運が高まっている。2014 年冬季オリンピック競技の空撮や米国 Amazon 社の宅配計画などは、その典型である。このような活用のためには、安全に運航するためにはルールが必要であり、各国の航空当局は一般空域運航のためのルール作りを急速に進めている。詳細は別紙 2 を参照していただきたいが、欧州航空安全局（European Aviation Safety Agency : EASA）、米国連邦航空局(Federal Aviation Administration : FAA)、国際民間航空機関（International Civil Aviation Organization 以下「ICAO」と言う。）におけるルール作りは、運航する範囲によって区分され、概ね目視範囲内（Visual Line Of Sight）と目視範囲外(Beyond Visual Line Of Sight)にわけられている。各国、各機関が無人航空機を一般空域で運航することを目指している時期は、多少の差はあるものの目視範囲内で運航する無人航空機については 2015～2017 年、目視範囲外で運航する無人航空機については 2018～2022 年という近い将来である。（図 5. 1 参照）

区分	地域	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
VLOS 目視範囲内	欧州 (EASA)	▽ 一般空域運航							
	米国 (FAA)	▽一般空域運航 (25kg以下に限る)							
BVLOS 目視範囲外	欧州 (EASA)	▽ 一般空域運航							
	米国 (FAA)	▽ 一般空域運航							
	ICAO	▽ 一般空域運航							

図 5. 1 各国、各機関が無人航空機を一般空域で運航する目標時期

5. 3. 4. 2 日本の現状

前項で述べたとおり、欧米においては無人航空機も航空当局が管理する方向でルールを作成している。例えば、米国では航空機を「空中を航行し、または飛ぶために考案され、使用され、または設計された一切の仕掛け」と定義され、無人航空機も航空機に含まれていると解釈できるので、航空当局が管理するのは当然であると認識されている。また、飛行体であるという本質的な特性、安全性の確保、テロ対策などを考慮すると航空当局が管轄するのが最も自然で、合理的であると言える。

一方、日本の航空法では、航空機を「人が乗って航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空機、滑空機及び飛行船」と定義しており、基本姿勢として無人航空機を航空機とは扱っていない。しかしながら、無人航空機に対する規定も記述されている。具体的には、人が搭乗できる大きさの無人航空機は「無操縦者航空機」、人が搭乗できない大きさの無人航空機は「模型航空機」とされている。特に、この「模型航空機」については、明確な定義がされておらず、管理もされていない。位置づけとしては、他の航空機の安全を脅かす存在である。

諸外国の航空当局は全ての無人航空機を管轄しているのに対して、日本は人が乗れる規模の無人機は管轄するが、小さな無人航空機は扱わないという統一感の欠けるものとなっている。これを図示すると、図 5. 2 のようになる。無人機産業の発展と社会実装の調和を考えると欧米のように統一感をもった対応が必要であり、日本においても航空法が無人航空機をカバーすることが望まれる。

また、現実にはマルチローター型を中心とする小型の無人航空機が既に多数国内でもビジネス用に運航されているが、これらは規制する法律がないために製品の信頼性、適切な整備状態、操縦者の技量などが保証されない状態で有人地帯なのでも運用されており、非常に危険な状況も生じている。業界団体等では自主基準を定めて安全性を担保しようとしているが、全国的に多数の事業者をカバーする組織がなく、また自主基準であるため団体に属さない事業者には適用されず、野放しの状態になっている。この点からも全国的に一律に適用される、安全確保のためのルール作りが望まれている。

法的な裏付けを持ったルールが確立されたならば、安全・安心な日本ブランドとして輸出促進に大きな後押しとなると考えられる。

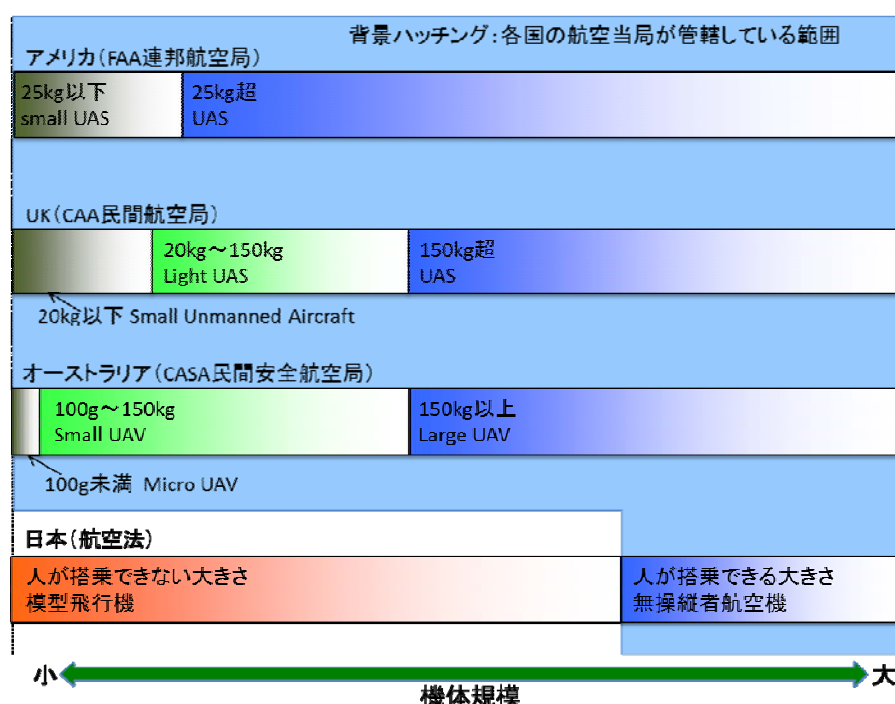


図5. 2 諸外国の航空当局による無人航空機の扱いと日本における無人航空機の扱いの比較

5. 3. 4. 3 無人航空機の認証制度の構築にむけた提言

5. 3. 3. 3項で抽出した解決すべき課題は、無人航空機の認証制度、運航ルール等の構築に集約される。これらの制度を構築するために、無人航空機のクラス分け、設計要求、運航ルール、ライセンス等規定すべき項目を明確にして無人航空機の認証のための安全基準、認証制度の運用体制等を航空当局と産業界が連携して整備することが必要である。以下に、その実現方法の細部を記載する。

無人航空機は、人が持ち運べる小型のものから有人航空機並みのものまで、様々な大きさの機体が考えられ、これらを一律に考えることはできない。従って、無人航空機の特性に応じた合理的な法整備が必要である。具体的には、現行の航空法での「無操縦者航空機」に相当する比較的大型の無人航空機についてはICAO等が整備を進めている国際的な枠組みに則り、現行の航空交通システムの中で有人航空機と混在して運航するための法整備を、一方、現行の航空法が所管していない「模型航空機」に相当する小型無人航空機については、農林水産航空協会や日本産業用無人航空機協会 (JUAV) が制定している民間の自主基準をベースに、我が国において一様に適用される安全性、登録、ライセンス等の法整備を航空当局主導の下、産業界が協力して行うのが望ましい。また、こうした検討のため

に、上記 JUAV に加え、(一社)日本 UAS 産業振興協議会 (JUISDA) やミニサーベイヤークンソーシアムが産学の連携により、新たに組織された。特に、小型無人航空機は非常に多種多様かつ多数になることが予想されるため、航空当局が直接実施する代わりに、認証機関を認定して、基準の細目策定、認証、登録、ライセンスなどの業務を行わせることが、民間活用、雇用促進等の観点からも望ましい。また、これらの小型無人航空機については、機体の大きさや運航条件の違いが大きいため、適切なクラス分けとクラス毎のルールを制定する必要がある。ルールの制定に当たっては、海外の法整備の動向を注視し、基準の統一性を可能な限り高めることで、輸出競争力を確保しやすい状況を作る。また、海外において取り組みが遅れているクラスについては、我が国の基準、規格を発信することで、主導的立場を確保すべきである。

5. 4 水上・水中ロボットの実装における検討課題

5. 4. 1 検討の背景

2013 年度の COCN のプロジェクトではあらゆるロボットを対象として、災害現場に必要な機能・性能項目の整理を実施している。その結果、水上用では水上（海、湖、川、氾濫地域、ダム、他）からの状態・環境検査、サンプリング、人命探索、作業管理等の作業が抽出され、水中・水陸両用では、水中（海、湖、川、氾濫地域、ダム、他）の状態・環境検査、サンプリング、人命探索、作業管理等の作業が抽出された。「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、31 式の大型 UUV と 2000 式を超える小型 ROV の配備基準が示されている。

しかし、現実として防衛装備品及び海洋資源調査用途以外では水上・水中ロボットの研究開発は進んでいないのが実情である。災害対応水上・水中ロボットは、海上保安庁が警備救難用 ROV を保有しているが、その使用範囲は極めて限定的である。先ず、このような現状を鑑み、検討課題を抽出することから始める必要がある。

5. 4. 2 水上・水中ロボットに関する検討事項

5. 4. 2. 1 水上・水中ロボット運用の課題

4 章の持続的運用に関する提言において検討してきたが、実社会で運用されていない原因は、ローカルエリア的にみて使用機会が少ないことである。一般的に高額な水上・水中ロボットを管理運営すべき各地区官公庁にて購入すること自体のハードルが高い。更に、特殊装置としてのロボットを適時適切に運用するためには操縦者の訓練をはじめとした維持・整備も大きな負担となる。一度災害が発生すれば、人命救助の観点からも、初動体制期及び緊急対策期において迅速に展開運用すべきロボットであり、スケールメリットを活かした開発環境と実装社会を実現していく必要があり、具体的な配備計画策定を期待する。

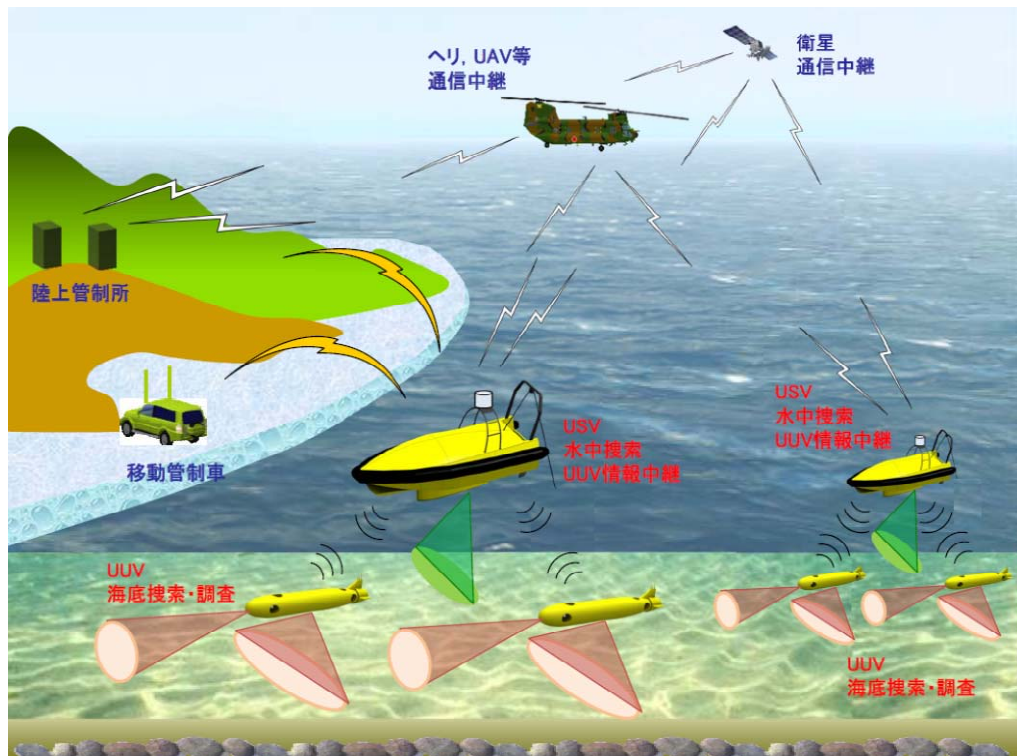


図5. 3 災害時の水上・水中ロボット運用イメージ

5. 4. 2. 2 水上・水中ロボット運用ルール現状

無人航空機においては、その民間市場拡大を見据えたルール策定がすすめられており、我が国においても国土交通省でのスタディが具体化している。一方、水上・水中ロボットに関しては、実装基盤のベースもない状態であるので、国内外での関連ルールの実情を調査する。

国内現行法令ではその機能、性能、適用範囲等での認証制度は無い。海上での運用は、海上航行と深く関係することは自明である。海上での航行安全を目的とした次の現行法令がある。

① 海上衝突予防法

COLREGS (Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972、海上における衝突の予防のための国際規則) に基づき定められた海上交通の国内基本法。船舶の遵守すべき航法、表示すべき灯火及び形象物並びに行うべき信号に関して必要な事項を定めることにより、海上における船舶の衝突を予防し、もって船舶交通の安全を図ることを目的とした法律。

② 海上交通安全法

国内において船舶交通が輻輳する特殊な海域（東京湾、伊勢湾、大阪湾を含む瀬戸内海）における特別の交通方法を定め、その危険を防止するために規制を行うことにより、船舶交通の安全を図る目的とした法律。

③ 港則法

港内における船舶交通の安全及び港内の整頓を図ることを目的とした法律。港則法が適用される港は全国で約 500 あり、海上衝突予防法に優先して適用される。

国際規則においても現時点で無人機について定義されていない。そのため、米国では海上航行安全のために、USCG (United States Coast G、米国沿岸警備隊) にてルールを検討してきたが、現在は

NAVSAC (Navigation Safety Advisory Council) にて衝突予防のための規則や機器についての検討がなされている。NAVSAC は 2012 年 8 月に UUV への白色灯と AIS (可能なら) の搭載、USV には白色灯と AIS (ほぼ義務化) の搭載と見張り規制のルール変更等を対策として決定している。より幅広い議論をするために USNAVY (米海軍)、NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration、米国海洋大気庁)、AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International、国際無人機学会) 及び TELEDYNE MARINE SYSTEMS (米国の水中無人機メーカー) の説明を踏まえて検討している。この結果、2014 年 5 月の時点において、COLREGS への反映は時期尚早としているものの、無人機の海上安全のためには継続して適切な改善検討と IMO (International Maritime Organization、国際海事機構) の NCSR (Sub-Committee on Navigation、Communications and Search and Rescue、航行安全無線通信搜索救助小委員会) を通じた働きかけを継続するとしている。

水上・水中ロボットを直接的に規制するルールではないが、海洋における試験や運用を行う場合に漁業者への配慮が必要なことは言うまでもない。漁業権は都道府県知事から免許されることによって、一定の水面において、特定の漁業を一定の期間、排他的に営む権利のことを言い、物権的請求権 (妨害排除、妨害予防) を有している。漁業権を侵害した場合は漁業法第 143 条にて罰せられる。水産庁では漁業権の侵害を類型化して啓発している。

5. 4. 2. 3 水上・水中ロボットの開発体制の課題

ロボットの開発体制の観点でみると、種々の災害対応ニーズはあるが、必要な時点でマッチングのとれた製品が無く、使用機会が少なかった。結果として産学において、災害現場ニーズを取込んだ形での開発マインドは低いと言わざるを得ない。現状では海底資源探査や海洋調査の分野において、辛うじて小さな市場が形成されているのが実状であり、その運用組織は JAMSTEC (海洋研究開発機構) などに限定されている。一方で、地球規模で将来の継続的エネルギー等資源供給意欲は衰えておらず、深海での海底資源探査市場は内閣府主導の SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) などを牽引役として拡大してきている。また、技術的に高度で複雑な海洋建造物の要求を達成するために一部の海洋土木会社では陸上ロボットを水中適用したロボットや調査用 ROV を活用している。一部のサルベージ会社においても深深度での事象を正確に把握するために ROV を運用している。

一般的に水上・水中ロボットは、その使用環境の制約条件から設計、製造、材料に至るまで高度な機能が要求され、必然的に高額なシステムになる。更に、研究開発の試験を実施しようとする水槽や試験船などの設備運用、漁協との海域調整、気象条件に大きく左右されるなどコストのみならずスケジューリングのリスクや調整といった研究開発要素以外の負担感なども企業や大学が単独での研究を進めにくい要因となっている。

5. 4. 2. 4 将来プロダクトとしての展開

将来プロダクトとして正の発展スパイラルに乗せることが出来れば良い。そのためには、災害対応で求められる本質的な機能を把握し、規格として整備できれば良い。深度対応に関しては特別なパッケージ技術が必要になるが、昨今のモジュラー化技術により幅広い各種産業分野での用途への応用や活用が期待できる。潜在的なニーズには次のようなものがある。

- ・ 災害対応 : 災害時の水上・水中状況調査、人体検知・搜索、人命救助、放射線測定、大型構造物 (損壊防波堤等) 撤去のための火薬類設置



図 5. 4 大型構造物の損壊状況例（釜石港防波堤）

（社）日本埋立浚渫協会 HP より転載

（社）日本埋立浚渫協会 HP より転載

<http://www.umeshunkyo.or.jp/210/274/data.html>

<http://www.umeshunkyo.or.jp/215/279/data.html>

- ・ 災害予防：大型災害予防のための海底地形調査
- ・ 設備維持整備：プラント水中部点検整備、海底パイプライン及びケーブル等設備の点検整備
- ・ 建設・土木：高度で正確な施工のための状況調査、施工
- ・ 海底地形調査：港湾・航路詳細、科学的調査
- ・ 海洋資源探査：広大な深深度海域の長時間効率的探査
- ・ 生物生態調査：海中及び水中での常続的生態調査
- ・ 漁場警戒監視：特定漁場の常続監視
- ・ 安全保障：重要設備・港湾警戒監視、テロ未然防止
- ・ 防衛用途：機雷・水際地雷探知及び処分

これらのニーズで期待される機能は次の技術に分類される。具体的製造の段階にて個別詳細スペックに対応すれば良い。

- ・ 航走：要求海面・深度での機動性、要求されるタイムスパン、動力源供給方法（発進回収）
- ・ 航法・制御：レーダー、LIDER（Laser Imaging Detection and Ranging）、ソナー、GPS、水中測位装置、慣性航法装置、自律制御、姿勢制御
- ・ 空中通信：衛星（インマルサット、イリジウム等）、HF、VHF、UHF、無線 LAN
- ・ センシング：カメラ、IR、レーザー、水中カメラ、ソナー、放射線、各種成分分析
- ・ 水中通信：音響通信、近距離光・レーザー通信、有線（ファイバー、メタル）
- ・ 操作：マニピュレータ、把持機構、リリース機構

5. 4. 3 水上・水中ロボットの実装における提言

これまでの議論から、最終報告に向けた提案内容を次の通りまとめる。水上・水中ロボットについての検討はまだ始まったばかりである。まずは検討課題を抽出することを主目的として検討する。今後も継続的な検討が必要である。

1) 水上・水中ロボットの運用ルール作成

水上・水中ロボットはその運用場面からすれば、海上航行での安全を目的とした海上衝突予防法、海上交通安全法、港則法の適用検討が必要であり、そのルールを準用するのが妥当である。これらの法令では無人機は想定されておらず、人による見張り、緊急時の停船・回避操作を行う乗務員が必要になっている。

無人運用というメリットを最大限に発揮するためには、水上・水中ロボットの規格標準化とも関係するが、高度なセンシング技術と制御技術によって、他船舶等との自動衝突回避機能を義務化するか、あるいはその都度設定された運用エリアにおいて、遠隔監視制御にて管制する方法が考えられる。まずは、次のような当面の運用ルールに現実性があるかどうかを関係省庁（水産庁、国交省、海保庁）間にて調整するよう提案する。

- ・ 特定の運用海域を設定し、次の事務手続きを実施
- ・ 海上保安庁への届出申請（現行海上作業と同等）
- ・ 漁協への通知（漁業補償無、直接的損傷等の被害補償有）
- ・ 災害時の特例措置（事後通知、届出先の一元化）

一方、アメリカでは無人機運用ルールの具体的検討を始めており、COLREGS の改正を企図しているため、注視する必要がある。これまで、IMO の関連条約やルールを策定する小委員会では、日本はリーダーとしての役割を担ってきた。将来の水上・水中無人機の標準化や運用において世界をリードするべく、IMO の NCSR に対して積極的な働きかけをすすめる必要がある。

2) ロボット研究・実証フィールドの確保

水上・水中ロボットの開発は、その実証試験の実施に当たってのコスト、設備管理、関係機関との調整などの負担が大きいことは前述した。ユーザーがやりたい時に使える試験フィールドがあれば、企業や大学の開発マインドは大きく改善されることが期待できる。

既に、経産省が主催する福島・国際研究産業都市（イノベーション・コースト）構想研究会において、ロボットテストフィールドの設置提案がなされている。ここでは、水上・水中ロボット向けテストフィールドの要件について提案する。

このテストフィールドは国と地方自治体にて共同で設定される必要がある。運用形態はロボット研究・実証拠点が運用者として管理し、ロボット研究・実証拠点が優先使用权を保有すべきである。ただし、一般船舶の公海自由航行権を制限したり、漁業操業を阻害したりするものではない。テストフィールドの整備、運営には次のような要望事項がある。

- ・ エリア設定：通信範囲や使用深度を考慮し、沿岸方向 10km、沖方向 30km 程度のエリア設定
- ・ 規制緩和：試験を円滑に推進するために海上衝突予防法、船舶法、電波法等の規制緩和特区

水上・水中で火薬類の使用が可能

（損壊大型構造物の撤去のためにロボットにて火薬類を設置し遠隔操作実証）

- ・ 施設・設備（詳細は表 5. 5）：

- ① 研究開発段階のロボットの実証で安全性が確保できる管理されたフィールド
- ② 試験機材の投入・揚収設備を設置

- ③ 水上・水中監視設備、音響計測設備、水上通信設備、環境計測設備を設置
- ④ 海上支援設備、陸上支援設備及びその他の設備を設置

表 5. 5 水上・水中ロボット研究・実証フィールドに期待する設備

投入・揚収設備	岸壁、ポンツーン、係留設備、クレーン、自走大型クレーン台船
水上監視設備	レーダー、LIDER、RTK-GPS、IR、水上監視カメラ、空中監視カメラ
水中監視設備	水中位置計測レンジ、水中監視ソーナー、水中監視カメラ
水中音響計測設備	ハイドロホン、アンプ、記録器、解析装置、音源（低周波～高周波）
水上通信設備	HF、VHF、Wi-Fi、洋上無線ルータ、 衛星通信（イリジウム、インマルサット）
環境計測設備	水温、塩分濃度、潮流、深度、風向風速、気象海象、視程、雨量
海上支援設備	監視船、計測船、曳航船、水上標的、水中目標 水中多用途 ROV、空中監視用 UAV
陸上支援設備	発電機、給配電装置、バッテリー給電装置、給水装置 試験機材機体整備場、器材格納庫、データ解析室 クレーン車、フォークリフト、ハンドリフター 燃料補給設備（ガソリン、軽油）
その他の設備	各種水槽（角水槽、長水槽、無響水槽、耐圧水槽、浮量等調整水槽） 着水衝撃試験設備

福島ロボットテストフィールドの場合、想定されている沿岸エリアはなだらかな海底地形であるが、沖合 25km において深度は 140m に達する。災害対応水上・水中ロボットのテストフィールドとして種々の試験が可能である。ただし、災害予防対応の場合は、深度は数百 m から 2000m 程度の海底地形調査が必要である。このような海域で運用可能な水中ロボットの実証試験のために、類似環境でのフィールドも、福島ロボットフィールドでの実績を踏まえたうえで整備が期待される。このような深深度での試験フィールドは災害予防海底地形調査用のアプリケーションのみならず、海底資源探査用アプリケーションにも活用可能であり、ユーザーの多様化が期待できる。

3) 水上・水中ロボットの規格化

水上・水中ロボットの適用分野は広く、その要求仕様も多様である。これらのロボットに対しては、機能毎に性能レベルを分類し、標準的な規格運用をすることが望ましい。特に災害対応ロボットは人命救難の任務が有り、使用時に適切な能力を発揮することが必須であり、認証制度を整備することが望まれる。

その認証制度の策定にはいくつかのアプローチが考えられるが、航空用無人機のように民間団体による積極的な策定は、市場規模が小さく限定された関連団体で実施するのは困難である。監督官庁を決定したうえで、監督官庁にてルール策定を行うこととなるが、その現実的プロセスとしては当該官庁から民間コンサルタント会社等にその用途・機能・使用環境等に応じた検査基準の策定を委託検討するのが实际的である。

水上・水中ロボットは水上・水中で使用するため、船舶に関連する規定として考えるのが常識的である。ただし、「船舶法」では船舶の定義は定められておらず、社会通念上の船舶を指すものと理解

されている。すなわち、船舶とは浮揚性を有し、機械力及び自力航行能力の有無は問わないが、水上航行の用に供される積載可能な構造物をいうが、船舶法施行細則 2 条により推進器を有しない浚渫船は船舶とはならない。

また、船舶法ではその用途から防衛省所有（防衛大学校の所有を含む）の船舶及び総トン数 20 トン未満の小型船舶は適用除外対象となっている。その適用除外の防衛省所有の船舶は自衛隊法にて規定されており、総トン数 20 トン未満かつ 3 メートル以上で漁船に該当しない日本の小型船は「小型船舶の登録等に関する法律」に基づき、小型船舶検査機構（JCI）の登録を受けている。（小型船舶登録法が施行される以前は都道府県において船籍票の登録を必要としていた。）

上記のような現状を踏まえると、水上・水中無人ロボットはその用途から船舶として括ることは最適では無く、小型船舶の枠組みと同様に「水上・水中無人ロボット」として登録あるいは申請制度を規定するのが適切である。なお、ROV は操縦者が管制する作業装置であり、対象外とする。水上・水中ロボットの使用用途から、監督官庁は国土交通省が最適である。

5. 5 ロボットの防爆に関する認証制度

5. 5. 1 検討の背景

新潟県八荷峠トンネルにおける可燃性ガス発生による 2012 年の爆発事故のように災害対応において防爆性を必要とするロボットのニーズは高い。また平時においても可燃性ガスを扱うプラントの防爆エリアでの見回り点検・監視など防爆性を必要とするニーズが想定され、ロボットの防爆性は、防災だけでなくプラント、建築現場でもその要求は多い。防爆性は、製品と環境のセットで認証されたため、環境を事前に明確化が困難な災害対応移動ロボットの場合、既存制度の下では防爆認証を得ることが困難な場合がある。

既存制度の下では、災害対応という緊急性の理由だけ防爆性の検証を省略できるものではない。移動ロボットの防爆認証が得られない場合、独自に防爆性の性能確認試験を実施し（例：爆発性雰囲気中で長時間運転して爆発しないことを確認）、メーカーとユーザーの責任において現場でロボットを使用している場合がある。この使用状況で爆発事故が発生した場合、ロボットという新技術に過度の注目が集まり、メーカーとユーザーに過大な責任が課せられることが懸念される。このような状況下では、メーカーとユーザーはロボットの開発・使用を躊躇することになり、災害対応ロボットの社会実装が阻害される。

この問題を解決するためには、災害対応ロボットに適した防爆に関する認証制度を立ち上げ、メーカーとユーザーの責任区分を社会として適切なものとする必要がある。また認証制度により、保険料率の適切な算定が可能になると考えられる。以上のことから、防爆に関する認証制度を立ち上げることで、災害対応ロボットの社会実装がより一層推進されることが考えられる。

5. 5. 2 防爆認証制度の見直しで検討すべき項目

ロボットの防爆に関する認証制度の見直しでは、単に制度を考えるだけでなく、産業競争力につながる技術開発の視点も必要である。ここでは認証に関する技術と社会制度の 2 つの視点で検討すべき項目をまとめる。

5. 5. 2. 1 技術的な検討事項

【ロボットの着火源と対策例】

防爆に関する規格EN1127-1 Explosive atmospheres — Explosion prevention and protection Part 1: Basic concepts and methodology では一般的な着火源として13のカテゴリーをあげている。このEN1127-1の着火源カテゴリーを基に、移動ロボットの着火源とその対策を考察すると、概ね技術的な対策が原理的には可能であることがわかる。下表にその結果をまとめる。

