

孤立地域を結ぶための小型無人航空機と衛星通信回線を活用した 中継通信システムに関する研究

Wireless Relay System using Small Unmanned Aircraft and
Satellite Telecommunication System for Large-scale Disaster

○小野 文枝¹, 鄭 炳表¹, 大和田 泰伯¹, 单 麟¹, 三浦 龍¹
Fumie ONO¹, Byeong-pyo JEONG¹, Yasunori OWADA¹, Shan LIN¹ and Ryu MIURA¹

¹ 国立研究開発法人 情報通信研究機構

National Institute of Information and Communication Technologies, NICT

This paper describes a wireless relay system using small-unmanned fixed-wing aircraft (UA) system and satellite telecommunication system for large-scale disaster. In the Great East-Japan Earthquake in 2011, the most advanced and popular mobile phones becomes almost useless under large-scale disasters due to physical damage, electricity outage, and traffic congestion. In addition, many areas in mountains or islands were isolated due to the total damage of roads, harbors, and communication infrastructures. Under such situation, it is desired to provide temporal communication lines rapidly deployable to the isolated areas until the recovery of ground infrastructures and to monitor the situation in the whole of disaster area. Therefore, we conduct a demonstration test, a small-unmanned fixed-wing aircraft (UA), ground control station (GCS) and satellite communication systems are concatenated. It is shown that the wireless relay system is useful to telecommunication between an isolated and non-isolated area in the case of large-scale disaster.

Keywords : Wireless relay network, unmanned aircraft, satellite communication, femto cell, disaster

1. はじめに

日本国内をはじめ世界各地において、巨大地震や大規模な風水害等による自然災害、大規模な火災や事故等による被害により、生活に浸透した携帯電話システムやインターネットに代表される高度情報通信網が物理的な損壊を受けたり、停電や通信の輻輳等が生じることで、通常の情報通信網の利用が困難になる事象が多数生じている。特に、2011年3月に発生した東日本大震災では、山間部や離島、津波で壊滅的な被害を受けた地域で、道路の寸断や港湾の破損等により、陸上や海上の交通手段が完全に断たれた上に、通信設備、通信ケーブルの被災や停電等により通信手段が完全に断絶され、周囲から完全に孤立する地域が多数発生した^{1, 2)}。このような背景から、陸上交通網と通信網が遮断される孤立地域が多数生じる場合に備えて、陸上だけでなく、上空から情報通信網を提供するべく、著者らは、固定翼の小型無人航空機(Unmanned Aircraft, UA)システムを用いた耐災害無線中継ネットワークを研究開発している^{3, 4)}。小型 UA システムは小型 UA と制御用地上局から構成されており、予め飛行エリアを設定できるため、災害発生時にも迅速に無線通信ネットワークを提供できると考えられる。

本稿では、情報通信ネットワークの観点から、災害時におけるネットワーク孤立地域を救済するための小型 UA を用いた無線中継システムの概要と衛星通信回線等と連携による運用例、国内における実証実験の結果について述べる。

2. 小型無人航空機を用いた中継通信システム

小型 UA を用いた中継通信システムは、小型 UA と制

御用地上局、中継用搭載無線局と中継用地上局から構成される。本章では、まず、小型 UA と制御用地上局からなる小型 UA システムについて述べる。表 1 に NICT が実証実験にて活用した小型 UA システムの概要を示す。本小型 UA 機は翼長 2.8m、全長 1.4m、重量 5.9kg、飛行時間が 2~4 時間の小型電動機であり、搭載可能なユーザ用のペイロードは 500g 以下である。小型なため離発着に大きな滑走路は不要であり、手投げ発進により離陸させ、回収する場合には 10~30m 程度の高度から失速させて自由落下させる失速回収という手法を用いている。さらに、機体全体が防水仕様となっており、海上に着水したり、雨の中を飛行したりすることも 2 時間以内であれば可能である。災害発生時には、ヘリコプタ等の騒音が問題視されることもあるが、本機は飛行時の騒音もほとんど気にならない程度に小さく、安全に留意して運用すれば、災害時にも活用することが可能であると思われる。

次に、小型 UA に搭載する中継通信用無線局と地上局からなる中継通信システムについて述べる。表 2 に NICT が開発した小型無人航空機搭載無線中継機とデータ通信用地上局の仕様を示す。小型 UA に搭載可能なサイズ及び容量を満たすために、アンテナを除く中継機のサイズは W90mm × D100 mm × H116mm、バッテリー込みの重量は 500g 以内の無線機となっている。手のひらに載せられる程度のサイズと重量である。この搭載無線中継機と中継用地上局は、UA の制御用の無線機とは異なり、孤立地域と非孤立地域間のデータ伝送用の無線機となる。搭載無線中継機の送信信号は、信号電力が 2W、最小偏移変調(Minimum Shift Keying, MSK)の信号であり、地上局と搭載中継機間は時分割多重により送受信する。地上局にはイーサネットのインターフェースがあり、イー

