

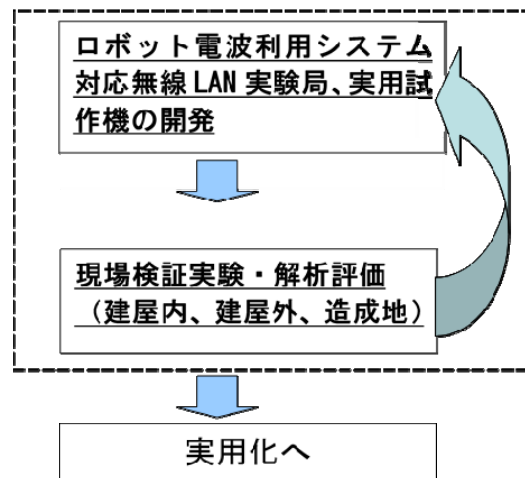
様式第 11 別紙 2

建設技術研究開発費補助金 総合研究報告書

- (1) 課 題 名：i-Construction を加速させる長距離無線 LAN システムの開発
- (2) 研 究 期 間：平成 28～29 年度
- (3) 交 付 申 請 者 名：羽田 靖史（工学院大学・准教授）
- (4) 研 究 代 表 者 名：羽田 靖史（工学院大学・准教授）
- (5) 共 同 研 究 者 名：北原 成郎（(株)熊谷組・ICT 推進室長）
坂西 孝仁（(株)熊谷組・機材部担当部長）
大本 晋士郎（(株)熊谷組・企画調査グループ長）
吉田 貴（(一財)先端建設技術センター・企画部参事）
- (6) 補助金交付総額：44,533,000 円
- (7) 技術研究開発の目的

i-Construction を加速させる一つ的手段として、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」を利用する、ロボット専用無線 LAN システムを構築し、これまで携帯電話が利用できず意思疎通が困難であった、山間部や都市部等での大規模土木工事等での通信システム技術確立する。本研究開発により、土木工事や災害復旧・復興工事の安全性、施工品質、生産性などの向上を図ることができる。

具体的には「無人移動体画像伝送システム」に合致した 2.4GHz、5.7GHz、ならびに 169MHz に対応した無線 LAN の実験局ならびに実用試作機を開発し、伝送距離や通信品質等を向上させることを実証する。目標として、既存局の 150m 程度 10Mbps 程度の能力を、安定して 600m、10Mbps の転送能力を複数局で実現し、従来の無線機よりも過酷な地形、振動、温度下において、建機のみならず車両、ドローン、計測器、操作盤などを繋ぎ i-Construction をさせる基盤ネットワークを実証する。



本研究のながれ

(8) 技術研究開発の内容と成果

平成28年度には電波法改正により通常の無線LANと仕様が異なる実験試作機を開発し、無人移動体画像伝送システムの仕様に合致させた。具体的には出力の増大（放熱の問題から当初は400mW出力となった）、CSMA/CA機能の変更、中心周波数（2486/2488.5/2491MHz）と帯域幅（5/10MHz）の変更を行なった。加えて、5GHz帯の周波数変更も前倒しで行うことができた。これには無線機のファームウェアの改造が必要となり、これを工学院大学が中心となり行なった。これらの実験試作機は、無人移動体画像伝送システムとしては初の技術適合証明を取り、現状の性能であればいつでも販売可能な状態となった。また阿蘇大橋地区斜面防災対策工事現場などで、無人化施工に用いている無人ダンプ並びにドローンに実験試作機を搭載し、実証実験を通して実運用可能であることを確認した。従来無線機で6か所程度の無線機の敷設が必要であったエリアについて、1台の無線機で通信範囲をカバーすることができた。また産学官テーマ委員会で有効性と問題点、今後の開発方針を議論していただいた。

平成29年度は前年度の実験試作機の知見をもとに、通信スループット、通信距離、防水、防塵性能などが向上した5.7GHz帯実用試作機2種を開発した。また169MHz無線機の試作も行ない、本研究開発で開発した無人移動体画像伝送システム対応無線機は、5種となった。そのうち4種に関しては、販売が可能であり、有償試験協力の形で販売を行なった。なお、開発した無線機は「無人移動体画像伝送システム」に対応した無線機としては第一号であり、運用実績についても上記実証実験は電波法改正後初の運用となった。現在は各社から無線機が販売されているが、他社無線機は仕様がドローン用に特化しているのに対し、我々の無線機はIPネットワークや多対多接続に対応しており、よりi-Construction向けであるといえる。

またこれらの無線機を用いて、ドローン、クローラダンプ、小型カメラ車、RTK-GPS基準局、カメラ雲台、管理用iPad、操作用PC数台など多数の機器を接続した、i-Constructionネットワークを構築、実証した。無人移動体画像伝送システムを用いたIPネットワークは世界初である。また多数の企業や研究団体と協力し、阿蘇大橋地区斜面防災対策工事、雲仙普賢岳、群馬県片蓋川砂防堰堤工事現場、南相馬市、新宿地下通路など様々な現場で実証実験を行い、中でも阿蘇大橋地区斜面防災対策工事現場では、3か月程度の長期間実用に供することでその有効性を実証した。

i) 無人移動体画像伝送システム対応無線LAN試作機の開発

- i-① 概要
- i-② 2.4GHz帯 DLB2-R
- i-③ 5.7GHz帯 DLB5-R
- i-④ 5.7GHz帯 MPU5
- i-⑤ 5.7GHz帯 MPU5（モジュール）
- i-⑥ 169MHz帯 通信モジュール
- i-⑦ 試験販売

ii) 現場検証実験・解析評価

- ii-① 概要
- ii-② 阿蘇大橋地区斜面防災対策工事での基礎実験
- ii-③ 群馬県片蓋川砂防堰堤工事現場での通信実験
- ii-④ 無線が混雑する都市部での比較実験
- ii-⑤ 熊谷組技術研究所での統合ネットワーク実験

iii) 実運用

阿蘇大橋地区斜面防災対策工事での実運用

iv) その他

JUTM 電波運用管理での活動

以下その詳細を述べる。

i) 無人移動体画像伝送システム対応無線 LAN 試作機の開発

i-① 概要

平成 26 年 6 月に閣議決定された日本再興戦略に基づき平成 27 年 1 月に策定されたロボット新戦略では、多様な分野でロボットの利用が期待されており、多様化するロボットの電波活用ニーズに答えることが必要とされている。ここで述べられているロボットは、情報化施工や無人化施工、ドローン等を含む。これをうけ平成 28 年 8 月 31 日には電波法関係省令が改正され、「無人移動体画像伝送システム」が利用可能となった。このうち i-Construction に適しているのは、2.4GHz と 5.7GHz 帯を用いるものであり、既存の無線 LAN システムと比較して、以下の利点がある。

- ・ 等価等方放射出力 4W で、既存無線 LAN の 4～5 倍であり遠方まで電波が届く。
- ・ 遅延の少ないアナログ回線利用可能である。
- ・ 連続送信可能であり、輻輳（混雑）による遅延が生じにくい。
- ・ 免許制で無秩序な利用による輻輳を防げる