表5. 6 移動ロボットの着火源とその対策

番号	EN1127の着火源カテゴリー	ロボットの対応着火源	対策例
1	Hot surfaces (熱い表面)	モータ本体、モータードライバ回路	温度上昇を考慮した設計
2	Flames and hot gases(including hot particles) (炎と熱いガス)	センサーで利用の可能性があるが、現状ではあまり該当はないと考える。	該当センサーを利用しない
3	Mechanically generated sparks (機械的スパーク)	落下時にロボット金属フレームが周囲環境の金属と接触。ロボット可動部に石などを噛みこんで火花。	火花を出さない素材(防爆工具用金属(ベリリウム、青銅))の利用。
4	Electrical apparatus	ケーブル端子の緩みでの短絡。過電流での回路の破壊での短絡。	規格に基づく防爆構造の利用
5	Stray electric currents、cathodic corrosion protection (瞑想電流とカソード防食)	電気回路。	規格に基づく防爆構造の利用
6	Static electricity (静電気)	クローラーベルトと本体の間の摩擦	アース線を有する有線型。導電素材の利用。
7	Lightning (雷)	雷がロボットに落ちる	運用で対応(ロボットより背が高い周囲環境での利用等)。
8	RF waves from 10^4 Hz(10kHz) to 3×10^{12} Hz(300THz) (無線電波)	想定されるロボットでは不使用。	出力を制限
9	Light and Laser from 3×10^{11} Hz to $3. \times 10^{15}$ Hz (レーザー)	想定されるロボットでは不使用。	出力を制限
10	Ionizing radiation (イオン放射)	センサーで利用の可能性あり。	出力を制限
11	Ultrasonics (超音波)	センサーで利用の可能性あり。	出力を制限
12	Adiabatic compression	空圧シリンダの加圧時の温度上	温度上昇を考慮した加圧。

	and shock waves（断熱圧縮）	昇。	
1 3	Exothermic reactions、including self-ignition of dusts（粉じんの自己着火）	長時間のロボット利用により、ロボットに環境中の粉じんが蓄積。	定期的な清掃、粉じんが溜まりにくい構造。

これらの技術的対策を実施する場合の技術的課題を、以下で考察する。

【電気的な着火源】

- ・ 電気的な着火源に対する防爆は、ある程度基盤技術が確立されており関連規格も整備されている（IEC60079 シリーズ）。しかし、関連する防爆認証習得済の部品は一般に大型で重量もあり、移動ロボットに適したものがない。例えば防爆コネクタの場合、端子間の距離が規格で広く取るよう定められており、部品の小型が進まない原因になっている。

【静電気】

- ・ クローラー機構を用いた移動ロボットで、移動中に静電気が発生し（事故にはつながらなかったが）スパークが生じた例がある。
- ・ 飛行機では、全体をボンディングで等電位としたうえで空中に放電し静電気対策を行っている。UGV でも全体をボンディングしたうえで地面に静電気を逃がすことで静電気によるスパークを回避することが可能である。この場合は、床材が放電に適したものである必要がある（望ましくない床材の例：アクリル）。
- ・ ボンディング＋放電で移動ロボットの静電気対策をする場合、その有効性を示すバックデータが現状では不足している。防爆という大きなリスクに対応する技術の場合、十分なバックデータを習得し、規格化を行うことが関連技術の普及に有効と考えられる。
- ・ 高い静電気リスクがある場合、移動ロボットの有線化（アース線の付加）が考えられる。この場合モビリティが低下するので、静電気リスクとモビリティ低下リスクの総合的な判断が必要である。

【メカニカルスパーク】

- ・ ロボットが環境と接触して生じるメカニカルスパークに対しては、防爆工具に使われる材料（青銅、ベリリウム）の利用、絶縁物のロボットへの追加が考えられるが、強度等の面で移動ロボットに適しているか不明である。
- ・ ロボットの移動が原因で環境どうしが接触して生じるメカニカルスパーク（例：ロボットの移動で金属ガレキが倒壊しスパークが発生）に対しては、水を事前に散布する等の方法が考えられるが、その現場での実効性は不明である。
- ・ 人が移動しても、環境どうしが接触して生じるメカニカルスパークは発生する。危険な作業を人に代わって行うのが災害対応ロボットの大きなベネフィットである。人間よりメカニカルスパークのリスクの低いロボット（人間よりガレキへの負荷の少ない軽量のロボット等）は、人の代わりにそのベネフィットを認めて利用するという考え方もある。

【製品ライフタイム】

- ・ 防爆等の安全性は製品ライフタイムで保証する必要がある。ロボットの劣化（例：内圧防爆でのケーシングのクラックによる内圧低下）や不適切な保守にどのように対応するか、検討する必要

がある。

【ロボットの動作環境】

- ・ 機械の動作環境（ゾーン）に応じて適用可能な防爆技術が規格上規定されている。ゾーンは、爆発の可能性の高いゾーン 0（常に可燃性ガスが存在している環境）から可能性の低いゾーン 2（不具合発生時に可燃性ガスの存在が想定される環境）に区分されている。災害環境では事前に環境条件を特定する事は困難であり、この場合は、最も環境条件の厳しいゾーン 0 を想定した防爆対応が求められる。ゾーン 0 では本質安全防爆（機械の利用エネルギーが非常に少なく、本質的に着火の可能性が少ないもの）しか利用を認められていないため、極小出力のロボット以外の利用は困難になる。
- ・ 換気装置を用いてロボットの動作環境から可燃性ガスを排除する手法も考えられるが、換気装置とロボットの連携法、換気装置自体の信頼性が課題である。

5. 5. 2. 2 社会制度的な検討事項

【認証制度】

- ・ 様々な現場での活用が求められ、また移動を伴う災害対応ロボットでは環境の想定が一般に困難であるが、想定される代表的な環境（例：プロパン、ガソリン）で認証を習得することが最初の取り組みとして必要である。ここからどのぐらい移動ロボット特有の防爆性を考慮すべきかは、議論が必要である。
- ・ 日本の現行の法制下では「防爆認証を習得した製品は、爆発事故発生時でも免責」とはならないと考えられる。ただし、十分な防爆設計・運用がされていれば、刑事罰は回避できると期待される。
- ・ 防爆認証を現行の制度下で習得できなくとも、防爆設計・運用が適切に行われていることを示し、事故発生時の不要なトラブル（例：過度な設計者・使用者責任の追及、過度な報道によるブランド毀損）を事前に防ぐ制度が、災害対応ロボットの持続的発展に必要である。
- ・ 航空分野では、FAA が認定した航空機による事故では、事故原因調査に協力することで免責となる制度がある。この制度により、事故の再発防止が図られ航空産業の持続的発展につながっている。災害対応ロボットでも同様な制度が有効と考えられる。
- ・ 海外と日本国内の防爆基準が異なっており、輸出入が円滑に実施できない事例がある。改善が必要である。
- ・ 同じ目的の防爆移動ロボットでも、配属先が工場か消防かで対応する制度が異なる。今後は、配属先を整理して、制度に関する議論を進める必要がある。

【防爆試験設備】

既存の防爆試験設備は固定設備に対するものが多く、移動ロボットの移動特性を適切に考慮した防爆試験設備は新たに設置を検討する必要がある。今後早急に開発されるであろう防爆性を必要とする移動ロボットは、1m 以内の大きさが中心となると考えられる。このサイズのロボットの防爆性を検証する防爆試験設備の費用は、建屋（土地代金を除く）、設備の合計で 10 億円程度と推定される。

5. 5. 3 ロボットの防爆に関する認証制度への提言

災害対応ロボットによる迅速な災害対応は、社会的ベネフィットは大きい。一方、爆発事故は被害範囲が広大になる可能性があり、災害対応ロボットが爆発事故の原因になることは厳に避けなければならない。一般に爆発事故の原因究明は困難であり、新技術である災害対応ロボットを用いる場合、さらにその困難さが増加する懸念がある。また、災害対応ロボットが実際に利用された場合、安全上のステークホルダーは設計者—使用者という単純な関係でなく、例えば工場事故で消防隊がロボットを利用した場合、ステークホルダーとして次の者が想定される。

- ・ 第一者（ロボット開発者）：製造者、販売者
- ・ 第二者（ロボット使用者、受益者）：管理者（消防署長、装備調達部長、保守点検者）、現場使用者（隊長、隊員（オペレータ、非オペレータ））、災害現場の要救助者、要救助者家族、工場経営者・従業員、（工場取引先）
- ・ 第三者：周辺住民

ロボットが関連する爆発事故では以上の要因が複雑に関係し、原因究明が進まない状況が考えられる。この場合、ロボットに対する社会的不信感が不必要に増大し、ロボットの社会実装が阻害される懸念がある。

この問題を解決するためには、事前にロボットの防爆に関する認証制度を作り、事故発生後の原因究明、責任問題等の混乱を最小化する事が、社会コストを最小化し産業競争力を強化する観点から望ましいと考えられる。ロボットの認証制度構築と認証制度を産業競争力に繋げるためには、災害対応ロボットセンターを利用して以下の項目を実施する事が有効と考えられる。

- ・ 認証制度の有効性の社会啓発
- ・ 防爆ロボットを前提とした現場での運用法の検討

また、民間だけでは実施が困難な以下の項目に、国が協力することも望まれる。

- ・ 移動ロボット用小型防爆コンポーネントの開発支援
- ・ 認証習得の支援

認証済ロボットの利用促進のためには、認証済ロボットの関連する事故に対して、ロボットの開発者・使用者に一定の免責を事前に与えることも有効である。刑事免責を考えた場合、免責では刑事罰の持つ以下の社会的意義を考慮する必要がある。

- ・ 犯罪に対する公的応報（処罰を求める被害者感情への対応）
- ・ 犯罪を犯した人に対する教育的効果
- ・ 一般人に対する犯罪の抑止的效果

これらは、事故の再発防止機能を社会に与えていることになる。この機能を補完するためには、免責制度と合わせて公的な第三者による事故調査制度の構築が有効と考えられる。この事故調査機関に災害対応ロボットセンターの有する知見の利用が将来的には考えられる。

5. 6 まとめ

WG1 では、小型飛行ロボットを含む無人航空機の認証制度の構築及び運用、小型飛行ロボットの機能・性能評価、水上・水中ロボットの制度と運用、及びロボットの防爆に関する認証制度、に関する検討を行った。

小型飛行ロボットは近年飛躍的に実用化が進み、災害への適用が必須であるとともに、平時産業においても高い経済効果が見込まれている。安全性を確保するためのルール制定・認証、法制化は、欧

米での検討が進んできていることから、我が国の産業競争力確保の観点から、最重要課題である。また、社会実装と技術開発を進めるために、機能・性能の評価基準を適切に定めることが求められている。特に、急速に普及すると考えられているインフラ点検や原子力プラント災害に円滑に小型飛行ロボットが導入配備されるためには、調達基準・評価軸を明確化することが求められている。

水上・水中ロボットは海難救助、水中インフラの点検等に対して高い必要性があるにもかかわらず、現状では資源探査等を目的としたもの以外、ほとんど運用されていない。これは主に水上・水中ロボットの運用に対する制度の欠落、及び開発環境の不足に起因している。よって、災害対応ロボットとしての社会実装には、運用のためのルールの制定、テストフィールドの整備が急務である。

ロボットの適用が求められる災害現場や点検現場は可燃性雰囲気であることも多く、防爆はロボットにとって極めて重要な性能の一つである。現在の防爆基準は、設置型機器を対象とするものがほとんどであり、移動するロボットの使用形態と適合しないことが問題となっている。そのため、防爆に関する検討を技術と制度の両面から進めることによって、環境条件を問わずロボットを適用できるようにすることが、我が国の産業競争力強化のために必要である。

6. インフラ・通信に関する提言

6. 1 はじめに

1991 年の雲仙・普賢岳の火砕流ならびに 1995 年の阪神・淡路大震災以降に行われた研究開発により、我が国の災害対応ロボット技術は大きく発展し、実用性が上がっている。東日本大震災では、東京電力福島第一原子力発電所の災害対応に、多くのロボットが導入され、その効果と重要性が確認されている。我が国の災害対応ロボットが遅れをとっている技術要素の一つに、通信とネットワークの問題がある。現状では各事業者が既存の通信技術を応用し問題に対処しているが、これらの努力は限界に達しており、今後さらなる普及を促進するためには、災害対応ロボットに適した通信インフラを政府主導により整備することが必須となる。この問題意識より、今年度報告では、まず災害対応ロボットの通信の現状について概観し、昨年度までの検討を踏まえて通信インフラに関する問題点を明らかにし、次にそれらを解決するための試案を提言する。

6. 2 災害対応ロボットの種別と利用状況

災害対応ロボットは、地震災害・土砂災害・水害・火山災害・雪害・テロ災害等の、人の侵入が危険または不可能な環境において、代替として現場の調査や作業を行うものである。安全な遠隔地から操作者による指示で活動する遠隔操作型が多いが、一部自律型も存在する。本報告では、この遠隔地からの操作、または自律型のデータ転送に必要な通信について、三種に分類して現状とその問題点の調査検討を行った。

屋外遠隔作業ロボット：数十台程度の無人重機による大規模協調作業

小型調査ロボット：通信状況が悪い未知環境中で少数台を情報収集のため運用

無人航空機：見通の良い空中からの情報収集のため複数台を運用

6. 2. 1 屋外遠隔作業ロボット

代表的な屋外作業は無人化施工である。無人化施工は、1991 年の雲仙・普賢岳の火砕流事故を契機に、それまでにあった遠隔操作型の建設機械を複数台用いて、安全な位置からオペレーターが工事を行えるようにカメラ、通信機器類を増強したものである。工事現場では最大 20 台程度の無人の重機が動作する。近年は高精度 GPS やセンサー類、コンピュータ類の ICT による作業補助（これを情報化施工と呼ぶ[1]。現状では）を用いて数 cm 以下の精度で工事が行えるようになっている。

現状では、通信が無人化施工のボトルネックになっている。一例として無人化施工では有人作業と同等に規定の時間内でコンクリート打設を行う必要があるが、不安定な通信状況では、コンクリート打設中に作業中止となり、運搬途中のコンクリートの廃棄や作業箇所の品質の低下などが発生する。このような状況では無人化施工そのものを工法として安定して採用できないため、作業が限定する可能性が生じる。

また雲仙・普賢岳では、工事の最盛期には多くの工区が隣接し、無線障害が発生することがあった。そのため、工区間で無線の調整をすることが必須であった。現在でも 4.9GHz 帯（IEEE802.11j）の無線局等は調整が必要である。

現在の無人化施工は、情報化施工の導入等の高度技術に支えられており、図 6. 1 で示すように多種多様な通信が必要となっている。東日本大震災以降、火山災害の危機が各方面から叫ばれており、これらの対策では大規模な無人化施工や調査ロボット等の利用が予想される。活動が予測される火山

の中で富士山を代表例として考えると、富士山火山防災協議会の防災マップ[2]の溶岩流のドリルマップ図6. 2（左）と可能性マップ図6. 2（右）また三次元シミュレーション結果の一例（図6. 3）を見てもわかるように、10kmの範囲を超える災害が発生することが判る。こうした状況下では無人化施工用機械が数十台同時に稼働できるように、無線設備等を用意する必要がある。

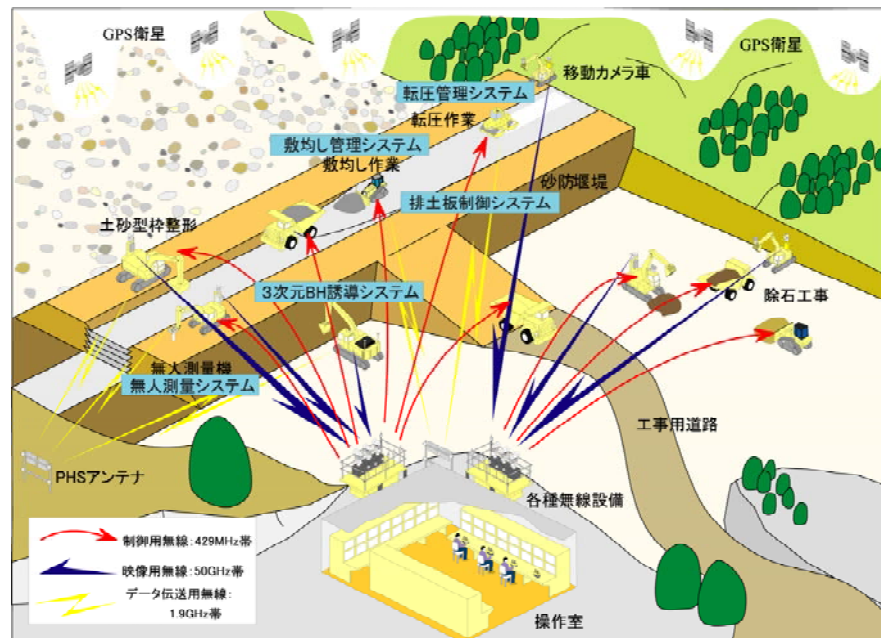


図6. 1 屋外遠隔作業ロボットの例：無人化施工無線通信概要(2007 年ごろ)

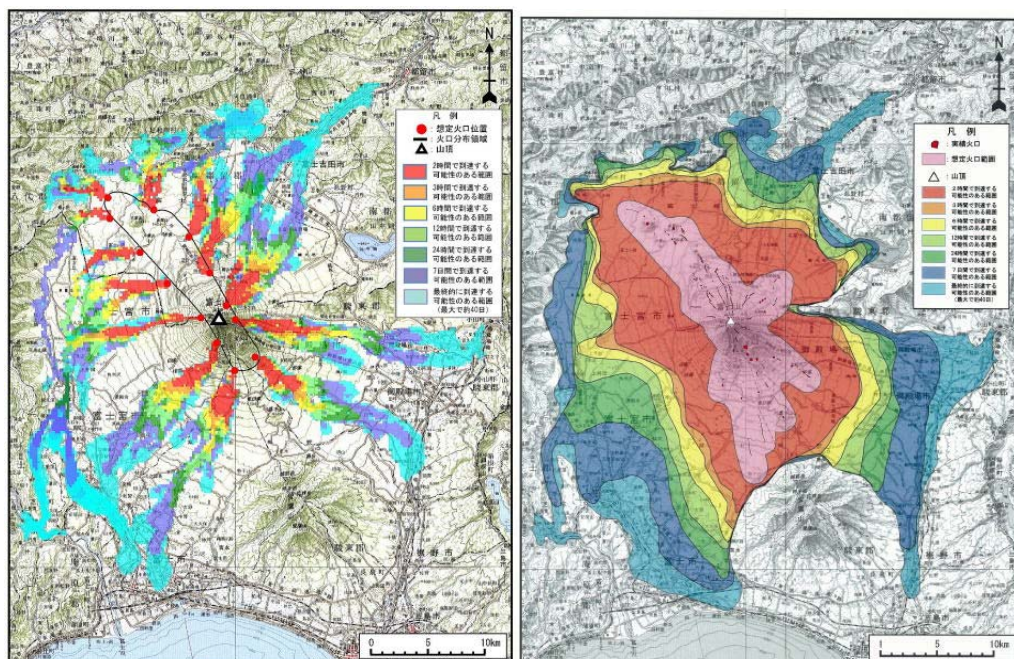


図6. 2 溶岩流のドリルマップ（左）と可能性マップ（右）[2]

表 6. 1 ロボットにおける有線通信と無線通信の比較

	有線(ケーブル)通信	無線(電波)通信
利点	・高速 ・安定、信頼性高い ・環境からの影響を受けにくい	・速度は周波数と帯域幅、出力、変調方式等に依存。高速化も可能 ・機構が比較的簡素 ・力学的拘束が無い ・多数台の同時活動が比較的楽
欠点	・ケーブルの運搬・敷設機構が必要。 ・力学的拘束(引っかかり、絡まり、走行の邪魔)を受ける ・断線すると近距離でも通信不可能 ・多数台の同時行動に向かない ・無人航空機などは利用不可能	・見通し外の通信が不可能または不安定 ・通信距離や範囲が環境依存かつ不可視 ・他の電波により通信が妨害される ・電波法による規制を受ける

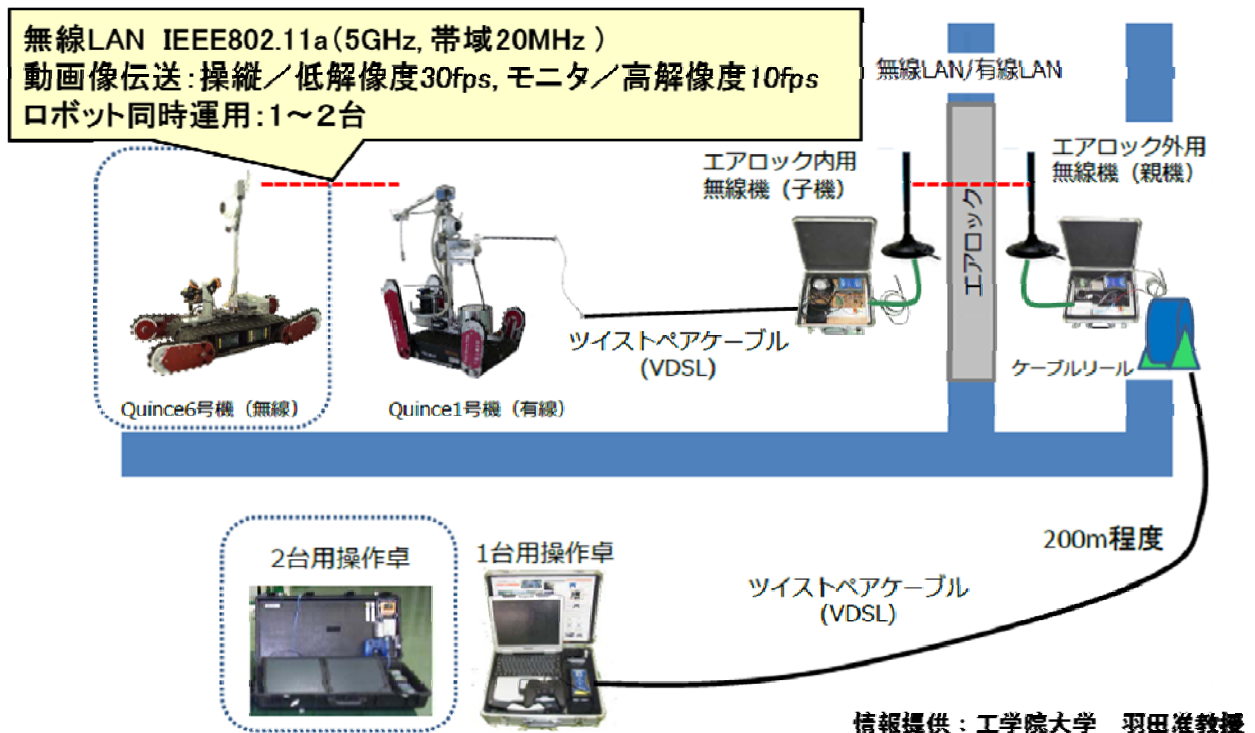


図 6. 4 小型調査ロボットの例: Quince 改のネットワーク設計例

6. 2. 3 無人航空機

東日本大震災における空中からの調査では米 Honeywell 社の RQ-16 T-Hawk 等が用いられた[4]。また東北大学等の研究チームは、火山調査ロボットを、パラボラアンテナを用いた 4km の長距離無線 LAN を使用して動かしている[11]。情報通信研究機構(NICT)、宇宙航空研究開発機構(JAXA)他、

各民間企業などでも無人航空機の研究と実用化が進んでおり（図6. 5～8）、今後安価な電動マルチローターヘリコプターが一般化することにより、さらに発展することが予想される。米国や欧州では無人飛行機の運用高度や行動範囲、重量をもとにグループ分けがなされており、本報告でも行動範囲によって、Gr0～Gr3に分類した（表6. 2）。通信に関するGrの差は空中線電力だけなので、出力の変更によって個別要求を満たすことができる。なおGr3については主に防衛等の特殊用途であるため今回の検討からは外した。

無人航空機の通信の特徴としては、飛行時は他のロボットより見通しが聞きやすいことが挙げられる。すなわち、直接波が受信可能であり、さらにフレネルゾーンも確保しやすいため他のロボットよりも低出力で遠方まで操作可能である。またGPSを利用した自律飛行により、遠隔操作が必須でない場合が多い（そもそも速度が速いと遠隔操作が間に合わない）。

その一方、離発着時は手動操作である機体が多く、地上近くでは通信状況も悪くなるため、特に見通しが聞かない場所での離発着は大きな危険が伴う。他のロボットが比較的安全に停止できるのとは異なり、無人航空機が動作を停止することは墜落を意味するため、より確実な通信が要求される。また撮影映像のリアルタイム転送や、通信の中継機能を目的とする場合は大容量の転送が必要となる。

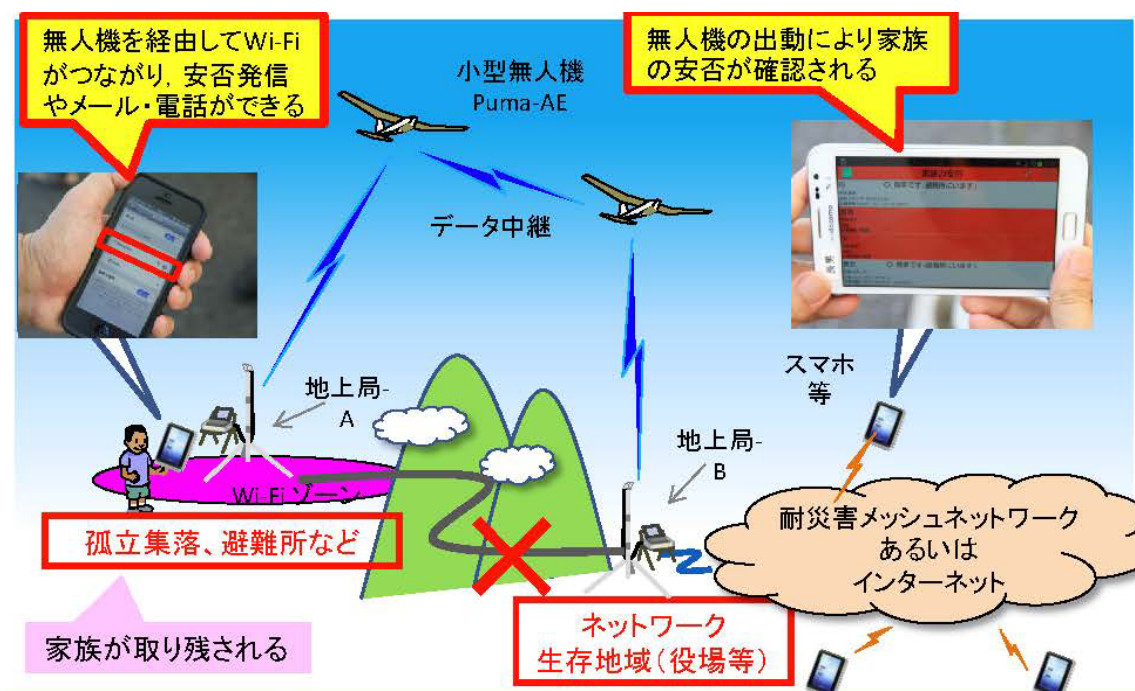


図6. 5 無人航空機の例：(独)情報通信研究機構

a) 災害監視用無人機

- ①目的: 災害時の初動情報の取得
- ②機体: 固定翼型電動(全備5kg)
- ③行動半径: 約1km
- ④航続時間: 最大20分
- ⑤取得情報: 静止画(ただし飛行中の伝送はおこなわない)

周波数: 2.4GHz 帯
 空中線電力: 10mW
 通信速度: 51.9kbps

※別途近距離での手動操縦用R/Cを装備

b) 放射線モニタリング無人機

- ①目的: 福島地区における放射線のモニタリング
- ②機体: 固定翼型レシプロエンジン駆動(全備50kg)
- ③行動半径: 約20km
- ④航続時間: 最大6時間
- ⑤取得情報: 放射線量データ(飛行中は伝送しない可能性あり)

周波数: 400MHz 帯
 空中線電力: 0.1~4W
 通信速度: 9600bps

※別途近距離での手動操縦用R/C、衛星通信系を装備



放射線モニタリング無人機(ベース機)外観
 (JAXA殿HPより)

図 6. 6 無人航空機の例: (独)宇宙航空研究開発機構

- ・手投げ等による簡単発進
- ・着陸は自動胴体着陸
- ・PC上で飛行計画作成後は自律飛行
- ・手動管制飛行も可能
- ・旋回飛行可能
- ・撮影方向可変機能つき可視/IRカメラ搭載(翼幅1.5m級)
- ・リアルタイム伝送機能
- ・充電式バッテリーによる静粛化を実現
- ・飛行速度: 60~72km/h
- ・最大飛行時間: 20分(翼幅60cm)、60分(翼幅1.5m)程度
- ・データリンク: 2.4GHz 約300m
- ・行動半径: -