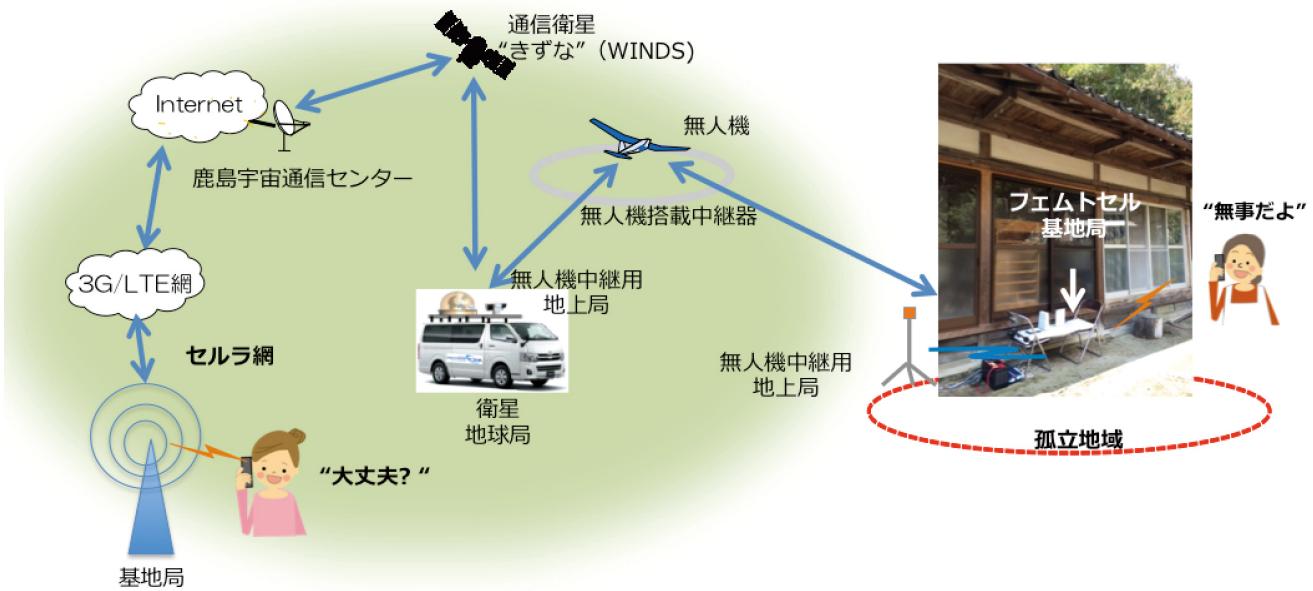


図 1 実証実験時のネットワーク構成例



図 2 実証実験時の外景

表 1 小型無人航空機システムの仕様

名前	PUMA-AE (AeroVironment 社製 UAS)
機体長、重量	2.8m, 5.9kg
搭載容量	0.5kg
飛行時間、進出距離	2-4 hours, 15-20 km
耐風速	25 knots (13m/s)
飛行速度	20~40knots
最高飛行高度	5000 m (実証実験時 200~400m)
駆動、操作	電動、手投げ発進、自動着陸、GPS やセンサによる自動航行や手動航行
搭載バッテリー	充電式リチウムイオンバッテリー(総容量約 14Ah)
静音性	小型電気モーターのため、50m 程度離れればほぼ無音

表 2 小型無人航空機搭載無線中継機と地上局の仕様

周波数/帯域幅	2GHz/8MHz (実験試験局免許、平成 28 年 3 月まで)
送信電力	2W
変調/多重化	MSK/TDMA/TDD
アンテナ	ハイップアンテナ (機上局) パッチアンテナ (地上局)
ホップ数	シングル/ダブルホップ対応
伝送レート/実効スループット	6M bps/500kbps
同期	GPS 信号による時刻同期
動作時間	約 90 分
サイズ	W90 x D100 x H116 (mm)
重量	500g

