

## 38. 無人移動体画像伝送システムの性能調査 及び汎用型 Wi-Fi との比較検証

大成建設株式会社 ○ 遠藤 亮雄, 青木 浩章  
田村 道生, 後藤 洸一  
ハイテクインター株式会社 松井 仁志  
新井 隆弘

### 1. はじめに

近年, IoT (Internet of Things) の活用により, インターネットとあらゆるモノが繋がり, 円滑な情報の授受が可能となっている。また, 内閣府はサイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより経済発展と社会的課題の解決を両立する社会として「Society5.0」を提唱しており, その実現に向けて, スマートシティやスマートホスピタルといった取組みも実施されている。これは, フィジカル空間の情報をデジタルデータ化してサイバー空間に集積することで, 必要な情報に常時アクセスすることが可能となり, さらに, 集積した情報を解析し, フィジカル空間にフィードバックすることで, 生産性向上につながる環境改善や諸問題の解決による利便性の向上や省力化の実現を目指すものである。

このように, データを活用した取組みが活発に行われている中, 建設業でも「建設 DX (デジタルトランスフォーメーション)」として, データ活用による建設現場のスマート化が試行され始めている。そこで, 建設現場における各種データの円滑な利活用を行うためには高品質な通信インフラが展開されている必要がある。しかしながら, 実際の建設現場は短期間のうちに目的物の完成物にむけて時々刻々と姿や環境が変化するため, 通信インフラを整備しにくいという背景がある。そのため, 多くの建設現場では安価で申請等を必要としない Wi-Fi 規格の無線 LAN (以下, Wi-Fi と称す) を用いた通信インフラを構築するケースが多いが, Wi-Fi は誰でも特別な許可なく使用可能であるため, 電波干渉が起きやすいというデメリットがある。また, Wi-Fi は 1997 年に標準規格化された IEEE802.11 から約 20 年経過した現在まで規格化のたびに図-1 のように高速化しており, 実用的な通信可能距離や通信容量等は規格毎に把握し, 建設現場の様々な通信条件に合わせて通信インフラを選択する準備が必要である。

そこで筆者らは, 建設現場で採用実績のある汎用型 Wi-Fi 3 種類 (11g, 11n, 11ac) と, ドローン/UAV やロボット等の無線伝送システムとして近年普及し始めている無人移動体画像伝送システム (5.7 GHz) (以下, 「ロボット無線機器」と称す) の合計 4 機種について屋外にて無線通信比較実験を行い比較検証した。本稿では, これらの比較実験結果について報告する。

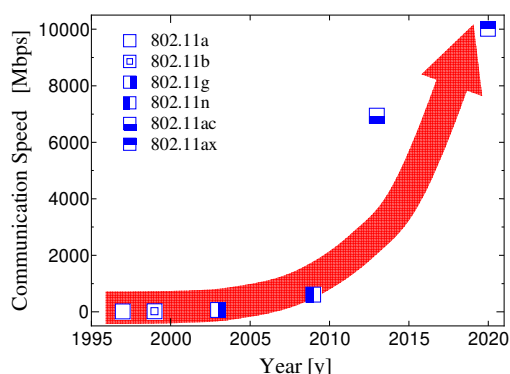


図-1 規格制定年と最大伝送速度

### 2. 実験概要

#### 2.1 比較対象機器

##### 2.2.1 ロボット無線機器の概要

今回使用したロボット無線機器の仕様を表-1 に示す。このロボット無線機器はドローン/UAV 等の操縦や画像伝送を想定したものであり, 伝送する内容は画像に限定されない。また, 海外製であるが工事設計認証を得たものであり, 日本国内でも総務省への免許申請及び第三級陸上特殊無線技士以上の資格が有れば使用が可能である。なお, 操縦者側も移動して使用することが前提であるため, 免許申請時に設置場所を限定する必要が無い。

実際の運用に際しては, 日本無人機運行管理コンソーシアム (JUTM) の会員であれば, Web 上で運用調整システムに使用する無線機の搬送周波数等の仕様・使用日時・使用場所を登録することで,

干渉調整を簡単に行うことができ、同じエリア内に他の利用者がいなければ機材準備と有資格者の配置で即時利用することも可能である。干渉の可能性がある場合にはシステムから通知され、当事者同士で調整を行う方式となっている。また、海外では軍用としても利用実績があるため、屋外のロバストな環境においても性能が期待できる機器である。

