

2015. 4. 22 ロボットにおける電波利用の高度化に関する技術的条件

**産業競争力懇談会（COCN）
2014年度プロジェクト
災害対応ロボットの社会実装**

**WG3での災害対応ロボット用
無線通信政策の検討結果**

COCNプロジェクトリーダー：東京大学教授 浅間 一
COCNプロジェクト事務局：コマツ技監 布谷貞夫
(ROBO_COCN@komatsu.co.jp)

WG3主査：工学院大学准教授 羽田靖史
副主査：熊谷組部長 北原成郎
幹事：日本ロボット学会理事・事務局長 細田祐司
(secretary@rsj.or.jp)

体制

2014年度COCN災害対応ロボットの社会実装プロジェクト

■最終報告：<http://www.cocn.jp/common/pdf/thema71-L.pdf>

●プロジェクトリーダー：東京大学教授 浅間一

●サブリーダー：日立製作所CPM 秋本修／産総研グループリーダー 加藤晋

WG1：制度，標準化検討

WG2：持続的運用検討

WG3：インフラ，通信検討

WG3主査：工学院大学准教授 羽田靖史

副主査：熊谷組部長 北原成郎

幹事：日本ロボット学会理事・事務局長 細田祐司

メンバー：東京大学，東北大学，中央大学，芝浦工業大学，早稲田大学，
産業技術総合研究所，情報通信研究機構，製造科学技術センター，
大成建設，竹中工務店，コマツ，日立製作所，三菱電機，鹿島建設，
本田技術研究所，富士通研究所，NEC，アイコム，日立建機，
東急建設，JAEA，ディーエスピーリサーチ，三共特殊無線

オブザーバ：総務省，経済産業省，文科省，防衛省，国交省，警察庁，NEDO，
日本ロボット工業会，日本電信電話，日本原子力発電

目次

1. 災害対応ロボットの種別と利用状況
2. 災害対応ロボット運用での無線通信要求
3. 実現上の問題点
4. 災害対応ロボットの通信に関する提言
5. ARIBロボット用電波利用システム調査研究会との協議

1. 災害対応ロボットの種別と利用状況

＜評価対象とした災害対応ロボットの種別＞

- 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働作業
- 小型調査ロボット：**
無線環境が悪い中で少数台を調査のため運用
- 無人航空機：**
見通のよい空中からの調査のため複数台を運用

