

# i-Construction を加速させる 長距離無線 LAN システムの開発

工学院大学 准教授 はだ やすし  
羽田 靖史

## 1. はじめに

われわれの研究グループ国土交通省建設技術研究開発助成制度において、平成 28 年 8 月の電波法改正で利用可能となった「無人移動体画像伝送システム」周波数帯域を利用し、i-Construction を加速させる基盤技術として、ロボット専用無線 LAN システムを構築している。本稿では、同周波数帯の特徴と利用方法、運用調整の社会的枠組み、無線機の試作状況ならびに実証実験について述べる。

## 2. i-Construction に求められる通信

これまでの無人化施工、情報化施工の取組みを踏まえて、i-Construction への期待が高まっている。i-Construction では、IoT・人工知能（AI）などの革新的な技術の現場導入や、三次元データの活用などを進めることで、生産性が高く魅力的な新しい建設現場を創出することを目的としている。

多数の機器が連携し情報を送受信するためには、新たな無線通信インフラが必要となる。現状の i-Construction では、一般用途と共通の無線

LAN や、携帯電話が使われているが、既存技術では i-Construction の多様なニーズに答えることができない<sup>1)</sup>。

例えば、一般の無線 LAN は 2.4 GHz の ISM 周波数帯を用いているが、これは広く産業・科学・医療に用いられる周波数帯であり、PC、電子レンジ、コードレスホンなどと容易に輻輳（混雑）し、通信途絶や速度の低下を招く。このため、都市部では高度な i-Construction 通信は困難である。

また、山間部や、災害時では携帯電話が通じない現場も多く、自営無線が必要である。しかし、一般の無線 LAN の出力は電波法により 1 MHz 幅あたり 10 mW までに制限されており、通信距離は概ね屋内 50 m、屋外 300 m 程度と短く、大規模災害時の復旧工事やドローンを用いた調査に対応することは困難である。このため、輻輳しにくく、出力が高い無線電波のニーズが高まっている。

## 3. 無人移動体画像伝送システム

### (1) 概要

無人移動体画像伝送システムは、i-Construction のみならず、広く無人機用に開発された無線電波である。無人移動体画像伝送システムは 3 種類に分かれ、概要は次のとおりである（図-1）。本稿では全てを説明することはできないため、詳細

