

狭帯域IoT通信システムの実証実験について

常塚 真維¹・福本 賢²

¹近畿地方整備局 企画部 情報通信技術課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前3-1-41)

²近畿地方整備局 福井河川国道事務所 防災課 (〒918-8015福井県福井市花堂南2-14-7)

災害発生直後は、現場状況を迅速に把握することが重要である。現在、道路の寸断や二次災害のおそれから現場に近付けない場合は、ドローンで現場状況を確認する手法が多く用いられている。しかし、現行のドローンでは飛行距離の問題や地理的制約がある場所での使用が困難である。これらの課題解決のため、長距離通信が可能なV-High帯域周波数を利用した狭帯域IoT通信システムでの有用性を評価するため、映像伝送の実証実験を全国で初めて実施した。本稿では実証実験の概要、結果および今後の課題について報告する。

キーワード 災害現場状況の迅速な把握 狭帯域IoT通信システム 長距離通信 映像伝送

1. はじめに

2024年1月1日16時10分頃、石川県能登地方を震源とするマグニチュード7.6の大地震が発生した。石川県輪島市や志賀町で震度7を観測したほか、石川県以外でも広い範囲で強い揺れを観測した。能登半島北部を中心に甚大な被害が発生し、家屋の倒壊、道路・橋梁の損壊、土砂災害などインフラ全般にわたる被害が報告された。

また、能登半島の先端にある奥能登地域では、交通・通信網の寸断により外部との連絡が困難となり、現地の被災状況の把握に時間を要し、支援体制の構築に支障が発生した。

災害発生直後は、迅速に現場状況を把握することが重要である。しかし、大規模災害の発生直後の現場においては、道路寸断による被災現場への到達が困難(図-1)な場合や、調査隊員の二次被害の危険性が存在するため、現場状況の把握が困難となる。



図-1 能登半島地震における道路損壊状況

能登半島地震を契機として、内閣府は「令和6年能登半島地震を踏まえた有効な新技術及び方策について」をとりまとめており、「被災状況等の把握」が災害応急対

策の強化の1つとして挙げられている。(図-2)

令和6年能登半島地震を踏まえた有効な新技術及び方策について

【災害応急対策の強化】①被災状況等の把握

【課題】
 ・発生時刻が日没に近かったこともあり、航空機等による映像からは建物倒壊や土砂崩壊等の情報収集・分析が困難であり、被災地の現地状況の速やかな把握に困難があった。
 ・観測機器の被災により、津波の監視ができなくなる状況や河道閉塞の発生等による二次災害の危険が発生した。

【目指すべき姿】
 ○どのような環境においても、あらゆる手段を用いて早期に現地の被災状況を把握。(情報の空白時間・空白地域の解消)
 ○取得した様々なデータを組み合わせ、全体像を迅速・広範囲・効率的に分析。
 ○どのような状況においても、危険箇所の監視体制を維持・構築し、二次災害や更なる災害を防止。

【能登半島地震で有効性があがり、引き続き実施する主な取組】
 □災害現場の状況把握や被害認定調査等の様々な場面でドローンによる被災状況の把握が行われた。【実証化・カタログ化】
 □SAR衛星や空中写真等の活用により、地表変動の把握や土砂災害が発生している恐れのある箇所の抽出が行われた。【実証化】
 □ITSスポットの増強や可搬型路側機等の設置により、ETC2.0プローブデータの取得可能範囲を拡大するとともに、AtwebcamやCar-SAT等を活用し、被災地の交通状況の把握が行われた。【実証化】
 □地震の影響により、地震・津波の観測・監視の継続が困難な状況や二次災害の危険性が生じたが、可搬型津波観測装置等の活用により早期の観測再開・体制確保が行われた。【実証化】

【有効性が期待され、今後、導入や開発を進める主な取組】
 ■ドローンの活用が有効であった一方、条件によっては使用できない場合も考えられるため、**夜間・悪天候飛行、自動運航、長時間飛行等が可能な高性能ドローンの開発・活用**。(実証化・カタログ化・技術開発)
 ■現在のSAR衛星による観測は飛行タイミングの制約を受けるため、**民間の小型SAR衛星や航空機搭載SARとの連携等により、飛来タイミングや夜間・悪天候を問わず観測ができる体制の構築**。(実証化・技術開発)
 ■航空写真を活用した**日本損害保険協会による調査結果の被害認定調査への活用**。(実証化)
 ■**通信基地間の通信機能維持等のための長時間電源の確保**。(実証化)