1) 屋外遠隔作業ロボット

● 無人化施工システム成立の通信3原則

- ・ 通信は施工中遮断されないこと
- ・ 通信はリアルタイムであること
- ・ 通信は十分な伝送容量を持つこと

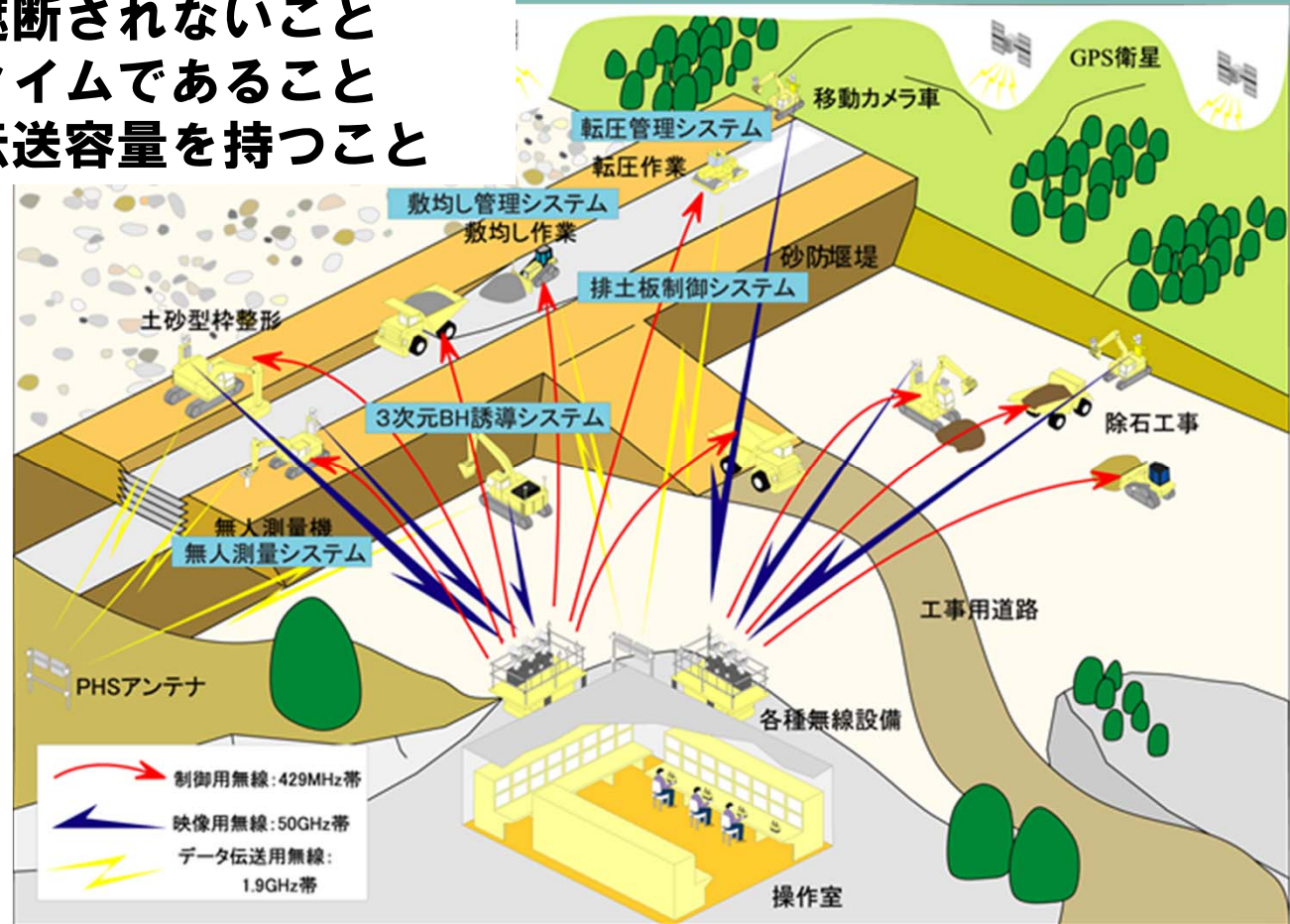


図1 屋外遠隔作業ロボットの例：無人化施工無線通信概要 (2007年ごろ)

2) 小型調査ロボット

表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	<ul style="list-style-type: none"> ・高速 ・安定、信頼性高い ・環境からの影響を受けにくい 	<ul style="list-style-type: none"> ・速度は周波数と帯域幅、転送方式に依存。高速化も可能 ・機構が比較的簡素 ・力学的拘束を受けない ・多数台の同時行動が比較的楽
欠点	<ul style="list-style-type: none"> ・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)をうける ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・見通し外の通信が極端に不安定 ・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