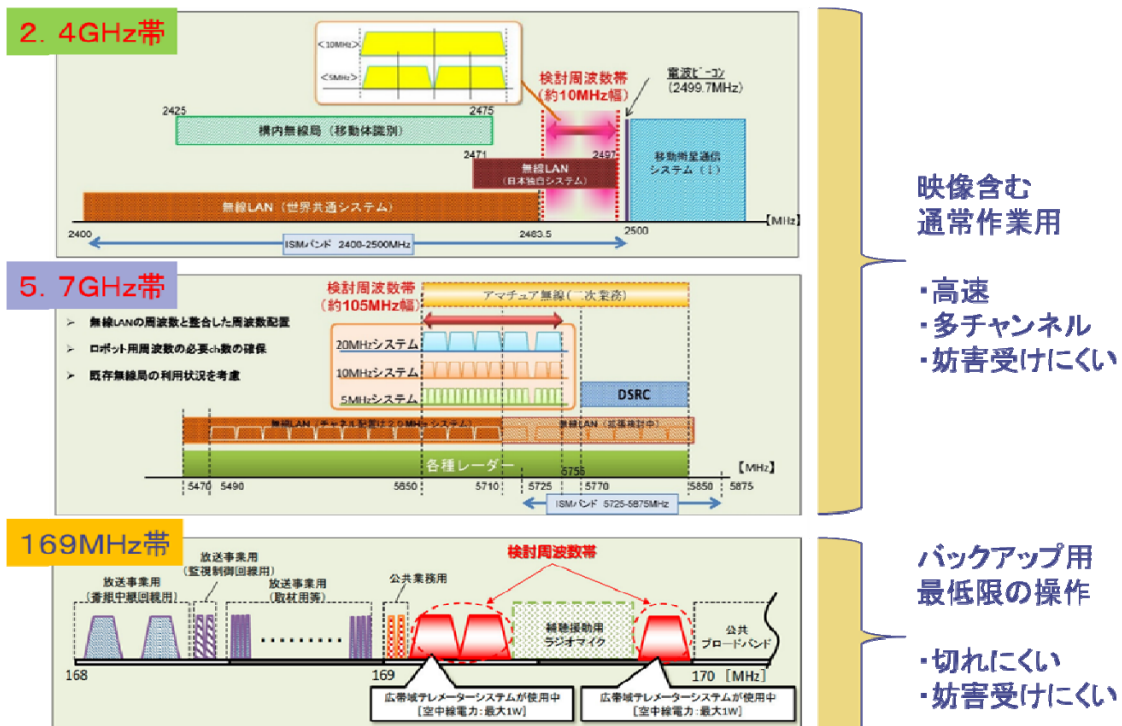
また、169MHz 帯は想定される速度が 100kbps 程度と低速であるが、周波数が低いため以下の特長がある。

- ・ 万一 2.4GHz 帯、5.7GHz 帯の切断時でも利用可能が見込まれる（バックアップ回線）
- ・ 机上での通信距離見通し 60km（ただし空中では 10mW の制限がある）
- ・ 免許制で無秩序な利用による輻輳を防げる

無線機の実現には、上記の周波数を送受信する機能のみならず、その機能が i-Construction 環境で正しく働くことが重要である。i-Construction で無人移動体画像伝送システムを用いるには、以下を現場検証する必要がある。

- ・ 映像やテレメトリ、位置などの通信が、多様な現場で正しく通信可能であること
- ・ 建設機械のみならず、車両、ドローン、測量機など多種多数台と通信可能であること
- ・ 車両、耐震、耐環境性など、過酷な i-Construction 環境で動作し続けること

このため、本申請研究開発では、上記のロボット用無線を利用する実用試作機を開発し、現場検証を通して i-Construction で実用するための技術開発を行なう。



ロボット用無線「無人移動体画像伝送システム」の概要

平成30年現在で利用可能な無人移動体画像伝送システムに対応した無線機を下記図にまとめる。他の無線機が主にドローンの映像伝送を目指して開発しており、一対一の対向で用いるのに対し、我々が開発した無線機は、IPネットワーク対応可能とであり、ドローンのみならず、建機、車両、計測機等の多様な機器と相互接続し、画像のみならず制御信号やテレメトリデータなどを自由に通信可能である点にある。

無人移動体画像伝送システム 対応無線機

ビデオ無線伝送等に利用される無線機の研究開発および販売が進む

※(D): デジタル無線 (A): ナログ無線 画像は各社サイトより

工学院大学/熊谷組/先端建設技術センター (国交省建設助成)

				No Image
(D)2.4GHz帯 出力400mW	(D)5.7GHz帯 出力50mW	(D)5.7GHz帯 出力1W	(D)5.7GHz帯 出力1W	(D)169MHz帯 1W (開発中)
NICT 	ROHM No Image	AMIMON 	ボーダック 	他
(D)169MHz帯 10mW/1W	(D)169MHz帯 1W? (開発中)	(D)5.7GHz帯 出力200mW	(A)5.7GHz帯 出力1W	

無人移動体画像伝送システム 本研究内外で開発された無線機の一覧

以下に本研究で開発した5種の無線機について述べる。

i-② 2.4GHz 帯 DLB2-R

本無線機は、平成 28 年度に、Ligowave 社 LigoDLB 2 を元に出力の増大（放熱の問題から 400mW 出力）、中心周波数と帯域幅の変更を行なったものである。これらは無線機のファームウェアの改造が必要となり、工学院大学が中心となり開発した。4 種類のアンテナが接続可能であり、i-Construction の多様なニーズに対応した。IP ネットワーク対応である。防水・防塵機能を有しており、IP65 相当である。本研究開発では本無線機を 8 台開発し、後述する多数の実証実験で検証を行った。

明らかとなった本無線機の欠点としては、防振等の物理的な条件を検討していないこと、出力が規格上限まで出せないこと、連続送信に対応していないこと、比較的小型ではあるがドローンによっては搭載できないこと、等があげられる。またいくつかの実証実験では通信が不安定であることが報告されている。

本無線機は販売体制を整え、現状の性能であれば販売可能である。実際にいくつかの無線機は他研究機関での購入実績がある。

動作温度：-40～+65℃

動作湿度：0～90%（結露なきこと）

防水・防塵性能：IP65

（粉塵の侵入が完全に防護、全方向の水の直接噴流によっても影響を受けない）

寸法：(W) 150 x (H) 115 x (D) 55 mm（突起部含まず）

重量：450g（本体のみ）

PoE 対応（LAN ケーブル 1 本で動作）

アンテナ 2 本接続可能

IP 接続

連続送信は不可能（無線 LAN の仕様）

i-③ 5.7GHz 帯 DLB5-R

本無線機は、平成 28 年度に、Ligowave 社 LigoDLB 5 を元に中心周波数と帯域幅の変更を行なったものである。これらは無線機のファームウェアの改造が必要となり、工学院大学が中心となり開発した。4 種類のアンテナが接続可能であり、i-Construction の多様なニーズに対応した。IP ネットワーク対応である。防水・防塵機能を有しており、IP65 相当である。本研究開発では本無線機を 6 台開発し、後述する多数の実証実験で検証を行った。

外見ならびに電波関連以外の仕様は DLB2-R と同一である。

明らかとなった本無線機の欠点としては、防振等の物理的な条件を検討していないこと、出力が規格上限まで出せないこと、連続送信に対応していないこと、比較的小型ではあるがドローンによっては搭載できないこと、等があげられる。またいくつかの実証実験では通信が不安定であることが報告されている。