※【 】は想定される取組を記載。 6

図-2 「令和6年能登半島地震を踏まえた有効な新技術及び方策について」より抜粋

被災状況等を早期に把握するためには、地上の状況の影響を受けにくいドローンによる状況把握が有効であるとの提言がある。しかし、ドローンの飛行距離は、機体の機種や環境により異なるが、1km~2km程度と短く、山がちな半島という地理的制約が加わると、被災現場まで飛ばすことができない。今回、現行のドローン周波数と比較し、飛行距離が長く、目視外でも通信が可能なV-High帯域周波数に着目し、その周波数を用いた狭帯域IoT通信システムでの有用性を評価するため、映像伝送の実証実験を全国で初めて実施した。

2. V-High帯域周波数

V-High帯域周波数（Very High Band）とは、207.5MHz～222MHzの範囲にある周波数のことである。以前より、アナログテレビ用や携帯端末向け放送用として使用されてきたが、テレビ放送のデジタル化や携帯端末向け放送事業の廃止により、現在は空き周波数となっている。

（図-3）

その後、総務省が定める「周波数再編アクションプラン」において、V-High帯域周波数に関する具体的な有効利用の方策が検討されることとなり、災害時の映像伝送手段としての周波数割当てに係る技術的条件等の検討が行われ、現在は詳細な仕様の検討段階にある。

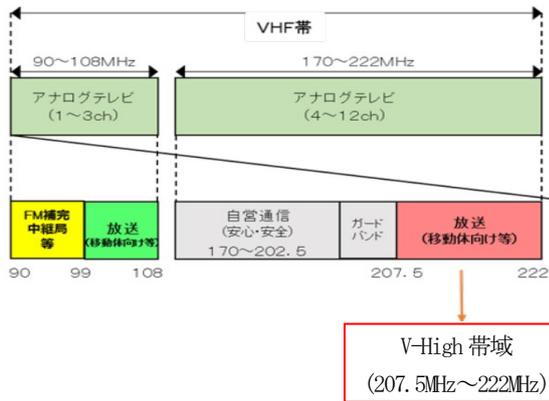


図-3 V-High帯域周波数（周波数再編アクションプランより抜粋）

ドローンでよく用いられる2.4GHz帯域や5.7GHz帯域の周波数の伝送速度は数Mbps～数十Mbps程度であり、高画質な映像伝送が可能であるが、伝送距離は1km～2km程度で、目視外では使用することができない。また、LTE等キャリア通信回線を用いる場合、サービスエリア内であれば、見通しが悪い環境下でも使用可能であるが、大規模災害発生時には、基地局の被災・電源喪失やネットワーク輻輳により、キャリア通信が使用不可となる可能性が高い。

その一方でV-High帯域周波数であれば、伝送速度は100kbps程度と低画質な伝送速度となるが、周波数帯域の特性上、20km程度の目視外飛行が可能であることが挙げられる。また、自営回線で通信を行うことができるため、キャリア回線が使用不可となった際にも通信を行うことができる。

以上のことから、V-High帯域周波数を利用することで災害現場から離れた場所からでも遠隔操作することができる。

3. 実証実験の準備

(1) 場所

今回、以下の理由により、奈良県五條市にある赤谷地区

を選定した。（図-4）

- ・飛行に適した環境条件
（DID地区外、第三者立入禁止区域）
- ・災害現場にて把握が必要な情報項目が多くある
（河川、道路、崩落土砂、土木構造物）

赤谷地区は平成23年の台風12号（紀伊半島大水害）において約1,138m³にのぼる崩落土砂で河道が閉塞し、湛水池が形成されたが、現在、不安定土砂の下流への流出を防止するための工事が実施されている現場である。



図-4 実証実験場所

(2) 使用機体

狭帯域IoT通信システムは開発途上にあるため、狭帯域IoT通信システムとして開発された機体は現時点では存在していない。そのため、狭帯域IoT通信に必要な映像撮影用のUSBカメラ、緯度経度測定用のGPS、V-High帯域送信機およびV-High帯域通信用のホイップアンテナ等を実装したドローンを模擬機体として使用することとした。（図-5）

なお、本検証時点ではV-High帯域周波数を用いた機体制御に関する通信技術が未開発段階であったため、機体制御は2.4GHz帯域や5.7GHz帯域の周波数を使用し、目視内通信によるものとした。そのため、本検証では、狭帯域IoT通信システムで実現が期待される長距離・目視外での伝送試験の実施は行わず、伝送映像の品質評価に特化した実験とした。