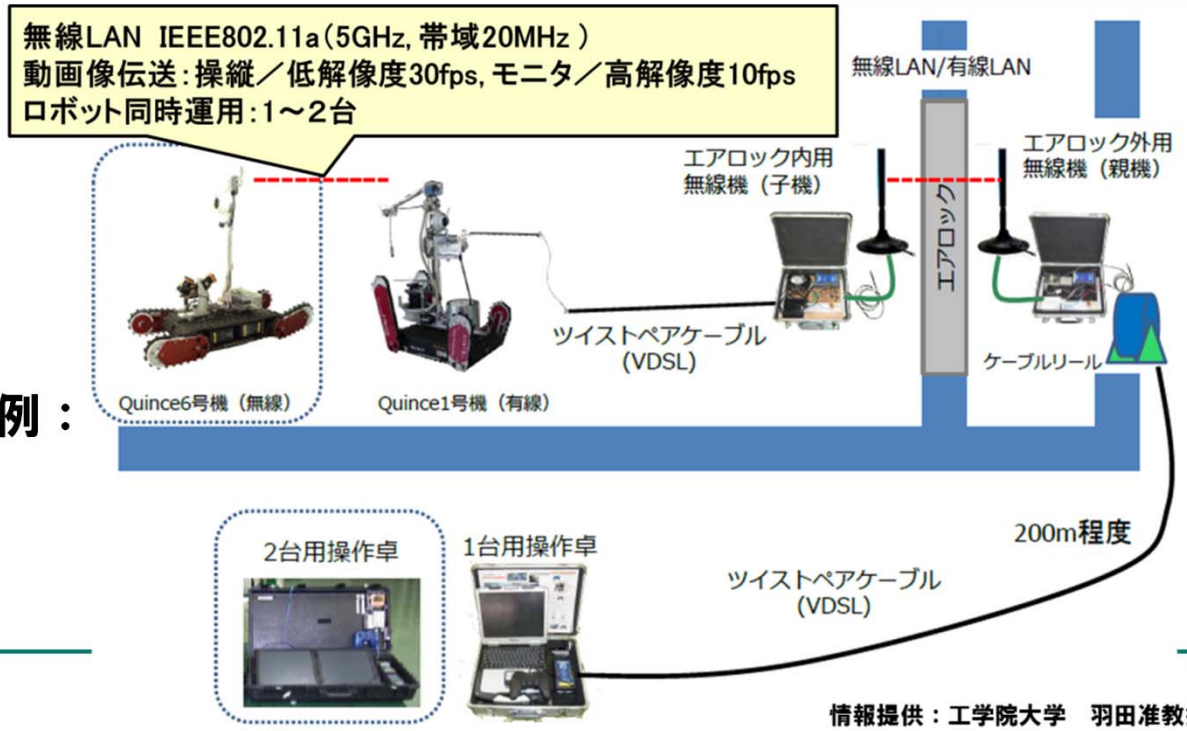


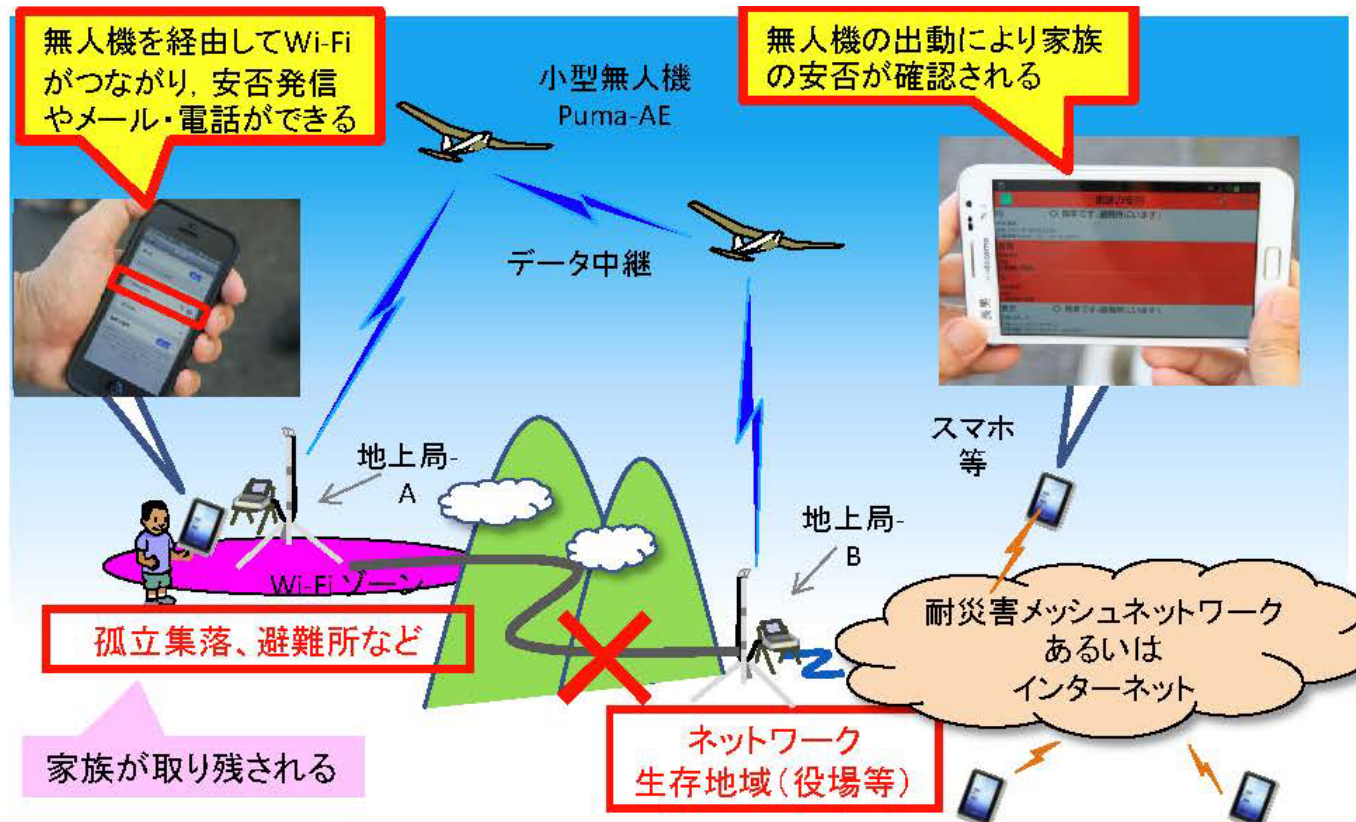
図2 屋内遠隔作業ロボットの例: Quince (Rosemary, Sakura) のネットワーク設計例