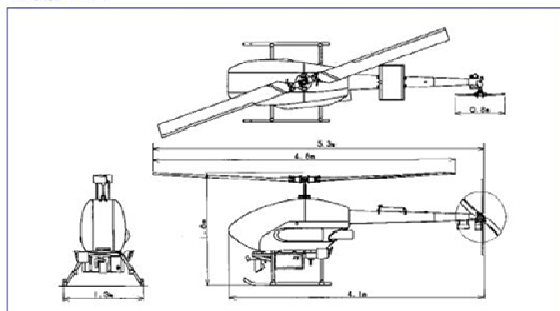
翼幅: 60cm 質量: 約800g



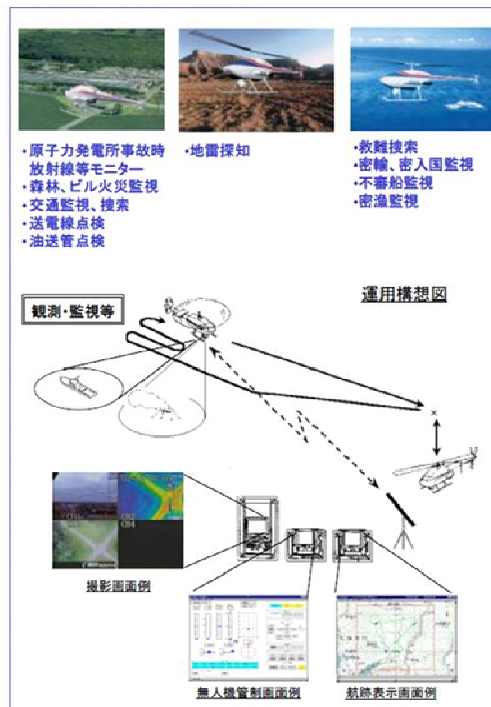
翼幅: 1.5m 質量: 約3kg

図 6. 7 無人航空機の例 (民間企業 1)

◇ 機体三面図



◇ 自律航行無人ヘリコプターの様々な運用例



◇ 自律航行無人ヘリコプター諸元

寸法	全長（ローター含む）	5.3 m
	全幅	1.9 m
	全高	1.9 m
	胴体長（ローター含まず）	4.1 m
質量	メインローター直径	4.8 m
	テイルローター直径	0.8 m
	機体重量（全機）	330 kg
	最大搭載量	100 kg
エンジン	燃料タンク容量	2.7 リットル（2.9 kg）
	形式	水冷・2サイクル・直列3気筒
	排気量	679 cc
	最大出力	83.5 hp
	定格回転数	6,500 rpm
	駆動方式	スタータ・モータ
	制御方式	電子ガバナ（定回転制御）
	燃料	ガソリン・オイル混合 （40：1）

図6. 8 無人航空機の例（民間企業2）

表6. 2 無人航空機の種別と無線通信要求仕様

種 別	行動範囲	使用目的	信号	必要な通信容量 （帯域）	空中線 電力
Gr0: 至近距離	数100m	消防、警察等 小型マルチローターヘリ コプター 数十分の利用	コマンド、 ステータス、 映像	無線LAN	10mW/ MHz
Gr1: 近距離	～5km	NEXCO、電力会社等 無人ヘリ・電動固定翼無 人機・マルチローターヘリ コプター 1時間程度の利用		機体制御： 100kbps データ伝送： 20Mbps (6MHz/ 2MHz×3ch/ 0.5MHz×12ch) (画像の高圧縮・ 高解像度化技術 適用)	100mW
Gr2: 中距離	～15km	消防、海保、国交省、自 治体(県)など 無人ヘリコプター・エンジ ン固定翼無人機 8時間以上の利用			1W
Gr3: 長距離	15km～	防衛省	データ	防衛省専用	防衛省 専用

6. 3 災害対応ロボット運用での無線通信要求

6. 3. 1 災害対応ロボットに必要な通信の特徴

災害対応ロボットの通信の特徴として、ロボットと操作卓の間で非対称な通信が行われることが挙げられる。ロボットの通信は大きく「制御信号」と「データ信号」に分けられる。

制御信号は、ロボットの遠隔制御に必要な、操作卓からロボットに送信される信号。要求される通信容量は少ないが、操縦制御の連続性は必須であり、無線利用環境での電波の遮蔽、干渉等の障害に対し高い信頼性が求められ、回り込み伝達が可能な低い周波数帯域、適正な送信出力の確保が必要となる。

データ信号は、ロボットから操作卓に対し送信される信号であり、ロボットやロボットに搭載されたシステムの位置・速度、作動状態等の作業操作に必要な状態データ、ロボットに搭載された観測用センサーの観測データからなる。

状態データについては、制御信号のように要求される通信容量は少ないが、遠隔操作のループをなすデータについては、制御信号同様に無線通信高に高い信頼性が要求される。したがって、制御信号と同質の無線帯域の運用が望まれる。

後者の観測データは、遠隔移動操縦用の映像データ、偵察ミッション用の映像データやレーダー、スペクトラムセンサ等の観測データである。こちらのデータは、要求される通信容量が非常に大きい。例えば雲仙普賢岳で実施されている無人化施工の場合、20 台余りの建機の同時運用のため動画転送に 60Mbps、福島第一原発で用いられた災害対応ロボットでは、ロボット 1 台当たり 5 台近くの TV カメラ画像を要し 20Mbps/台程度の通信容量を必要とされている。一方、遠隔操縦のために映像の連続性が望ましいが、映像情報は冗長性が高いため、求められる無線通信の信頼性は、上記の制御信号程シビアではない。

制御信号及びデータ信号に共通した要求条件は、データ伝送の遅延時間（レイテンシー）が短いことである。信頼性の高い遠隔操作をするためには、人間の感覚の時間分解能の制約から、図 6. 9 に示すように「ロボットのデータ取得→通信→操作→通信→ロボットの制御」の一連のループが、最長 100ms 程度になるようにシステムを構築する必要がある。

さらに、様々な通信環境に対する無線通信の信頼性確保や柔軟な機器及びプログラムの開発・交換のためには、現状の無線 LAN の様に、IP 通信等を用いた多元接続（複数の無線局の同時利用）機能が必要とされる。

もう一つ重要なことは、ロボットは移動体であり、移動・回転を行うことが挙げられる。すなわち、ロボット側のアンテナはロボットの回転方向に対して指向性を持たないことが条件となる。対して、操作者側のアンテナは指向性を持ってよいが、ロボットが移動する範囲において適切に追尾する技術を備える必要がある。

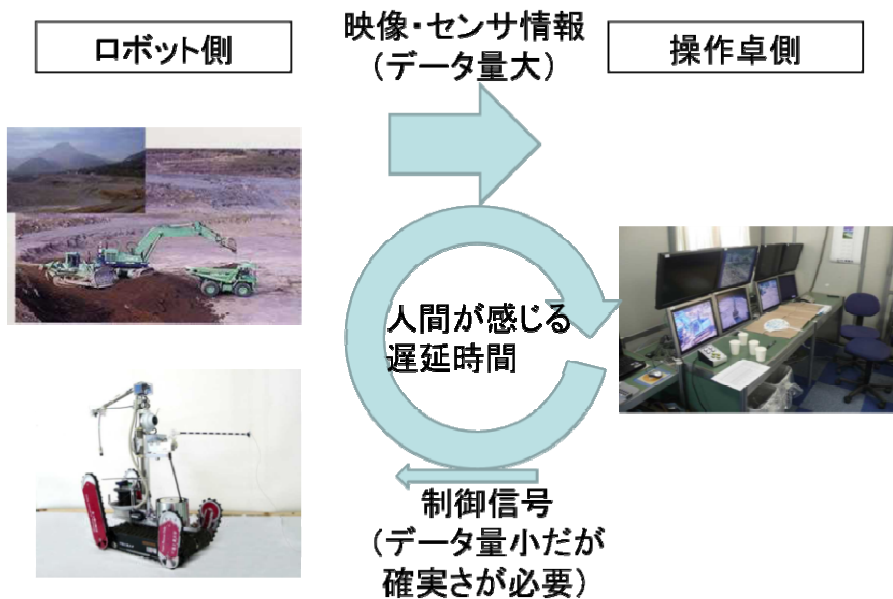


図 6. 9 災害対応ロボットの通信の特徴

6. 3. 2 種別毎の災害対応ロボットに必要な通信の要求仕様

3 種類のロボット種別ごとに要求事項をまとめた。表 6. 3 にこれを示す。

屋外遠隔作業ロボット

無人化施工の通信技術には、以下の 3 点が重要である。

通信は施工中遮断されないこと・・・多くの施工の中で、連続作業時に通信が途切れることは作業を著しく妨害し、また更なる混乱を生じることになる。利用するシステムの中には復帰までに時間のかかるもの（例えば RTK-GPS の基地局からの補正情報や画像伝送システムなど数分の復帰時間を要するもの）では都度作業が中断され、さらに一時的にネットワークへの負担が増加する。これらの障害が頻発すると施工システム全体に悪影響を及ぼし、復旧が延滞する。

通信はリアルタイムであること・・・通信に遅延が多くなると作業に大きな影響を与える。ジッターについても細かな作業に影響を与えるため、できるだけ無いことが好ましい。また遅延時間はネットワークや各種システムに悪影響を与えることがある。

通信は十分な伝送容量を持つこと・・・映像伝送は多くの帯域を必要とするが、この伝送量を常に安定して伝送できない場合、通信システムに負荷がかかり、障害の原因となる。この管理を適切に行う必要があるが、外来波の影響等を受ける場合は管理不能となる場合がある。

これらは「無人化施工システム成立のための通信 3 原則」とも言えるものであるが、これらの原則は多くの他用途ロボットにも共通している。もちろん絶対条件ではないが、重要な局面であり、かつロボットの作業の難易度が増すほど、その条件を守る必要が生じる。ここで議論する災害対応ロボットにとっては大切に守るべき条件となるが、無線通信を含む通信システムではこの条件を守ることは多方面から困難である。

大規模な無人化施工においては、最大 20 台程度の無人建設機械が一度に作業を行うため、広いエリアで大容量の通信が必要となる一方、機体は大型で燃料で動作するため、通信機の大きさや電力に関しては余裕を持つことができる。また通信の遅延についても他のロボットよりは許容時間が長い。環境によって要求される通信距離や回り込み性能が大きく変わるため、複数の通信路を選択または同時に併用することが重要である。

小型調査ロボット

現在のところ 1～2 台による建屋内調査、点検が主目的である。また今後細かな作業が必要であったとしても、環境が狭いためそれほど多数のロボットは同時に動作しない。操作については、階段やがれきの走破など、細かな操縦が必要となることから低遅延が必要であり、建物内など見通しが効かない場合であっても操作できるように高い回り込み性能が要求される。また情報収集が目的であるためカメラ類を多数搭載しており必要なデータ信号の量が他のロボットに比べて大きいことも特徴である。

無人航空機

被災現場の上から映像を撮影することが主目的である。現状のロボットは手動操縦を行うものが多いが、GPS 航法などを用いて自動制御され、着陸後にデータを回収する場合は、通信は必要最小限となる。しかし全く必要ないわけではなく、飛行経路の変更指示や、離着陸の操縦、非常時の安全墜落指示などの制御信号の確実性は重要である。また、飛行させながらリアルタイムに映像を見るニーズは高いため、その場合はデータ信号が大きくなる。また重量を軽くするため、通信機は極力小型軽量、低消費電力であることも重要な要求事項である。

表 6. 3 ロボット種別ごとの要求仕様

評価項目	A:屋外遠隔作業 ロボット	B:屋内遠隔作業 ロボット	C:無人航空機
前提とする 運用概要	・大型無人建設機械 ・通常100m～300m (最大2km) ・映像、制御 ・情報化施工支援	・建屋内調査・点検 ・遠隔画像を介した目視 操縦作業 ・画像情報収集、サンプル 収集	・上空より画像撮影 ・離着陸時は肉眼もしくは は遠隔画像を介した 目視での遠隔操縦 ・遠隔時は自律飛行 ・Gr0: マルチローターヘ リコプター ・Gr1: 無人ヘリコプター、 電動固定翼、マルチ ローターヘリコプター ・Gr2: 無人ヘリコプター、 エンジン固定翼
通信距離	中継無し: 300m 中継有り: 数km	中継無し: 100m、高低差50m (コンクリー10階建屋) 中継有り: 700m、高低差100m (地下駅または20階建て 建屋)	Gr0: 数百m(100mW) Gr1: ～5km(100mW) Gr2: ～15km(1W)
同時操縦台数	最大20台程度	最大2台程度	最大5台程度
単体通信容量	制御: 1.5Mbps程度 データ: 3Mbps程度 (動画伝送: 640×480画 素, 30fps)	制御: 1Mbps程度 データ: 20Mbps程度 (カメラ: 3Mbps × 5台)	制御: 10kbps程度 データ: 20Mbps程度 (操縦: 低画質高速画像、 観測: 高画質低速画像 の使い分け)
最大許容遅延・ 停止時間	100ms以下	100ms以下	100ms以下
通信機 電力消費	数10W以下 (電力供給に余裕あり)	2W程度	1W程度
通信機コスト	100万円程度でも可	数10万円以下	1万円～数100万円 (通信仕様による)

6. 4 実現上の問題点

上述の要求仕様を全て満たすことは多数の問題点から困難である。これまでに明らかとなった問題点を以下に述べる。

6. 4. 1 適切な周波数帯と帯域の選定

回り込み（回折）性能を高くするためには低い周波数の搬送波が好ましい。しかし低い周波数は波長が長く、アンテナ長も長くなりロボット搭載に適さない場合がある。波長の長さから生じる定在波によるデッドスポットも大きくなる。また VHF 等の低い周波数は載せられる情報量も小さくなり、最大 60Mbps という要求仕様を満たすには大きな帯域幅が必要となる。

一方、UHF や SHF 等の高い周波数では載せられる情報が大きく、またアンテナも小さくて済むが、空気中の減衰が大きく遠方まで届かせるためには大出力が必要となる。また回り込み性能も低いため屋内等の見通し外通信に不利である。

6. 4. 2 限られた電波資源

電波は限られた資源であり、総務省により監理が行われている。近年の急速な情報通信技術の発展により、実用的な周波数は全て割り当て済みであり、現状ですぐに災害対応ロボット専用利用できる周波数帯は存在しない。無許可で割り当て外の周波数帯を利用することは電波法違反であり、当然、電波法および施行令／施行規則等を遵守する必要がある。

6. 4. 3 一般無線 LAN の輻輳

一般に、手軽に利用可能かつ高スループットな無線機として 2.4GHz 帯や 5.2/5.3/5.6GHz 等の無線 LAN 機器が挙げられる。これらはいわゆる小電力無線局に分類され、免許を要しない無線局であるため、パソコンやゲーム機に広く利用されており、研究機関のみならず一般の民間企業のロボットもこれを多く利用している。しかしこれらの周波数帯は混信に対して保護されないため、通信障害による誤動作がおこることで物理的に動作し危害を加えうるロボットに用いることは不適切である。多くのロボット関連の展示会でも、会場入口に無線 LAN の利用禁止の文言が見受けられるが、これを見てもわかるように、無線 LAN を現実の災害現場で適用することは大変危険であるといわざるを得ない（図 6. 10）。



図 6. 10 展示会等で見られる無線 LAN 使用禁止の看板

6. 4. 4 市場の小ささと大きな開発コスト

周波数帯やその活用技術が用意されると同時に、これを利用する通信機が必要である。災害対応ロボットは重要性が増しているとはいえ、その市場は小さく、現在動作している災害対応ロボットは数十台程度であり、今後も国内では数百台程度の生産に留まると考えられる（例えば国内のはしご車と同数（1,214 台）程度が見込まれる[12]）。一方、新規無線帯域での通信機の開発においては、新規のチップを起こす場合 10～20 億円、チップの流用による開発でも 2 億円オーダーの開発投資が必要とされる。すなわち、無線機メーカーにとって災害対応ロボットは採算の取れない小さい市場しかない。通信機の 1 台あたりのコストを下げるためには、台数を増やす施策が必要であるが、台数が増えると輻輳の可能性も増える。

6. 4. 5 平常時／訓練時／災害時の動作

これまでの災害の教訓から、ロボットのみならず全ての災害対応機器については、平時から訓練を欠かさないことが重要である。そのため、災害現場のみならず、ロボットの訓練施設や、平常時から利用する一般業務利用が重要となる。無線電波においても災害時だけでなく平常時や訓練時においても利用できる必要がある。

6. 4. 6 マネージメントの必要性

ISM バンドのように免許を要しない無線局だけでなく、移動局が用いる電波は無線局が集まり、局所的に輻輳が起きることがある。事実、東日本大震災においては携帯電話のみならず[13]、消防救急無線等の重要無線の通信が輻輳・妨害されたことが問題となり[14]、消防救急無線のデジタル化が急がれた[12]。ロボットについても、特に東京電力福島第一原子力発電所の事故においては、一度に多数のロボットが投入され、同一周波数帯(主に 2.4GHz 帯)を利用したため輻輳が大きな問題となった[15]。このような災害時の輻輳については、電波を効率的に利用し、作業を円滑に進めるために、時間的・空間的に電波の利用を管理し、使用目的や緊急性に応じて制限する枠組みが必要である。

6. 4. 7 災害対応ロボットの発展の余地

災害対応ロボットは阪神・淡路大震災以降ならびに雲仙普賢岳の火山災害対策から本格的に研究開発が始まっており、歴史が浅く発展途上の技術である。現在の災害対応ロボットの仕様に合わせて電波設計を行うと、将来の電波利用が大きく制限される恐れがある。例えば 10 年前は無人航空機がこれほどの発展を遂げることは予測できなかった。また、小型調査ロボットも毎年のように性能が向上し、これまでは不可能だった範囲まで活動できるようになってきている。このため、電波設計はある程度、将来開発されるロボットを見すえて行わなければならない。

6. 5 災害対応ロボットの通信に関する提言

6. 5. 1 提言内容の概要とメリット

災害現場においてロボットと操作者間の映像等センサー信号と制御信号を、活動に十分なレベルで通信可能な周波数帯「ロボット革命実現周波数帯」を確保すべきである。この周波数帯は免許または登録制で、平常時には制限つきで民間に利用可能とすることで、新たなロボットビジネス市場の創出・活性化、無線機の普及と低価格化を図ることができる。ただし災害時には、災害対応に供しない

利用については利用を停止させ、専ら災害対応に用いる。この提案により、電波の有効活用、無線機器の低価格化、災害対応時の輻輳低減を図ることができる。また、平常時の訓練や開発試験のために、制限なしで電波を利用可能な特区を設置するべきである。また、この周波数帯用の無線機の開発や平常時利用を促進するための枠組みを作成するべきである。

6. 5. 2 ロボット革命実現周波数帯の確保

災害対応の定義にこだわらず、映像がしっかり通る程度の帯域を確保して、民間に自由に使わせるようにすることで、市場活性化（新ロボットビジネスやニーズの掘り起し、通信機材の低価格化）が促進されると考えられる。この周波数帯をここではロボット革命実現周波数帯と呼ぶ。ロボット革命実現周波数帯の利用は、従来の ISM バンドの様に免許を要しない無線局ではなく、免許制または登録制にすべきである。また、米国の公共無線システム計画を手本にして、災害時には警察、消防などに優先権を持たせて利用することも想定する。具体的な通信周波数帯の指定はここでは行わないが、本提言ではいくつか具体的な周波数の検討を行ったので付録に記した。

専用周波数帯域を確保したとしても、複数のロボット運用を円滑に行うため、限られた電波リソースを空間的また時間的に適正配分して運用を図ることが必須となる、このためには、組織的な運用管理が必要であり、調査したところ、次のような管理運営パターンが例示された。

運営パターン A：センターが免許を持ちセンターに所属するメンバーのみが運用できる。

運営パターン B：免許が必要だが、個別のユーザー間で管理運営する。

運営パターン C：免許が不要だが、ユーザーの円滑運用のためセンターが自主管理運営する。

これらの活動にならい、ロボット革命実現周波数帯については、「災害対応ロボット技術センター」が、災害対応ロボットを運用する警察・消防、自衛隊、プラントメーカー、自治体の土木事務所、指定公共団体、ロボット開発メーカー及び研究団体などの組織に対し、周波数帯域の分配、無線運用の管理を行うべきである。

該当利用者の優先度は登録時に検討し、優先度の高さに応じて電波の出力を、電波法で許されたものよりもさらに制限する。制限の種類は帯域幅の制限、出力の制限などが考えられる。また、優先度については以下が望ましい。

優先度 A：専ら災害対応のための訓練、運用を実施する免許人

警察、消防、自衛隊等を想定。

平常時においても、法令で定められた上限まで電波を利用できる。

優先度 B：通常業務とは別に、災害時に対応を行う免許人

プラントや橋梁点検業者、指定公共団体、災害対応ロボット研究者・メーカーを想定。

平常時においては制限された電波利用を行うが、災害時は優先度 A の運用を妨げない範囲で、法令で定められた上限まで電波を利用できる。

優先度 C：災害時に対応を行わない免許人

今後の新ビジネスに供する事業を行う団体を想定。

平常時には制限された電波を利用するが、災害時は電波を利用できない。

災害時には、災害対応ロボットの遠隔操作の無線通信を妨げないように、優先度 B および C の免許人に局所的に電波の利用制限をかけることを可能とする必要がある。そのためには通信機に運用管理に必要な制御機能を内蔵すること等の技術的検討も行うべきである。

6. 5. 3 特区テストフィールドの設置

上記のロボット革命実現周波数帯では、平常時には一部の免許人は電波の利用が制限されるが、これでは災害訓練時や試作・開発試験時に、電波を法令で定められた上限まで利用することができない。試作・実用評価のループを回す必要がある災害対応ロボットの実用化開発、ならびにオペレーターの育成・スキル維持のための訓練には、非常時と同様のロボットの取扱いが必須であり、平常時から制限のない利用が可能な限定的な特区を設置する。具体的には福島イノベーション・コースト構想の枠組みの中で、ロボット革命実現周波数帯活用の特区を設置し、ここで、上記免許人が災害時と同様の帯域幅と出力で試験、運用可能な枠組みを設置することが望ましい。

6. 5. 4 無線機の開発支援ならびに利用シーンの創出と提供

ロボット革命実現周波数帯やこれを実現する技術が用意されると同時に、通信機が実用化、商品化される必要があり、これを支援する開発研究費と制度整備が必要である。開発した無線機は災害対応ロボットのみならず、同周波数帯を利用する様々な機器に対して利用可能とし、機器の低価格化を図る。また開発した無線機の継続的利用シーンの創出、提供を行うために、インフラ点検業務や工事現場での平時利用を促進する制度整備が必要である。

6. 6 通信・インフラに関する提言のまとめと今後検討すべき課題

1) まとめ

本中間報告では、以上の検討から以下の3つの提言を行った。

・ロボット革命実現周波数帯の確保：

災害対応ロボットの遠隔操作において必要となる無線通信周波数と帯域を確保すべきである。

・特区テストフィールドの設置：

非常時における現場での災害対応ロボット運用に際し、特例措置として無線通信出力を上げることができるよう規制緩和を行うべきである。また、災害対応ロボットの平時訓練や実証試験のために、無線通信を高出力で行えるような平時利用の場（特区）を設置すべきである。

・無線機の開発支援ならびに利用シーンの創出と提供：

国からの災害対応ロボット用無線機開発の初期投資支援が必須であり、また開発した無線機の継続的利用シーンの創出、提供を行うべきである。

2) 今後の課題

・上記提言実現に向けた電波行政への働きかけ。

2014年10月21日より、総務省・一般社団法人電波産業会が発足した「ロボット用電波利用システム調査研究会」に参画し、無線通信業者、通信機器メーカーを交え、ロボット全般の社会活用に向けた無線通信の利用につき議論を進めている。

産業競争力懇談会の立場からは、本プロジェクトでまとめた災害対応ロボット用無線通信に関する提案を提示し、既存通信業界とロボット開発・運用業界との相互の情報交換、相互要求の確認を行いつつ、災害対応ロボットの適性無線通信環境の確保に向けて議論を進めている。

<参考資料>

- [1] 建設施工・建設機械：情報化施工 - 国土交通省
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000017.html
- [2] 富士山ハザードマップ検討委員会報告書 - 富士山火山防災協議会、
<http://www.bousai.go.jp/kazan/fujisan-kyougikai/report/index.html>
- [3] 溶岩流シミュレーション例、<http://www.aquasystem.co.jp/hazardmap/img/image001.png>
- [4] P.R.Bengel、"The TMI-2 remote technology program、" in Proc. of the workshop on requirements of mobile teleoperators for radiological emergency response and recovery、 pp.49-60、 1986.
- [5] 日本ロボット学会、東日本震災関連委員会、原子力関係記録作成分科会："原子力ロボット記録と提言"、http://www.rsj.or.jp/databox/committees/141001saigaikiroku_fainal_zanntei.pdf
- [6] KeijiNagatani、 et. Al.、 "Redesign of rescue mobile robot Quince -Toward emergency response to thenuclear accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station on March 2011-、" Proc. of the 2011 IEEE SSR、 pp. 13-18、 2011.
- [7] "東電、原子炉建屋内で停止したクインスの扱いは未だに検討中"、日刊工業新聞社 Robonable、
<http://www.robable.jp/news/2011/10/quince-1028.html>
- [8] "トピー工業のロボットは回収困難、無線通信で救助できず、原発事故調査"、日刊工業新聞 Robonable、<http://www.robable.jp/news/2012/07/topy-0713.html>
- [9] 羽田他、"災害対応探索ロボット群の長距離遠隔操縦のための有線・無線統合型アドホックネットワーク"、情報処理学会論文誌、Vol.51、No.4、pp.1204-1214、2010.
- [10] 福島第一原子力発電所建屋内で活躍するロボットについて「Rosemary（ローズマリー）」& 「Sakura（サクラ）」～ロボットが撮影した原子炉建屋（1号機）内部の映像～ | 技術研究組合国際廃炉研究開発機構- IRID、http://irid.or.jp/research/rosemary_sakura/
- [11] Keiji Nagatani、 et. Al.、 "Volcanic Ash Observation in Active Volcano Areas using TeleoperatedMobileRobots --Introduction to Our Robotic-Volcano-Observation Project and Field Experiments--"、Proc. of the 2013 IEEE Int'l Workshop on Safety、 Security and Rescue Robotics、 5A-1、 2013.
- [12] 平成 25 年度版消防白書、<http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h25/h25/index.html>
- [13] 総務省 | 重要通信の高度化の在り方に関する研究会
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/jyuyou-t/
- [14] 総務省 | 大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方ー最終取りまとめの公表ー
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban02_02000043.html
- [15] 第 4 回ロボット革命実現会議資料（2014 年 12 月 4 日）
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/robot/dai5/siryou1-4.pdf>

7. 災害対応ロボットの社会実装と産業競争力強化のための提言

COCN では 2011 年度から災害対応ロボットに関するプロジェクトを立ち上げ、4 年間に渡り政策提言活動を実施してきたが、この間、福島第 1 原子力発電所の調査や廃炉用ロボット、防衛省の CBRN 対応遠隔操縦作業車両システムなどのロボット開発が行われ、2014 年度からは経産省／国交省の次世代社会インフラロボット、内閣府の SIP、ImPACT におけるインフラ維持管理・災害対応ロボットなどの研究開発事業が開始された。

また、2014 年 2 月には「福島イノベーション・コースト構想研究会」において災害対応ロボット技術センターを福島県浜通りに設置することを提案するとともに、2014 年 11 月及び 12 月には「ロボット革命実現会議」において田所主査および浅間 PL が学識経験者として災害対応分野及びロボットの社会実装に必要な環境・基盤整備についてそれぞれプレゼンを実施した。

福島浜通りへのロボット研究・実証拠点整備を含む「福島イノベーション・コースト構想」は、2014 年 6 月 24 日に政府の「骨太の方針 2014」に記載された。さらに「ロボット革命実現会議」では、2015 年 1 月 23 日に政府の「ロボット新戦略」が発表され、「フィールドロボットを中心とした実用化の動きを加速化するため、新たな実証フィールドとして、福島県に「福島浜通りロボット実証区域」（仮称）を設け、陸上・水中・空中のあらゆる分野におけるロボット開発の集積拠点とする」と明記された。その際、総理から、「このロボット新戦略に基づいて、日本を世界最先端のロボットショーケース化する。その第一歩として、福島県に新たなロボット実証フィールドを設け、日本全国からロボット開発に挑戦する方々を募り、世界に誇る次世代ロボットの実証拠点とする」との発言があった。