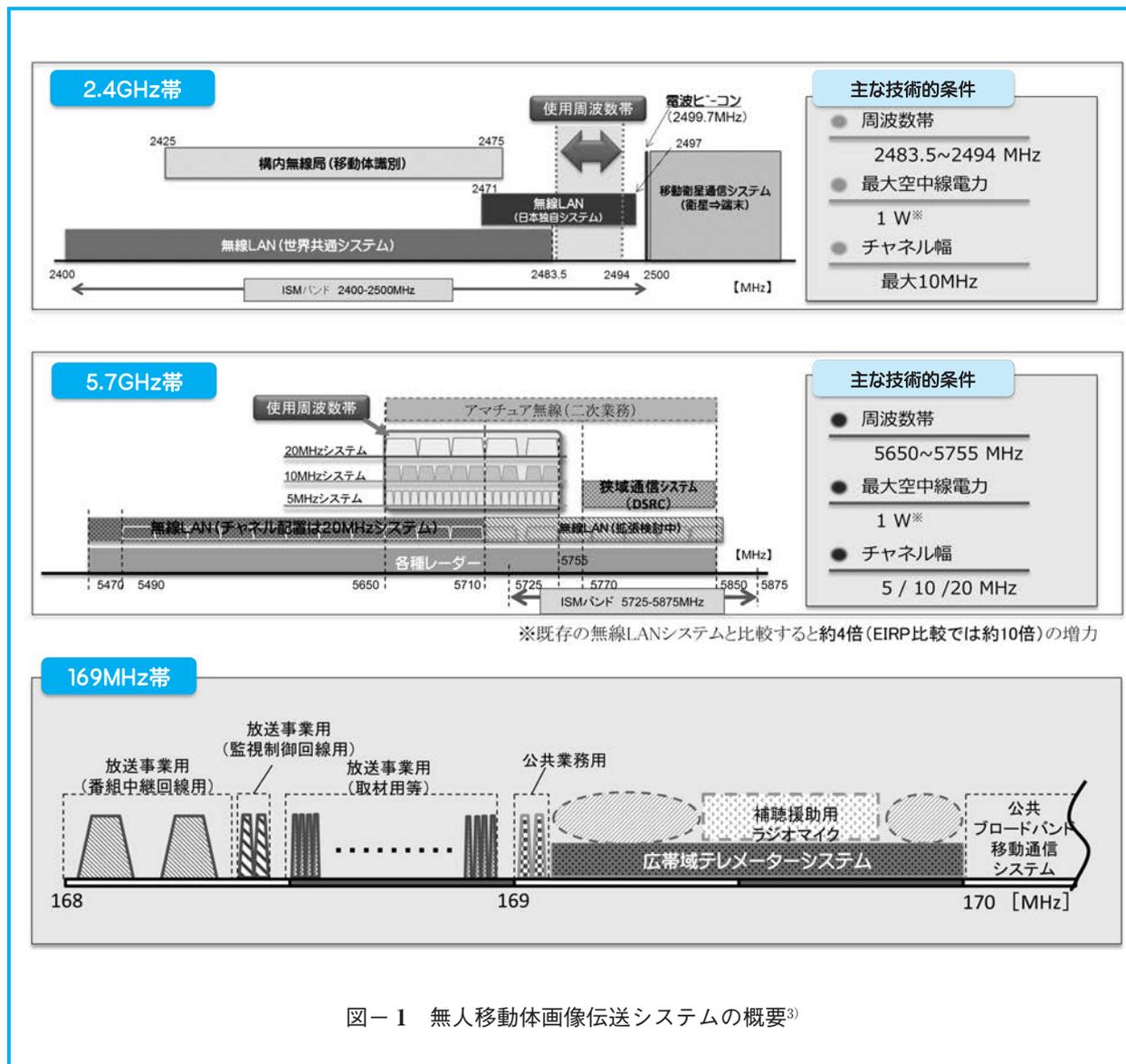


図-1 無人移動体画像伝送システムの概要<sup>3)</sup>

は参考文献2~4)を参照いただきたい。無線は免許局であり、例えば第三級陸上特殊無線技士の資格が必要である。当然、利用は必要最小の電波発射に限り、また後述する運用調整が必要である。なお、名称は「画像伝送」とあるが、他のセンサーデータやコマンドの伝送を妨げるものではない。

① 2.4 GHz 帯

無線周波数帯：2483.5 MHz ~ 2494 MHz  
 空中線電力：1 W 以下(等価等方輻射電力 4 W 以下)  
 帯域幅：5 MHz または 10 MHz 以内

画像等の大容量データを伝送可能な周波数帯である。周波数幅は 10 MHz なので、例えば 5 MHz 幅の無線を 2 ch 利用することができる。

② 5.7 GHz 帯

無線周波数帯：5650 MHz ~ 5755 MHz  
 空中線電力：1 W 以下(等価等方輻射電力 4 W 以下)  
 帯域幅：5 MHz, 10 MHz, または 20 MHz 以内

画像等の大容量データを伝送可能な周波数帯である。周波数幅は 105 MHz なので、例えば 5 MHz 幅の無線を 21 ch 利用することができる。

③ 169 MHz 帯

無線周波数帯：169.050 MHz ~ 169.3975 MHz または 169.8075 MHz ~ 170.000 MHz  
 空中線電力：1 W 以下 (等価等方輻射電力 3.25 W 以下。上空では 10 mW に制限される)  
 帯域幅：300 kHz 以内

2.4 GHz, 5.7 GHz の無線通信が利用不可能と

なった際のバックアップ用途を想定している。例えば帯域幅を 150 kHz としたときには、3 ch を利用可能である。

## (2) 特 長

無人移動体画像伝送システムの特長は以下のとおりである。

- ・高出力（1 W 以下）であり、見通し通信距離がほとんどのロボット用途の要求を満たす。
- ・免許制で無秩序な利用や輻輳を防止可能である。
- ・既存の無線 LAN 機器を変更することにより、無線機を比較的安価に開発可能である（2.4 GHz / 5.7 GHz）。
- ・伝送容量は大きい減衰が大きい高周波数帯（2.4 GHz / 5.7 GHz）と、伝送容量は低い頑強な低周波数帯（169 MHz）を併用可能である。
- ・連続送信可能である。
- ・IP 通信等のデジタル通信だけでなく、エンコード／デコードのコストが少ないアナログ通信を利用可能である。