3) 無人航空機

表2 無人航空機の種別

種別	行動範囲	使用目的
Gr0: 至近距離	数100m	ユーザー: 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
Gr1: 近距離	~5km	ユーザー: 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
Gr2: 中距離	~15km	ユーザー: 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
Gr3: 長距離	15km~	ユーザー: 防衛省

図3 無人航空機の例：
NICT



2. 災害対応ロボット運用での無線通信要求

災害対応ロボットに必要な通信の特徴

レバー操作→(制御通信)→ロボット動作→
映像撮影→(データ信号通信)→映像を見る

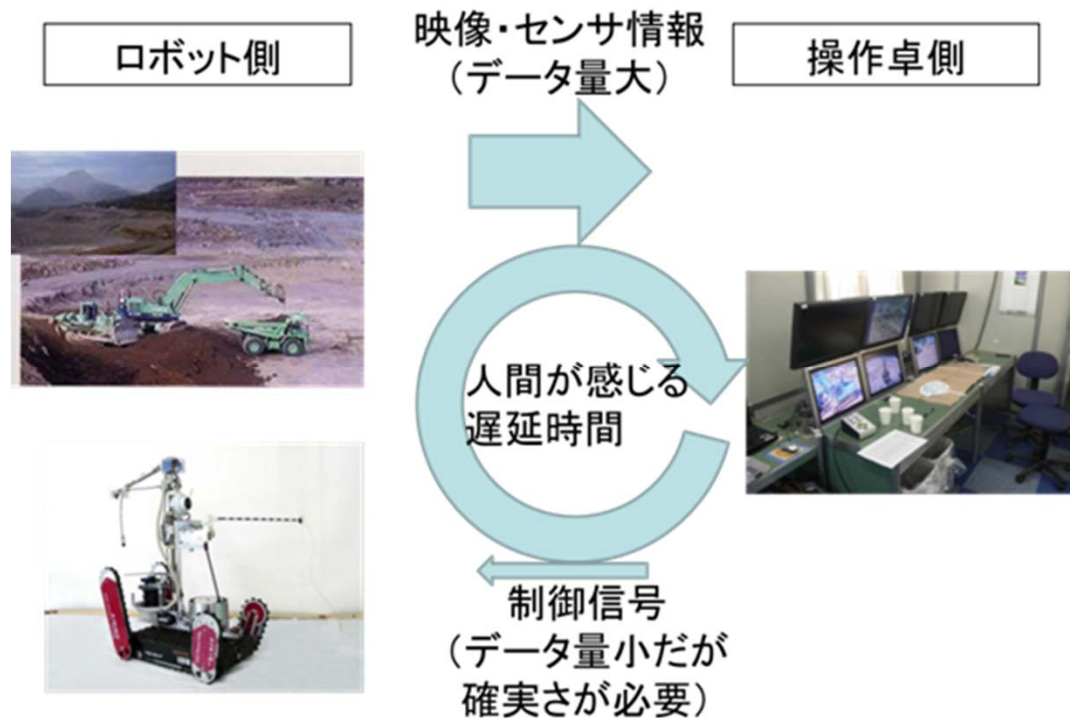


図4 災害対応ロボットの通信の特徴

種別毎の災害対応ロボットに必要な無線通信要求仕様

(下記仕様は2月COCN最終報告時の提示数値であり，現在ARIBでの協議で詳細検討中)