図 7. 1 に示すように本プロジェクトでは災害対応ロボットの社会実装に必要な【政府方針(戦略)】として「骨太の方針 2014」に記載された「福島イノベーション・コースト構想」及び「ロボット革命実現会議」で公表された「ロボット新戦略」を根拠とし、既に開始されている【研究開発事業】を関係府省・機関と連携して強力に推進する必要がある。

また、今年度プロジェクトでは【社会実装基盤整備】として「ロボット研究・実証拠点」の整備のほか、研究開発された各種ロボットの社会実装に不可欠な安全性、信頼性、防爆性などの認証、操作員の技能保証、運用ルール作りについて提言を纏めている。

次年度以降はプロジェクトまたは協議会として災害対応ロボットの認証・検定・訓練制度の確立と認証を得た災害対応ロボットを各種防災機関、指定公共機関、民間事業者等への配備を義務化するための制度作りの提言が必要と考えている。



図 7. 1 災害対応ロボットの社会実装に向けたフロー

7. 1 災害対応ロボットの社会実装に向けた活動

7. 1. 1 福島イノベーション・コースト構想研究会

「福島イノベーション・コースト構想」は2014年1月～6月までの間、赤羽原子力災害現地対策本部長の私的懇談会として設置された「福島・国際研究産業都市（イノベーション・コースト）構想研究会」において、今後30年を要するといわれている福島第一原発の廃炉推進のために研究開発拠点や試作・製造拠点、技術者の研修拠点、新規居住者向けの社会インフラなどの集中整備と、それに伴う廃炉に関連する研究や関連産業の集積を苗床として新たな研究・産業拠点を地域全体で戦略的に整備し、新技術・新産業の創出につなげて福島県内の経済復興を後押しすることを目的として纏めた福島浜通りの復興構想である。

「福島イノベーション・コースト構想」の主要事業は①国際廃炉研究開発拠点の整備、②廃炉や災害対応ロボット研究・実証拠点の整備、③国際産学連携拠点の整備、④エネルギー関連産業の集積、⑤農林水産における新たな産業創出などのプロジェクトなどで構成されており、2014年6月24日に「経済財政運営と改革の基本方針 2014 について」（骨太の方針）において、『原子力災害からの復興・再生に向け、同構想を推進する』として閣議決定された。

COCN プロジェクトでは同研究会に参加し、福島浜通りに災害対応ロボット技術センターを設置することにより、今なお放射能汚染等によって復旧・復興が遅れている福島県浜通りの災害現場に災害対応ロボットを適用してイノベーションの創出を図り、復興の加速、さらには国土強靱化、成長戦略への貢献を提案した。

具体的には、災害対応ロボットの社会実装に必要な災害対応ロボット技術センターのロボット開発・実証拠点として、モックアップ試験施設（楢葉町に建設予定）とロボットテストフィールド（未定）の設置を提言した。前者は主に屋内ロボット、後者は主にフィールドロボットを想定している。同研究会ではこれらの設備と連携した企業や大学の研究・開発のための共用施設の整備やロボット国際競技会の開催なども検討された。

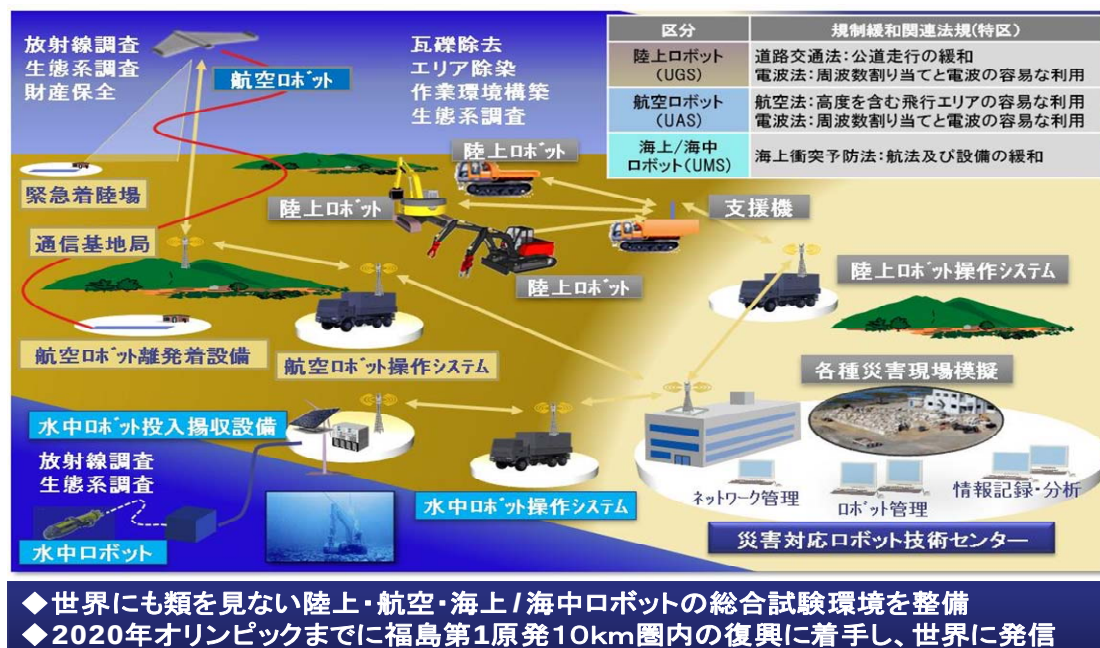


図7. 2 災害対応ロボット技術センター（ロボット研究・実証拠点）のイメージ

福島ロボットテストフィールドは、陸・海・空の災害対応ロボットについての官民の研究・実証施設として提供するとともに、緊急時には災害現場にロボットを派遣することも考慮している。また、研究・実証を円滑に進めるため、電波法や航空法等の規制緩和特区とすることも提案している。

7. 1. 2 ロボット研究・実証拠点整備等に関する検討会

「福島イノベーション・コースト構想」の取り纏めを受け、2014年11月から経済産業省及び内閣府において「ロボット研究・実証拠点整備等に関する検討会」が開催され、ロボットテストフィールド設置に向けて検討を進めている。

COCN プロジェクトとしても同検討会に参加し、ニーズ・コストの精査に向けた検討、特に利用者の明確化、費用の負担などについてアンケート調査結果、拠点の構想（案）等について提示した。

7. 1. 2. 1 利用者の分類

表7. 1にロボット研究実証拠点の利用者の分類（案）を示す。ロボットユーザは主としてオペレーターの検定・訓練、メーカーは主として試験・認定、大学等の研究者は主として試験のために利用することが想定される。

表7. 1 ロボット研究・実証拠点利用者の分類（案）

区分	機関等		利用形態	対 象	ロボット用途(平時)
ユーザ	防災機関等	国交省	訓練	10拠点(地方整備局)	災害調査・復旧・(点検)
		消防庁	検定 訓練	789本部(緊急消防援助隊)	情報収集・捜索・(消防)
		警察庁	検定 訓練	12自治体(広域緊急援助隊)	警備・監視・捜索・(捜査)
		自衛隊	検定 訓練	82駐屯地(災害派遣部隊)	情報収集・捜索・復旧
		海保庁	検定 訓練	11管区	捜索・救助(調査)
		自治体	検定 訓練	103ヶ所(土木事務所)	情報収集(調査)
	指定公共機関	電力	検定 訓練	721事業所	送電網、設備調査(点検)
		ガス	検定 訓練	47事業者	プラント調査・保守(点検)
		NEXCO	検定 訓練	55事業所	トンネル、橋梁調査(点検)
		鉄道	検定 訓練	94拠点	トンネル調査(点検)
民間	石油、化学 有毒ガス等	検定 訓練	930事業所	プラント調査(点検)	
メーカ	陸上ロボットメーカ		試験 認定 検定	約20社(大手、ベンチャ)	販売
	航空ロボットメーカ		試験 認定 検定	約20社(大手、ベンチャ)	販売
	水上/水中ロボットメーカ		試験 認定 検定	約10社(大手、ベンチャ)	販売
研究	大学・国研・国プロ		試験	NEDO・JST委託事業者等	研究
	防衛省技本		試験	4研究所	研究開発
サービス	警備会社		試験 検定 訓練	全国	警備サービス
	物流会社		試験 検定 訓練	全国	宅配、離島輸送サービス
	作業・調査会社		試験 検定 訓練	全国	農業、撮影、地理情報
イベント	ロボコン		フィールド借用	企画事業者	—
	防災訓練		フィールド借用	国、自治体、DMAT等	—

7. 1. 2. 2 利用に関するアンケート調査

表7. 2にロボットメーカー、ロボットユーザ/サービス事業者を対象に実施したアンケート調査の纏め表を示す。アンケートはロボットユーザとして建設、プラント、警備、サービス等の事業者、メーカーとして建設機械、航空ロボット、水上/水中ロボット等の製造事業者などを対象とした。

メーカー、ユーザーともに要望した事項はロボットの公的認証及び公的検定であり、メーカーの要望としてはロボットに関する技術、試験データなどの機密保持運用（短期占有）であった。

表 7. 2 ロボット研究・実証拠点に関するアンケート調査結果

区 分	陸上ロボット	水中・水上ロボット	航空ロボット
研究開発の課題	・試験フィールド確保困難 ・認証制度の未確立 ・操縦資格検定制度の未確立 ・市場の未開拓	・試験フィールド確保困難 ・認証制度の未確立 ・検定制度の未確立 ・市場の未開拓 ・実証、開発試験の高コスト	・試験フィールド確保困難 ・認証制度未確立 ・操縦資格検定制度の未確立 ・市場の未開拓 ・飛行許可要件が未確立 ・NOTAM許可の遅延 ・電波法の規制 ・損害保険条件の未整備
フィールド面積等	0.4km×0.6km(作業) 1km×1km(調査)	10km×25km×D100m	2km×2km(マルチロータ) 5km×5km(チルトウイング) 15km×15km(ヘリ)
拠点への要望	・瓦礫・土砂崩等の災害模擬 ・登坂・軟弱など走行試験現場 ・転倒・埋没時の回収装置 ・多種器材混在での試験	・投入揚収設備 ・海上/海中試験機材の位置特定設備	・海外電波、高出力電波試験 ・農業散布エリアの隣接
	・拠点が公的認証付与機関であることと評価者は無線操縦に関するプロであること。 ・拠点が公的検定機関(指定機関)であること ・試験を円滑に推進するために道交法、航空法、電波法等の規制緩和特区が望ましい。 ・機密保持運用(短期占有) ・機材整備、データ整理等の作業可能な設備が付属されていることが望ましい。 ・部品調達、メンテナンス等の地元企業の協力及び宿泊設備 ・ユーザーニーズとメーカーシーズとのコーディネート機関の設置		

7. 1. 2. 3 ロボット研究・実証拠点の機能

アンケートで要望の多かった公的認証及び公的検定については拠点の機能との相関を検討し、図 7. 3に示す機能（案）を提示した。ただし、この機能の実現には所管府省による安全基準等の整備事業および認証、認定等を実施する機関の指定等が必要となる。

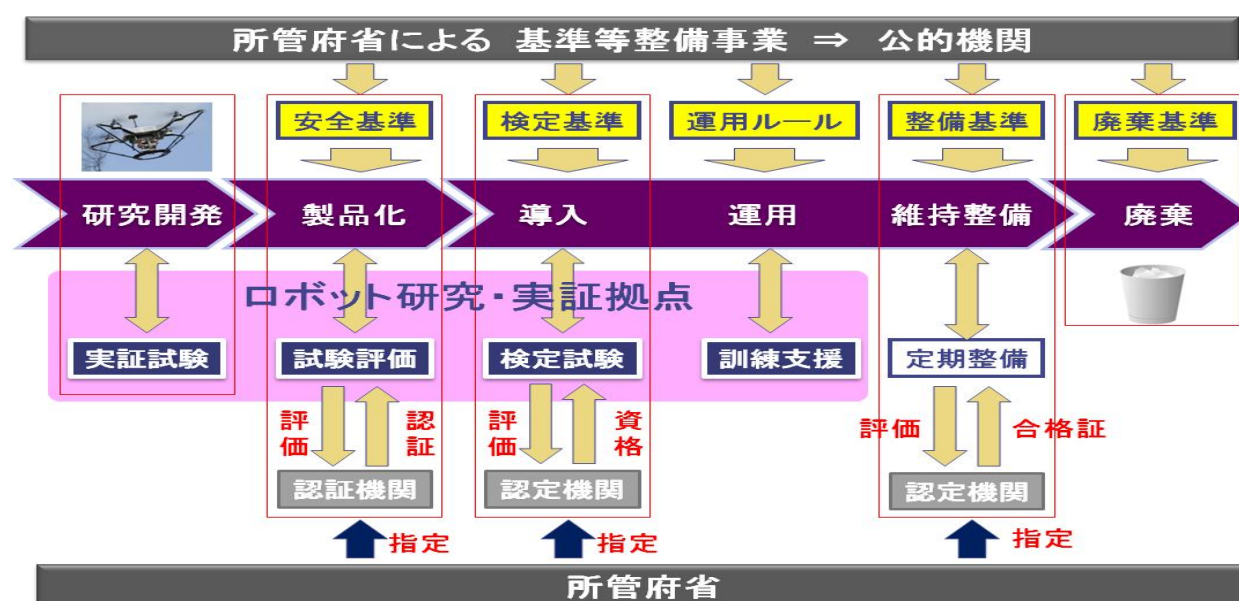


図 7. 3 ロボット研究・実証拠点の機能（案）

7. 1. 2. 4 ロボット研究・実証拠点の規制緩和

拠点での試験を円滑に推進するために道交法、航空法、電波法等の規制緩和特区の要望が多かったため、所管府省に規制緩和について指導いただくとともに、その内容を表7. 3に示す。規制緩和については福島県と調整し、内閣府の「近未来技術実証特区」への応募も含め検討中である。さらに申請や許可の手続き緩和が重要である。

表7. 3 ロボット研究・実証拠点の規制緩和

区 分	法令及び課題	緩和等の内容
陸上 ロボット	道路交通法第77条第1項 により、道路の使用についてはその都度、許可申請が必要であるが、ロボットの稼働状況、気象条件等で道路使用申請の内容について頻繁な変更が想定されるため、円滑な事業の推進が困難となる。	特区内の特定の道路、地域等において陸上ロボットの移動等を伴う実証実験等を実施する際、道路使用許可の手続きを円滑化するために、 包括的(例えば通年)な道路使用許可 とし、道路使用の都度、届出で済むよう手続きの変更を希望する。
航空 ロボット	航空法第九十九条の二及び航空法施行規則第二百九条の三及び第二百九条の四 により航空ロボットは飛行に影響を及ぼすおそれのある行為として扱われ、首都直下型地震等での運用を想定した高度600mまでの空域は使用の都度、許可申請又は通報が必要であるが、安全性を評価する試験等は長期間に渡る空域使用が必要であるとともにロボットの稼働状況、気象条件等で空域使用申請の内容について頻繁な変更が想定されるため、円滑な事業の推進が困難となる。	特区内の特定の空域を常時使用可能とするために 包括的(例えば通年)な空域使用の許可 を希望する。これに伴い、航空法九十九条及び同施行規則第二百九条の二に基づく航空局への航空情報提出を飛行の都度提供(日々)から一定期間の空域使用計画及び使用報告の提出とすることを希望する。また、この空域は長期間使用を想定しているため、その都度のNOTAM発行ではなく「 航空路誌補足版(AIP Supplements) 」での 発行 を希望したい。
遠隔 操縦等	電波法第九六号第四条 により、免許を要しない小電力無線局の空中線出力が規定されておりロボットの行動半径及び行動の安定が大幅に制限されている。災害時等の人命救助支援等には非常通信として空中線出力の引き上げが可能となっているが、ロボットの研究開発段階から空中線出力上限を引き上げた状態で使用できるフィールド環境が存在しないため、実証実験、試験評価、訓練等の実施が困難である。	災害時等にロボットによる情報収集、人命救助支援等を確実に実施するために、非常通信を適用するロボットの試験評価に対して、特区内の特定の地域においてのみ他の電波利用者への影響がないことを確認した上で免許を要しない 小電力無線局等の空中線出力の変更による引き上げ を希望する。

7. 1. 2. 5 ロボット研究・実証拠点の業務マイルストーン

表7. 4にロボット研究・実証拠点の業務マイルストーン(案)を示す。ロボット研究・実証拠点の立上げ当初は各種国プロ、大学で研究・開発したロボットの試験評価が安定的な利用者確保の鍵となる。そのためには性能が不安定な研究開発中のロボットの試験・評価を安全に実施できる試験環境の提供が重要となるため、ロボット研究・研究実証拠点の検討において十分考慮する必要がある。

表 7. 4 ロボット研究・実証拠点の業務マイルストーン（案）

マイルストーン		フェーズⅠ（～2016）	フェーズⅡ（2017～）	フェーズⅢ（2018～）	フェーズⅣ（2019～）
業 務	試験評価支援	試験評価手法作成			
	認定業務	認証規格作成			
	検定業務	検定規格作成			
	訓練利用	運用規定・特区			
利用機関等		・運営機関 （拠点運用準備） ・協議会等（受託）	・国プロPL（試験） ・大学（試験） ・メーカ（試験） メーカ（認定） 防災機関（訓練・検定）	・国プロPL（試験） ・大学（試験） ・メーカ（試験・認証）	・国プロPL（試験） ・大学（試験） ・メーカ（試験・認証） ・防災機関 （検定・訓練）

特に表 7. 5 に示す災害対応ロボットの関連施策・事業に関しては、所管府省及び公的機関が各プロジェクトに対してロボット研究・実証拠点の有効活用を推進することにより、研究開発の安全確保と、円滑な拠点運営の両立が可能となる。

表 7. 5 各府省における災害対応ロボットの関連施策・事業

内閣府：SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）インフラ維持管理・更新・マネジメント技術（H26-H30）			
(4) ロボット技術の研究開発	(A) 維持管理ロボット・災害対応ロボット開発に必要なコア技術（ロボティクス技術）の開発		JST
	(B) 維持管理ロボット・災害対応ロボットの開発		NEDO
経産省：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（H26-H30）			
[3] インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発	b. 災害対応：Ⅰ．災害状況調査（土砂崩落、火山災害、トンネル崩落）、Ⅱ．応急復旧（土砂崩落、火山災害）		NEDO
国交省：次世代社会インフラ用ロボット技術・ロボットシステム（H26-H27）			
2) 『災害調査・災害応急復旧用』のロボット技術・ロボットシステム	国交省の直轄現場等において、現場検証・評価を実施、技術の実用性を確認、活用、開発・改良を促進		国土交通省 総合政策局
総務省消防庁：災害対応のための消防ロボットの研究開発（H26-H30）			
石油コンビナート等のエネルギー・産業基盤災害即応部隊（ドラゴンハイパー・コマンドユニット）の応急対応に資する高度な資機材等	G空間×ICTを活用し、災害現場から離れた安全な場所への画像伝送や放水等の活動を自律・協調して行うことが可能な災害対応のための消防ロボットの研究開発		総務省 消防庁
経産省：ロボット分野の国際研究開発・実証事業／災害対応ロボット研究開発（アメリカ）（H26-H27）			
災害対応ロボットの開発・実証（日本版バーチャルロボティクスチャレンジ、）DARPAロボティクスチャレンジ、日本国内での実演会への参加、シミュレーター開発、性能評価手法の開発（タスク開発）			NEDO
内閣府：ImPACT（革新的研究開発推進プログラム）タフ・ロボティクス・チャレンジ（H26-最大H30）			
タフ・ロボティクス・チャレンジ	未知で状況が刻一刻と変化する屋外の極限災害環境でも、タフでへこたれず、しっかり仕事をする遠隔自律ロボットを実現。	PM：田所 諭 教授（東北大学）	
防衛省：CBRN対応遠隔操縦作業車両システムの研究（H23-H27）			
汚染地域等に遠方から投入し、現場に迅速に到着して各種作業及び情報収集が実施可能なCBRN（Chemical Biological Radiological and Nuclear）対応遠隔操縦作業車両システムに関する研究開発と性能確認試験			防衛省
経産省・福島県：災害対応ロボット産業集積事業（H26）			
東日本大震災により発生した原子力事故の影響を受けた市町村を中心に、福島県の復興促進を目的として実施。医療・福祉機器分野をはじめとしたロボット開発の産業集積を目指し、その一環として災害対応ロボット技術開発への支援。福島県内のロボット産業の裾野を広げ、競争力強化を図り、復興を加速化。			福島県 経産省

7. 1. 2. 6 ロボット研究・実証拠点の組織及び施設等

ロボット研究・実証拠点に必要な機能を実行するための組織を図7. 4に示す。また、拠点に必要な資機材、施設、フィールド等を図7. 5に示す。

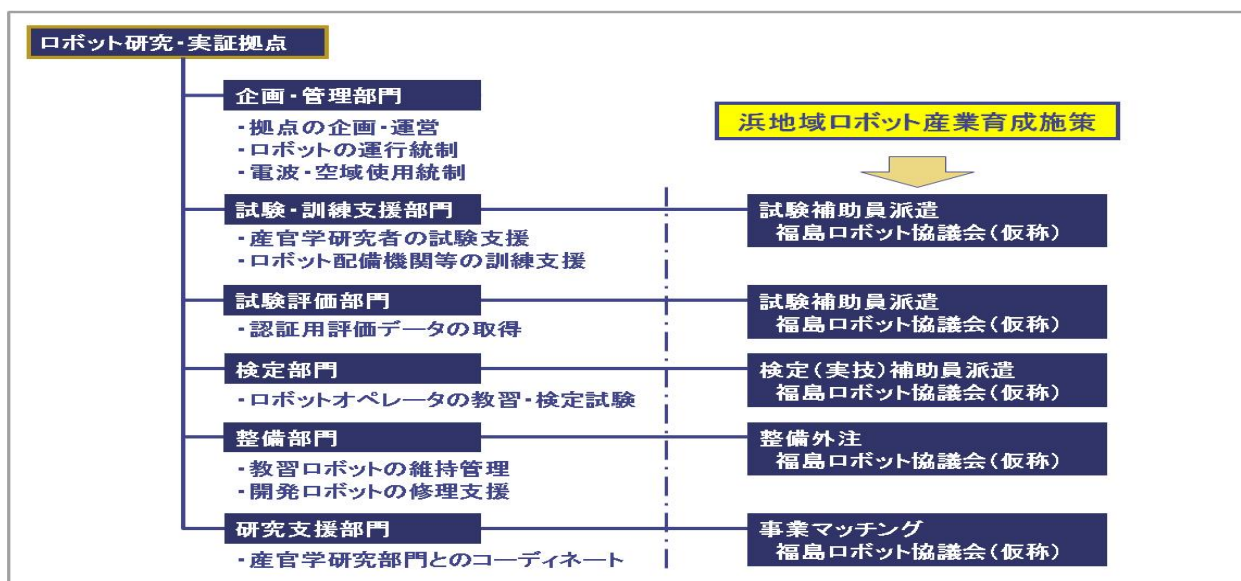


図7. 4 ロボット研究・実証拠点の組織（案）



図7. 5 ロボット研究・実証拠点の施設等（案）

7. 1. 2. 7 ロボット研究・実証拠点の構想イメージ

2014年8月25日に有志メンバーで福島県庁、南相馬市、浪江町などを訪問し意見交換を実施するとともに利用可能なダム、港湾などの施設を調査した。各自治体ともに福島浜通りへのロボット研究・実証拠点の設置とそれに伴うロボット産業の創出に期待を寄せていることを痛感した。

また 12 月 25 日に再度、現地調査を実施するとともに、拠点利用者のアンケート結果から作成した、ロボット研究・実証拠点の構想イメージを図 7. 6 に示す。

陸上・水中・空中のあらゆる分野におけるロボット開発の集積拠点



図 7. 6 ロボット研究・実証拠点の構想イメージ

7. 2 災害対応ロボットの社会実装のための提言

7. 2. 1 産業競争力強化のための提言

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、産業競争力を強化する研究開発を強く後押しする。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. 7 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、ロボット研究・実証拠点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。

7. 1節で述べたロボット研究・実証拠点の設立および制度面を含む社会実装に必要な基盤整備により、災害対応ロボットの技術開発およびその災害時等における運用のノウハウは大幅に進展することが期待される。災害対応ロボットの出番は何年、何十年に1回の有事対応ということで、製品としての需要はコマーシャルベースに乗ることは困難であると考えられているが、インフラ点検等の平時における活用や、危険物施設を抱える自治体や事業所に、配備と定期的な訓練を義務付けることなどにより、災害対応ロボットのマーケットを拡大することは検討に値する。また、世界的に考えると災害対応ロボットの需要は膨大であり、また経済援助の対象とすれば、産業競争力のみならず、わが国の世界的な貢献の拡大につながると考えられる。

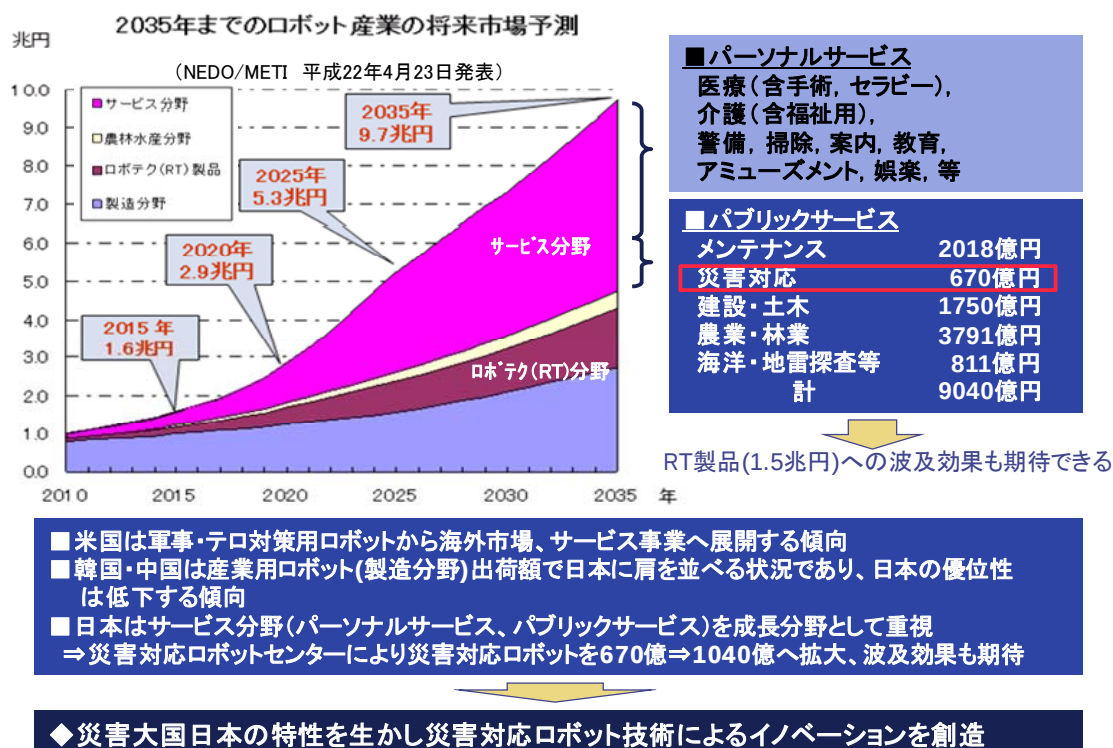


図7. 7 災害対応ロボット技術のロボット産業への貢献

7. 2. 2 最終報告における提言

これまでの議論に基づいた、最終報告における提言を以下にまとめる。

7. 2. 2. 1 持続的運用に関する提言

- ・ 災害対応ロボットの現場での活用を可能にするためには規制緩和が必要である。また、災害の頻度は低く、災害対応ロボットは官需中心であることから、その社会普及のためには、配備の義務化を含む法制度の整備を行い、国が積極的に市場を形成するべきである。
- ・ 災害対応ロボットの市場は限定的であり、機器の開発・維持コストを民間だけで負担することは難しい。したがって、国がそれらの必要な予算措置を継続的に講じるべきである。
- ・ 災害対応ロボットの技術の実用化を推進・維持するためには、それを長期間利用する現場を、国が意図的・積極的に設置・活用するべきである。

7. 2. 2. 2 制度・標準化に関する提言

- ・無人航空機の安全性を確保するためのルール制定・認証、法制化を行うべきである。
- ・無人航空機の機能・性能の評価軸を定め、その標準化を行うとともに、調達基準を明確化すべきである。
- ・水上・水中ロボットのルール制定、開発環境の整備を進めるべきである。
- ・災害対応ロボットの防爆に関する検討を、技術と制度の両面から進めるべきである。