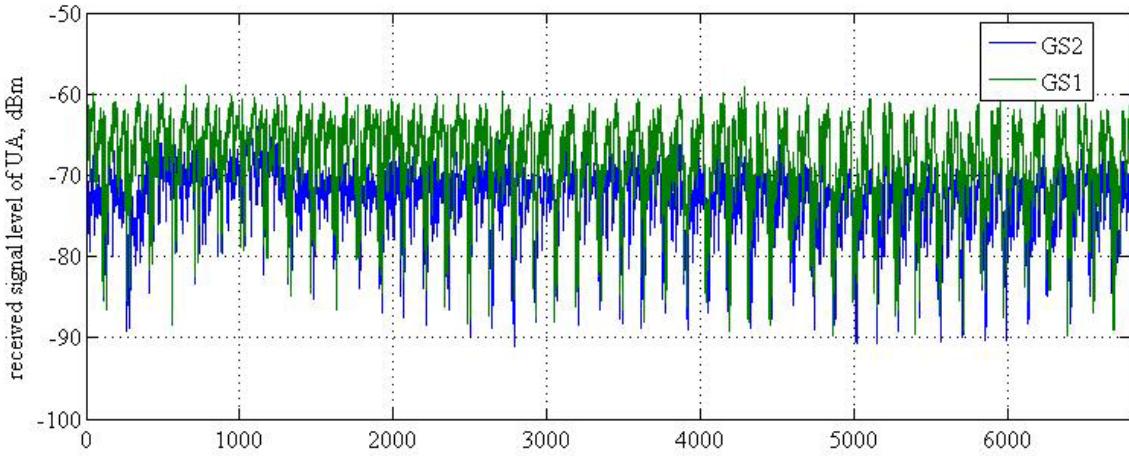


図 3 小型 UA 搭載局における受信信号強度特性

サネットのパケットを分割/再構築して転送することができるため、データ伝送用の地上局にビデオや PC を接続することにより、動画、テキストメッセージの伝送が可能になる。また、無線 LAN のアクセスポイントを接続すれば、地上に無線 LAN エリアを展開でき、地上系ネットワークとの連携も可能となる。さらに衛星通信回線と連携することができれば、孤立地域に対してインターネット網との接続を提供することが可能となる。孤立地域と非孤立地域間を結ぶための中継システムとしては、(1)小型無人航空機システムのみを用いた中継システム、(2)小型無人航空機システムと衛星通信回線を用いた中継システムが考えられる。(1)の場合、孤立地域と非孤立地域において、ローカルなネットワークが構築され、二地点間のみで音声やテキストメッセージ、動画のやり取りができるが、(2)のように衛星通信回線と連携することにより、さらに遠方地の外部ネットワークに接続することができ、インターネット網への接続も可能となる。このようなネットワークに、Wi-Fi のアクセスポイントを接続すれば、複数のユーザが同時にインターネットに接続することができる。また、屋内の携帯電話の通話品質を改善できる小型基地局（フェムトセル）を接続すると、移動体通信網との連携が可能となり、平時に利用している携帯電話をそのまま利用し、通話やメッセージのやり取りが可能となる。

3. 実証実験

本節では、2015 年 2 月に高知県高岡郡四万十町にて実施した実証実験の結果の一部について述べる。図 1 に実証実験に用いたネットワークの構成を示す。図 2 に実証実験時の風景を示す。本実証実験では、まず、孤立地域と車載衛星地球局を小型 UA を用いた中継通信システムで結び、車載衛星地球局から衛星を介して NICT 鹿島宇宙通信センターにつながる。NICT 鹿島宇宙通信センターから外部ネットワークに接続され、孤立地域と非孤立地域間が結ばれる。本実証実験の場所は、四万十町の山間部であり、高さ 300m から 400m 程度の山々に囲まれた地域を仮想の孤立地域と想定し、実験を行った。小型 UA は、高度 500m から 1000m (海拔) の地点で半径約 200m 程度で旋回飛行しながら、孤立地域に対して通信回線を提供した。図 3 に小型 UA 搭載中継用無線局における受信信号強度を示す。横軸は測定時間であり、縦軸が受信信号レベルを表す。緑線が中継用地

上局 1 から、青線が中継用地上局 2 からの受信信号レベルである。地上局 1 と地上局 2 間は見通し通信路を確保することができず、直接通信することができない場所に設置した。中継用地上局 1 及び 2 と小型 UA 間の距離は、約 1km から 3km 程度であり、常に見通し通信路となるように地上局を設置した。小型 UA の受信信号レベルは、旋回飛行に応じて変動することがわかる。受信信号のレベルが変動する場合、中継通信システム内を流れるデータの誤りが変動するこから、通話品質に影響を及ぼすことが懸念されることになる。

本実証実験では、音声通話の品質を確認するため、8 秒間の音声を片方向（非孤立地域から孤立地域、孤立地域から非孤立地域）ずつ 10 回（英語男性音声 5 回、英語女性音声 5 回）を発話し、PESQ (ITU-T p.862.1) 値を測定し、その品質を確認した。尚、非孤立地域の電話は固定電話を利用し、孤立地域の携帯電話はフェムトセルを介して通話を行った。

図 4 に音声通話時における中継用地上局間のスループットを示す。PC は車載衛星地球局側の中継用地上局に接続されており、PC 画面上の青線が受信スループットであり、橙線が送信スループットである。孤立地域からの音声発話時には、100kbps 程度のデータが流れていることがわかる。通信帯域が十分にある衛星通信回線に対して、小型 UA を用いた中継通信システムの通信帯域は小さいが、数名程度が同時に音声通話ができる能力は有していることがわかる。