表-1 ロボット無線機器の仕様

周波数幅	10 MHz, 20 MHz
周波数(MHz)	5655~5750 (10 MHz, 10ch)
	5660~5745 (20 MHz, 5ch)
変調方式	OFDM
最大送信出力	1 W
最大通信速度	150 Mbps (MIMO×3) 50 Mbps (SISO)
通信インターフェイス	Ethernet/USB/Serial/SDI
防水防塵特性	IP68
アンテナ	無指向性 (MIMO×3)
GPS	搭載
動作温度	-40 °C ~ +85 °C
寸法 重量	3.8cm×6.7cm×20cm
	886g (362g電池含)
工事設計認証	R209-J00294

### 2.1.2 汎用型 Wi-Fi 機器

無線通信の比較実験には汎用型 Wi-Fi である 3 機種を用いた。使用した汎用型 Wi-Fi の仕様を表-2 に示す。比較のため、ロボット無線機器も合わせて表記している。以下、ロボット無線機器も含めて A 機～D 機と記載する。A～C 機のいずれも屋外対応であり、Wi-Fi の規格は、それぞれ 11g, 11n, 11ac である。A および B 機は 2.4 GHz の周波数帯である。C 機は 2.4 GHz と 5 GHz の周波数帯を選択できる仕様となっているが、本実験では 5 GHz の周波数帯を用いた。

表-2 汎用型 Wi-Fi 及びロボット無線機器の性能仕様

記号	A (11g)	B (11n)	C (11ac)	D(ロボット無線)
周波数帯	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz 5 GHz	5.7 GHz
最大送信出力	10 mW以下	10 mW以下	10 mW以下	1000 mW
最大通信速度	54 Mbps	600 Mbps	6.9 Gbps	150 Mbps
発売日	2015年8月	2015年8月	2019年3月	2018年2月
備考	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	免許申請および第3級陸上特殊無線技士以上の資格が必要

## 2.2 実験内容

ロボット無線機器と汎用型 Wi-Fi 機器に対して、通信速度測定実験、ホッピング実験及びハンドオーバー実験を行った。実験場所は三重県桑名市にある実験場にて行い、いずれも気象条件は晴れの環境で実験を行った。

### 3.1 通信速度測定実験

各種の無線機に対して、使用可能な範囲とその時の通信容量を把握するために親機と子機間の距離を変化させてスループットの測定を行った。

図-2 に測定実験の概略を、図-3 に計測位置を示す。基地局として設置した親機には PC1 を、移動局として乗用車に設置した子機には PC2 を接続し、構築したサーバとクライアント間の通信トラフィックを確認するツールである「iperf」を用いてスループットの測定を行った。そして PC1 をクライアント (送信側)、PC2 をサーバ (受信側) としたダウンリンク (以下、DL と称す) 及びその逆のアップリンク (以下、UL と称す) の 2 種類のスループットの測定を行った。親子の無線機は相互に見通しが利き、間に遮るものが無い環境とし、無線間の距離は 10, 50, 100, 150, 200, 320, 420 m の間隔で変化させ、それぞれの距離で同様に計測を行った。

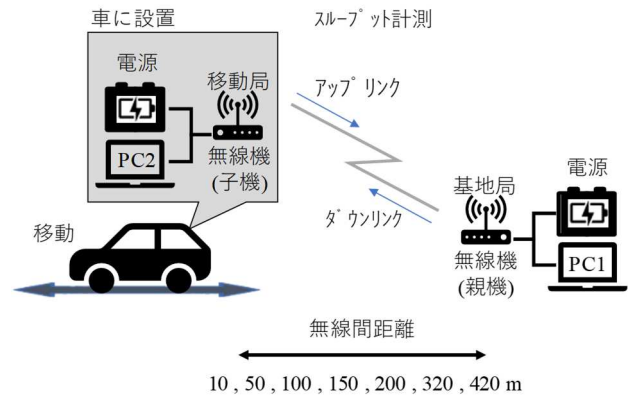


図-2 通信速度測定実験概要

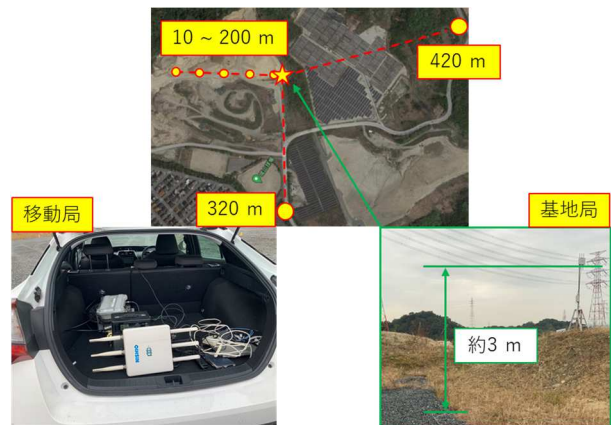


図-3 計測位置

### 2.2.2 ホッピング実験

1 台の無線機でカバーできる範囲以上のエリアに通信インフラを構築する場合は、中継局を設置することが多い。その場合、中継局は有線接続が望ましいが、それが困難な場合は無線マルチホップ機能を使用することで、通信用配線を行うことなく中継局の設置が可能である。一般的に無線マルチホップ機能を使用した場合、通信速度がどの程度低下するかを把握するために、無線マルチホップ機能を有した C 機および D 機に対して、ホッピングさせた場合の通信速度の変化の測定を行った。