本無線機は販売体制を整え、現状の性能であれば販売可能である。実際にいくつかの無線機は他研究機関への販売実績がある。



i-④ 5.7GHz 帯 MPU5-R

DLB5-R/DLB5-R で明らかとなった問題点を解決するために、平成29年度に開発を行った無線機である。PERSISTENT SYSTEMS 社製 MPU5 をもとに、出力の変更、中心周波数と帯域幅の変更を行なったものである。これらは無線機のファームウェアの改造が必要となり、これを工学院大学が中心となり行なった。DLB5-R と比較して、出力の増大(50mW→規格上の上限 1W、等価等方放射出力 4W)、連続送信が可能、防振機能、動作温度幅などが強化されており、より実践的な i-Construction 環境に対応した。また、メッシュネットワーク機能、バッテリー駆動、DFS 無効化機能、GPS、動画エンコード機能などが新たに加えられており、i-Construction の多様なニーズに対応している。

本研究開発では本無線機を 2 台開発し、後述する実証実験で検証を行った。

本無線機の欠点としては、通信性能などはほぼ問題がないものの、比較的高価であることがあげられる。本研究開発終了後も評価を続ける。

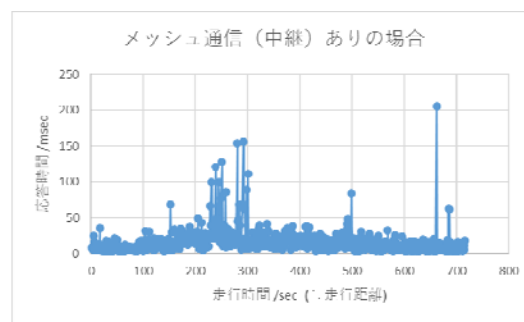
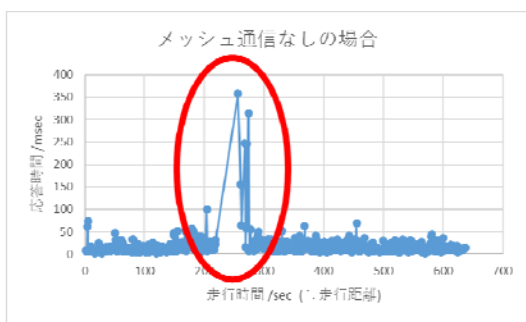
本無線機は販売体制を整え、現状の性能であれば販売可能である。まだ販売実績はない。

また、耐環境性の向上に関しては、昨年度の研究を通して、我々が、すべての i-Construction 機器に適合した使用を検討することは不可能であることが分かった(例えばドローンの振動周波数や振幅とダンパーのそれは異なる)ため、各機器の搭載するノウハウを各企業の協力のもとで得て、その事例を紹介しつつ、ミニマムセットを開発することが重要であると考えた。



MPU5-R

- PERSISTENT SYSTEMS 社製 EMBEDDED MODULE ベース
- 周波数帯…5.7GHz
- 周波数バンド幅…20MHz
- 送信出力…1W
- アンテナ… Omni、Sector、Panel
- DFS(レーダー波回避) 無効化可能
- CS(キャリアセンス) 無効化可能
- 使用温度…-40℃～+85℃
- 動画エンコード機能
- GPS 機能
- アドホック通信制御可能



i-⑤ 5.7GHz 帯 MPU5-R (モジュール)

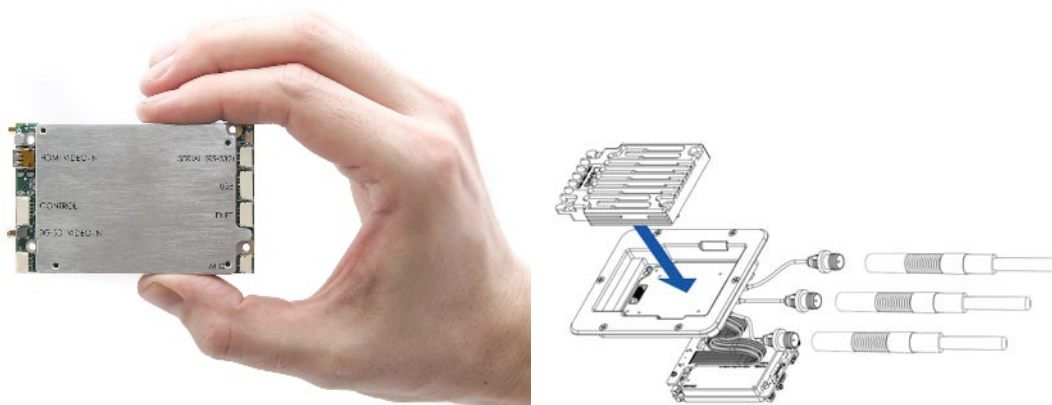
DLB5-R/DLB5-R で明らかとなった問題点を解決するために、平成29年度に開発を行った無線機である。PERSISTENT SYSTEMS 社製 MPU5 MODULE をもとに、出力の変更、中心周波数と帯域幅の変更を行なったものである。これらは無線機のファームウェアの改造が必要となり、これを工学院大学が中心となり行なった。DLB5-R と比較して、出力の増大(50mW→規格上の上限 1W、等価等方放射出力 4W)、連続送信が可能、小型化などが強化されており、よ

り実践的な i-Construction 環境に対応した。また、メッシュネットワーク機能、DFS 無効化機能、GPS、動画エンコード機能などが新たに加えられており、i-Construction の多様なニーズに対応している。

本研究開発では本無線機を 1 台開発し、後述する実証実験で検証を行った

本無線機は、MPU5-R の内部モジュール部分であり、ドローンのように軽薄短小が求められるニーズに対して組み込み用途で開発したものである。大幅に小型化しているが、耐環境性能などは設置時に追加する必要がある。またアンテナ等も配線を通して接続する必要がある。

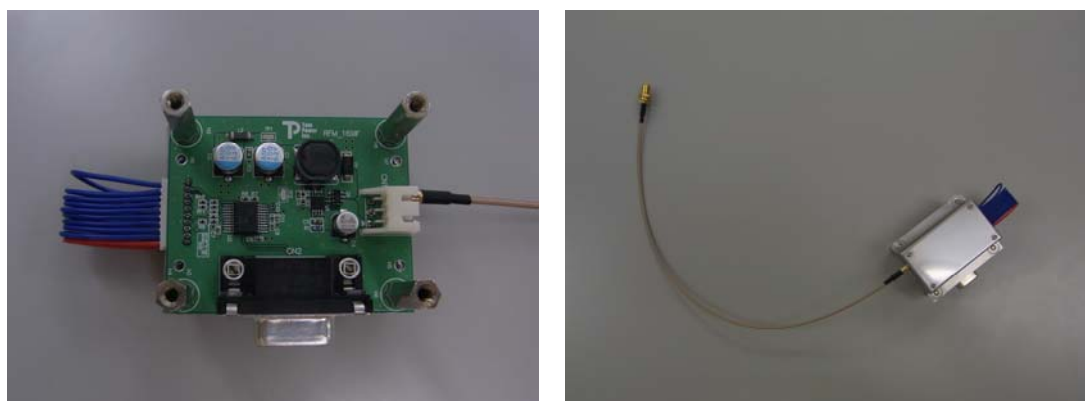
本無線機は販売体制を整え、現状の性能であれば販売可能である。まだ販売実績はない。