ドローン（全面）



ドローン（側面）



図-5 実証実験機体

(3) 構成・測定項目

実証実験を行うシステム構成は図-6のとおりである。橙色の矢印は映像伝送におけるデータフローを示す。

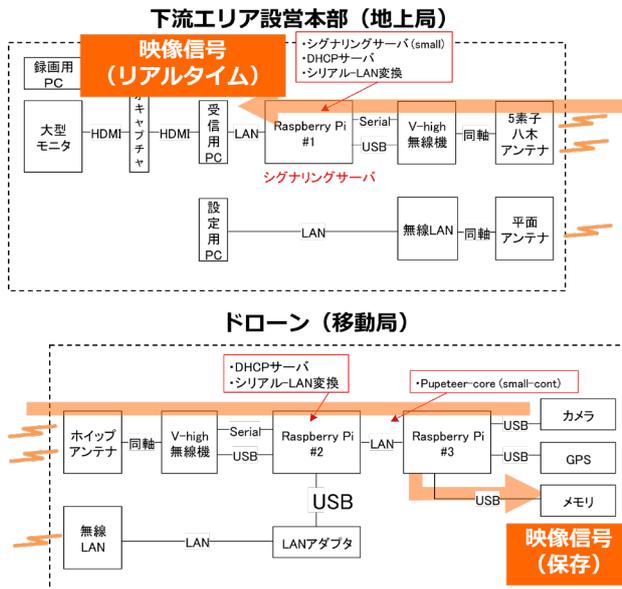


図-6 実証実験システム構成

また、測定項目は下記のとおりとする。

① 伝送映像の評価・視認性の確認

実証実験場所にある河川、道路、崩落土砂、土木構造物のほか、歩行者や車両を災害現場にて把握が必要な対象物とみなし、V-High帯域通信を利用したリアルタイム映像が現場の状況を全体把握できる品質であるか評価するとともに、ドローンに保存したオリジナル映像との比較も行った。

② 映像伝送遅延時間の測定

伝送及びエンコード処理等の遅延の目安を確認するため、ドローン搭載カメラと閲覧 PC に表示された映像の撮影時刻を比較し、映像伝送に要する時間を測定した。

③ 基地局・移動局間の疎通試験

基地局（操縦側）と移動局（機体側）の間はリアルタイムで通信し続ける必要がある。ping試験により、基地局からの発信に対する応答時間を測定し、レスポンスの

迅速性を評価した。なお、ping値は応答に要する往復時間であり、遅延時間はシステム構成に左右されることから、本検証で得られたping値は現状想定回路構成における遅延時間であり、あくまで参考値である。

ping試験手順は下記のとおり。

- a) ドローン飛行中に映像伝送を停止する。
- b) 地上側よりpingを連続送信する
- c) ドローンを下流方向に移動する。
- d) ping試験を継続する。

④ 受信電界強度の測定

電波の受信電界強度（RSSI）が弱くなると、伝送速度の低下等、通信品質の劣化が生じることから、一定レベル以上のRSSIが必要となる。通信品質の確認のため、ドローン側及び基地局側それぞれにおけるRSSI及びパケット誤り率（PER）を測定した。（RSSIは、数値が大きいほど信号が強く、通信品質が良いことを表す。PERはデータ伝送において、送信されたパケットのうち、誤って受信されたパケットの割合を示す。）

(4) 飛行ルート

前日のリハーサル結果や当日の天候を踏まえ、下流エリアの基地局から上流エリアの崩落範囲付近まで飛行させて折り返す飛行ルート（図-7-1、図-7-2）を採用した。なお、ドローン飛行中は操縦者から常に機体を目視可能な有視界飛行を前提とした。