## 4. 電波運用調整システム

### (1) 運用調整システムの社会実装

無人移動体画像伝送システムで用いられる周波数は他用途の無線と共用であり、既存無線システムの運用に配慮し、また、無人移動体画像伝送システム相互間の運用調整を行うことが免許人に求められる。各周波数における共用システムを下記に示す。

- ・2.4 GHz 帯…無線 LAN（14 ch）、構内無線局、電波ビーコン、移動衛星通信システム
- ・5.7 GHz 帯…無線 LAN（132/136/140 ch）、アマチュア無線局、狭帯通信システム、各種レーダー
- ・169 MHz 帯…放送業務用連絡無線、公共業務用無線システム、公共ブロードバンド移動通信システム、補聴援助用ラジオマイク、広帯域テレメータシステム

2.4 GHz に関しては ISM バンド内であるため、事前の運用調整、例えば近隣の無線 LAN 利用者と連絡を取るとは困難であり、干渉などがあつた際の調整になると考えられる。

### (2) 運用調整システムの社会実装

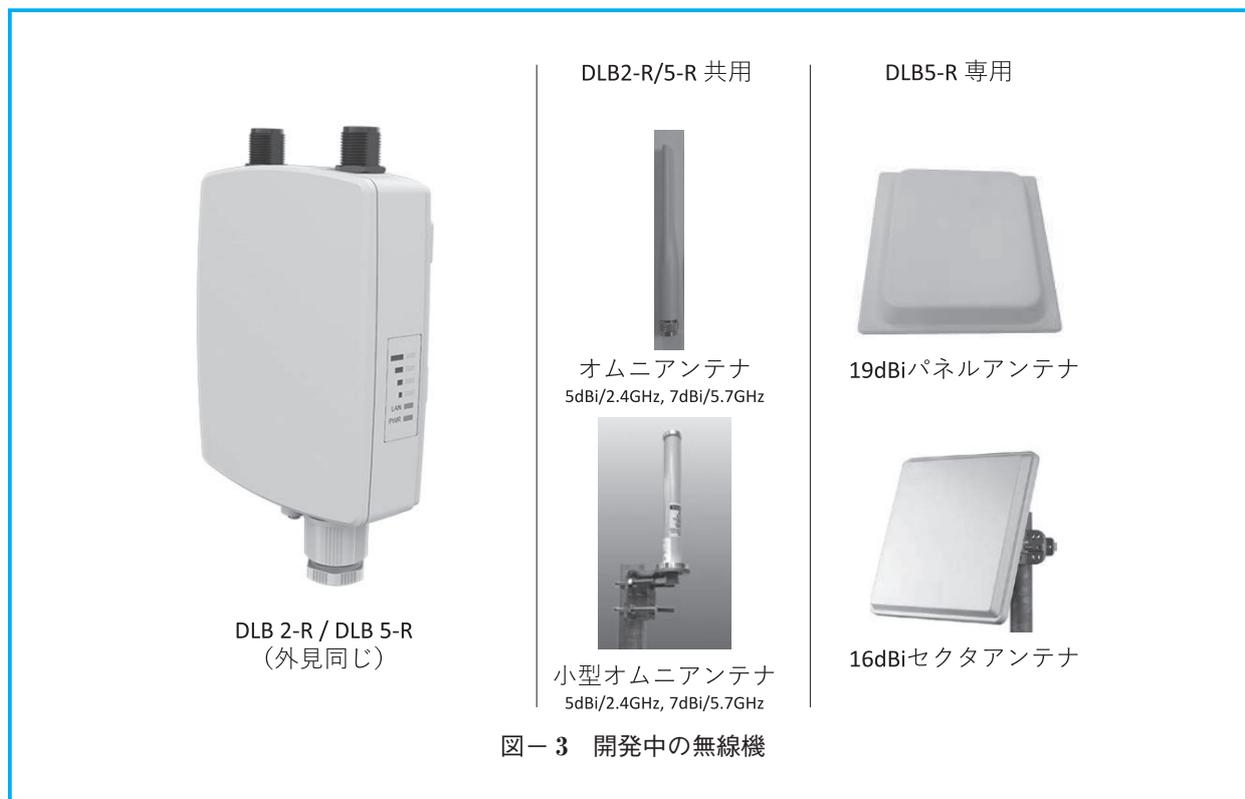