図 5 と 6 に孤立地域と非孤立地域間における音声通話品質評価の結果を示す。図 5 は固定電話着の場合の評価値であり、図 6 はフェムトセル側の携帯電話着の場合の評価値である。縦軸は PESQ 値であり、横軸は 10 回のサンプル音声番号を示す。ここでは、LTE 対応携帯電話を用いた場合、3G 対応携帯電話を用いた場合、LTE 対応携帯電話から Skype 通話を行った場合をそれぞれ評価し、その平均値をプロットしている。旋回飛行しながら中継回線を提供する小型 UA を用いた中継通信システムの比較対象として、衛星通信回線のみを介して 3G 対応携帯電話にて音声通話を行った場合の評価値を黒印で示す。小型 UA は旋回飛行しながら、通信リンクを提供しているため、衛星回線のみを用いた場合に比べ、サンプル毎の変動があることがわかる。



図 4 中継用地上局の制御 PC 画面
(送受信スループット値の表示)

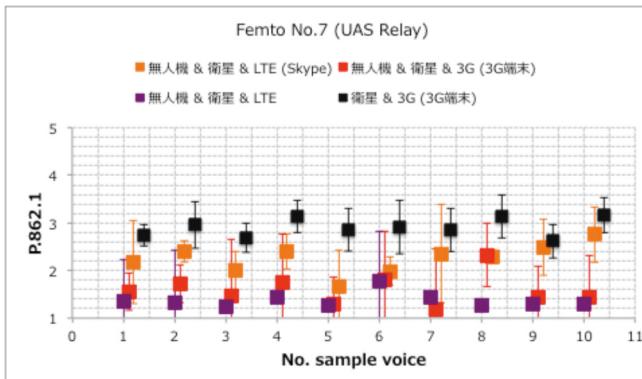


図 5 音声通話品質評価結果(固定電話着)

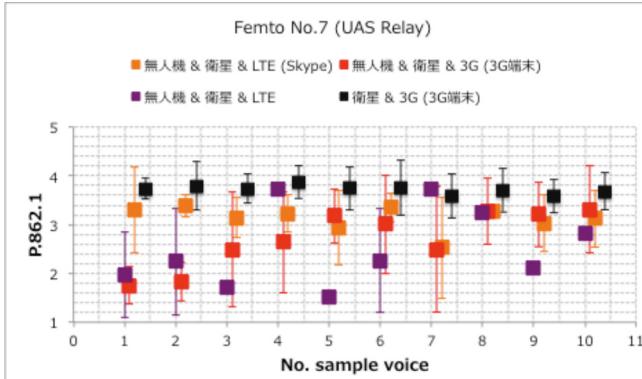


図 6 音声通話品質評価結果(携帯電話着)

小型 UA を介した中継通信システムでは、携帯電話から Skype 通話する場合が最も音声品質が良いが、3G や LTE 対応携帯電話による通話も聞き取ることが可能なレベルを達成できることがわかる。小型 UA を用いた中継通信システムの場合、通信回線の品質はその飛行環境により大きく影響を受けるため、PESQ 値の変動の幅は、衛星通信を用いた場合よりも大きくなるが、環境に応じて飛行高度や経路を設定することで通話品質を向上できると考えられる。

4. おわりに

本稿では、ネットワーク孤立地域と健全地域間を結ぶために、小型 UA と衛星通信回線を活用した中継通信シス

テムの概要と運用例について述べ、実証実験の結果を示した。小型 UA と衛星通信回線を用いた中継通信システムでは、フェムトセルと連携することにより、平時から利用している携帯電話による音声通話ができる能力を有していることが明らかになった。今後は、より詳細な結果の解析を行い、通信品質の改善や簡単な運用方法等を明らかにする必要があると考えられる。

謝辞

高知県四万十町における実証実験に際し、多大なるご支援、ご協力いただきました総務省四国総合通信局、四万十町、高知県、KDDI、softbank、docomo、東陽テクニカ等関係者の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 東日本大震災における情報通信の状況、平成 23 年情報通信白書、pp.2-11
- 2) 内閣府 平成 22 年中央防災会議 地方都市等における地震防災のあり方に関する専門調査会資料
- 3) 三浦、滝沢、小野、鈴木、大規模災害で孤立した地域を上空からつなぐ！-小型無人航空機を活用した無線中継システム-, pp.1-2, NICT NEWS, 2013.05
- 4) 東日本大震災における被災地ニーズと取り組むべき研究に関する提言-情報通信分野における問題点の分析と課題整理-、情報通信研究機構(NICT)耐災害 ICT 研究センターアドバイザリー委員会