MPU5-R モジュール

i-⑥ 169MHz 帯 通信モジュール

無人移動体画像伝送システムの 169MHz バックアップ回線に対応した無線機である。平成 29 年度にハードウェアも含めた全体を開発した。現在は基礎的な動作の確認を行った状態であり、まだ実用することは出来ていない。今後継続的な開発を行い、MPU5-R などの他の無線機と連携することでバックアップ回線の機能を実現する予定である。



169MHz 無線機

i-⑦ 試験販売

本研究開発では、i-Construction のニーズに応える無線機の開発を目的としており、開

発した無線機を多くの現場で実証実験することで評価を行った。産学官テーマ委員会の意見で、さらなる多様な評価を行うために、他研究機関への無線機の貸し出し、または試験販売を通じた有償実験協力の形を取り、多様な評価を行っていただいた。これにより、後述する現場検証実験で多様な評価を行うことが出来た。

今後、本販売を行う予定である。

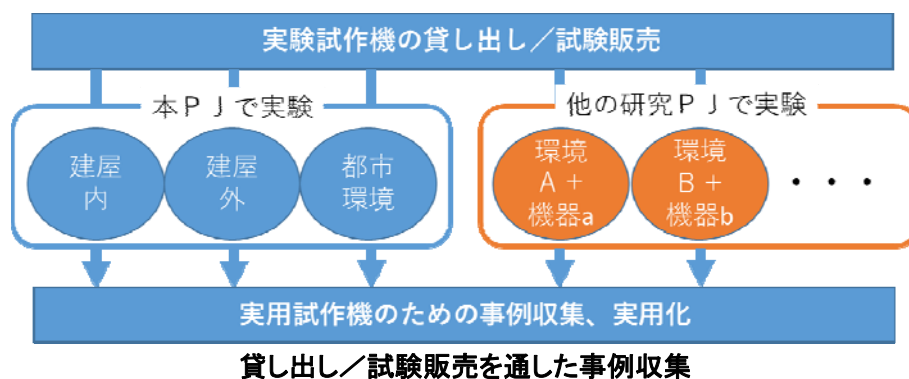
ii) 現場検証実験・解析評価

ii-① 概要

開発した無線機は、建屋内、建屋外、造成地などでの現場検証を行った。

平成 28 年度には、上記実験局を用いて、既存技術よりも長い距離において安定した通信を、同等の使い勝手（IP 接続、既存技術の無線機を交換するのみ）で実現した。また、阿蘇大橋地区斜面防災対策工事現場や工学院大学新宿キャンパス内での検証を通して、問題点の解析、実用性の評価等を行なった。

平成 29 年度は、前年度結果を元に、建設機械と、ドローン、車両、測量機、操作盤等を接続した i-Construction 用ネットワークの構築実験をおこなった。また、産学官テーマ推進委員会からのアドバイスにより、我々の保有する建設機材や実証現場のみではなく、他の研究プロジェクトで利用または開発中の機材に、実用試作機を搭載し、より多くの局面での実証実験を行った。具体的には、科学技術振興機構の革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）の「タフロボティクスチャレンジ」、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の「インフラ点検プロジェクト」、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「無人化施工の新展開」、日本無人機運行管理コンソーシアム（JUTM）などとの連携を図った。これにより、限られた人員、期間、予算の中で数多くの実証実験とデータを収集することが出来た。



本研究助成で主に行った実験とその場所は以下の通りである。

- ・ 2016 年度
 - 10 月 29～30 日 阿蘇大橋斜面对策工事現場
 - 12 月 10～11 日 阿蘇大橋斜面对策工事現場
- ・ 2017 年度
 - 6 月 6～9 日 EE 東北 ‘17 会場
 - 7 月～10 月 阿蘇大橋斜面对策工事（実運用）
 - 9 月 23 日 つくば市街（つくばチャレンジでの利用）
 - 10 月 13～15 日 群馬県片蓋川砂防堰堤工事現場（NEDO インフラ PJ での利用）

10月25日	福島県南相馬市馬事公苑（JUTM 社会実証実験での利用）
10月26日	福島県南相馬市テクノアカデミー浜 （JUTM 社会実証実験での利用）
11月10～11日	東北大学（JST ImPACT TRC での利用）
11月21～24日	雲仙普賢岳（NEDO インフラ PJ での利用）
12月03～04日	多摩川河川敷
12月04日	新宿西口通路
12月17日	工学院大学地下駐車場
3月	東北大学（JST ImPACT TRC での利用）
3月22～23日	熊谷組技術研究所

研究の担当は、実証実験は屋内を工学院大学が、屋外を熊谷組と先端建設技術センターが中心となりおこなった。主立った成果について以下に述べる。

ii-② 阿蘇大橋地区斜面防災対策工事での基礎実験

2016年12月に、DLB2-R、DLB5-Rの実験局免許（無人移動体画像伝送システムでは初の実験局）を取得して、阿蘇大橋地区斜面防災対策工事現場において通信実験を行った。実験は当初は通信機単体で、年度末には小型車両、無人ダンプ、ドローンなどに搭載して行なった。これらを通じて、通信スループットや遅延、振動や環境変動に関する基礎データを蓄積し、実用化に向けた問題点の洗い出しを行なった。

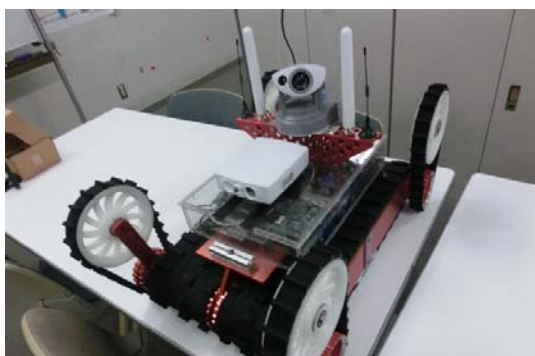
下の図はDLB2-RまたはDLB5-Rをドローン、無人クローラーダンプ、小型カメラ車（屋内調査ロボット）に搭載した様子である。クローラーダンプのキャビン内に無線子機、受信電力値記録用PC、キャビンの前方にネットワークカメラ、ベッセル上部にアンテナとGNSSロガーを設置した。ドローンには無線子機とネットワークカメラを取り付けた。



無人クローラーダンプ上の無線機



ドローン上の無線機

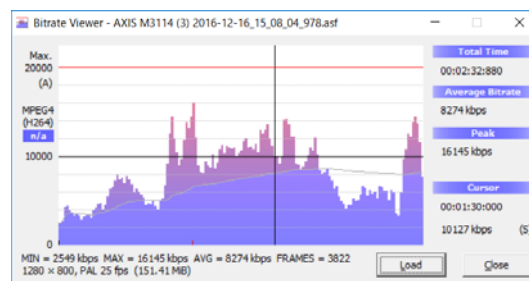


小型調査ロボット(カメラ車)上の無線機

数の経路を無人クローラダンプで走行した結果、速度的には 20MHz 帯域であれば十分なハイビジョン画像伝送を行うことができ、またドローンにも運用可能な大きさであることがわかった。実際の伝送容量を見ると、16Mbps 程度の映像を伝送できており、当初目標であった 10Mbps を超える性能を得た。対して、通信範囲が大きいために、より通信範囲（角度）を狭めた運用が効率化のために必要であるとわかり、新たに対応するアンテナを選定し、19dbi のパッチアンテナなどを開発した。これを用いる際には合計出力を 4 W 以下にする必要があるため、逆に無線機の出力は下げる必要がある。