7. 2. 2. 3 インフラ・通信に関する提言

- ・災害現場においてロボットと操作者間の映像等センサー信号と制御信号を、活動に十分なレベルで通信可能な周波数帯「ロボット革命実現周波数帯」を確保すべきである。この周波数帯は免許または登録制で、平常時には制限つきで一般用途に利用可能とすることで、新たなロボットビジネス市場の創出・活性化、無線機の普及と低価格化を図るべきである。ただし災害時には、災害対応に供しない利用については利用を停止させ、専ら災害対応に用いる。この提案により、電波の有効活用、無線機器の低価格化、災害対応時の輻輳低減を図ることができる。
- ・災害対応ロボットは、平時から訓練や実証試験などにおいて利用することが、非常時に活用するための条件となる。したがって、平常時の訓練や開発試験のために、平常時にも災害時と同じ枠組でロボット革命実現周波数帯域を制限なしで利用可能な特区、または他の必要な周波数についても無線通信出力を上げて利用可能な特区を設置すべきである。
- ・無線機の初期開発は費用がかかるため、小数生産しか見込めない災害対応ロボットに関しては積極的な開発支援を行うべきであり、平常時利用や、継続的利用シーンの創出、提供を行う枠組みを作成するべきである。

7. 3 災害対応ロボットの社会実装に向けた今後の課題と展開

本年度 COCN では、主として災害対応ロボットの社会実装に必要な環境・基盤整備について提言を纏めるとともに、政府のロボット革命実現会議で公表された「ロボット新戦略」を受けた関係府省の基盤整備に向けた検討会と連携した活動を推進した。その結果、内閣府／経済産業省における「ロボット研究・実証拠点構想検討会」、および総務省／ARIB における「ロボット用電波利用システム調査研究会」が開催され、ロボット研究・実証拠点の整備とロボット用電波の検討が開始され、ようやく実現の緒についた状況である。

今後はこれらの国の動きをさらに加速化するために、これらの検討会に積極的に関与するとともに、社会実装の次のステージへ向けた活動が必要となる。具体的には、下記内容について、引き続き内閣官房、内閣府、経済産業省、国土交通省、文部科学省、総務省、防衛省、警察庁、復興庁、自治体等との協議を深化させていく。

- ロボットの社会実装に必要な安全基準、検定基準等の規格整備事業の提案
- ロボット研究・実証拠点の利用促進に向けた制度（認証、検定、免許、保険など）・設備・機能等の設計検討
- ロボット市場拡大に向けた災害基本計画への災害対応ロボットの適用規定及び導入補助制度等の検討

8. 参加メンバーリスト

	担当 他	機関名	氏名	参加グループ		
				WG1	WG2	WG3
1	プロジェクトリーダー	東京大学	浅間 一	○	○	○
2	サブリーダー	日立製作所	秋本 修	○	○	○
3	サブリーダー	産業技術総合研究所	加藤 晋	○	○	○
4	WG1 主査	東北大学	田所 諭	○		
5	WG1副査	中央大学	大隅 久	○		
6	WG1幹事	産業技術総合研究所	神村 明哉	○	○	○
7	WG1幹事	長岡技術科大学	木村 哲也	○		
8	WG2 主査	芝浦工業大	油田 信一		○	○
9	WG2副査	東北大学	高橋 弘		○	○
10	WG2幹事	先端建設技術センター	森下 博之		○	○
11	WG3 主査	工学院大学	羽田 靖史		○	○
12	WG3 副査	熊谷組	北原 成郎		○	○
13	WG3幹事	日本ロボット学会	細田 祐司	○	○	○
14	メンバー	新日鐵住金	高田 亮平	○	○	
15	メンバー	日本原子力研究開発機構	河村 弘	○	○	○
16	メンバー	日本原子力研究開発機構	岡田 尚	○		
17	メンバー	日本原子力研究開発機構	市坪 浩二			○
18	メンバー	日本原子力研究開発機構	土田 佳裕	○		
19	メンバー	日本原子力研究開発機構	磯和 充			○
20	メンバー	日本原子力研究開発機構	川妻 伸二	○	○	○
21	メンバー	日本原子力研究開発機構	三浦 吉史	○		
22	メンバー	東芝	久保 智彰	○		
23	メンバー	東芝	小川 秀樹		○	
24	メンバー	三菱重工業	大西 献	○		
25	メンバー	三菱重工業	藤田 淳	○		
26	メンバー	三菱重工業	神納 祐一郎	○		
27	メンバー	三菱重工業	山田 弘之	○		
28	メンバー	三菱重工業	見持 圭一	○		
29	メンバー	三菱重工業	浅野 茂登	○		
30	メンバー	三菱電機特機システム(株)	加瀬 隆明	○	○	
31	メンバー	三菱電機情報技術総合研究所	相川 秀斗			○
32	メンバー	IHI	山西 晃郎		○	
33	メンバー	IHI	村上 弘記		○	
34	メンバー	IHI	中野 透	○		
35	メンバー	IHI	中尾 誠二	○		
36	メンバー	IHIエアロスペース	熊倉 弘隆	○		
37	メンバー	IHI建機	千坂 修		○	
38	メンバー	熊谷組	松村 修治		○	○
39	メンバー	大林組	大野 耕太郎		○	
40	メンバー	大林組	栗生 暢雄		○	
41	メンバー	大林組	清酒 芳夫	○		
42	メンバー	大林組	浜田 耕史		○	
43	メンバー	大林組	小林 和彦			○
44	メンバー	大成建設	立石 洋二		○	○
45	メンバー	鹿島建設	船迫 俊雄		○	○
46	メンバー	鹿島建設	宮崎 康信	○		○
47	メンバー	清水建設	金森 洋史	○		
48	メンバー	清水建設	國分 誠			○
49	メンバー	竹中工務店	星野 春夫	○		
50	メンバー	竹中工務店	鈴木 稔	○		○
51	メンバー	日立建機	江川 栄治		○	
52	メンバー	日立建機	藤島 一雄			○
53	メンバー	日立建機	小俣 貴之	○		
54	メンバー	日立建機	星野 和則			○
55	メンバー	コマツ	田畑 亜紀			○
56	メンバー	コマツ	野瀬 松男			○
57	メンバー	コマツ	荒川 秀治		○	

	担当 他	機関名	氏名	参加グループ		
				WG1	WG2	WG3
58	メンバー	モリタホールディングス	関 修治	○	○	○
59	メンバー	トビー工業	津久井 慎吾	○		
60	メンバー	双日エアロスペース	山口 一郎	○	○	
61	メンバー	双日	伊澤 遼子	○		○
62	メンバー	新日本非破壊検査	和田 秀樹	○	○	
63	メンバー	早稲田大学	岩田 浩康	○	○	○
64	メンバー	早稲田大学	橋本 健二	○	○	○
65	メンバー	製造科学技術センター	瀬戸屋 英雄	○	○	○
66	メンバー	製造科学技術センター	堀江 和男	○	○	○
67	メンバー	製造科学技術センター	萩布 真十郎	○	○	○
68	メンバー	製造科学技術センター	吉田利夫	○	○	○
69	メンバー	東京大学	佐藤 知正		○	
70	メンバー	東急建設(株)	柳原 好孝		○	
71	メンバー	東急建設(株)	中村 聡		○	
72	メンバー	東急建設(株)	川瀬 隆治			○
73	メンバー	大阪大学	吉瀬 裕		○	
74	メンバー	フジタ	小幡 克実		○	
75	メンバー	フジタ	藤岡 晃		○	
76	メンバー	本田技術研究所	井手 敏治	○	○	○
77	メンバー	本田技術研究所	松本 隆志	○	○	○
78	メンバー	湘南工科大	井上 文宏	○	○	
79	メンバー	千代田化工建設株式会社	鈴木 裕晶	○		
80	メンバー	日立製作所	谷村 和彦	○		
81	メンバー	日立製作所	青木 純一	○		
84	メンバー	日立製作所	成瀬 裕信			○
85	メンバー	日立製作所	藤原 亮介			○
86	メンバー	富士通研究所	神田 真司		○	○
87	メンバー	積水化学工業(株)	宮崎 幸	○	○	
88	メンバー	アスコ	小坂 健次	○	○	
89	メンバー	JX日鉱日石エネルギー(株)	宮越 一市		○	
90	メンバー	JX日鉱日石エネルギー(株)	奥山 真樹		○	
91	メンバー	EVRI Inc.(エンジニアビジョンRI.インク)	市川 誠	○	○	
92	メンバー	アイコム株式会社	櫻井 稔			○
93	メンバー	ヤンマー建機株式会社	目黒 敦		○	
94	メンバー	船山株式会社	岡村 敏和		○	
95	メンバー	船山株式会社	杉原 麻美		○	
96	メンバー	北酸株式会社	藤井 晃		○	
97	メンバー	富士重工業	細田 慶信	○		○
98	メンバー	JAXA	河野 敬	○		○
99	メンバー	NEC	柳内 洋一			○
100	メンバー	情報通信研究機構	石津 健太郎			○
101	メンバー	情報通信研究機構	三浦 龍			○
102	メンバー	情報通信研究機構	小野 文枝			○
103	メンバー	ディーエスピーリサーチ	富樫 浩行	○		○
104	メンバー	アイベックステクノロジー	馬場 隆行			○
105	メンバー	アイベックステクノロジー	加村光造			○
106	メンバー	東京大学	鈴木真二	○		○
107	メンバー	パナソニック	白水 博	○	○	
108	メンバー	京都大学	松野 文俊	○	○	○
109	メンバー	九州工業大学	浦 環	○		
110	メンバー	海洋技術安全研究所	金 岡秀	○		
112	メンバー	千葉大学	野波 健蔵	○		
113	COGN実行委員	コマツ	渡辺 裕司	○	○	○
114	事務局	コマツ	布谷 貞夫	○	○	○
115	事務局	コマツ	田淵 俊宏	○	○	○

	担当、他	機関名	氏名	参加グループ		
				WG1	WG2	WG3
1	COCN小委員	三菱ケミカルHD	田中 克二	○	○	○
2	オブザーバ	経済産業省	平田 卓也	○	○	○
3	オブザーバ	経済産業省	岡本健太郎	○	○	○
4	オブザーバ	経済産業省	安藤 慶昭	○	○	○
5	オブザーバ	文部科学省	麻田 卓哉	○	○	○
6	オブザーバ	国土交通省	岩見 吉輝	○	○	○
7	オブザーバ	国土交通省	稲垣 孝	○	○	○
8	オブザーバ	国土交通省	増 竜郎	○	○	○
9	オブザーバ	防衛省	長尾 昌幸	○	○	○
10	オブザーバ	防衛省	福田 浩一	○	○	○
11	オブザーバ	防衛省	上村 圭右	○	○	○
12	オブザーバ	防衛省	金子 学	○	○	○
13	オブザーバ	防衛省	村上 卓弥	○	○	○
14	オブザーバ	防衛省	三井 尚之	○	○	○
15	オブザーバ	防衛省	丹羽 雄一郎	○	○	○
16	オブザーバ	防衛省	小林 一穂			○
17	オブザーバ	防衛省	森下 政浩	○	○	○
18	オブザーバ	防衛省	佐々木 克利	○	○	○
19	オブザーバ	NEDO	真野 敦史	○	○	○
20	オブザーバ	NEDO	坂本 健一	○	○	○
21	オブザーバ	高知県	橋口 欣二	○	○	○
22	オブザーバ	南相馬市	木村 浩之	○	○	○
23	オブザーバ	日本ロボット工業会	富士原 寛	○	○	○
24	オブザーバ	日本ロボット工業会	矢内 重章		○	
25	オブザーバ	日本ロボット工業会	畑 能正			○
26	オブザーバ	日本ロボット工業会	三浦 敏道	○		
27	オブザーバ	消防庁	竹本 吉利	○	○	○
27	オブザーバ	総務省	馬場 秀樹			○
29	オブザーバ	総務省	佐々木 信行			○
30	オブザーバ	総務省	石川 嘉人			○
31	オブザーバ	総務省	伊藤 英知			○
32	オブザーバ	総務省	竹下 文人			○
33	オブザーバ	福島県	菅原 晋也	○	○	○
34	オブザーバ	福島県ハイテクプラザ	袖岡 賢	○	○	○
35	オブザーバ	警察庁	山田 雅史		○	
36	オブザーバ	新日鐵住金	大石 直樹	○		
37	オブザーバ	日本電信電話(株)	枚田 明彦			○
38	オブザーバ	日本電信電話(株)	水上 雅人		○	○
39	オブザーバ	日本原子力発電株式会社	富森 順	○	○	○
40	オブザーバ	ImPACT PM補佐	内蘭 豊仁	○	○	○

WG1：制度・標準化検討ワーキンググループ（田所主査）

WG2：持続的運用検討ワーキンググループ（油田主査）

WG3：インフラ・通信ワーキンググループ（羽田主査）

9. 開催状況

全体会議

回	月／日	時間	場所	内容
1	2014/6/25	15:00～17:00	東京大学	キックオフミーティング
2	2014/7/31	13:00～15:00	東京大学	第1回全体会議
3	2014/11/27	15:00～17:00	東京大学	第2回全体会議
3	2015/4/13	15:00～17:00	東京大学	第3回全体会議(予定)

WG 1 会議(田所主査)

回	月／日	時間	場所	内容
1	2014/7/24	10:00～12:00	東京大学	第1回WG1会議
2	2014/9/3	13:00～15:00	東京大学	第2回WG1会議
3	2014/10/6	15:00～17:00	東京大学	第3回WG1会議
4	2014/11/18	10:00～12:00	東京大学	第4回WG1会議
5	2014/12/26	10:00～12:00	東北大学	第5回WG1会議
6	2015/1/20	10:00～12:00	東京大学	第6回WG1会議

WG 2 会議(油田主査)

回	月／日	時間	場所	内容
1	2014/7/22	15:00～17:00	東京大学	第1回WG2会議
2	2014/9/3	10:00～12:00	東京大学	第2回WG2会議
3	2014/9/30	10:00～12:00	東京大学	第3回WG2会議
4	2014/11/4	10:00～12:00	東京大学	第4回WG2会議
5	2014/12/22	10:00～12:00	東京大学	第5回WG2会議
6	2015/1/19	10:00～12:00	東京大学	第6回WG2会議

WG 3 会議(羽田主査)

回	月／日	時間	場所	内容
1	2014/7/22	13:00～15:00	東京大学	第1回WG3会議
2	2014/8/29	10:00～12:00	東京大学	第2回WG3会議
3	2014/10/1	10:00～12:00	東京大学	第3回WG3会議
4	2014/11/17	10:00～12:00	東京大学	第4回WG3会議
5	2014/12/22	13:00～15:00	東京大学	第5回WG3会議
6	2015/1/19	13:00～15:00	東京大学	第6回WG3会議

調査活動

回	月／日	参加者	場所	内容
1	2014/8/25	9名	福島県浜通り	テスト用フィールド視察

関連団体会議への参加

回	月／日	参加者	場所	内容
1	2014/6/23	4	福島県	福島イノベーションコースト研究会
2	2014/9/6	73	九州産業大学	日本ロボット学会でWS開催
3	2014/10/21	4	日土地ビル	ARIBロボット用電波研究会
4	2014/12/10	4	日土地ビル	ARIBロボット用電波研究会
5	2015/1/22	4	日土地ビル	ARIBロボット用電波研究会
6	2014/11/6	3	経済産業省	ロボット研究実証拠点検討会
7	2014/12/24	4	経済産業省	ロボット研究実証拠点検討会
8	2015/1/30	4	経済産業省	ロボット研究実証拠点検討会
9	2014/11/18	1	内閣府	ロボット革命実現会議
10	2014/12/4	1	内閣府	ロボット革命実現会議
11	2014/12/26	27	東北大学	ImPACTシンポジウム

【災害対応ロボットの社会実装】

最終報告書 付録 1

第 4 章関連資料

(持続的運用検討ワーキンググループ)

【付録 1】第 4 章関連資料（持続的運用検討ワーキンググループ）

付録表 1 平成 18 年豪雪時の雪害種別件数及び死者数

雪 害 種別	交 通 事故	屋 根 転落	人 工 物 落 雪	除 雪 機 事 故	雪崩	山 岳 遭難	ス キ ー 事 故	水 路 転落	凍 死・凍 傷	建 物 崩壊	そ の 他
件数 (1151)	337	259	102	41	94	22	32	23	11	133	97
死 者 数 (276)	111	43	30	9	10	12	10	18	11	5	17

出典：防災科研ニュース"冬" 2012 No.179「雪氷災害の種別発生件数」)

付録表 2 雪道における事故（新潟県、平成 20～24 年度の 5 年平均）

	人身事故			物損事故
	発生件数	死者数	負傷者数	
件数 (スリップ事故)	3,266 (492)	34 (4)	3,974 (612)	21,744 (5,198)

出典：冬道の安全走行 新潟県警察本部（平成 25 年 11 月）

付録表 3 平成 18 年豪雪による死者の概要

死亡状況	65 歳未満	65 歳以上（75 歳以上）	合計
屋根の雪下ろし等、除雪作業中の死者	37	76 (37)	113
落雪等による死者（屋根からの落雪による 死亡、屋根からの落雪に埋まり死亡）	9	11 (6)	20
倒壊した家屋の下敷きによる死者	1	5 (2)	6
雪崩による死者	2	0 (0)	2
その他	4	7 (4)	11
合計	53	99 (49)	152

出典：今冬（平成 17 年 12 月以降）の雪による被害状況等（第 62 報），消防庁

【災害対応ロボットの社会実装】

最終報告書 付録 2

第 5 章関連資料

(制度・標準化検討ワーキンググループ)

【付録２】第５章関連資料（制度・標準化検討ワーキンググループ）

付録表１ 飛行ロボットの機能・性能評価方法（構造物災害向け）

分類	試験項目	試験方法	測定・評価項目	試験条件の範囲 （範囲内でユーザー が設定）	備考	試験		フィールド			備考
						必須	任意	必要性	要求機能	既存 設備 の活用	
移動能力	狭所移動	室内、廊下等の移動	認識状況、所要時間、操作性、衝突回避	幅、天井高さ、距離 移動速度	廊下、階段室、天井裏等	○		○	・基本エリア形状と規模： -一般的な仕様のビル２棟以上隣接 -３階建て程度、SRC、S造の複合構造 -複数の構造種別の内装、外装を１棟内に構成	○	実大フィールド環境による試験が必要
	障害物回避	障害物、危険個所の認識と回避動作	認識状況、所要時間、操作性、衝突回避	障害物寸法、形状、位置 移動速度	崩壊した内装材等	○		○		△ 障害物設置	
	開口部通過	出入口、窓等の開口部を安全に通過	認識状況、所要時間、操作性、衝突回避	開口部寸法、形状、位置 移動速度	出入口、窓、崩壊部		○	○		○	
検出能力	画像検出	カメラ画像の取得と分析、評価	画像解像度、ブレ、判別可否	クラック、剥落、破損の寸法 照明、試薬等による補助	柱梁、壁、スラブ等のクラック	○		○		○	フィールドでは定性的な検証 実大フィールド環境による試験が必要
	ガス漏れ検知	ガスセンサー、レーザーガス検出器による計測	都市ガス、プロパンガス等の検出	ガス種類、濃度			○	○	・ダミーガス放出機能	△ ガス放出機能	
	自己位置推定 ３次元マップ	LRF、画像、ジャイロ等複数センサーデータを統合	マップ精度、マップ作成速度 自己位置推定精度	屋内、屋外	屋内、屋外	○		○	・GPS 不可	○	
作業能力	稼働時間	バッテリーによる稼働時間測定	稼働時間、充電時間、消費電力	装備質量と稼働時間の想定		○		×			
	連続運転	連続運転試験	運転時間と各コンポーネント温度 不具合の有無	目標時間の設定		○		×			

	暗所作業	機上搭載の照明下での稼動	操作性、安定性、衝突の有無	照明の光度、周辺の照度			○	○	・非常灯の有無、配置等	○	実大フィールド環境による試験が必要
運用	運搬形態	寸法形状、質量	個数、輸送車両・空輸の可否	がれきが散在した経路での運搬が可能なこと	他移動手段との連携		○	×			
安全	回転翼の保護	回転翼が外壁と接触した場合でも剥落を誘発しない構造	回転翼の防護構造		亀裂の入った構造物の剥落防止		○	×			
耐環境性	粉塵・煙	粉塵、煙等の環境下での稼動	操作性、安定性、故障の有無	濃度、視界			○	○	・ダミー粉塵、煙等の放出機能	○	検出能力試験とセットで実施
	温湿度	高温、低温、多湿環境下での稼動	操作性、安定性、故障の有無	温度			○	×			
	ビル風	不安定な風環境における作業	操作性、安定性、衝突の有無	シミュレーションによる最大風速の予測	外壁調査時、移動時		○	○	・ビル風再現用ファン	△	実大フィールド環境による試験が必要

付録表2 飛行ロボットの機能・性能評価方法（土木インフラ災害向け）

分類	試験項目	試験方法	測定・評価項目	試験条件の範囲 (範囲内でユーザーが設定)	備考	試験		フィールド			備考
						必須	任意	必要性	要求機能	既存設備の活用	
移動能力	壁沿い飛行	壁面に対して平行に移動(水平・鉛直)	速度 対壁面距離 衝突の有無	移動速度: $\Delta\text{m/s} \sim \square\text{m/s}$ 壁との距離: $\bigcirc\text{cm} \sim \times\text{cm}$	・トンネル壁、 橋梁梁側面等 の平時・被災後 点検	○		○	・基本エリア 形状と規模: トンネル形状 断面×奥行数 + m (屈曲形 状) 傾斜床版幅 10m×奥行数 + m など)	○	局所的 にはフ ィール ド以外 でも試 験は可 能だが、実 用に供 するた めには 実大規 模での 検証が 望まし い。
	天井沿い飛行	天井に対して平行に移動	速度 対壁面距離 衝突の有無	移動速度: $\Delta\text{m/s} \sim \square\text{m/s}$ 天井との距離: $\bigcirc\text{cm} \sim \times\text{cm}$	・トンネル天 井、橋梁床版下 端の平時・被災 後点検	○		○		○	
	曲面沿い飛行	鉛直曲面に対して 平行に移動(水平・ 曲面)	速度 対壁面距離 衝突の有無	移動速度: $\Delta\text{m/s} \sim \square\text{m/s}$ 曲面との距離: $\bigcirc\text{cm} \sim \times\text{cm}$	・トンネル断面 肩部の平時・被災 後点検		○	○	・障害物可変 設定: (平時) トンネル付帯 構造物(排気 ファン等)、 橋梁付帯構造 物、トラス梁 など(災害時) 崩落コンクリ ート、土砂、 車輛など	○	
	障害物回避	全移動方向(前後左 右上下)に対する障 害物の検出および 回避試験	速度 衝突の有無 回避行動開始時 の障害物までの 距離	回避行動可能距離: $\bigcirc\text{m}$ 回避行動可能時間: $\times\text{sec}$	・立木/各種附 帯構造物回避 ・被災による倒 壊物、破壊物 ・飛行に影響を 与える落下水 流など	○		○		△ 各種障 害物の 設置が 必要	
検出能力	自己位置・姿勢	移動時の自己位置 と姿勢の把握試験	固定点観測によ る位置・姿勢デー タとのずれ	位置検出精度: $\bigcirc\text{cm}$ 以下 姿勢検出精度: Δ° 以下	・トンネル内/ 橋梁では要求 性能や自己位 置取得方法が 変わる。	○		○	・GPS 不可環 境 ・視界可変環 境 ・照度可変環 境	△ 視界可 変 照度可 変 風速可 変	
	画像品質	搭載カメラで取得 した画像の分析	画像の鮮明さ(ぼ け、ブレ、解像度) 連続性 外乱影響	目的とする検出項目(クラ ック、剥離など)に応じて 設定。	・被災者確認 ・クラック、剥 離、剥落、空洞、 劣化、腐蝕等の 検出	○		○	・視界可変環 境 ・照度可変環 境 ・風速可変環 境	△ 障害物 等の 設備が 必要	

	三次元マップ品質	搭載レーザーで取得したマップの分析	点群ばらつき状況 データ取得可能距離 外乱影響	目的とする検出項目に応じて設定.	・探索周辺マップ作成 ・障害物把握		○	○	・視界可変環境 ・照度可変環境 ・風速可変環境 ・障害物可変設定		
	音声品質	搭載マイクで取得した音声の分析	ノイズ特性 連続性 外乱影響	目的とする音声特性に応じて設定.	・被災者確認 ・周囲環境認識		○	○	・ターゲット音発信	○	
	空気環境取得	搭載センサーによる空気環境計測	温・湿度 可燃性ガス検出	目的とする検出項目に応じて設定.	・トンネル内火災検出 ・防爆性必要の有無判断		○	○	・ダミーガス放出	△ ダミーガス設備が必要	
作業能力	制御可能距離	想定使用環境における制御	通信距離 テレメトリ情報	制御保証距離：○m	・屈曲トンネル、床版裏側等の平時・被災後点検	○		○	・屈曲形状 ・障害物可変設定	○	フィールド以外で試験可能
	航続距離	空中静止状態における浮遊可能時間 定速飛行状態における飛行可能時間	速度 航続時間	航続距離：○m 航続時間：×min	・他移動手段との連携判断 ・探索計画策定	○		△	・広いエリア	○	
	ペイロード	積載荷重を変えた飛行試験	積載重量 航続時間	積載可能重量と航続時間との関係：○kg に対して ×min	・搭載探索機器の選定 ・探索計画策定		○	×			
	供給電力・通信	搭載機器への供給可能バス電力	供給可能電力	電圧：○V 電力：			○	×			
運用	輸送形態	外形寸法・重量	輸送車両・空輸の可否	がれきが散在した経路での運搬が可能なこと	・他移動手段との連携		○	×			

安全	回転翼の保護	回転翼が外壁と接触した場合でも剥落を誘発しない構造	回転翼の防護構造		亀裂の入った構造物の剥落防止		○	×			
	IP 保護等級	防塵、防水試験	IP 保護等級	IPO△			○	×			
	降雨	降雨環境下で目的地に到達・帰還	到達時間・故障の有無	50mm/h 未満の降雨	・安衛則上の人が作業する上限を目安とする.		○	○	・降雨強度可変環境	△ 所要の環境条件が必要	フィールド以外でも試験可能だが、一般的ではない.
	降雪	降雪環境下で目的地に到達・帰還	機体への積雪量 到達時間・故障の有無		・橋梁上面探査		○	○	・降雪量可変環境		移動能力試験／検出能力試験等とセットで実施
	強風	強風環境下で目的地に到達・帰還	到達時間 規定ルートからのずれ	運用最大風速: 0m/sec 以下	・屋内外共通		○	○	・風速可変環境		
	運用可能温湿度	様々な温湿度環境における運用	操作・稼働状況	最高稼働温度: ○℃ 最低稼働温度: △℃ 最低保管温度: ×℃ 稼働湿度範囲: ■~□%	・季節、地域等に応じた環境		○	×			フィールド以外で試験可能
	運用可能視界	粉塵や煙等の環境下での運用	遠隔操作画像の品質 各種センサー情報	運用可能視界: 0m 以上	・トンネル内火災発生時 ・崩落による粉塵発生時等		○	○	・視界可変環境	△ 視界可変設備が必要	移動能力試験／検出能力試験等とセットで実施
	運用可能照度	低照度における運用	照度 操作状況	運用可能照度: 0lx 以上	・必要照明の仕様設定 ・トンネル内探索		○	○	・照度可変環境	△ 照度可変設備が必要	

					・夜間探索				必要	
	運用可能 気圧	推力試験	気圧（空気密度） とロータ推力の 関係	運用可能気圧（高度）：○ hPa（×m）以下	高標高、低気 圧、各種低圧容 器内等環境		○	×		フィー ルドで は試験 困難 （特殊 設備が 必要）