図-4 にホッピング実験の概要及び図-5 に無線機の配置位置を示す。無線機は C 機および D 機それぞれに対して、親機・子機 1・子機 2 の計 3 台を使用し、親機と子機 1 間および子機 1 と子機 2 間の通信が可能であり、かつ親機と子機 2 間の通信が不可となるように配置を行い、親機と子機 1 間の経路①、子機 1 と子機 2 間の経路②及び子機 1 を経由した親機と子機 2 間の経路③に対して、通信速度および応答速度を「ipref」および「ping」を用いて測定を行った。なお、無線間の距離については、機器によって通信可能および不可となる距離が異なるために任意とし、ホッピングによる通信速度の変化はそれぞれの機器での比較とした。

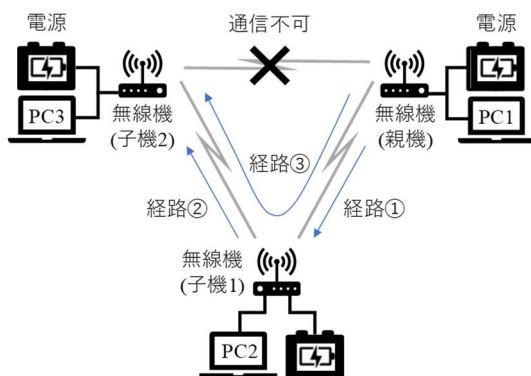


図-4 ホッピング実験概要



図-5 無線機配置位置

### 2.2.3 ハンドオーバー実験

中継局を設置して通信インフラを構築した場合、基地局がカバーしている範囲①、中継局がカバーしている範囲②、範囲①と範囲②が重なり、基地局と中継局からの電波の両方が届く範囲③の 3 種類のエリアに分けることができる。移動局が範囲①から範囲②に移動する場合、通信経路の切替えが必要となり、その挙動を把握するため、C 機および D 機に対してハンドオーバー実験を行った。

図-6 にハンドオーバー実験の概要を示す。基地局として親機を設置し、その親機との通信が可能な位置に中継局として子機 2 を設置することで、無線マルチホップ機能によるネットワークエリアを構築した。移動局として子機 1 とネットワークカメラを車に設置し、基地局から直接通信が可能なエリアからホッピングによる中継が必要なエリアへの走行を行った。その時に、基地局に繋いだ PC1 から車載しているネットワークカメラにアクセスし、カメラ映像と「ping」の応答の確認を行った。また、中継局側からの走行も行い、中継局を経由した接続から直接基地局との接続への切替りの確認も行った。走行速度は 15 km/h および 30 km/h の 2 種類で行った。