阿蘇大橋地区での実験走行経路

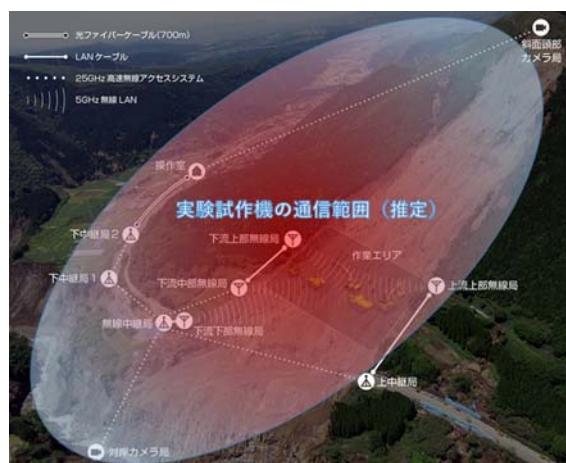


実験走行中の DLB5-R のスループット

また、阿蘇大橋地区斜面防災対策工事現場における実験では、従来 6 か所に無線機を設置して無人建機の遠隔操作をしていたところを、実験試作機では 1 台の設置で同様のエリアをカバーし、ドローンからの映像伝送を行うことができた。通信範囲だけ考えれば、本研究により地上局の設置コストが 6 分の 1 に省力化できたことがわかる。（ただし通信範囲の観点であり、通信容量や転送遅延などの問題があるため、今後精査する必要がある）



阿蘇大橋地区での工事用AP設置位置



DLB2-R の設置位置と予想通信範囲

①無人建機を図3に示す本工事内を走行させ新2.4GHz帯の受信電力値の計測を一定周期で行い走行区間内において通信が断絶しないことを確認する。

②無人建機、ドローンを図3、4に示す本工事内を移動させ、既存の2.4GHz帯と新2.4GHz帯、新5.7GHz帯を用いて映像を伝送し、それぞれ伝送量やコマ落ちの有無を確認する。

受信電力値の結果を下図に示す。無人建機が本工事内を走行した際に取得した電界強度は平均-97.75dBmであった。ただしこの値は無線機で取得したものであり絶対値ではない。

無人建機からの映像は、既存の2.4GHz帯について本工事内では途切れることなく映像の伝送が行えることを確認した。新2.4GHz帯では5Mbps以上のデータ容量で映像を伝送するとコマ落ちが発生することを確認した。新5.7GHz帯については10Mbps以上でも映像はコマ落ち等が発生せず正常に伝送することを確認した。

ドローンからの映像では、既存の2.4GHz帯では飛行中通信が断たれてしまったが新2.4GHz帯では今回飛行した範囲で途切れることなく通信を行うことができた。

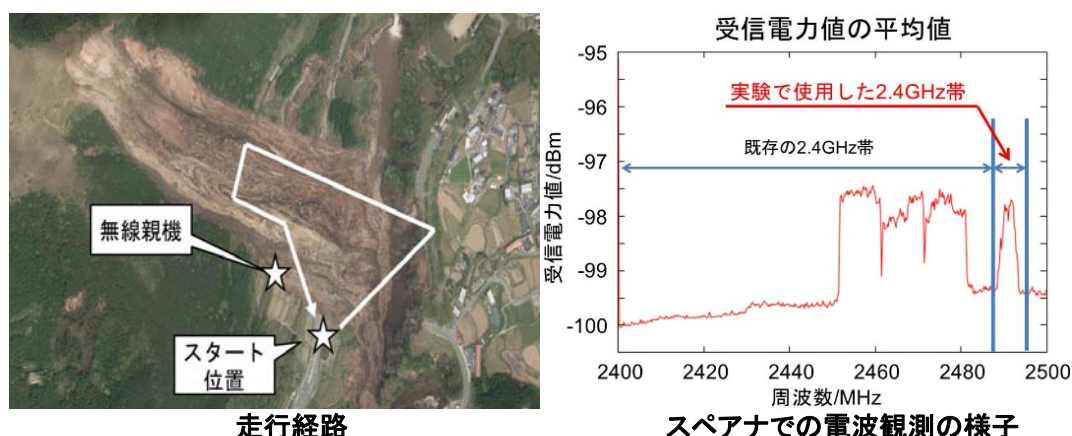
受信電力値の平均値(図5)から既存の2.4GHz帯の周波数と同程度の平均値を得ることができ、本工事内において通信が途切れることなく利用できることが分かった。

今回実験で使用した無線機は既存の無線機と比べ出力が大きいため、既存2.4GHz帯の無線機と比べ長距離においても通信が可能となった。しかし、データ容量が大きい映像を伝送する際にコマ落ちが発生した。原因として実験で使用した無線機のチャンネル幅が既存の2.4GHz帯では20MHz、22MHzであるのに対して5MHzと狭いことがあげられる。チャンネル幅が狭くなると伝送可能なデータ量が少なくなり、データ容量の大きい映像を伝送する際にコマ落ちが発生してしまったと考えられる。

新5.7GHz帯についてはチャンネル幅が既存の周波数と同様20MHzであるため問題なくデータを伝送することができた。

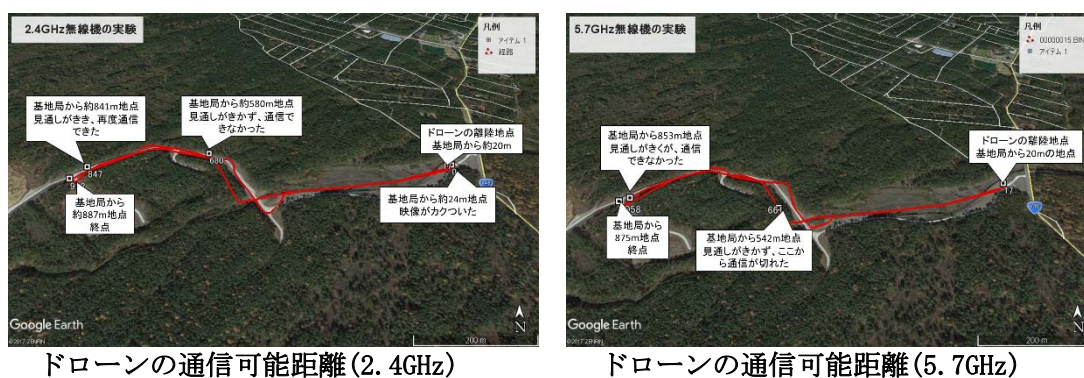
新5.7GHz帯に関しては従来の無線周波数と同様に使用可能であり有用性を確認することができた。