付録表3 飛行ロボットの機能・性能評価方法（水害・土砂崩れ災害向け）

分類	試験項目	試験方法	測定・評価項目	試験条件の範囲 (範囲内でユーザーが設定)	備考	試験		フィールド		既存設備の活用	備考
						必須	任意	必要性	要求機能		
移動能力	降雨	降雨環境下で目的地に到達・帰還	到達時間・故障の有無	50mm/h 未満の降雨	安衛則上の人が作業する上限を目安とする	○		○	降雨強度可変環境	△ 気候選択により屋外フィールドでの試験も可能だが計画的試験実施は困難 付近に当該条件を再現可能な試験場があれば利用可	室内試験が望ましい
	降雪	降雪環境下で目的地に到達・帰還	到達時間・故障の有無				○	○	降雪量可変環境		
	強風	強風環境下で目的地に到達・帰還	到達時間	10m/s 未満の風（10分間平均）	安衛則上の人が作業する上限を目安とする	○		○	風速可変環境		室内試験が望ましい
	気温・湿度	高温・低温・多湿環境下で目的地に到達・帰還	到達時間・故障の有無			○		○	温湿度可変環境		
	落雷	雷環境下での正常動作	誤作動・故障の有無				○	○	落雷発生装置		
	気圧・高度	低気圧環境下で目的地に到達・帰還	到達時間			○		○	上空に飛行制限の無いエリア	—	法整備要
	粉じん	粉じん環境下で目的地に到達・帰還	到達時間・故障の有無			○		×			ユーザーで手配可
	有毒ガス	（土砂崩れでは評価不要）	到達時間・故障の有無	人が立ち入ることのできる許容濃度以上		—	—				
	可燃性ガス	（土砂崩れでは評価不要）	到達時間・爆発の有無	メタン等可燃性ガスの爆発範囲内の濃度		—	—				
	酸素濃度	（土砂崩れでは評価不要）	到達時間			—	—				
	放射線	（土砂崩れでは評価不要）	到達時間・故障の有無			—	—				
	障害物	架空線・高架橋・立木・段差・勾配等を垂直方向に回避しながら目的地に到達・帰還	到達時間			○		○	飛行障害	○	

		構造物・立木等の障害を水平方向に回避しながら目的地に到達・帰還	到達時間			○		○	飛行障害	○	
	距離	ユーザーの設定距離で目的地に到達・帰還	飛行距離・到達時間			○		△	広いエリア	○	フィールド以外で試験可能
	運転視界	見通しできない経路で目的地に到達・帰還	到達時間			○		○	飛行障害	○	
	照度	目視できない照度で目的地に到達・帰還	到達時間			○		○	照度可変環境	○	
作業能力	画像取得	モニターリング対象物の静止画または動画による撮影	色・形状・大きさの判別可否	視力検査・色覚検査のマーカ等		○		○	崩落土塊	×	模擬崩落地盤が必要
	音声取得	模擬的な崩落の予兆となる落石音等を検知	音量			○		○	ターゲット音発信	△音源必要	崩落の予兆
	バイタルセンサーの検知	上空から動きや体温等のバイタルセンサーを検知	検知確度				○	○	模擬バイタルセンサー	×	人体ダミー使用
	測位・測量	自身の位置を特定し構造物・地形を測量	測位精度・測量精度				○	○	起伏・立木等	○	
	姿勢制御	作業時の位置決め安定性確保	一定空間での静止時間				○	○	風速可変環境	○	室内試験
	積載重量	ユーザーの設定重量を積載し飛行	積載重量				○	×			ユーザー持ち込みの荷重を使用
	ハンドリング	模擬センサー等を目標地に設置	作業時間・設置誤差				○	○	起伏・立木等	○	
	センシング	崩落地盤及び周辺地山の変位計測	計測可能な最小変位				○	○	起伏・立木等	○	

運用	輸送形態	外形寸法・重量	輸送車両・空輸の可否	林道等狭隘な経路を運搬可能なこと		○		×			
安全	感電防止	絶縁抵抗測定	絶縁抵抗	絶縁抵抗 0.1MΩ以上	降雨環境下での感電防止	○		×	絶縁抵抗測定器		

※性能評価試験は上記の項目の単独または複合条件下で試験を実施

付録表 4 飛行ロボットの機能・性能評価方法（機械の特性を踏まえた評価方法）

分類	試験項目	試験方法	測定・評価項目	試験条件の範囲 (範囲内でユーザーが設定)	備考
耐環境性	気温	低温・高温環境下において、正常動作することを確認する。温度変化を与えて、正常動作することを確認する。	機能・性能	-△℃～○℃ 例： -20℃～+40℃	
	気圧	低圧・高圧環境下において、正常動作することを確認する。	機能・性能	-△hPa～○hPa 例：936hPa～ 1136hPa	
	湿度	高湿環境下において、正常動作することを確認する。	機能・性能	～○% 例：95%以下	
	振動	加振し、正常動作することを確認する。	機能・性能	○G@△Hz	
	衝撃	衝撃を印加し、正常動作することを確認する。	機能・性能	○G △ms	
	耐風	一定の風速を印加し、飛行を維持できることを確認する。または、飛行を維持できる最大風速を評価する。	最大風速	-△m/s～○ms 例：-30ms/～ +30ms/	
	耐水性	防水性を確認する。	機能・性能		
	電磁干渉	電磁波を印加し正常動作することを確認する。また、飛行ロボットの放射する電磁波が規定以下であることを確認する。	電界強度等	-△Hz～○Hz	
	粉じん	粉じん環境下で正常動作することを確認する。または正常動作可能な粉じん密度等	機能・性能、 粉じん密度等		
	ガス	ガス環境下で正常動作することを確認する。または正常動作可能なガス濃度等	機能・性能、 粉じん密度等 ガス濃度等		

試験		フィールド	備考
必須	任意	必要性	要求機能既存設備の活用
○		○	恒温槽等○
○		○	○
○		○	○
○		○	振動試験装置等○
○		○	○
○		○	試験槽等○
○		○	○
○		○	電波暗室等○
	○	△	試験槽等○
	○	△	○

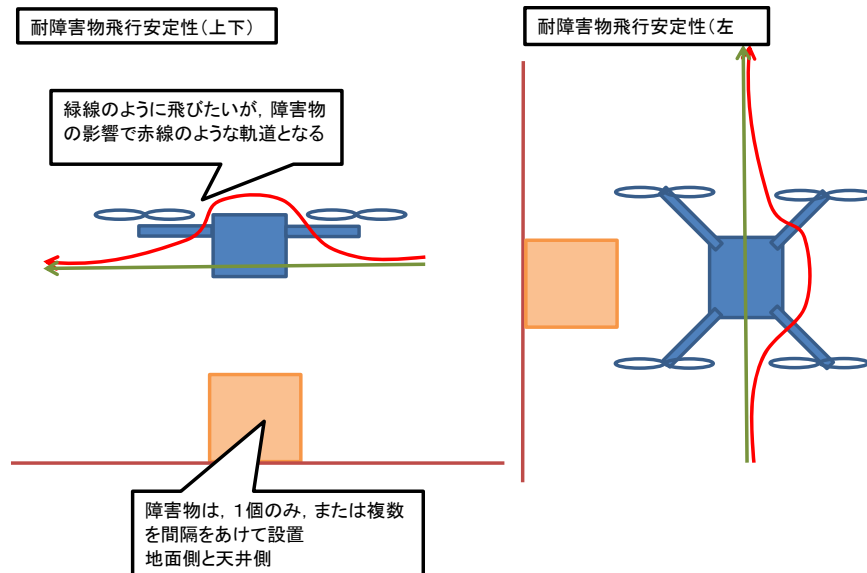
飛行性能	風変化飛行安定性	無風環境下において、滞空させ位置・姿勢の変化量を計測する。また、風の印加（変化含む）での飛行安定性を計測する。	位置・姿勢変化量	0ms ΔHz	
	耐障害物飛行安定性	無障害物環境下において、滞空させ位置・姿勢の変化量を計測する。また、障害物環境での飛行安定性を計測する。	位置・姿勢変化量		
	最接近距離	壁・天井等に接近させ正常飛行を保ち、接近できる距離を計測する。	距離		
	飛行可能時間	バッテリー・燃料等満量状態で飛行可能な時間を計測する。	飛行時間	地上0mで無風状態での滞空	乗用車のJCO8のような規定を設定
	燃費	規定条件で飛行させたときの電力・燃料消費量を計測する。	電力消費量 燃料消費量		乗用車のJCO8のような規定を設定
	最小旋回半径	方向転換する際に旋回可能な最小半径を計測する。	旋回半径		
	再飛行可能間隔	バッテリー・燃料等が空になった状態から充電・充填もしくはバッテリー等の交換により再度飛行可能になるまでの時間	時間		
	通信可能距離・品質	通信を維持できる距離及び通信の品質（ビットエラーレート）を計測する。	距離	距離0m 以上	
	排出物	排出するガス等がある場合、成分・濃度を計測する。	ガス等成分・濃度		

飛行時間はカタログに載っている場合が多いが、メーカー毎の条件設定であり、また実運用に合わない場合が多い

○		○	風速可変環境○
○		○	一定面でなく、凹凸のある環境△ 各種障害物の設置が必要
○		○	1面、2面、3面の壁、天井を模擬した環境○
○		○	無風環境○ ○ ○
○		○	
○		○	
	○	×	○ 専用のフィールドは必要なし
○		○	距離を確保できる空間（極力他の電波の影響を受けにくい空間）
○		×	○ 専用のフィールドは必要なし

	位置・姿勢 検出性能				
検出性能	カメラ基本性能	搭載センサーの性能を計測する。	感度、S/N、解像度		
	最小検出可能寸法	搭載センサーにより検出可能な物体の最小寸法を計測する。	寸法	0mm 以下 @Δm	災害用として雨等の環境下での性能も必要？
	最小検出可能コントラスト	搭載センサーにより検出可能な物体の最小コントラストを計測する。	コントラスト		
	画像安定性	画像のブレ量を計測する。	ブレ量	0G@ΔHz	
	最低被写体照度	飛行もしくは検査に必要な照度を計測する。	照度	0lx 以下	

○		○	広い空間及び市街地を模擬した環境
	○	△	照度等を制御できるスタジオのような設備及びテストチャート等○
	○	△	○
	○	△	○
	○	△	○
	○	△	○



※性能評価試験は上記の項目の単独または複数条件下で試験を実施

付録表 5 飛行ロボットの機能・性能評価方法（原子力・プラント災害対応）

分類	試験項目	試験方法	測定・評価項目	備考
基本性能	機体寸法	機体外形寸法の計測	全長 mm、全幅 mm、全高 mm （プロペラ含む）	
	機体重量	機体重量の計測	機体重量 kg （バッテリー、プロペラ含む）	
	可搬重量	可搬重量の計測	ペイロード：kg	
	動力源	動力源の確認（電動、内燃機関）	バッテリーの種類、電圧 v、容量 mAh、燃料の種類	
	動作環境	気温、湿度、風速、IP の確認	気象条件	
	通信距離	有線・無線種別、通信可能距離、品質の計測、資格の要否	有線・無線種別 操作用データ通信可能距離 m 映像用データ通信可能距離 m 必要な資格	
	使用無線種別・周波数	使用無線の種別及び周波数の確認	無線種別・周波数	
	最大飛行速度	最大速度、巡航速度の計測	最大速度 m/h、 巡航速度の計測 m/h	
	最大上昇下降速度	最大上昇速度、最大下降速度の計測	最大上昇速度 m/h 最大下降速度 m/h	
	最大飛行高度	最大飛行高度の計測	最大飛行高度 m	
	最大航続距離	最大航続距離の計測	航続距離 km（最大速度 m/h） 航続距離 km（巡航速度 m/h）	乗用車の J C O 8 のような規定を設定

	最大飛行範囲 (水平、垂直)	最大飛行範囲の計測 (水平、垂直)	水平 : 00m 垂直 : 00m	乗用車の J C O 8 のような規定 を設定
	最大飛行時間	最大飛行時間の計測	航続距離 min (最大速度 m/h) 航続距離 min (巡航速度 m/h)	乗用車の J C O 8 のような規定 を設定
	システム要件	対応 OS 及び OS バージョンの確認	対応 OS 及び OS バージョンの確 認	PC OS : Windows、Mac OS、 Linux
	対応モバイルデバ イス	対応モバイルデバイスの確認	対応モバイルデバイスの確認	タブレット OS : iOS、Android
	可搬質量 (ペイロード)	可搬して飛行可能な質量の計測	可搬質量	タブレット OS : iOS、Android
	FPV (First Person View)	FPV システムの確認及び、性能計測	FPV システム性能評価	空撮中の映像を、地上のモニタ ーでリアルタイムで確認するシ ステム
	地上モニターリン グ	地上モニターリングシステムの確認及び、性能計測	地上モニターリングシステム性能 評価	FPV 以外の情報
	必要な付帯設備、 補助設備	予備部品、消耗交換部品の確認	有無及び、消耗交換部品	
飛 行 性 能	ホバリング精度 (水平、垂直)	ホバリング精度 (X、Y、Z、 θ)	無風時 XYZ : $\pm 00\text{mm}$ θ : 度 風速 m/s 時 XYZ : $\pm 00\text{mm}$ θ : 度	
	はしご・階段等、 高低差を有する通 路空間の移動	通常廊下、梯子、階段等の高低差移動の性能（安定性）を確 認する。	飛行可能な条件、認識状況、所要時 間、操作性、衝突回避、速度、操縦 の容易性、安全・安定性、移動可否	
	配管・空調ダクト 等内移動	形状（配管径、ダクトの高さ・幅、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） 等の各条件での飛行状況の確認		

検出性能	広範囲自律飛行	プラント敷地内（屋外）や屋内等の各条件での飛行状況の確認	飛行可能な条件、認識状況、所要時間、操作性、衝突回避、速度、操縦の容易性、安全・安定性、移動可否、自己位置推定精度、経路生成能力、マップ生成や教示工数、自動（自律）帰還システム	
	遠隔操作性	ロボット単体での操縦（他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）可否	操縦可否	
	狭隘部通過（ドア）	通過可能な最少寸法（ドアの開閉は含まない場合とドアの開閉も含む場合）等の各条件での飛行状況の確認	ドアの最少寸法の確認	
	狭隘部通過（連続通路）	通過可能な直線通路空間の最少寸法等の各条件での飛行状況の確認	直線連続通路の最少寸法の確認	
	走行台車への乗降	場所（屋内、屋外）、走行台車の傾斜、周囲の障害物等の各条件での飛行状況の確認	条件の確認	
	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等の各条件を走行中の飛行ロボットの接地安定性の確認	条件の確認	飛行性能ではないが、記載した
	環境測定	風速、降雨量、有視界距離等の各条件での計測範囲の確認	測定可能な項目・条件、測定精度	
	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）等の各条件での計測範囲の確認	測定可能な項目・条件、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）等の各条件での計測範囲の確認	測定可能な項目・条件、測定精度、検知濃度	
	汚染状況測定	物質、細菌等の各条件での計測範囲の確認	測定可能な項目・条件、測定精度、検知濃度	
	目視画像（転送と処理）	種類（腐食や亀裂、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：赤外線カメラ、γカメラ）、悪条件（逆光、暗闇、粉塵、煙、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）等の各条件での映像品質等の確認	撮影可能な項目・条件、表示性能（分解能、フレームレート、ズーミング、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	

	温度・湿度検出	対象（配管、タンク等）、接触&非接触（サーモグラフィ）、測定位置、測定温度（低温、高温）の各条件での計測範囲の確認	測定可能な項目・条件、測定精度	
	異音検出	場所（屋内、屋外）、種類（機械音、吹き出し音）等の各条件での計測範囲の確認	測定可能な項目・条件、測定精度（測定可能距離、範囲、ズーミング可否、雑音除去性能）	
	打音検出	場所（屋内、屋外）、種類（コンクリート、金属、ガラス）等の各条件での計測範囲の確認（自身の飛行ノイズの影響）	測定可能な項目・条件、測定精度	
	振動検出	場所（屋内、屋外）、種類（コンクリート、金属、ガラス）等の各条件での計測範囲の確認	測定可能な項目・条件、測定精度	
	RFID タグ等の読取り	RFID タグ、QR コード等の各条件での計測範囲の確認	測定可能な項目・条件、読取性能	
	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）等の各条件での計測範囲の確認	測定可能な項目・条件、測定精度：測定精度、時間、操縦の容易性	
3D把握性能	マッピング及び自己位置標定	マッピング及び自己位置標定能力の確認	自己位置標定精度、マップ作成精度	
作業性能	検査試薬の塗布、ブロー、散布、噴霧	物質の状態（固体、液体、気体）、塗布位置、周囲の障害物等の各条件での散布状況・性能の確認 物質の状態（固体、液体、気体）、種類（消火剤、中和剤、飛散防止材、マーキング）、散布噴霧位置、環境（風速、雨、漏水）、周囲の障害物等の各条件での散布状況・性能の確認	塗布、ブロー、散布、噴霧可能な条項、条件、散布量、範囲、距離、時間、塗布精度、操作の容易性等	
	サンプリング	スミヤ、気体、液体等の各条件でのサンプリング状況・性能の確認	サンプリング可能な項目・条件：純度、量、時間、操縦の容易性	

	コミュニケーション（音声通話）	スピーカ・マイクの性能検証（自身の飛行ノイズ影響）、ノイズ除去性能等の確認	設定された項目・条件での性能評価：性能評価（CPU/Memory 使用率、SIPp ログ）、主観評価（音声の途切れ、音声の揺らぎ、音声の遅延）、音声パケット評価（パケットロス値）	
	ピック&プレイス、運搬	把持可能な物の大きさ、質量、形状、硬さ等の各条件でのピック&プレイス、運搬能力の確認	設定された項目・条件での性能評価：ピック&プレイス、運搬可能な項目・条件：安定性、時間、操縦の容易性	
	プローブ押し付けを伴う非破壊検査	超音波探傷検査（UT）、渦電流探傷検査（ECT）等の各条件での検出性能の確認	設定された項目・条件での性能評価：検出性能、検査に要する時間	
運用性能	起動に必要な時間	飛行開始までに有する時間計測	時間、必要人数	
	充電時間 バッテリー交換時間	通常充電、急速充電完了までの時間の計測、又はバッテリー交換時間	時間	
	飛行方法	有視界飛行、計器飛行、自立飛行（異常時のリルート飛行含む）	位置決め精度（自己位置判定、GPS、光学マッピング、レーザー追尾）、飛行安定度（直線飛行のブレ、風気流の影響、雨の影響）、静止安定性（ホバリング時のブレ、風気流の影響、雨の影響）	
	メンテ工数	センサー、工具、消耗品部品交換、分解容易性の確認	時間、必要人数、部品点数や種類	
	自身の除染しやすさ	高圧洗浄、流水、拭き取り、部品交換等の確認	密閉性、時間（被ばく量）、必要人数、除染効果	
	操作性	準備～作業完了までの操作性の確認	オペレータの疲労、負荷、ミッション達成に要する時間	
	持ち運びの容易さ	外部からプラントへの搬入、プラント内での運搬状況の確認	時間、必要人数、トラックに必要な積載重量と大きさ、リフタやユニットの必要性の有無	

	オペレーション	トレーニングに必要な時間 検定試験（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、・・・) 技量試験（オペレータ技量認定） ・運転シュミレーター ・単一要素試験：運転技量の影響を受けない試験方法 ・総合試験（複合要素フィールド）：同一技量検査官による飛行試験評価・プログラムによる自動運転評価運転 学科試験 ・法規、危険予測ディスカッション、応急救護教習	時間、 必要な人員、必要な機材	自動車学校の学科、技能試験等の規定を設定
安全性能	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	
	異常発生時	電源ダウン、通信遮断、動作異常＆不安定時、接触、故障、自動リルート機能、自動で指定された着陸設定場所への自動飛行、又は落下機能	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	
	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	
	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		
	緊急非常時対応試験	制御不能になったロボットの暴走対策 ・滑空着陸、パラシュート落下、減速落下、分解落下、エアバッグ落下、安全エリア退避、爆破 ・オートローテオーション（ローター減速自動降下）により風下に落下 ・地上 00mでホバリング、バッテリー残量 00%で着陸（ホバリングの状態を位置を特定、捕捉） ・ローター即時停止後降下速度の低減措置により風下に落下 その他	設定された方法での緊急非常時対応（暴走対策）の評価 自律停止、状況データの自動送信、予備制御	

	墜落対策	墜落対策の確認 UAV 破損対策、対物事故対策、人身事故対策 ・ 降下速度の低減措置 パラシュート バルーン（車のエアバッグのように収納タイプ） ・ 衝撃吸収装置		
耐環境性能	粉塵、煙、蒸気		機能に影響のない濃度	MIL 規格又は、MIL 規格に準拠した試験等の規定を設定
	高温、低温	稼働、保管、起動時での高温、低温高温、低温での試験	許容範囲（耐温度衝撃）	MIL 規格又は、MIL 規格に準拠した試験等の規定を設定
	高湿度・低湿度	稼働、保管、起動時での高湿度・低湿度での試験	許容範囲（耐高湿度）	MIL 規格又は、MIL 規格に準拠した試験等の規定を設定
	衝撃	稼働、保管、起動時での衝撃での試験	許容範囲（耐衝撃）	MIL 規格又は、MIL 規格に準拠した試験等の規定を設定
	落下	稼働、保管、起動時での落下での試験	許容範囲（耐落下）	MIL 規格又は、MIL 規格に準拠した試験等の規定を設定
	振動	稼働、保管、起動時での振動での試験	許容範囲（耐振動）	MIL 規格又は、MIL 規格に準拠した試験等の規定を設定
	防水、防塵・耐塵	I P 試験	規格値、I P 規格	MIL 規格又は、MIL 規格に準拠した試験等の規定を設定
	防爆	揮発可燃性ガス環境での防爆試験	認定の方法	MIL 規格又は、MIL 規格に準拠した試験等の規定を設定
	耐放射線	瞬時、集積時での耐放射線試験	許容範囲	MIL 規格又は、MIL 規格に準拠した試験等の規定を設定
	耐雷	耐雷試験	規格値	MIL 規格又は、MIL 規格に準拠した試験等の規定を設定
	EMC（電磁両立性）	M I L／航空機の EMC 試験	規格値	MIL 規格又は、MIL 規格に準拠した試験等の規定を設定
	ラジコンジャマー対策	ラジコンジャマー対策の確認及び、性能計測	ラジコンジャマー対策性能評価	
	GPS ジャマー対策	GPS ジャマー対策の確認及び、性能計測	GPS ジャマー対策性能評価	
耐久性能	連続、繰り返し稼働試験	動作パターンを規定しての耐久性能の計測	一定時間での摩耗、劣化、故障使用不能までの時間	
	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、故障使用不能までの時間	

	落下試験	落下高さ、地面硬さを規定しての落下試験 (JIS落下試験、国際規格等)	衝撃G、故障、破損、飛散状況	
	運搬試験	運搬時のGパターンを規定して衝撃試験 (JIS輸送試験等、国際規格等)	一定時間での摩耗、劣化、故障 使用不能までの時間	包装貨物が流通過程において発生する振動・落下衝撃・圧縮に対する包装の保護が適正であるかどうかを評価する為の試験方法
事故対応性能	フライトレコーダー	有無の確認及び、性能計測	有無及び、性能評価	(飛行高度・気圧センサー、GPSデータ、ジャイロセンサー、加速度センサー、)
	ボイスレコーダー	有無の確認及び、性能計測	有無及び、性能評価	(音声、映像、各種機器データ、その他)
	シミュレーション試験	事故発生シミュレーションに対する対応能力、対応性能試験 事故発生シミュレーション例1 ・プラント点検検査の为空撮。 ・検査対象現場は、関係者以外の立入禁止措置を講じ、関係者以外の無人を確認。 ・検査対象現場から1km以内に民家無し。 ・離陸後、検査撮影時マルチコプターは一定方向に暴走し、視界から確認できなくなる。 ・2km離れた民家に衝突する。(2km離れた走行中の車両に追突する。)	対応能力、対応性能評価	
	シミュレーション試験	事故発生シミュレーションに対する対応能力、対応性能試験 事故発生シミュレーション例2 ・郊外の橋梁点検検査の为空撮。 ・検査対象現場は、関係者以外の立入禁止措置を講じ、関係者以外の無人を確認。 ・検査対象現場から1km以内に民家、船舶無し。 ・離陸後、検査撮影時マルチコプターは一定方向に暴走し、視界から確認できなくなる。 ・2km離れた観光用船舶に衝突する。	対応能力、対応性能評価	

無人航空機（UAV）の動向

1. 調査範囲

UAV：小型飛行機、小型ヘリ、マルチローター型、気球型等

2. UAV の技術レベル

技術熟成度レベル(TRL：Technology Readiness Level) を下表にまとめる。TRL のレベル値は、NASA の定義に従い定めた。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。

技術熟成度レベル (TRL)	定 義
9	実機を配備してよく使われる
8	実機を災害現場で実証
7	試験機を災害現場でデモ
6	試験機を模擬環境でデモ
5	要素部品を模擬現場で実証
4	要素部品を研究室で実証
3	機能性能を解析と実験
2	技術コンセプトと適用法発明
1	科学技術の発見

3. 調査内容

1) 固定翼 UAV（小型飛行機）：レベル 4～8

離陸重量が数 kg 以下の携行型に分類される UAV は輕易に運用できるため、様々なミッションに適用できそうに思われるが、以下の理由で軍用以外に事業化が進んでいないのが現状である。

- ① 離発着場所の確保が必要
- ② 安全性の確保が必要
- ③ 気象状況の影響が大きく運用が限定される
- ④ 行時間が数 10 分と短かつペイロードも数 100g 程度であり映像取得程度しかできない
- ⑤ 画像を長距離で伝送するための無線周波数が割り当てられていない
- ⑥ UAV を運用するための明確な法規が制定されていない

一方、離陸質量が数 10kg を超えるエンジンを動力とする UAV はその航続時間及びペイロードの優位性から、各種用途にコマーシャルベースの適用が始まっている。特に火山監視、気象観測、地形計測などでは航測会社等の専門業者が役務作業として観測、監視業務を請け負って UAV を運用しているが、災害対応等の目的で関係省庁が独自に配備、運用するまでにはいたっていない。その理由としては、高度 150m 超で遠距離を飛行する実運用に際しては以下のような要因が考えられる。

- ① 離発着に十分な地積あるいは空港設備が必要であること
- ② ノータムを出す必要があること（飛行実績・機体の安全性・信頼性の確保、オペレータの十分な技能確保）
- ③ 自主規制ではあるが民家の上空（有人地帯）を飛行しないこと
- ④ 通信断絶、気象変化、機体トラブルによる不時着等の不測事態への対処及び安全確保が困難なこと
- ⑤ 格制度、運用規則、安全基準、認定制度など法整備がなされていないこと（ホビーの世界）
- ⑥ 陰制度が確立されていないこと（対人、対物、自損）

数 kg クラス

機 種	携帯型飛行体 	UAV(近距離用) 	監視用無人機システム 	Puma AE 
組 織	防衛省	防衛省	NEC	エフ・イー・エム・エス社
全長×翼長(m)	0.6×0.6	0.6×1.5	1.29×1.9	1.4×2.8
動 力	電動	電動	電動	電動
速度(km/h)	40	—	40~110	37~83
行動範囲(km)	—	—	—	15
航続時間	20 分	—	20 分	120 分
離陸重量(kg)	0.4kg	3.9kg	3kg	5.9kg
ペイロード(kg)	—	—	0.5kg	—
主な装備	EO	EO/IR (シリアル)	EO/IR	EO/IR
使用目的	研究	情報収集	監視	監視

数 10kg クラス

機 種	B II 	E 型 	Ⅲ型機 	スキャンイーグル 
組 織	フジインバックス	フジインバックス/JAXA	日本飛行機	インシツ社
全長×翼長(m)	2.57×3.2	2.6×4.2	3.0×4.0	1.37×3.11
動 力	単気筒 2 サイクル ガソリンエンジン	単気筒 4 サイクル ガソリンエンジン	4 気筒 2 サイクル ガソリンエンジン	ガソリンエンジン
速度(km/h)	190	110	130	147
航続距離(km)	500 1200(外部タンク)	2600(外部タンク)	650	—
航続時間(h)	4(外部タンクで 10)	20	2.5	24 時間以上
離陸重量(kg)	34	48.2	62	20
ペイロード(kg)	6	18.2(燃料含む)	6	—
主な装備	—	—	大気サンプリングセンサー	—
使用目的	情報収集 (福島原発で使用)	長距離/滞空実証	高高度実証 大気観測	情報収集

(社)日本防衛装備工業会 先端技術の軍事利用に関する研修会ロボット技術 講演資料より引用

2) 回転翼 UAV (小型ヘリ) : レベル6～9

回転翼 UAV は主として大規模農業における農薬散布、上空からの画像取得等に用いられている。自律型の回転翼 UAV が火山観測に用いられた実績は有るが運用のほとんどが目視可能な範囲における遠隔操縦での運用である。運用主体は農薬散布会社、飛行サービス会社等が役務作業として農薬散布、画像取得等を請け負っているのが現状であり、災害対応等の目的で関係省庁が独自に配備、運用するまでにはいたっていない。