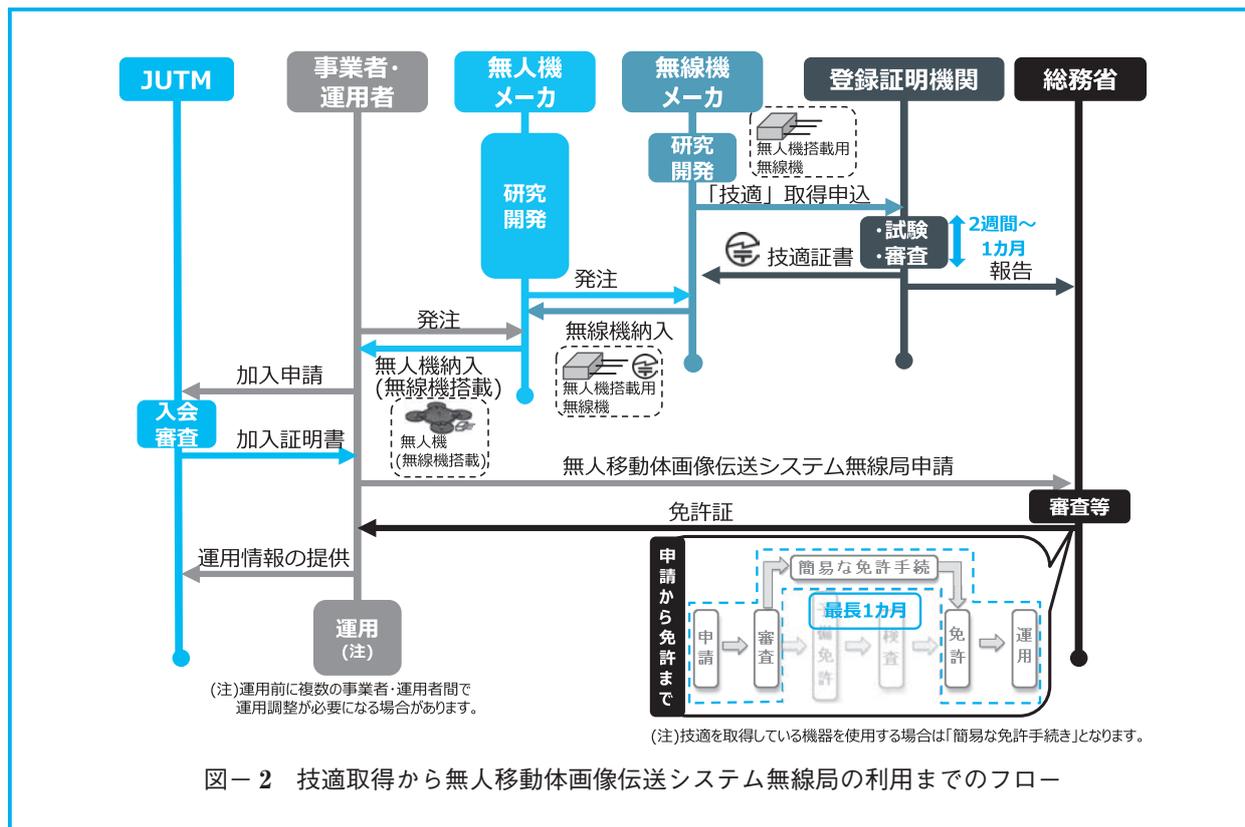
どこで誰が同一周波数帯を運用しているのかわからなければ、運用調整は不可能である。そのため、運用調整の必要性を促す社会制度を構築した。

無人移動体画像伝送システム相互間、または他の共用無線等の運用調整を円滑にするため、2016年7月に日本無人機運航管理コンソーシアム（JUTM）が設立され、無人移動体画像伝送システムの運用ルールを策定し、運用調整システムを提供した<sup>6)</sup>。あくまでも運用調整主体は運用者であるが、そのために必要な情報を提供することがシステムの目的である。運用者は運用ごとにその情報を Web に登録することを義務付けられる。他の運用者が既に同じ場所で同じ周波数を使っている場合、運用調整システムが調整の必要性を促す。そのために運用者は JUTM の会員となり、他の免許人と運用調整可能であることを各地方整備局へ明らかにすることが、無線局開設の条件となっている（図-2）。