新2.4GHz帯に関して、本実験で使用した5MHz幅は映像伝送のようなデータ容量が大きい通信ではなく長距離においても無線が途切れることが無いことから、無人建機の操作情報のようにデータ容量が小さい通信に向いていると考えられる。



ii-③ 群馬県片蓋川砂防堰堤工事現場での通信実験

ドローンが低空飛行した際にどの程度通信距離が取れるのかを調べるため、群馬県片府田側砂防堰堤工事現場において通信実験を行った。使用した通信機はDLB2-RとDLB5-Rである。現場はS字の経路でいったん見通しが効かなくなり、その後見通しが復活する。DLB2-Rを利用したところ、地上局から580mの地点でいったん見通しが効かなくなると共に通信が切断され、その後841m地点で通信が復活し、試験範囲の終点である887m地点まで通信が可能であった。このことからDLB2-Rは地上近くにおいても可能範囲を持っていることがわかる。対してDLB5-Rでは見通しが効かなくなった542mで見通しが効かなくなり、その後見通しが復活しても通信は復活しなかった。原因としてはDLB5-Rの出力が弱いこと、5.7GHzがより高周波であり減衰が激しいことなどが考えられる。

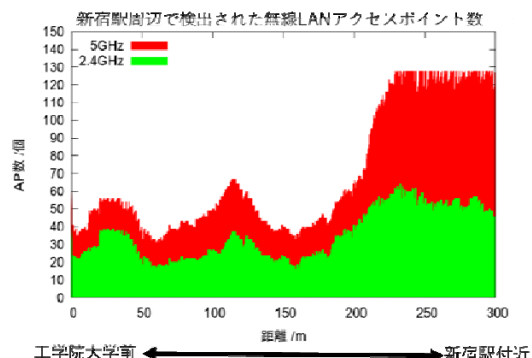


ii-④ 無線が混雑する都市部での比較実験

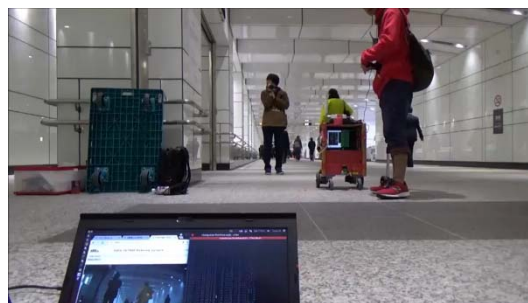
今後、都市部で本格的にi-Constructionが用いられる際には、既存の無線周波数との干渉が懸念される。下グラフは新宿地下通路を工学院大学から新宿駅へ走行した際に検出された無線アクセスポイントの数である。一般の無線LANはISMバンド（産業、学術、医療目的の周波数）を用いているため、これらのアクセスポイントと干渉し、遅延、通信妨害が起こる可能性がある。対して、本研究で開発した無線機は無人移動体画像伝送システム周波数を用いているため、このような環境でも変わらず動作することが期待される。

本研究では、新宿地下通路においてDLB2-R、DLB5-Rを搭載した小型ロボットを走行させ、映像伝送可能距離の比較を行った。対象として一般の無線LANアクセスポイント(NEC Aterm

WG1200HP)と比較したところ、本研究で開発した無線機では、通常の無線LANと比較しDLB-2Rで約1.3倍、DLB-5Rで約1.2倍の距離を通信することが出来た。一方、本研究で開発した無線機であっても途中で映像が途切れる場合があり、今後安定性を向上させる必要がある。



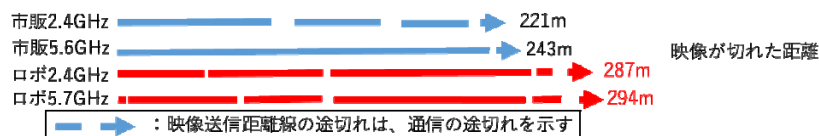
新宿地下通路で検出される AP 数



地下通路での小型ロボット走行の様子



小型ロボット

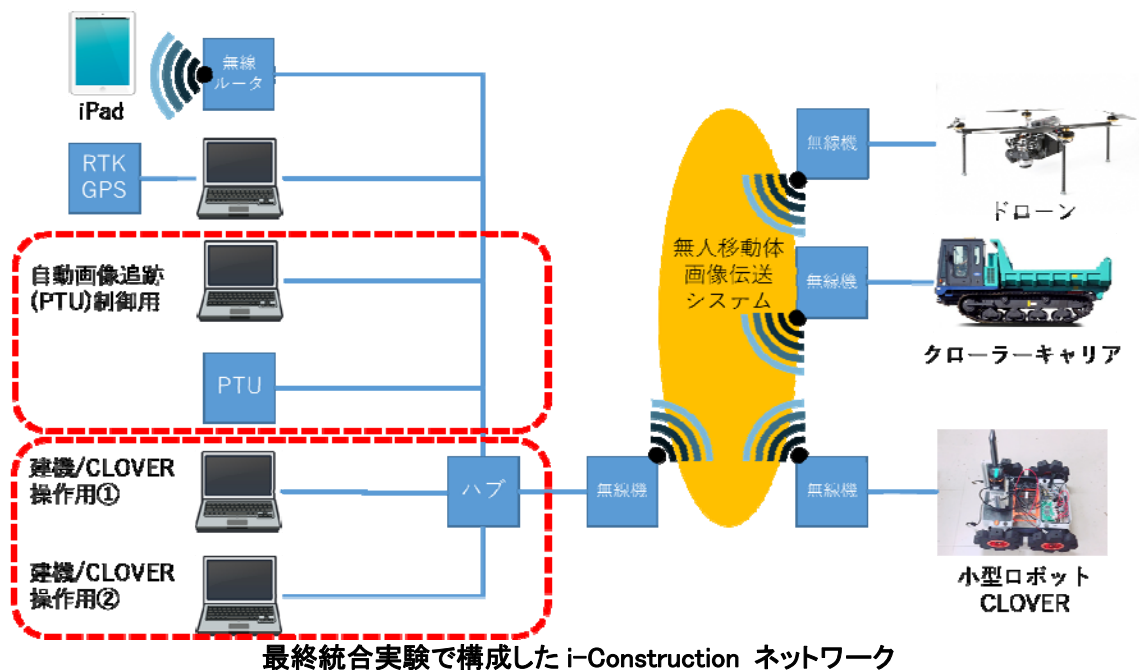


新宿地下通路の地図と実験結果

ii-⑤ 熊谷組技術研究所での統合ネットワーク実験

平成30年3月には、本開発研究助成の最終統合実験を行った。これは、クローラードンプ、ドローン、小型カメラ車、RTK-GPS基準局、カメラ雲台、各種操作PC、監視用iPadなどの各種IP機器を全て単一のネットワークに接続した大規模なi-Constructionネットワークである。この際に構築したネットワークを下図に示す。iPadに関しては無人移動体画像伝送システムのデータを、ルータを介して通常の無線LANにブリッジ変換し、接続している。この手法により一般の無線LAN機器もネットワークに参加可能である。なお、クローラードンプは熊谷組が所有するもの、小型カメラ車、RTK-GPS基準局、カメラ雲台はNEDOインフラ点検プロジェクトで工学院大学が開発したもの、ドローンはイームズラボ所有のものを利用した。