農薬散布の運用に関しては農水省が運用基準を示しており、保険も確立されているが、オペレーターに十分な技能がないと運用できないため専門業者による役務作業の形態がもっとも効率が良いと判断されているものと思われる。

回転翼 UAV は離発着に広域の地積を必要としないため、災害現場近傍あるいは市街地での運用にニーズはある。しかし、オペレーターによる遠隔操縦での運用であるため、ビル風等の影響のない高度確保、通視・通信の確保と墜落時の二次災害防止等の処置を講じることが必須条件となる。

機 種	RMAX 	RPH2A 	Skysurveyor 	FFOS 
組 織	YAMAHA	富士重工	HIROBO	防衛省
全長×翼長(m)	3.6×6.1	5.3×4.8	2.42×2.5	3.8×4.8
動 力	ガソリンエンジン	ガソリンエンジン	ガソリンエンジン	単発タービンエンジン
速度(km/h)	72	99	—	135
行動範囲(km)	0.15	不明	3	50
航続時間(h)	1	1	1	3
離陸重量(kg)	94	330	48	275
ペイロード(kg)	28	100	—	—
主な装備	EO/薬剤タンク	EO/薬剤タンク	EO	EO/IR
使用目的	観測/農薬散布	調査/農薬散布	観測/調査	観測/情報収集

(社)日本防衛装備工業会 先端技術の軍事利用に関する研修会ロボット技術 講演資料より引用

3) チルトウイング式 UAV : レベル 3 ~ 5

現状、研究レベルではあるが、チルトウイング UAV は固定翼 UAV と回転翼 UAV の特徴を兼ね備えた UAV であり VTOL 機能による狭い地積での離発着と固定翼 UAV の高速長距離飛行の両立を実現できる可能性を有している。

巡航用エンジン発電機とホバリング用バッテリーのハイブリッド化を含む動力システムの最適化による航続時間延伸とホバリング時の飛行安定性・信頼性確保、巡航に適した機体形状の変更等への国の投資があれば実用化に一步近づくものと思われる。

機種	QTW-UAS 
組織	GH クラフト
全長×翼長(m)	1.863×1.8
動力	電動
速度(km/h)	0~150
行動範囲(km)	20
航続時間(h)	1 以下
離陸重量(kg)	30
ペイロード(kg)	5
主な装備	EO
使用目的	飛行実証

4) マルチローター型 UAV : レベル 4 ~ 8

マルチローター型 UAV はツインローターからヘキサローターまで多種多様な UAV が既にコマーシャルベースに展開されているが、飛行安定性あるいは安全性の向上にむけて研究開発が進められている。

機種	DraganFlyer X6 	マルチローター ヘリコプター 	T-HAWK 	Zion QC630 
組織	Draganfly	千葉大	ハネウエル	エンルート
全長×翼長(m)	0.85×0.91	—	—	0.65×0.65
動力	電動	電動	ガソリンエンジン	電動
速度(km/h)	0~50	—	130	—
行動範囲(km)	—	—	11	—
航続時間	20 分	—	40 分	15~20 分
離陸重量(kg)	1.5	—	8.4	3.88
ペイロード(kg)	0.5	—	—	2.0
主な装備	EO/IR	EO/線量率計	EO/IR	光学カメラ等
使用目的	情報収集 (米国、カナダ警察で使用)	観測	監視	情報収集

5) LTA (Lighter Than Air) : レベル 4 ~ 8

LTA は SkyProbe のような推力を有する飛行船型であり、垂直離陸、ホバリングが可能でかつ静粛な運用が可能である、

LTA は他の UAV に比べ大型であり、機動性に劣るのと耐風能力が低く稼動性能が天候に左右されるという欠点を有しているが、気象条件を克服するための研究開発が進めば空中からの安定した監視あるいは通信中継等のミッションに適用が期待されている。

機種	SkyProbe II	SkyProbe-J
		
組織	イー・イー・イス	イー・イー・イス
全長×翼長(m)	11.5×3.5	5.5×2.5
動力	エンジン	電動
速度(km/h)	50	—
行動範囲(km)	—	—
稼動時間(h)	2	1
離陸重量(kg)	—	—
ペイロード(kg)	30	3
主な装備	EO	EO/IR
使用目的	屋外情報収集	屋内情報収集

6) 係留型：レベル4～8

係留型は ETOP のように推力を有する形式のものと、InfoBalloon のような推力を有しない気球型がある。ETOP はイスラエル IAI 社が開発中のシステムであり、4 基の電動駆動ローターにより上昇及びポジションホールドを行う。最大の特徴は、エネルギー源を地上に置き、地上とプラットフォームを接続する有線ケーブルにより給電することである。これにより長時間の連続した運用を可能としている。気球型に比べ風に強いのが特徴である。

2004 年の中越地震においては、復旧作業時に、新潟大学などが現地の通信インフラの確立と、損害・復旧状況監視のため、複数の気球（インフォバルーン）を試験利用された。

また、ソフトバンクの計画している基地局はアンテナの位置を地上 100m まで上昇させることができ、通信エリアの半径は 15km 程度となり、通常の鉄塔による基地局に比べて 2.5～5 倍に広がるとされている。また、車両による運搬が可能であり機動性も確保できる。

機 種	ETOP	InfoBalloon
		
組 織	IAI	北大/ソフトバンクモバイル
全長×翼長(m)	1.5×1.5	—
動 力	電動（地上給電）	なし
速度(km/h)	54（耐風）	—
行動範囲(km)	—	—
稼動時間(h)	24 以上	—
離陸重量(kg)	50	—
ペイロード(kg)	20	—
主な装備	EO/IR	中継器
使用目的	監視/通信中継	無線中継/実証実験

UAS に関する内外の規制状況および安全確保の考え方

1. 海外の状況および将来の構想

海外において、航空無人機は主に軍用として、有事下での運用が前提となっていたが、無人機技術の発展と ISR(情報収集・監視・偵察) 任務において平時でも運航できることに対する要請が高まってきており、民間航空機も飛行する一般空域で運航する必要性が高まってきた。これに伴い、有人航空機と航空無人機の統合運航を目指す動きが活発化してきている。図 1-1 にその概略を示す。この項では、ICAO（国際民間航空機関）、欧州、米国の状況を記述する。

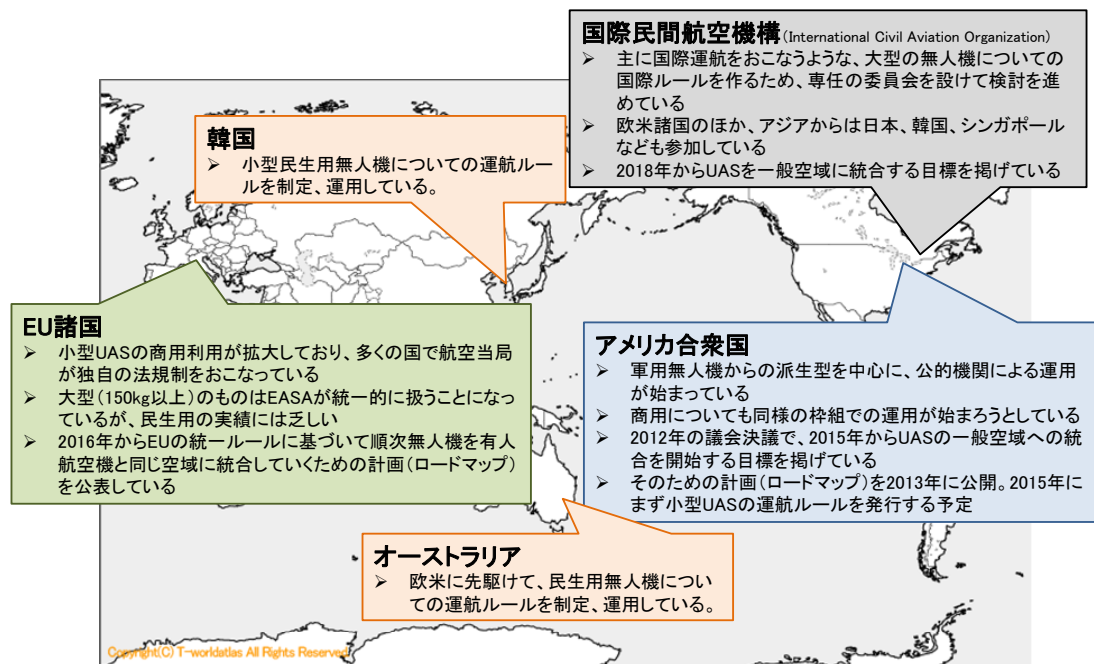


図 1-1 無人航空機の法規制に関する国際動向の概略

1.1 ICAO

国際民間航空機関 (International Civil Aviation Organization: 以下 ICAO) は、1944 年に締結された国際民間航空条約（通称シカゴ条約）に基づき設立された国際連合の専門機関の一つである。シカゴ条約では航空無人機を「Pilotless Aircraft」と定義していたが、細部の取り決めのない状況が長らく続いていた。ところが、2005 年に民間空域における航空無人機の運航によって引き起こされる危険を未然に防ぐ必要性が ICAO 内で唱えられ始め、航空無人機に関する一連の基準を制定する方向となった。

これにより、ICAO では 2007 年 4 月より Unmanned Aircraft System Study Group (UASSG) を設置して検討を実施している。同 SG は 2014 年 5 月より RPAS パネルに発展している。また、2011 年 3 月にはサーキュラー Cir 328 “Unmanned Aircraft System (UAS)”¹を発行し、無人航空機の一般空域への統合に関わる展望や統合に関連した有人航空との差異について、各国と認識の共有を図っている。

(1) ICAO の基本方針

ICAO の目的としては、旅客機等の民間航空への危険を防止する観点であるので、有人航空機と航空無人

¹ Cir328 AN/190, “Unmanned Aircraft Systems(UAS)”, 2011, ICAO.

- Block 1 (～2018)： RPAS の非制限空域への初等的な統合
- Block 2 (～2023)： RPA の航空交通システムへの統合
- Block 3 (～2028)： RPA の、有人航空機と全く同等の空港面および非制限空域における運航と設定している。

このために、ICAO ではガイダンス資料 “Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)” の作成を進めており、2015 年初頭に発行を予定している。また、2018 年以降、必要な国際標準及び勧告方式 (SARPs : Standards and Recommended Practice)の改訂を順次実施予定としている。各基準類の位置付け及び制定または制定予定時期は図 1-3 に示す通りである。また、付属書の改訂に伴い、我が国の航空法もなんらかの改訂が行われる可能性がある。

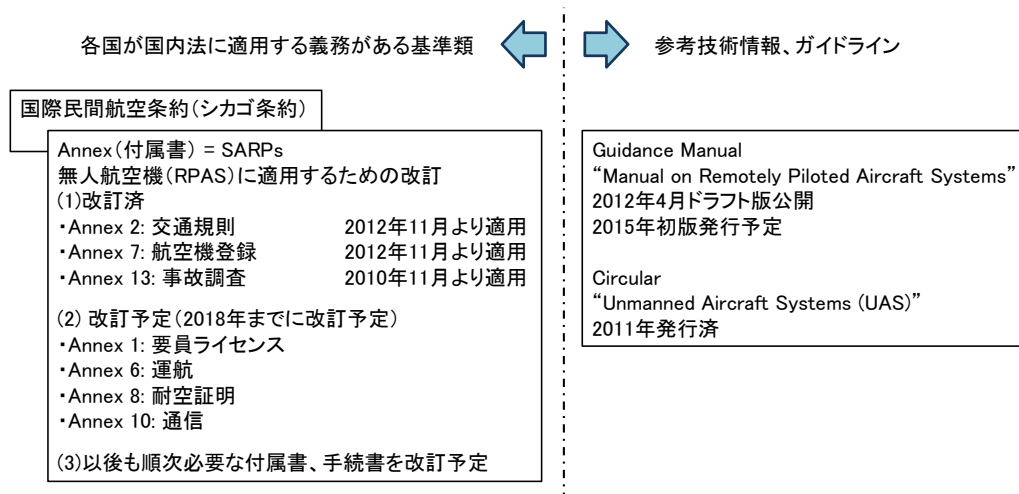


図 1-3 航空無人機の基準類とその制定または制定予定時期

1.2 欧州連合 (EU) および EU 諸国

現状の欧州のルールにおいては、最大離陸重量 150kg 以上の UAS は EU 全体の航空当局にあたる欧州航空安全機関 (European Aviation Safety Agency : 以下 EASA) が統一的に管理し、それ以下のものについては各国航空当局の担当となっている。(EU の航空規則³において、最大離陸重量 150kg 以下の UAS を適用対象としないことが規定されている。) EASA では対象となる UAS の耐空性認証に関する方針を 2009 年に発行しているが、これまでに実際に民生用 UAS を認証した実績はないと思われる。

EU 加盟各国においては小型 UAS の事業化が進んでおり、報道等に用いる空中撮影に多く使われているほか、最近では 3D マッピング、農業、施設設備の保守点検等も注目されている。既に欧州全体で 1、500 以上の無人航空機運航業者がいると言われる。

この状況に対応するため、各加盟国の航空当局が小型 UAS の運航規則（実際には法律ではなく、通達やガイドラインといった位置づけのものが多い）を制定している。2014 年 3 月時点で、EU 加盟国のうち 13 か国で制定しており、さらに 8 か国で制定準備がなされている。多くは操縦者の視程内、低高度、無人地帯での運用を原則とするものであり、視程外運航、有人地帯運航、夜間、海上、高高度運航などは次のステップの課題とされている。また、航空当局の対応遅れ、法規制の適用が徹底されていない、保険料が高いなどの課題も指摘されている。保険については各国の規定により異なるが、多くは有人航空機の保

³ “Regulation (EC) No. 216/2008 of the European Parliament and of the Council of 20 February 2008 on common rules in the field of civil aviation and establishing a European Aviation Safety Agency”, 2008, EUROPEAN COMMISSION.

險の規定（EC Regulation 785/2004）を、乗客に対する補償を除いて適用することを原則として規定しており、小型無人航空機の第三者賠償については 750、000SDR（2015 年 1 月時点のレートで約 1 億 1800 万円）相当の保険が要求されている。

一方、EU では ICAO が示した枠組みに則り、運航の形態に応じて順次、航空交通体系の中に統合する計画であり、2013 年 6 月に RPAS Integration Roadmap⁴を発行し、150kg 以下を含めたすべての無人航空機について 2016 年をめどに欧州での統一基準を定めて運用していくことを表明した。UAS を航空交通体系の中に統合する時期については、運航形態によって差があり、以下に示す通りである（ロードマップを図 1-4 に示す）。

- ・ VLOS（無人機パイロットの目視範囲内）：2016～2017 年
- ・ EVLOS（無人機パイロットと安全確認する人員の目視範囲内）：2017～2018 年
- ・ BVLOS Specific meteo conditions（限定された気象条件の目視範囲外）：2019～2020 年
- ・ IFR RLOS、BRLOS（電波見通し内及び電波見通し外の計器飛行）：2022 年
- ・ VFR（目視飛行条件）：2025 年以降

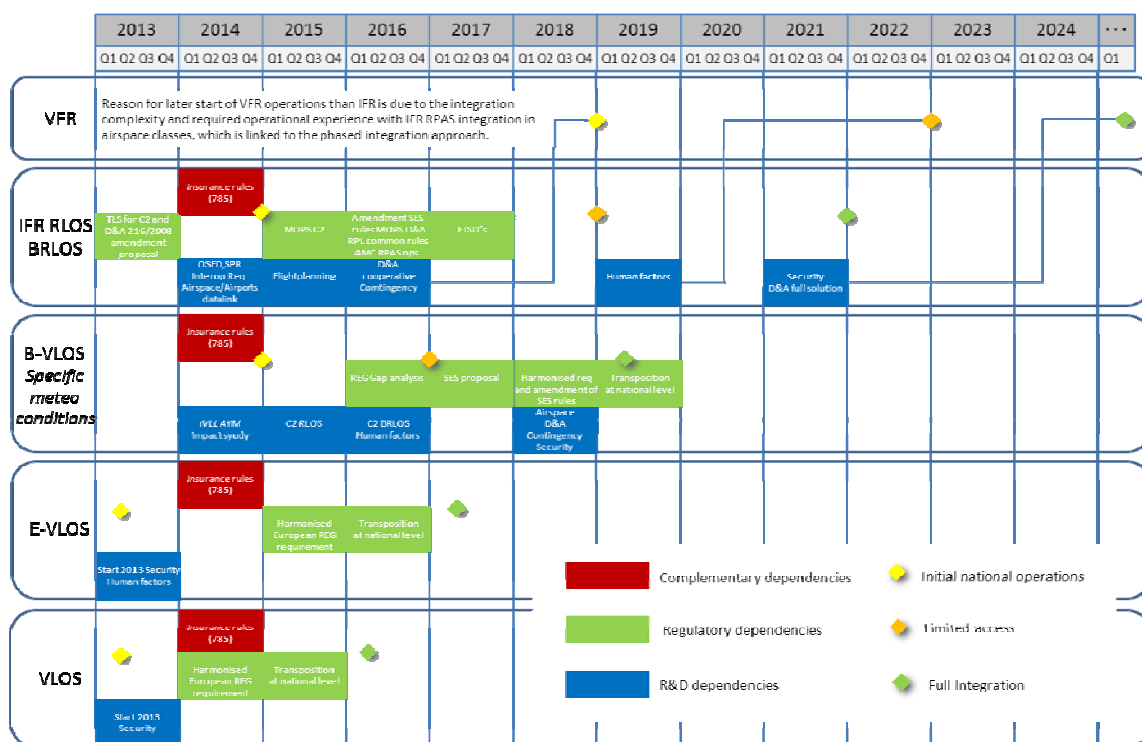


図 1-4 ヨーロッパにおける無人機の空域統合のロードマップ⁵

これに従って、既に JARUS (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems : 各国航空当局による組織) や EUROCAE など、基準案の策定が始まっている。JARUS では 2013 年 10 月に小型回転翼機の耐空性審査基準に相当する基準案 (Certification Specification for Light Unmanned Rotorcraft Systems : CS-LURS) を発行しており、また安全性目標、組織認証などの規程のドラフトも公開している

⁴ “Roadmap for the integration of civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation System”, June 2013, European RPAS Steering Group

⁵ Mike Lissone, “RPAS ACTIVITIES IN EUROPE”, <<http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/events/Presentations/130423-icns13-li ssone.pdf>>, p13, 2014.09.22 アクセス。

1.3 米国

米国では、米国内での運航に関しては原則として商用利用は許可されず、特別許可による軍・政府などの公的機関による運用、民間の試験開発運用等に限られてきた。“FAA Modernization and Reform Act of 2012” と呼ばれる計画が 2012 年 2 月 14 日に法制化され、有人機と無人機の空域統合を 2015 年 9 月に実現することを目標に活動している。空域統合までに実行する項目は、以下の通りである⁶。

- ・ 空域統合するに当たって、UAS に対する必要かつ適切なレベルの要求の明確化
- ・ GBSAA (Ground-Based Sense and Avoid) のような、安全性を確保しながら一般空域にアクセスするための進歩的な緩和政策を実行すること
- ・ 型式認証プロセスを法制化のために合理化すること
- ・ 北極地方での Small UAS の運航を行うこと
- ・ 2014 年 8 月までに Small UAS の規則を施行すること
- ・ 試験サイトを 6 カ所設けること

これに基づき、米国連邦航空局（Federal Aviation Administration：以下 FAA）は、今後の有人機無人機の空域統合に関する包括的計画(UAS Comprehensive Plan)⁷ 及びロードマップ (Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System (NAS) Roadmap 1st Edition)⁸ を 2013 年 11 月 5 日に発表した。包括的計画では米国としての六つのゴールが記載されている。

- 1) 一般空域の目視範囲内 (VLOS) における、55lbs (25kg) 以下の小型 UAS の公共機関による定常的な運航が（例えば認証に基づき、特別な許可なしに）実施されていること（2015 年）
- 2) 一般空域の目視範囲内 (VLOS) における、55lbs (25kg) 以下の小型 UAS の民間による定常的な運航が（例えば耐空証明の認証に基づき、特別な許可なしに）実施されていること（2015 年）
- 3) 一般空域における UAS の公共機関による定常的な運航が実施されていること（2015 年）
- 4) 一般空域における UAS の民間による定常的な運航が実施されていること（2020 年）
- 5) 一般空域において許容できる UAS の自動化レベルを定義、決定及び設定する（達成時期は未定）
- 6) UAS の能力開発及び規格開発において米国の国際的なリーダーシップを発展させる（継続中）

これを実現するための細部計画がロードマップに記載されており、Appendix C に記載された項目ごとの主要スケジュールを図示したものを図 1-5 に示す。

⁶ Richard Prosek, "Unmanned Aircraft Systems (UAS) and the FAA Modernization and Reform Act of 2012", Air Line Pilot's Association 58th Air Safety Forum, p.8, August 9, 2012.

⁷ FAA, "Unmanned Aircraft Systems (UAS) Comprehensive Plan", September 2013, <http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/agi/reports/media/UAS_Comprehensive_Plan.pdf>, 2014.09.22 アクセス.

⁸ FAA, "Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System (NAS) Roadmap – 1st edition", 2013, <<http://www.faa.gov/about/initiatives/uas/>>, 2014.09.22 アクセス.



図 1-5 FAA の有人機と無人機の空域統合ロードマップ

これらのうち、Small UAS については 2014 年内に関係機関の見解を統合し、2015 年には包括的な運航ルールを制定することが目標とされている。但し、2015 年 1 月の時点で関係機関の見解を統合するための具体的な提案は出されていない。Small UAS は、以下のような特徴を持つと考えられる⁹。

- ・パイロットが飛行させること
- ・重量 55Lbs (25kg) 以下
- ・目視範囲内、昼間、有視界飛行
- ・低高度及びパイロットからの離隔距離に制限がある。
- ・人や民家の上を飛行することはできない。
- ・航空交通管制 (Air Traffic Control : ATC) の指示に従うこと。

このカテゴリーは、機体規模が小さく取り扱いが容易であるため、未開発地域での監視用途として活用されることが期待される。また、FAA は 2013 年 7 月 26 日に民間用途として Scan Eagle と Puma の 2 機種について、“restricted category”での型式認証を発行した。これらの機種は、当面は北極圏での運航に限定されており、エネルギー関連企業が油田探索地域での氷盤や移動する海棲生物を監視するなどの用途で使用されることが考えられる¹⁰。また、近年では、マルチローターヘリコプターと呼ばれる小型電動無人機が普及してきており、警察等でも活用が進んできている。FAA は 2014 年 9 月には 6 社に対して、映画撮影等の目的で小型 UAS の運航を認める許可を出した。いずれも 400 ft.以下の低高度で操縦者の視界内の運航、かつ地上に第三者がいらないこと等を条件としている。同様に 12 月には計 5 社、2015 年 1 月に

⁹ James Sizemore, "Small UAS(sUAS) Special Federal Aviation Rule(SFAR) Part 107", <[http://uas.usgs.gov/pdf/FAA/0204%20sUAS%20SFAR%20Briefing%20\(final\).pdf](http://uas.usgs.gov/pdf/FAA/0204%20sUAS%20SFAR%20Briefing%20(final).pdf)>, p7, 2014 年 2 月 3 日アクセス。

¹⁰ FAA, <http://www.faa.gov/news/updates/?newsId=73118&omniRss=news_updatesAoc&cid=101_N_U>, 2013 年 9 月 13 日アクセス。

は2社に対して運航許可を与えている。

一方、これに対して、一般国民からプライバシーの侵害などの懸念も叫ばれ始めており、そういった点も考慮した運用ルールの整備が求められている。

小型無人機の安全基準等については、米国材料試験協会（American Society for Testing and Materials：以下 ASTM）で小型 UAS の基準策定が進められている。FAA がどのように位置づけるかはまだ不明だが、過去に軽量スポーツ航空機などで FAA が ASTM の基準を適用している例もある。

また、試験サイトについても FAA は募集をおこない、2013 年 12 月に 24 州/計 25 カ所の候補の中から図 1-6 に示す 6 ケ所を選定した。



図 1-6 米国の無人機試験サイトの選定結果¹¹

2. 国内における規制の現状

航空無人機に関連する主な法律には、航空法、航空機製造事業法、電波法があり、それぞれの適用範囲は表 2-1 に示す通りである。航空法及び航空機製造事業法等については以下に細部を記載する。

表 2-1 航空無人機に関連する主な法律一覧

番号	名称	規定する範囲
1	航空法 (関連する政令、規則を含む)	航空無人機の定義、耐空性、機体登録、操縦者資格等
2	航空機製造事業法 (関連する政令、規則を含む)	航空無人機の製造、修理事業を行うに当たっての技術的要件、必要な製造設備等
3	電波法 (関連する政令、規則を含む)	航空無人機が使用する無線のデータリンクの諸元等

2.1 航空法

航空法における「航空機」は、「人がのって航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空機、滑空機及びその他政令で定める航空の用に供することができる機器」と定義されている。航空無人機は人が乗ることがないので、基本的には「航空機」には該当しないが、無人航空機に該当する分類としては、「無

¹¹ FAA, <http://www.faa.gov/uas/legislative_programs/test_sites/>, 2014.09.22 アクセス。

操縦者航空機」(法：第 87 条) 及び「模型航空機」(施行規則 209 条の 3) の 2 種類が記載されている。

「無操縦者航空機」とは、「操縦者が乗り組まないで飛行することができる装置を有する航空機」と定義されている。一方、「模型航空機」は定義されていないが、それぞれの扱いは表 2-2 に示す通りである。

表 2-2 「無操縦者航空機」と「模型航空機」の扱い

	無操縦者航空機（航空機扱い）	模型航空機
機体規模	人が搭乗できるスペースを確保できる機体規模（慣例）	人が搭乗できるスペースを有さない機体規模（慣例）
機体登録	国土交通省が管理（JA ナンバーが付与される）	規定なし
安全性	国土交通省が耐空性審査等を行い、認証する。	規定なし
航空従事者	国土交通省が資格を認定する。	規定なし
運航の許可	国土交通省が許可を与えた場合に運航できる。尚、他の交通に支障がある場合は、運航を限定できる。	航空交通管制圏等で飛行させる場合には国土交通省の許可が必要。 それ以外の空域では、国土交通省への通知が必要。（「他の航空機の飛行に影響を及ぼす行為」という扱い。） 実際には、有人航空機の飛行空域と十分離れており、高度 150m 以下であれば、届出を出さずに運航しているのが現状である。

2.2 航空機製造事業法

航空機製造事業法における「航空機」は、航空法と同じく「人がのって航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空機、滑空機及びその他政令で定める航空の用に供することができる機器」と定義されている。しかし、航空機製造事業法施行令においては、「人がのることができないもののうち総重量が 150kg 以上のもの」も航空機と定義されている。これは、製造、修理事業を行うに当たっての技術的要件、必要な製造設備等を主眼にしているためであると思われる。

2.3 その他

現在、我が国において農薬散布等で活用されている無人機は航空法でいうところの「模型航空機」に相当する。ところが、「機体登録」、「安全性」等に関する基準がないため、安全運航のため自主基準を制定し、運用している。以下に農薬用途の無人機を対象とする安全基準とそれ以外の用途の無人機を対象とする安全基準について記述する。

(1) 農薬散布用途の無人機

農薬散布用途の無人ヘリコプターは、農林水産航空事業を目的として設立された農林水産航空協会 によって、「機体登録」、「安全性確認」、「操縦者資格等」が管理、運営されている。無人ヘリコプターは、主に田畑の上空 5m 程度の超低空で空中散布するため、一般的には、有人航空機が飛行しない空域で運航される。

平成 22 年度の登録機体数は 2,346 機、操縦者は、14,163 人である¹²。

¹² 農林水産航空協会, <<http://www.j3a.or.jp/shoukai/data/jisseki/h22jisseki-mujinn.pdf>>, 2014.09.22 アクセス

(2) 農業用途以外の無人機

農林水産航空協会が扱う対象は、農業用途の無人ヘリコプターだけであるため、空撮等の農業以外の用途の無人機については日本産業用無人航空機協会¹³（以下「JUAV」と言う。）が自主基準を設け、「機体登録」、「安全性確認」、「操縦者資格等」を管理、運営している。ただし、あくまで自主基準であるため、JUAVの会員以外を拘束するものではない。また、運航の安全性確保のために、表 2-3 に示すような仕組みを構築している。