評価項目	A:屋外遠隔作業ロボット	B:小型調査ロボット	C:無人航空機
前提とする運用概要	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 建屋内外の調査・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 	<ul style="list-style-type: none"> 上空より画像撮影 離着陸時は肉眼もしく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)

3. 現状の問題点

1) 適切な周波数帯と帯域の選定:

- ・ VHF: アンテナ大型化、定在波によるデッドスポットの拡大、最大60Mbpsの帯域幅確保が困難
- ・ UHFやSHF等: 回り込み通信を期待できず、伝搬減衰が大きいいため長距離通信に大出力必要

2) 限られた電波資源:

- ・ 実用的周波数は全て割り当て済みで、災害対応ロボット専用にすぐ利用できる周波数帯が存在しない

3) 一般無線LANの輻輳:

- ・ 免許不要であり混信に対する保護がないため、誤動作により物理的危険を起し得るロボットに用いることは不適切

4) 市場の小ささと大きな開発コスト:

- ・ 災害対応ロボットは市場は小さく、将来でも国内で数百台程度の生産に留まると考えられる
- ・ 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膨大な開発投資が必要とされる

5) 平常時/訓練時/災害時の動作:

- ・ 災害対応機器は平時から訓練を欠かさず、平常時時においても無線利用が必要。

6) マネージメントの必要性:

- ・ ISM帯以外でも移動体無線は集中することで局所的に輻輳が起きるため、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

7) 災害対応ロボットの発展の余地:

- ・ 災害対応ロボットは歴史が浅く発展途上の技術であり、これに用いる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

4. 災害対応ロボットの通信に対する提言

1) ロボット革命実現周波数帯の確保：

- ・画像がしっかり通る程度の帯域を確保して、民間での自由活用によりサービスロボット市場を活性化
- ・免許制または登録制にし、平時は民間で広く活用し、災害時には警察、消防などに優先権を持たせる

2) 特区テストフィールドの設置：

- ・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の設置が必要
(福島イノベーション・コースト構想の枠組みの中で計画)

3) 通信機の開発支援ならびに利用シーンの創出と提供：

- ・新規周波数帯域の確保とともに、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

5. 災害対応ロボット対応新規無線通信仕様 (ARIBロボット用電波利用システム調査研究会WGで協議中)

仕様項目	屋外遠隔作業／小型調査ロボット		無人航空機
	主通信	非常用通信(命綱)	主通信
通信内容	<ul style="list-style-type: none"> 同帯域での画像・制御データ双方向通信 IP通信 	<ul style="list-style-type: none"> 伝達性の高い最低限画像・制御データ双方向通信 非IP通信 	<ul style="list-style-type: none"> 同帯域での画像・制御データ双方向通信 IP通信
周波数帯域の確保	<ul style="list-style-type: none"> 既存無線LAN帯域を避けた2.4GHz, 5GHz帯域の共用化 免許管理帯域 	<ul style="list-style-type: none"> テレコントロール帯域 150MHz, 350MHz, 460MHz, 920MHz 下記今後検討 169MHz(200kHz帯×2帯) 	<ul style="list-style-type: none"> 既存無線LAN帯域を避けた2.4GHz, 5GHz帯域の共用化 VHS帯域も希望 免許管理帯域
伝送容量	<ul style="list-style-type: none"> 屋外: 105Mbps/工区 (20台運用) 屋内: 30Mbps(3台運用) 	<ul style="list-style-type: none"> 100~200kbps/Ch・台 (28~65Chの空Chを利用) 	<ul style="list-style-type: none"> 40Mbps(5台運用)
空中線電力	<ul style="list-style-type: none"> 50mW/MHz 	<ul style="list-style-type: none"> 1~5W 	<ul style="list-style-type: none"> 1W(最大通達距離5km)
課題	<ul style="list-style-type: none"> 屋外: 4工区利用が望ましいが占有帯域過大 ⇒無線の時間的・空間的管理が必須 W52, W53の屋外運用 屋内: 免許管理帯域の確保 松: 30Mbps, 竹: 15Mbps, 梅: 3Mbps(3台運用時) 		<ul style="list-style-type: none"> 上空からの大電力送信は広域の既存通信の妨害となる⇒受信感度向上が必須