実験の結果相互の接続を確認し、各機器からの映像、静止画、GPSデータ、雲台の角度データ、各機器の操作信号等を通信することが出来た。これにより、大規模かつ複雑なi-Constructionネットワークで多様なデータを通信可能であることが確認できた。



実現したネットワーク (建機、カメラ車、ドローン、 RTK-GPS基準局、iPad、PC数台)



最終統合実験の利用機器概要

iii) 実運用

阿蘇大橋地区斜面防災対策工事での実運用

阿蘇大橋地区斜面防災対策工事において既存の無線 LAN では映像の伝送に限界が生じたため(映像の乱れが発生)、本研究で開発した無線機を遠隔操作式建設機械に適用し、実運用を行った。

平成 28 年 4 月 16 日に発生した熊本地震により阿蘇大橋地区の斜面が崩壊した。阿蘇大橋地区斜面防災対策工事は崩壊地上部に残る不安定土砂の除去と崩壊地上部からの土砂や落石を補足する土堰堤(土留盛土工)を築堤する工事である。不安定土砂の除去はセーフティ

クライマー工法により、平成 28 年 8 月から 11 月にかけて崩壊地下部の方へ落とすように排土した。しかし、排土した土砂や岩塊は崩壊地中央部分に崩積土として残っていた。それらは今後施工される恒久対策工事において支障となるため平成 29 年 7 月から 10 月にかけてロッククライミング工法で、更に下部の方へ落とし込んだ。「無人移動体画像伝送システム」はこのロッククライミング工法で使用したロッククライミングマシンに適用した。

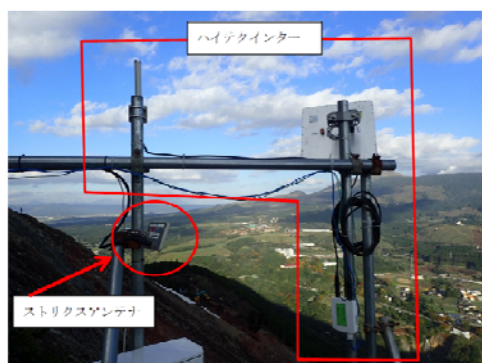


セーフティクライマー

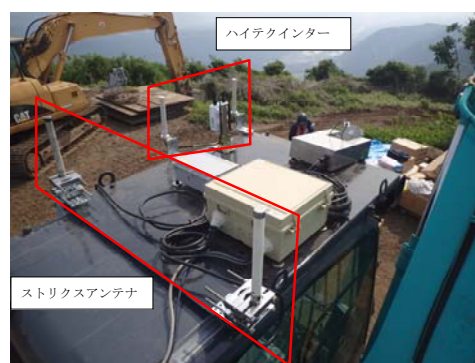


ロッククライミングマシン

本研究で開発した無線機 (DLB2-R、DLB5-R) を既存の無線 LAN (親機側：ストリクス OWS2400、子機側：MWS100) と比較した結果を示す。無線 LAN の設置状況、運用状況を下図に示す。この現場状況で、遠隔操作式建設機械に設置したカメラ映像の状況や無線 LAN の web 管理画面から受信信号強度 (RSSI) を確認した。



地上の無線基地局側設置状況

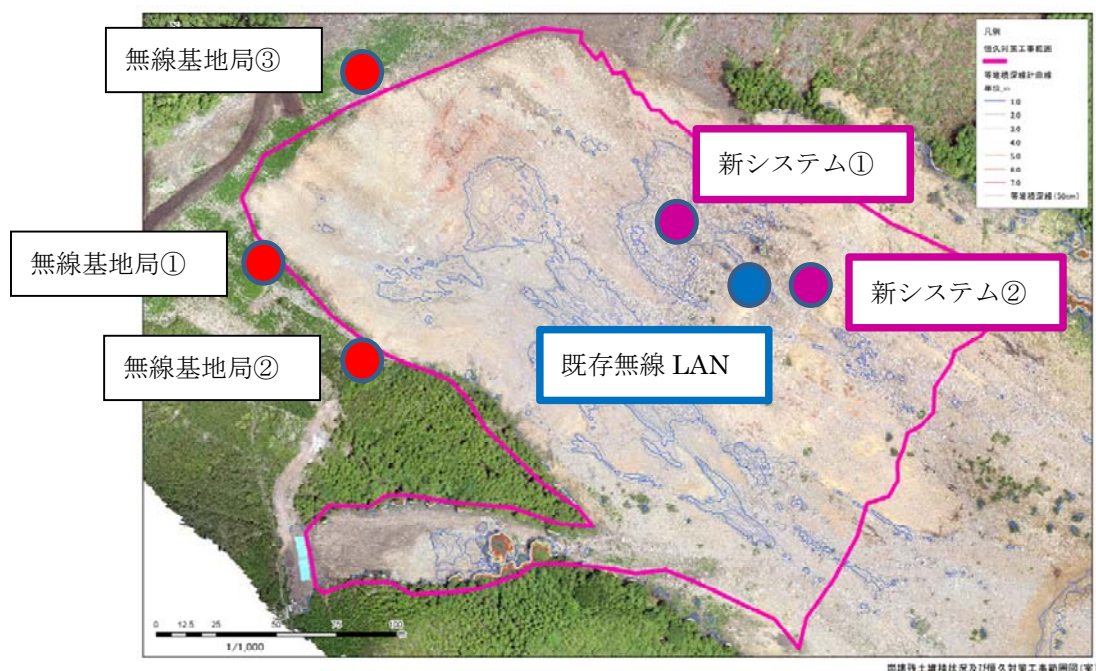


建設機械側設置状況



遠隔操作状況

通信限界位置(カメラ映像が乱れず、建設機械を遠隔操作できた位置)の一例を下図に示す。図中のマゼンダで囲んだ施工範囲(人が立ち入ることが出来ない)であり、無線基地局を図中左側の3カ所に設置した上で建機を操作した。範囲内の丸印は各通信機での通信限界位置である。この例では、既存無線 LAN は 198m まで、DLB5-R は 211m の距離でカメラ映像に乱れが生じた。6%ほど通信距離が伸びたと言えるが、ほぼ同等と考えられる。



既存無線 LAN と本研究で開発した無線機との通信可能位置の比較

iv) その他

JUTM 電波運用管理での活動

通常の無線 LAN が CSMA/CA(Carrier Sense Multipul Access with Collision Detection)を用いて技術的に排他運用可能であるのに対し、本研究で用いるロボット用無線「無人移動体画像伝送システム」は、連続送信可能であるため、排他運用は社会的な手法で手動で行われる。手法は下記の通りである。

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。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、運用者の情報を提供することがシステムの目的である。運用者は運用毎にその情報を Web に登録する必要がある。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。