## 5. 対応無線機の開発と実証実験

### (1) 開発中の無線機

現在、われわれの研究グループでは、2.4 GHz 帯または 5.7 GHz 帯に対応した無線機ならびに 4 種のアンテナを開発中であり、既に試験販売を行っている<sup>5)</sup>（図-3）。われわれの無線機は、IP ネットワークを利用した無線 LAN ルータとして動作することが特長であり、多様なセンサ情報や命令を、標準的なプロトコルで伝送可能である。試験販売では利用目的や設置方法、運用上のトラブルを報告していただき、今後の開発に役立てている。



(2) 試作無線機の有効性確認実験

平成 28 年 12 月に阿蘇大橋地区斜面防災対策工事現場で、試作無線機を行った無線通信実験<sup>7)</sup>に

ついて述べる。当該現場は共同研究者の熊谷組が主体となり、無人化施工を用いて不安定土砂の除去と土留盛土の築堤を行っていたものである。こ

ここで、無人クローラードンプならびに無人マルチコプターに搭載したカメラ映像の伝送実験を行った。地上局を含めて写真-1～3に示す。試作無線機を用いた実験では、約480mにわたり映像伝送を行い、既存無線LAN機器に対する優位性が確認できた。別の実験では約880mの範囲にわたって映像伝送することができたことも付記しておく。



写真-1 無人クローラードンプ

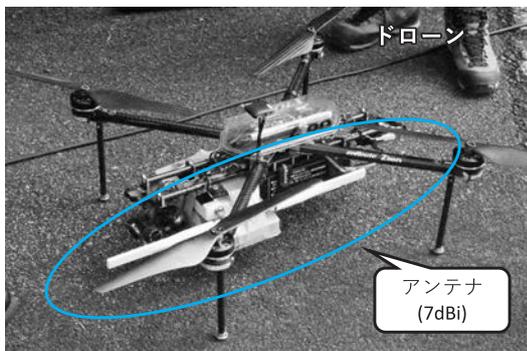


写真-2 無人マルチコプター



写真-3 地上に設置したアンテナ

## 6. まとめと今後の予定

本稿ではi-Constructionの基盤通信技術を目指した、無人移動体画像伝送システムの特徴と利用方法、運用調整の社会的枠組み、無線機の開発状況ならびに阿蘇大橋地区斜面防災対策工事現場等で行った有効性確認実験について述べた。

今後は、対応無線機の開発、実証実験を継続しつつ、運用事例を情報収集しシステムの改善を通して、さらなる普及に向けて対応していく。本研究の成果が多くのi-Construction現場を支える基盤技術として用いられることを願う。

### 【参考文献】

- 1) 羽田, “ロボットの通信に求められる問題点と要件”, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2015), 3E1-1, 2015.
- 2) 官報, 平成28年8月31日付(号外第192号), [http://kanpou.npb.go.jp/20160831\\_old/20160831g00192/20160831g001920000f.html](http://kanpou.npb.go.jp/20160831_old/20160831g00192/20160831g001920000f.html)
- 3) 陸上無線通信委員会報告(案), 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(第28回), 資料28-2-1, [http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/joho\\_tsusin/policyreports/joho\\_tsusin/idou/02kiban09\\_03000316.html](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/idou/02kiban09_03000316.html)
- 4) 陸上無線通信委員会報告(案)概要, 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(第28回), 資料28-2-2, [http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/joho\\_tsusin/policyreports/joho\\_tsusin/idou/02kiban09\\_03000316.html](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/idou/02kiban09_03000316.html)
- 5) 羽田, “ロボットの通信に係る最新動向”, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2016), 3M3-1, 2016.
- 6) 日本無人機運用管理コンソーシアム(JUTM) Webサイト, <http://www.jutm.org/>
- 7) 野村ら, “阿蘇大橋地区斜面防災対策工事(直轄砂防関連緊急事業)における「無人移動体画像伝送システム」を用いた無線通信に関する実験報告”, 平成29年度土木学会全国大会 第72回年次学術講演会, VI-704, 2017.