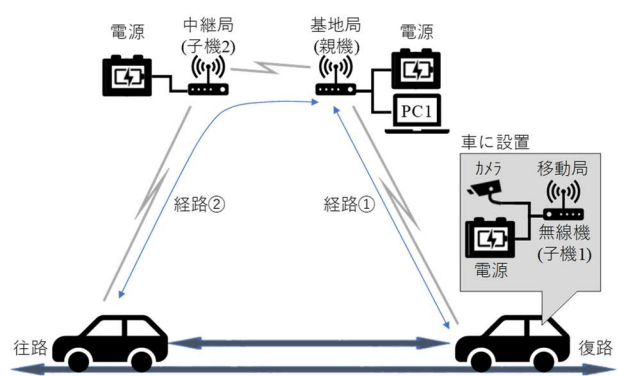


図-6 ハンドオーバー実験概要

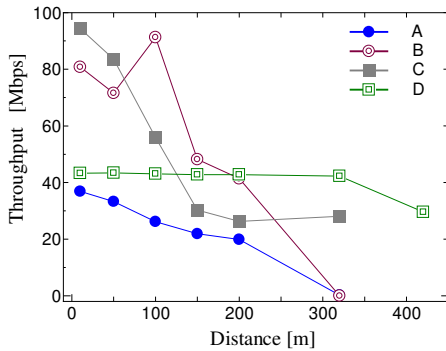


図-7 走行コースおよび無線機配置位置

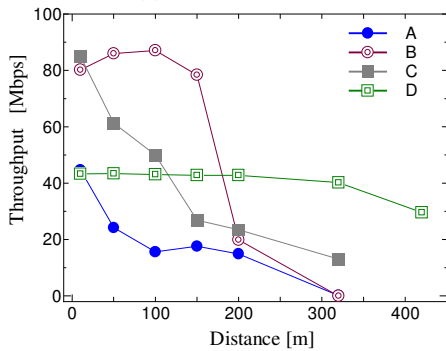
### 3. 実験結果

#### 3.1 通信速度測定結果

図-8 に通信速度測定結果を示す。無線間距離が 420 m 地点では A,B,C 機は繋がらなかったため、D 機の結果のみとなっている。UL・DL に限らず、すべての無線機のスループットは無線間距離が離れるほど低下していく傾向がみられ、汎用型 Wi-Fi である A~C 機においては、200 m 地点になると近距離に比べて半分以下に減少するという結果となった。これに対して他と比べて出力の高い D 機は、420 m 地点においても安定した通信トラフィックが確認できた。



(a) アップリンク



(b) ダウンリンク

図-8 通信速度測定結果

#### 3.2 ホッピング実験結果

表-3 および表-4 に各通信経路における通信速度と応答速度の測定結果を示す。表-3 における D 機①と D 機②は、子機 1 と子機 2 間の距離を変化させた結果である。通信速度において、ホッピングを行っている通信経路である経路③は、個別の通信経路である経路①と経路②の最小の通信速度との相関がみられ、C 機は約 60%、D 機は約 45% という結果となった。応答速度に関しては、どの経路においても大差はなく、ホッピングの影響は考慮しなくても良いことが分かった。

#### 3.3 ハンドオーバー実験結果

表-5 に通信経路切替え時に生じた通信途絶時間を示す。C 機は経路切替え時に 10 秒程度の通信途絶が確認されたが、D 機は通信の途絶が無いか、あっても数秒程度の途絶であった。また、カメラ

映像を確認していても、C 機は切替え時に映像が途切れてしまっていたが、D 機はほぼシームレスに映像を確認することができた。

図-9 に通信切替地点を示す。C 機は通信が繋がっている無線機がカバーしている範囲外に出てから通信の切替えを行っていたが、D 機は基地局に優先して接続するように切替えを行っていた。

表-3 ホッピング実験通信速度測定結果

	経路①	経路②	経路③
C機	94.2 Mbps	82.8 Mbps	50.0 Mbps
D機①	41.1 Mbps	40.6 Mbps	18.5 Mbps
D機②	40.5 Mbps	23.9 Mbps	10.9 Mbps

表-4 ホッピング実験応答速度測定結果

	経路①	経路②	経路③
C機	1 ms	1 ms	2 ms
D機	2 ms	2 ms	3 ms

表-5 通信経路切替え時の通信途絶時間

車速	C機		D機	
	往路	復路	往路	復路
15 km/h	8 s	10 s 以上	3 s	0 s
30 km/h	10 s 以上	10 s 以上	0 s	0 s

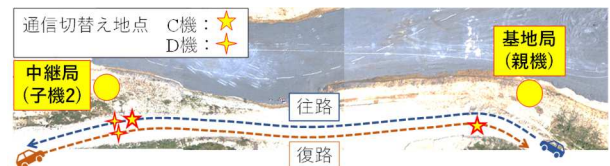


図-9 通信経路切替地点

### 4. まとめ

ロボット無線機器と汎用型 Wi-Fi の 4 種類の無線機に対して、各々の距離における通信速度の計測を行った結果、基地局からの距離が 150 m 程度の近いエリア内で使用する場合は許可や申請の必要がない Wi-Fi 規格の無線機であっても十分に使用可能であることが分かった。そして、それ以上広いエリアとなると、基地局の数を増やすか、ロボット無線機器のような高出力の無線機を使用する必要があるものと考えられる。また、ロボット無線機器と汎用型 Wi-Fi の 2 種類の無線機に対して、ホッピング時の通信速度測定及びハンドオーバー時の挙動確認を行った結果、無線マルチホップ機能を用いると通信速度が低下し、低下率も機種によって異なることが分かった。さらに、通信経路の切替えには通信途絶時間が発生し、その時間の長さや挙動も機種によって異なるため、使用する用途に合わせて機種の選択をする必要があるものと考えられる。今回の測定結果が適切なネットワーク環境を構築する参考になれば幸いである。