まとめると、図2のようになる。

手順1) 無線機を購入または開発する。

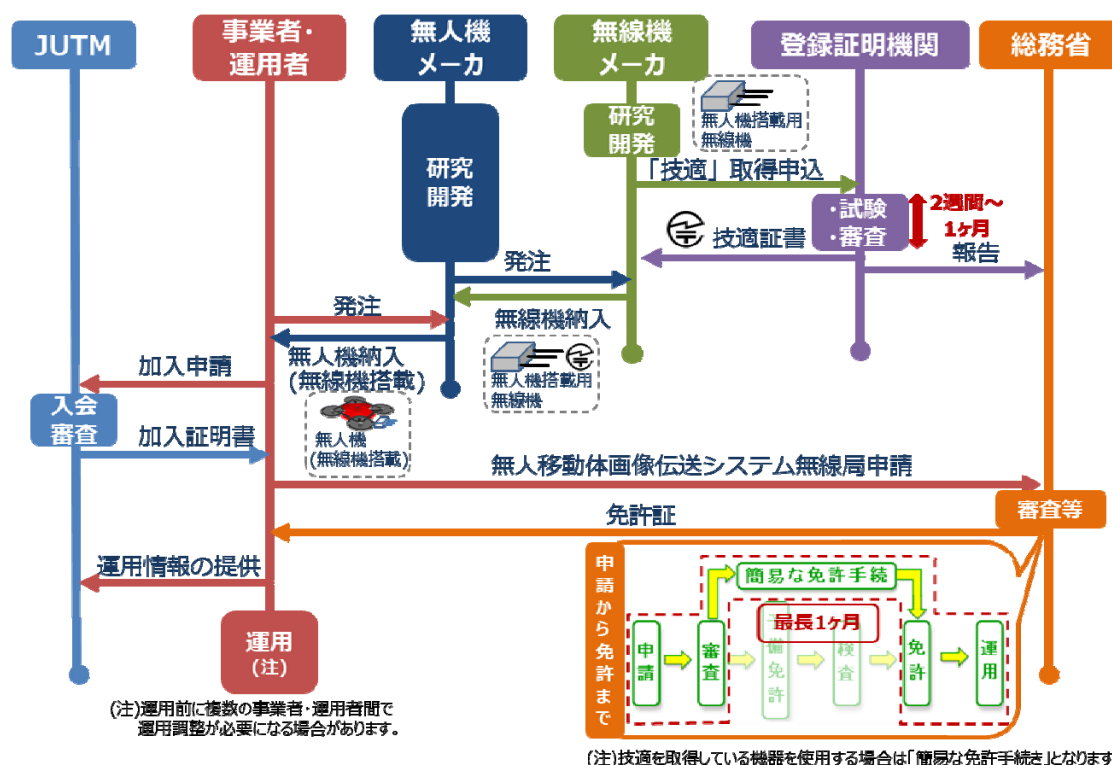
手順2) JUTM に会員登録する。会員となることで運用調整が可能となる。

手順3) 総務省の各地方総合通信局に申請し、無線局の免許を受ける。技術基準適合証明

がある無線機の場合は簡易な免許手続が行われる。免許手続の際に JUTM の入会証明を行うことで、申請者は運用調整可能であることを証明する。またこのとき、無線従事者登録も併せて行う。

手順 4) 実際の運用（電波を出す）毎に、運用者は事前に JUTM の Web 運用調整システムに運用情報を登録する（図 3）。同一場所で同一周波数を利用する他の運用者がいた場合、Web から、運用調整の必要性と共に、他の運用者の連絡先等の情報を得る。得られたの情報から、他の運用者に連絡を取ることで調整を行う。

手順 5) 実際に無線機を運用する。運用は第三級陸上特殊無線技士以上の資格を持ち、無線従事者として登録されている者に限られる。



無線機から無人移動体画像伝送システム無線局利用のフロー

利用申請

利用日時

開始時刻 時 利用時間 時間

利用周波数帯域 利用帯域幅-Ch

利用目的

利用形態

都道府県

通信エリア1 通信エリア2

送信出力 W

メモ

飛行最大海拔高度 海拔m

地上アンテナ高 m

アンテナタイプ

添付ファイル(使用エリア詳細) 参照

KMLファイル推奨

戻る
登録

運用情報登録画面

本制度は本研究の範疇外であるが、i-Construction で無線を用いる際には技術開発だけでなく、社会制度の整備を行なう必要があるため、本研究に強く関連する事項として報告書に記述した。

本研究の成果を以下でまとめる。

- ・ 無人移動体画像伝送システムに対応した無線機を 5 種開発した。うち 4 種は販売可能である。
- ・ 対応無線機の開発、利用、共に初の事例である。
- ・ 目標である 600m、10Mbps の以上の通信性能を実現し、映像伝送を行った。
- ・ 目標である無人建機、ドローン、各種計測器等を含めた 10 台以上の i-Construction ネットワークを実現した。
- ・ 3 ヶ月以上、阿蘇大橋地区斜面防災対応工事現場での実運用を行った。
- ・ 山奥などの電波条件の良い環境のみならず、新宿都心などの電波状況の悪い環境でも安定した通信を確認した。
- ・ 本研究だけでなく他の研究プロジェクトとも協力し、多様な現場と機器での実証実験を行った。
- ・ 研究成果の多くは販売可能な状態であり、実験協力のために一部試験販売を行った。
- ・ 本研究成果の利用を促進するため、日本無人機運行管理コンソーシアムにて電波の運用管理システムを構築し、社会制度の整備と運用に努めた。

(3) 成果の刊行に関する一覧表

刊行書籍 又は 雑誌名 (巻号数、論文名)	刊行年月日	刊行・発行元	原著者
第 34 回日本ロボット学会学術講演会予稿集	H28. 9. 08	日本ロボット学会	木下凌他
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予稿集	H28. 12. 17	計測自動制御学会	羽田靖史
電波技術協会報紙 FORN(No. 314)	H29. 1.	電波技術協会	永谷圭司他
第 35 回日本ロボット学会学術講演会予稿集	H29. 9. 11	日本ロボット学会	中田真颯
平成 29 年度土木学会全国大会予稿集	H29. 9. 11	土木学会	古谷駿他
建設マネジメント技術 2017 年 11 月号	H29. 11. 1	一般財団法人 経済調査会	羽田靖史
第 18 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予稿集	H29. 12. 20	計測自動制御学会	中田真颯他
第 18 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予稿集	H29. 12. 20	計測自動制御学会	羽田靖史
2017 年度第 3 回山彦シンポジウム予稿集	H30. 2. 21-23	筑波大学	中田真颯

(4) 成果による知的財産権の出願・取得状況

知的財産権の内容	知的財産権の種類・番号	出願年月日	取得年月日	権利者
なし				

(5) 成果の実用化^{*}の見通し ※論文発表や現場試行ではなく実業務での社会実装

販売面、実用面、社会面から、実用化をめざした。

研究で開発された、無人移動体画像伝送システムに対応した 3 種類の無線機器 (2. 4GHz 帯 1 種、5. 7GHz 帯 3 種) については販売が可能であり、既に有償試験のためにハイテクインター (株) から試験販売を行っている。169MHz 帯に対応した無線機器については、販売可能状態になり次第、実用販売を行う。

また、5. 7GHz 帯無線機は、阿蘇大橋地区斜面防災対策工事において実用として約三ヶ月間の実運用を行い、有効性を証明してしている。

また、無人移動体画像伝送システム周波数帯域を、この無線機や、その他の無線機で円滑に運用するためには、運用調整が必要である。このため、日本無人機運行管理コンソーシアム (JUTM) が設立され、本研究代表者である羽田が、JUTM 運用調整ワーキンググループの主査となり、本研究成果を実用化するための社会実装に努めた。

(12) その他

特になし。