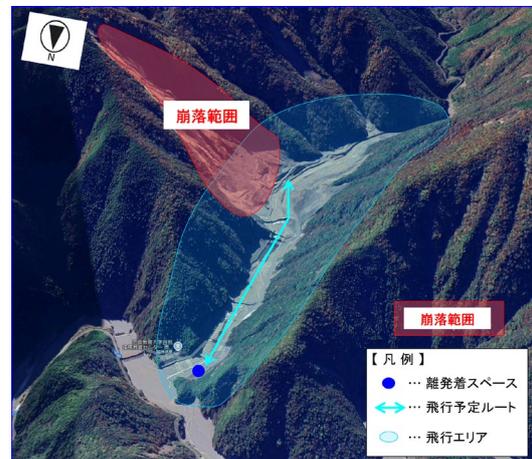


図-7-1 飛行ルート（全景）



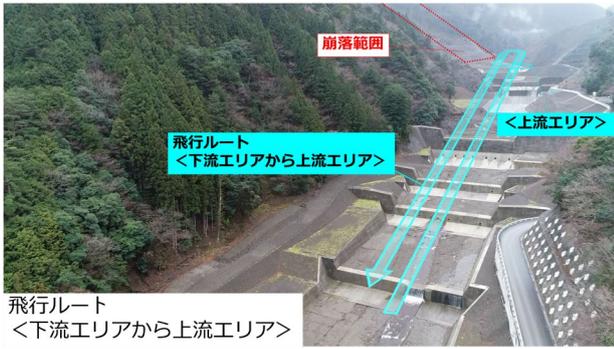


図-7-2 飛行ルート（詳細）

4. 実証実験結果

(1) 測定項目に関する結果

① 伝送映像の評価・視認性の確認

狭帯域IoT通信システムによる映像（図-8-1）のとおり、河道や走行車両は十分視認可能、崩落状況などの被災状況もおおむね視認可能であった。ドローン内部に保存した映像（図-8-2）と比較しても、対象物の視認の観点では、特に大差はなく、発災時における初動での現場状況確認手段として十分利用可能であることを確認した。

しかし高所から視認する場合は、低画質映像であるため、小規模災害等の視認が困難となる可能性がある。（本実験における飛行高度は約100m）



図-8-1 撮影映像（狭帯域IoT通信システム）



図-8-2 撮影映像（ドローン）

② 映像伝送遅延時間の測定

リアルタイムカウントに対する遅延時間は、約700msとなった。遅延時間が発生している原因として、実験構成におけるRaspberry Pi（シングルボードコンピュータ）のエンコーダ処理能力が非力であり、エンコードの遅延が発生したことが影響している。そのため、エンコーダ処理能力の改善が課題であると考えられる。

しかし、1秒以下の遅延であることから、特に遅延を感じることはなく、運用上の問題は無いと考えられる。

③ 基地局・移動局間の疎通試験

ping通信試験の結果、ping値は60ms～68msとなった。ping値は応答に要する往復時間であり、Raspberry Piの処理時間を考慮すると遅延時間は30ms程度と想定される。遅延時間はシステム構成に左右されるため、本検証で得られたping値は参考値であるが、通信に支障は見られず、V-High帯無線自体の遅延時間がドローンを操縦する上での支障となる可能性は低いと考えられる。

④ 受信電界強度の測定

RSSIはドローン側受信で-75dBm～-60dBm、基地局側受信で-81dBm～-60dBmであり、通信品質としては実用上許容可能な電界強度を示した。（図-9）

理論上、RSSIは距離が2倍になれば自由空間損失により6dB程度ずつ低下するが、実証検証では距離が2倍の時、4dB程度RSSIが低下しており、理論値よりもRSSIは低下していない。この原因として、地形による影響が挙げられる。本検証は山間部で行ったため、左右の斜面で反射が起り、理論値よりもRSSIが大きくなったものと推測される。なお、RSSIの低下により映像品質は劣化するが、視認性の確認結果にもあるように、初動での状況確認としては十分利用可能であることから、本実証実験において、運用上の問題は無いと考えられる。

	ドローン 距離[m]	ドローン位置情報			RSSI	フレーム受信		
		GPS高度	標高	地上高		OK	NG	PER
ドローン側 受信	100	438.4	397.4	0.1	-60.000	100.000	0.00	0.00
	212	458.2	410.4	6.8	-64.000	100.000	0.00	0.00
	513	556.0	433.2	81.8	-66.000	100.000	0.00	0.00
	817	557.6	489.8	26.8	-71.000	100.000	0.00	0.00
	1031	600.7	524.2	35.5	-76.000	100.000	0.00	0.00
	959	655.2	520.7	93.5	-81.000	100.000	0.00	0.00
	ドローン 距離[m]	ドローン位置情報			RSSI	フレーム受信		
		GPS高度	標高	地上高		OK	NG	PER
基地局側 受信	100	432.8	394.0	-2.2	-60.000	100.000	0.00	0.00
	234	457.0	410.2	5.8	-64.000	100.000	0.00	0.00
	444	521.2	430.9	49.3	-68.000	100.000	0.00	0.00
	794	583.2	485.2	57.1	-71.000	100.000	8.00	0.08
	1037	656.2	511.2	104.0	-75.000	190.000	0.00	0.00