表 2-3 安全確保の考え方¹⁴

項目	安全確保の要件
設計	・ 故障が発生した場合は、制御不能状態で、飛行を継続させない。 ・ 故障発生時の最終手段としてその場に強制墜落させる。
保守点検	・ 日常の保守点検として、操縦者は始業点検を確実に実施する。 ・ 確認整備士による 1 回／年の年次点検を確実に実施する。
操縦者	・ 操縦者は、操縦指導を受け、技能認定を取得する必要がある。 ・ 操縦者に与える技能認定は、「操縦技能」、「安全運行のための知識」が基準以上であることを証明するものである。
運用	・ 無人ヘリとの安全距離を確保すること。 ・ 無人ヘリが墜落する可能性のある地域には人を近づけないこと。 ・ 対地高度は 150m 未満を原則とし、有人航空機の飛行領域と住み分ける。
顧客管理	・ テロ等の反社会的行為に使用する恐れのある者には販売しない。 ・ 無人ヘリ使用中は、保守点検を通して、常に顧客の登録管理を行う。 ・ 無人ヘリ使用後は、完全廃棄を確認する。

ス。

¹³ 日本産業用無人航空機協会, <<http://www.juav.org/>>, 2013 年 7 月 4 日アクセス。

¹⁴ 日本産業用無人航空機協会, <<http://www.juav.org/menu02/anzen.html>>, 2013 年 7 月 4 日アクセス。

3. 無人航空機の安全確保に関する考え方

無人航空機は機上の乗員、乗客等の生命を守る必要がないことから、航空無人機の安全性とは主に

⇒ 地上の人や物に危害を加えない。

⇒ 他の航空交通やその他の飛行体について、衝突等の被害を避けなければならない。

の2点を如何に達成するかが主眼となる。BVLOSで運用する比較的大型の無人航空機については、ICAOの「無人機は航空機である」という考え方から基本的には有人航空機に準じた制度により運用されることが妥当であり、ICAOの作成している航空無人機の基準に基づいて国内法が整備されるものと考えられることから、有人航空機と同様の枠組で安全を確保していく方針が妥当と考えられる。

一方、小型無人機については、有人航空機における手法をそのまま適用することには幾つかの問題点があり、それを踏まえた小型無人機の安全確保のための方針を検討した。

3.1 有人航空機の手法と小型無人機への適用性

表3-1に、上記安全確保の要求に対して、有人航空機の安全確保の仕組と、それを小型無人機に適用するための課題を示す。一般的に言えば、有人航空機と比べた場合に

- 機体が小型、軽量であることによる技術的な問題があること
- 小型、安価な機体を多数運用したいことから個々の機体への投資を抑制したい要求が強いこと
- 機体や運航者が小規模、多数になる傾向から当局による管理の手間が膨大になること

などが課題であると言える。

表 3-1. 航空機の安全に関する基本的な考え方

	地上への安全	他の航空交通への安全	小型無人機への適用課題
耐空性 (設計・製造)	構造強度、耐空性、操縦性、信頼度などの保証	機体操縦性、アビオニクス等の保証	・小型軽量のため、同等の信頼性、飛行性等を持たせることが困難 ・コストダウンへの要求が高いことも問題
耐空性の継続 (管理・整備)	耐空証明の更新等を通じて、上記の状態が常に維持されていることの保証		・小型機を多数運航したい要求があり、当局がすべてを認証することは難しい ・製造者による整備要求などの情報が必要
運航規則	・危険地帯の飛行禁止、人口密集地上空の飛行制限など ・事故、インシデントの報告義務による再発、拡大の防止	・空域管理による分離 ・航空交通管制による間隔の維持 ・管制に必要な装備品の搭載 ・操縦者の監視、回避による間隔維持、衝突回避 ・事故、インシデントの報告義務による再発、拡大の防止	・低高度飛行、飛行場外での離発着など、現状のルールにそぐわない運用実態がある。 ・小型機を多数運航したい要求があること、管制に必要な装備品の搭載が困難なことなどから現状の航空交通管制ルールの適用が困難 ・一般の航空機と異なる運航ルールが必要
操縦者認証	操縦者の飛行維持、緊急時対応に関する	操縦者の監視、回避に関する技量、運航規則に関する	・コストダウンへの要求が強く、操縦者育成に掛けられるコスト

	る技量の保証	知識の保証	が少ない ・入手、運航が容易で、未登録操縦者の把握が困難
運航者承認 機体登録	機体の所属、運航の責任を明確にし、運航者が責任を持って耐空性の継続、乗務員の管理、運航規則の順守等をおこなうことの保証		・運航者が小規模、多数になる傾向があり、当局がすべてを認証することは難しい ・入手、運航が容易で、未登録運航者の把握が困難

一方、BVLOS で運用する比較的大型の無人航空機については、ICAO の作成している航空無人機の基準に基づいて国内法が整備されるものと考えられる。ICAO の「無人機は航空機である」という考え方から、基本的には有人航空機に準じた制度により運用されることが妥当であろう。

3.2 地上安全に関する考え方

航空無人機の安全上の要求の 1 つは地上の第三者（人および財産）に危害を加えないことである。実際にはすべてのものに損害を与えないというのは難しいので、人への傷害のみを考慮し、物損に関しては保険等でカバーする考え方が現実的と思われる。但し、社会インフラ等、影響が甚大または広範囲に及ぶ物件については損害を与えないようにするための対策が必要と思われる。

- 鉄道、道路、空港等の交通インフラ
- 送電設備（送電線含む）、パイプライン等
- 工業プラント、貯蔵施設等
- 人口密集地

などが候補となる。但し、これら上空を飛行することは無人航空機にとって有望なミッションであることも事実であり、一律に禁止するだけでなく如何にしてこれらに被害を及ぼさないように運航するかを検討していくことが大切である。また、燃料、電池等の発火による 2 次災害を防止することも必要である。

現状では小型無人機に有人航空機と同等の信頼性、耐環境性などを保証することは技術的に難しいため、

- 墜落が発生することは前提として、無人地帯で運用
- 物損については保険等でカバーする（保険加入を義務化しているケースもある）

という方針が一般的である。但し、飛行領域が広い場合や地上の見通しが良くないケースなどでは、実際に飛行領域内にまったく第三者がいないことをどうやって確認するかが課題となる。将来的には

- パラシュートやエアバッグなどを装備し、有効性を適切に評価することで、地上の人に対する安全を保障する。
- 有人航空機と同様に構造強度や耐久性、信頼性を評価することで有人地帯上空の飛行を可能にする。

といったことが考えられる。有人航空機が墜落した場合には乗員、乗客に死傷が発生するのに対して無人航空機では地上にいる人に衝突した場合にしか人的被害が発生しないことを考え、無人航空機に対しては、墜落時に地上の人と衝突する確率の分だけ、墜落等の発生する確率への要求を緩和しても良いのではないかとする主張もある。

また、有人航空機と同様の耐空性認証をおこなわない場合でも、機体の管理、保守点検、整備などが適切におこなわれるようにすることで安全を保障することは必要である。運航者にそれらを義務付ける一方で、製造者に対しても定期整備要求や点検項目など維持管理に必要な情報の開示、補用部品の確保などを

含む保守サービスの実施などを求めていくことが必要である。

3.3 他の航空交通に対する安全性

3.1 で述べた通り、小型無人機は有人航空機と異なる運航形態が主流であり、同様の航空交通管制システムの中で安全性を実現していくことは難しい。このため、現状では

- 有人航空機が飛行しない低高度で運航するなどして原則分離をはかる
- 操縦者（または観測者）の目視範囲内で運航し、目視による他の航空交通の監視、回避をおこなう。

といったことがおこなわれている。本邦を含む多くの国で有人航空機の最低安全高度が地上高 500 ft.（人口密集地などではより高高度が指定されている。）となっており、これより低高度で運航することで有人航空機ととりあえずの分離をはかることが可能である。

但し、一般に航空機は航空当局の許可を得て最低安全高度以下の飛行をおこなうことが可能であり、また本邦では人命救助等の緊急時に最低安全高度以下の飛行をおこなうことができる。従って、小型 UAS の運航高度を地上高 500 ft.以下とするだけでは有人航空交通との分離を保証することはできない。そのため、VLOS 運航により、操縦者が目視により他の航空交通を監視して必要な回避等の措置を取ることが必要になる。仮に高度が 500ft.以下に制限されていてもそれによって分離が保障されるわけではなく、監視、回避の責任は依然として操縦者にあると考えられる。

また、フランスの小型 UAS の基準では視程外運航をおこなう場合（つまり、操縦者の目視による他の航空交通との干渉回避ができない場合）の高度上限を地上 50m 以下としている。高度制限による分離をおこなおうとすればこのくらいに厳しい高度制限が必要になるという例と言える。

将来的に視程外や夜間での運航をおこなうためには、最低安全高度以下の飛行による原則分離だけでは不十分であり、

- 情報共有システム等による分離
- 機上映像伝送や機上システムによる DAA の実現

といった新しい技術や運航システムの導入が必要になると考えられる。

3.4 その他の安全性に関する課題

地上に対する安全性、他の航空交通に対する安全性に加えて、（小型）無人航空機に固有の問題として以下の点も指摘されている。

- テロ活動等の悪用
- C2 リンクや地上局の略取または妨害
- 低高度で手軽に運航できることによる、プライバシー侵害

なども指摘されている。

テロ活動、プライバシーの侵害については機体、運航者の登録制度が有効と考えられる。製造者についても販売先の選定などを義務付ける必要があるかもしれない。（外為法に関連して、無人機関連製品の販売時にユーザー登録や誓約書等を取っている製造者の例はある。）

3.1 で述べたように、小型無人機は有人航空機に比べて機体や運航者が多数に渡る可能性があり、航空当局が直接登録管理をおこなうことは事務処理上困難となる可能性がある。欧州などの一部では QE（Qualified Entity）と呼ばれる航空当局が認めた外部機関に認証行為を委任している例があり、本邦におい

でも参考になると思われる。

C2 リンクの略取については、ID による照合、暗号化等の対策が可能である。73MHz 帯産業用 R/C のように、登録制にすることで対応しているケースもある。一方で、操縦室の保安に相当する RPS の保安については、特に可搬型のものについては対策が進んでいない。(設置型については設置される事業所等の保安の範疇と考えられるが、場合によってはより厳しい要求も必要かもしれない。)

いずれにしても有人航空機と比較して秘密裏に入手、運用することが容易なことから、登録漏れや違法運航が発生しやすい素地があると思われる。地方自治体、警察等と密接に連携して適用する仕組みが必要である。

3.5 無人機の安全にむけて

航空無人機は、積極的な活用が期待されており、同時に安全運航できることを社会の仕組みとして作り上げることが望まれる。国の基準や仕組みを制定、運用し、一般市民の安全確保と無人機産業の育成を両立させることが重要である。BVLOS 運航をおこなう比較的大型の無人航空機については、3.1 にて述べた通り、基本的には有人航空機に準じた制度により運用されることが妥当と考えられる。

一方、小型無人機は、比較的容易かつ安価に製造することができ、手軽で便利な道具として普及することが期待できる。運用するためのハードルが低いため多くの製造事業者が参入し、多くのユーザーが活用すると考えられるが、そのために一般市民がこれらの無人機に接する機会も増え、事故に遭遇する危険性も高まってくると考えられる。VLOS での運用は、ICAO の規定では各国、各地域に任されることになるため、日本の行政機関が安全運航のための制度を整備する必要がある。具体的には、農林水産航空協会や JUAV の自主基準にも規定されているように、設計の安全性、保守点検、操縦者ライセンス、機体の登録などの国の基準や仕組みを制定し、運用することが必要と思われる。EU 諸国やオーストラリア¹⁵、韓国では、国の行政機関が安全運航のための制度を整備し、既に運用している。

小型無人航空機の法規制については特に以下の点に考慮する必要があると思われる。

- 信頼性、耐久性について有人航空機に劣ることも考慮して、地上の安全を確保する必要がある。
また絶対に被害を与えてはならない物件の識別や、物損に対する保険加入などの枠組を考慮する必要がある。
- 有人航空機と異なる運航体系を持つことを前提とした運航ルールの確立が必要である。
- 適切な管理のため、製造者、運航者を包括する法体系であることが必要である。
- 有人航空機に比較して秘密裏に入手、運用することが容易な点を鑑み、地方自治体、警察等と密接に連携して適用する仕組みが必要である。

【参考】 視程内運航 (Visual Line of Sight : VLOS) の定義

- ・ 国際民間航空条約 第 2 付属書における定義 (2012.11 追加) では
Visual line-of-sight (VLOS) operation. An operation in which the remote pilot or RPA observer maintains direct unaided visual contact with the remotely piloted aircraft.
 - 距離、高度に対する明確な規定はない。
 - 操縦者の視界ではなく、観測者 (RPA observer) の視程内でも良い
- ・ EU RPAS Roadmap における定義

¹⁵ CASA, CASR Part101.

- 高度 500 ft.以下を VLL (Very Low Level) と定義し、その中を VLOS、Enhanced VLOS、beyond VLOS に分けている。(つまり VLOS は高度 500 ft.以下が前提)
- VLOS は操縦者(のみ)から 500m 以内で、かつ目視を保てる領域と明記されている。観測者の視程内(500m 圏内)も含めた領域は Enhanced VLOS (EVLOS) とされる。
- ・ 英国航空局 (UK CAA) の Guideline (CAP722) による指針
 - 単に“見える”だけでなく、操縦に必要な機体情報が得られることが必要
 - “一般的には” 水平距離で 500m 以内、高度で 400 ft.以下が VLOS と認められる。
- ・ 米国連邦航空局 (US FAA) が招集した Small Unmanned Aircraft System Aviation Rulemaking Committee の提言 (2009 年発行 : 規則として採用されるには至っていない)
 - 水平距離では、2kg 以下のカテゴリーで 1、500 ft.、9kg 以下で 0.5mile、それ以上 (55lb まで) は 1mile
 - 高度は、9kg 以下は 400 ft.以下、それ以上 (55lb まで) は 2、000 ft.以下 (ただし空域制限あり)
 - 因みに 2013 年に 2 種類の機体に出された条件付き型式証明も 2、000 ft.の高度制限あり

【災害対応ロボットの社会実装】

最終報告書 付録 3

第 6 章関連資料

(インフラ・通信ワーキンググループ)

【付録3】第6章関連資料（インフラ・通信ワーキンググループ）

ここでは、参考として、第6章の結論を出す過程で検討した、災害ロボット用無線通信のリソース候補について紹介する。

1) 災害ロボット用無線通信リソースの候補

災害ロボットの無線は映像の情報量が数 Mbps で広帯域を必要とするため、無指向性アンテナを利用する場合、現状の検討では表 A-1 の無線通信リソースが有望と考えられる。

表 A-1 検討中の周波数帯域とその仕様

	無線LAN	公共ブロードバンド移動通信システム	TVホワイトスペース	デジタル簡易無線	920MHz帯
周波数帯	2.4,4.9,5GHz等	170～202.5MHz	470～710MHz	150MHz帯, 400MHz帯	915～928MHz
空中線電力	10mW/MHz等	基地局 20W 以下、移動局 5W 以下	20mW (NICT 試作機 IEEE802.11af)	5W以下	20mW(特定小電力,免許不要) 250mW(簡易無線局)
帯域幅	20～160MHz	5MHz	6MHz/Ch	6.25kHz	200kHz～1MHz
伝送速度	54Mbps～最大6.9Gbps	理論値で最大12Mbps程度だが距離劣化から実力としては5Mbps程度	4Mbps (NICT試作機)	9600/4800bps	400kbps
見通し通信距離	100～300m ISM帯利用時は輻輳が問題	数100m～10km	無線LAN程度	数km～30km	1km メッシュネットワーク機能あり

2) 無線 LAN

現在最もよく用いられている無線 LAN (IEEE802.11) について、転送規格を調査検討した。表 A-2 にその概要を示す。

表 A-2 無線 LAN の転送方式と主な仕様

IEEE802 転送規格	周波数帯	最大理論 伝送速度	同時利用 可能ch	帯域幅	変調 方式	屋外 利用	免許 要否	最大伝 送距離	備考		
11j	4.9～ 5.0GHz	54Mbps	4	20MHz	OFDM	○	必要	250mW で他規 格より 大	比較的 空いている		
	5.03～ 5.091GHz		3						2017年以後 無人機用		
11n	2.4～ 2.5GHz	65～ 600Mbps	2(9)	20/ 40MHz (2chボン ディング)	OFDM	○	不要	数十m ～ 数百m	MIMO導入、 多ch利用で 高速化		
	5.15 ～ 5.35GHz					×					
	5.47 ～ 5.725GHz					○					
11ac	5.15 ～ 5.35GHz	0.29～ 6.9Gbps	4(2)	80/ 160MHz (4/8chボ ンディング)	OFDM	×	不要			数十m ～ 数百m	
	5.47 ～ 5.725GHz					○					
11b	2.4 ～2.5GHz	22Mbps	4	20MHz	DSSS	○	不要	数十m ～ 数百m	旧規格		
11a	5.15～ 5.35GHz	54Mbps	8		OFDM	×	不要				
	5.47～ 5.725GHz		11			○					
11g	2.4 ～2.5GHz	54Mbps	3		DSSS/ OFDM	○	不要				
11ad	57 ～66GHz	4.6～ 6.8Gbps	4	2 ～ 9GHz	OFDM	○	不要	数m	ミリ波利用 超高速化		

2.4GHz、5.2、5.3、5.6GHz 帯を利用するもの (IEEE802.11a、11g、11n、11ac 等)

ISM バンド帯の中でも 2.4GHz、5.2GHz、5.3、5.6GHz 帯は免許や登録なしに使えるため殆どの PC、スマートフォン、ゲーム機器、センサデバイスでサポートされており、大量生産のため安価かつ高性能である。特に最新の IEEE802.11ac 規格では最大 160MHz 幅を用いて理論上 6.9Gbps もの通信速度を出すことができる[1]。しかし、普及しているが故に輻輳が非常に多く不安定であり、誤動作による事故の危険性があるロボットではこれらの周波数帯の利用は避けるべきである。東京電力福島第一原子力発電所においても、災害対応ロボットのみならず、多くの監視カメラやセンサがこの周波数帯を使用しており、常に輻輳しているため、安定した利用は非常に難しい。

4. 9GHz 帯を利用するもの (IEEE802.11j)

IEEE802.11j は、国内の 4.9～5.0GHz 帯および 5.03～5.091GHz 帯において帯域幅 20MHz、理論上の通信速度 54Mbps を用いることができる規格である。米国においてはこの周波数帯は公安や国防用に割り

当てられている。日本では無線 LAN 機器に割り当てられているが、対応機器、利用数共に比較的少ない。利用は登録制でありユーザーが限定でき、輻輳問題の解となりえる。このため現在でも一部の災害対応ロボットで利用されており、特に屋外遠隔作業ロボットにおいては ISM バンドの代用として用いられているが、現在の電波法では送信電力が 250mW と小さく、また 4ch しか確保できないため、東京電力福島第一原子力発電所の廃炉作業においては既に飽和状態である。また 5. 03-5. 091GHz は 2017 年以降、無人航空機に割り当てられるため今後なお逼迫することが予想される。また周波数が高く回り込みが期待できないため、屋内での利用は難しい。

その他の周波数帯を利用するもの

TV ホワイトスペースを利用するもの(IEEE802.11af)については次節以降で述べる。ミリ波を利用するもの(IEEE802.11ad)および 920MHz 帯を利用するものについては、今年度後期に検討を行う。また広義には IEEE802.15 や IrDA など無線 LAN に含まれるが、いずれもロボットの利用には適さないためここでは割愛する。

3) 公共ブロードバンド移動通信システム

アナログ TV 放送の空地を使用して、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 170~202.5MHz 帯広帯域移動無線通信システムである。図 A-1 及び図 A-2 にその概要を示す。空中線電力が 5W と大きく、転送速度も上り下り合わせて 12Mbps 程度と比較的高い。また VHF 帯であるため回り込み性能が高い。

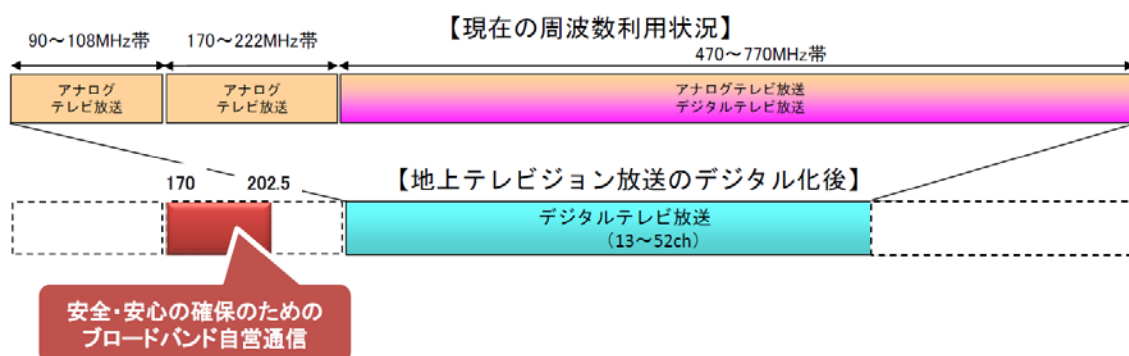


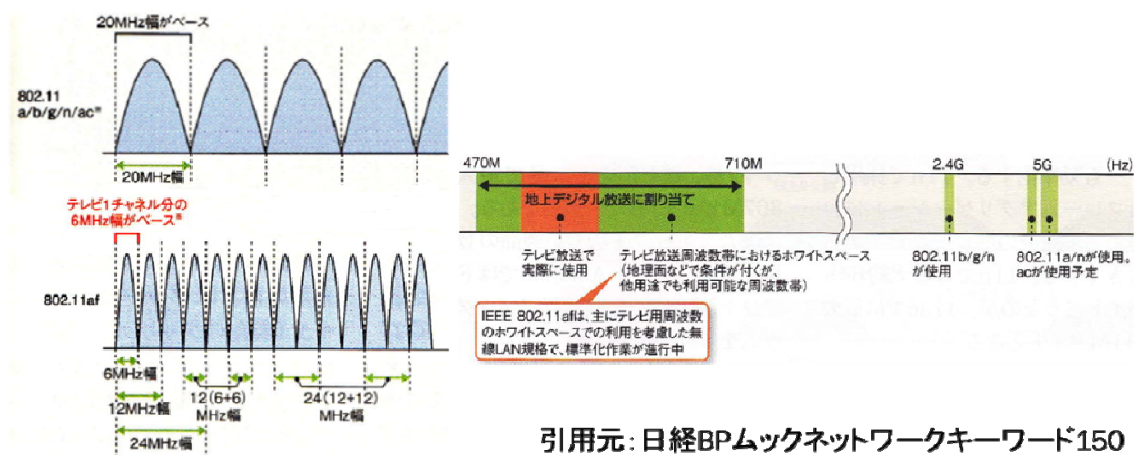
図 A-1 公共ブロードバンド移動通信システムの周波数概要



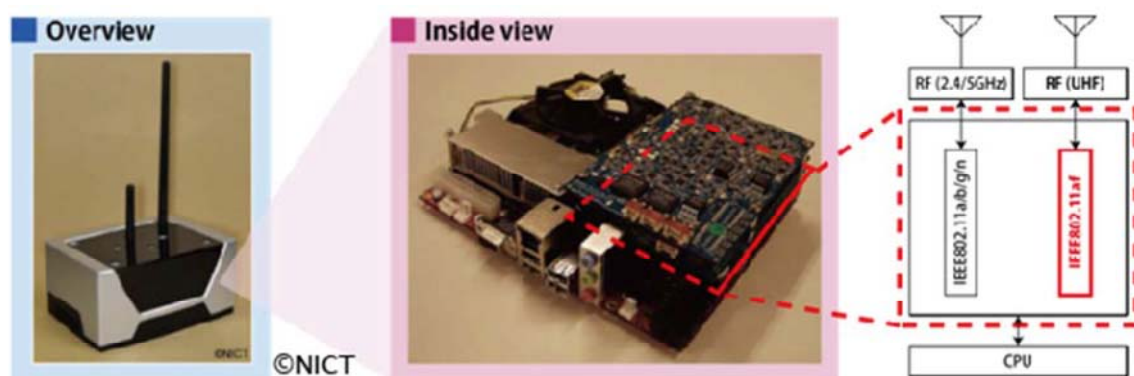
図 A-2 公共ブロードバンド移動通信システムの概要

4) TV ホワイトスペース

ここでのTV ホワイトスペースとは地上デジタル放送に割当てられたUHF 帯の470～710MHzの地域別空きチャンネルの共用のことをいう。図A-3にその概要を示す。米国や英国などでその運用にあたって制度設計が始まっており、我が国においても2009年から検討が行われ、2011年からは「ホワイトスペース特区」による実証実験がなされてきた[2、3]。平成22年からは「ホワイトスペース推進会議」が設けられ、TV ホワイトスペースの共用目的に災害対応ロボットを中心とした「災害向け通信システム」が設定され現在も検討が続いている[4]。この周波数帯を用いる通信機としては、情報通信研究機構(NICT)によって国際規格IEEE802.11afに準拠した試作がある。この試作では帯域幅6MHzであり、チャンネルボンディングにも対応している。しかし使用できるチャンネル数は地域により異なり、またこの試作機を災害対応ロボットで使用する試みはまだ行われていないため、今後の災害対応ロボットと併せた検証が待たれる(図A-4)。



図A-3 TV ホワイトスペースの周波数概要



図A-4 TV ホワイトスペースの NICT 試作機

5) 有望な災害ロボット用無線通信リソースのまとめ

有望な災害ロボット用無線通信リソースのまとめを表A-3にまとめた。またロボット種別毎の制御信号とデータ信号について、どの無線周波数帯が適しているか表A-4にまとめた。

ロボット革命実現周波数帯確保のリソースの候補としては、「4.9GHz 帯無線 LAN」「公共ブロードバンド移動通信システム」「TV ホワイトスペース」があげられる。4.9GHz 帯無線 LAN については、現状でも、無人化施工等で活用されているが、十分な通信容量が確保されておらず、他の周波数帯域の併用が必要な状況である。一方、公共ブロードバンド移動通信システムでは、帯域がそれほど広くは取れないが、VHF 帯域の無線到達性の良さから、通信容量が小さいが、通信信頼性が要求される上記の制御信号や状態データの無線通信への適用が期待できる。また、UHF 帯域の TV ホワイトスペースについては、4.9GHz 帯無線 LAN よりは、無線到達性が良く、地域により空 Ch を確保することが可能であれば、制御信号、データ信号の双方につき有効活用できると考えられる。

表 A－3 有望な災害ロボット用無線通信リソース

	無線LAN	公共ブロードバンド移動無線	TVホワイトスペース
利点	・高スループット ・TCP/IP対応 ・現状で利用可能	・電波の回り込み伝搬等が期待でき、高出力を許容されているため信頼性の高い長距離通信が期待できる ・移動無線としての信頼性が高い	・回り込みに強い ・ISMバンドのような混信は回避可能
問題点	・回り込みが期待できない。 ・4.9GHz帯以外は共用が前提で輻輳不可避	・利用が公共機関用途に限定されており、制度整備が必要 ・複数台のロボットの運用は難しい ・低価格の普及機器がない	・災害向け通信は利用優先順位が低い ・十分な空チャンネルがない ・災害対応ロボットに搭載可能な通信装置が無い ・まだ制度化されていない

表 A－4 ロボット種別毎の無線周波数帯の適合性評価

ロボット種別	信号種別	4.9GHz帯無線LAN	公共ブロードバンド移動無線	TVホワイトスペース	デジタル簡易無線
A: 屋外遠隔作業ロボット	制御信号	△	◎	◎	△
	データ信号	◎	△	△	×
B: 屋内遠隔作業ロボット	制御信号	△	◎	◎	◎
	データ信号	○	○	○	×
C: 無人航空機	制御信号	△	◎	◎	◎
	データ信号	○	○	○	×
注釈		高スループットだが、高周波のため回り込み性能が低い。送信電力のアップが必要	最有望だが、多数台運用は向かない	災害時に利用しやすいような制度整備が必要。	低周波数で回り込み性能が高い一方、帯域が狭く、データ転送には向かない。

<参考文献>

- [1] 「11ac」とは | 次世代高速 Wi-Fi 規格「11ac」でできること | BUFFALO バッファロー
<http://buffalo.jp/products/catalog/network/11ac/concept.html>
- [2] 総務省特定ラジオマイクホワイトスペースチャンネル検索
<http://www.tele.soumu.go.jp/musen/SearchServlet?pagelD=7>
- [3] 総務省エリア放送ホワイトスペースチャンネル検索
<http://www.tele.soumu.go.jp/musen/SearchServlet?pagelD=8>
- [4] 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会災害ロボット作業班
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/idou/saigairobot/index.html

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