図-9 受信電界強度測定結果

(2) 実証実験結果に対するアンケート

本実証実験における客観的な評価を行うため、当日の立会者に対してアンケートを実施した。（図-10）

問1 無人航空機からのリアルタイム映像は災害時等の状況把握等に利用できると思われますか。	回答者数
1.十分に利用できる	2
2.やや難はあるが、利用できる	6
3.どちらともいえない	0
4.一部使えそうなどころはあるが、ほぼ利用できない	0
5.全く利用できない	0
問2 問1で2～5を回答された方は、問題と思われる項目を選択してください(複数選択可)。	回答者数
1.映像品質(解像度、見えやすさ)	4
2.映像遅延(映像が遅れる、途切れる)	2
3.映像の通信性(迅速に必要な箇所がみれない、映像がぶれる)	0
4.その他	2

図-10 実証実験アンケート結果

アンケート結果では、概ね評価は高く、運用にあたっての大きな問題は無いと考えられる。

なお、今回の立会者は機器整備担当のみであったため、他の担当部署にも評価をしてもらい、その結果をもとに、今後の対応を検討していく必要がある。

5. 今後の課題

(1) V-high 帯域伝送上の課題

- 対象の視認性

高度が高くなると視認困難となることが予想されるが、高度が低くなると全体の状況が把握できないことから、バランスのよい高度を設定する必要がある。

- 映像品質

伝送映像の色彩表現が若干低かったが、伝送速度が低いことによるエンコード処理時における色情報の欠落が原因として考えられ、解消するためには、彩度やコントラスト補正、もしくは伝送速度の向上が有効である。

しかし、伝送速度に関しては総務省が検討している技術的条件に制約されることから、現時点での対応は困難であり、総務省の検討状況を注視して今後検討を進めていく必要がある。

また、カラー映像から白黒映像にして画質を上げる方法もあるが、白黒映像はカラー映像に比べ、被災状況の判別に支障が出る可能性もあり、今後検討を進めていく必要がある。

- 夜間飛行

夜間や薄暗い環境下において、出力と重量を考慮した照明の選定が必要となる。

(2) 機体開発上の課題

- 機体開発状況調査

本実証実験では狭帯域 IoT システムが開発途上であったため、ドローンをを用いた模擬機体で実証実験を行ったが、長距離・目視外通信を行うためには、従来のドローンとは異なった機体性能が求められる。例えば、山間部での飛行は高度変化が大きいため、エネルギー消費量が増加し、飛行可能距離が低下するため、バッテリー大容量化の検討を今

後進めていく必要がある。

- ノイズ対策

実験機体の準備中、機体モーターのスイッチング動作により発生する高周波ノイズがV-High帯域電波と干渉し、通信品質を著しく低下させる事象が確認された。そのため機体に銅シートを貼付し、高周波ノイズを遮蔽するとともに、V-High帯域用ホイップアンテナを機体から離隔することで干渉による悪影響を低減させた。今後の機体開発においては、通信品質の安定化を図るため、高周波ノイズ対策を行うことが必要である。

(3) 飛行方法・運用体制の課題

- 機体操縦者をあらかじめ現地に配置することは現実的ではないため、災害発生直後、迅速に操縦者を招集・派遣できる体制構築が必要である。

- 今後、狭帯域IoT通信システムの飛行に関する法整備が行われるものと推測されるため、その動向を注視していく必要がある。

6. おわりに

本稿では、地理的制約がある場所における現場状況の迅速な把握のため、従来の方法に代わる手段として、V-High帯域周波数を用いた狭帯域IoT通信システムを検討した。また、実証実験により、災害発生時における初動での現場状況確認手段として十分利用可能であることを確認することができた。

また、V-High帯域通信による伝送速度は従来の2.4GHz帯域や5.7GHz帯域の周波数を使用したドローンと比べて小さいことから、映像品質を向上させ、小規模災害時などにも使用できるよう、映像品質の向上や運用条件に関する技術的課題、狭帯域IoT通信システムの機体性能や操縦に関する法令上の制約など実用化に向けて解決すべき課題も新たに発見できた。

今後、これらの課題に対応するため、さらなる実証実験の継続とともに、機体・通信システムの改良ならびに制度面での整備を含めた様々な検討と開発を進めていく必要がある。