



災害時における係留気球を用いたLTE/W-CDMA 対応無線中継システムの開発・実用化



ソフトバンク株式会社 研究開発本部 フェロー兼特別研究室長

ふじい 藤井 てるや 輝也

1. まえがき

2011年3月11日に発生した東北大震災により、東北地方を中心に当社の移动通信サービスエリア内で大規模な通信障害が発生した。当社では3,000余りの基地局が停電などにより、通信障害となった。また、沿岸部においては約200の基地局が津波で流されたり、地震で倒壊した。特に、流されたり、倒壊した基地局を完全復旧させるには多くの時間を要し、ほぼ元通りに復旧させるのに1か月以上を要した。

移动通信事業各社ではこのような大規模災害に備えて、携帯電話サービスエリアを迅速に復旧させる様々な取組みを行っている^[1]。

NTTドコモでは大ゾーン基地局を主要地域に設置し、災害時に通信障害を起しているエリアをこの大ゾーン基地局で救済する「大ゾーン基地局」の取組みを行っている。KDDIでは沿岸部の災害を想定し、基地局を船に乗せ、災害地域の沿岸（海）から陸地に向けて電波を送信する「船上基地局」の取組みを行っている。

当社ソフトバンクでは係留気球に非再生無線中継装置（リピータ）を搭載し、アンテナを高い位置に揚げることで大きなサービスエリアを確保する「気球基地局」の取組みを行っている^{[1][2]}。

本稿では、当社の取組みとして世界に先駆けて開発した、係留気球を用いたLTE（Long Term Evolution）、W-CDMA（Wideband Code Division Multiple Access）対応の臨時無線中継システムの概要、及び実証実験結果を紹介する。

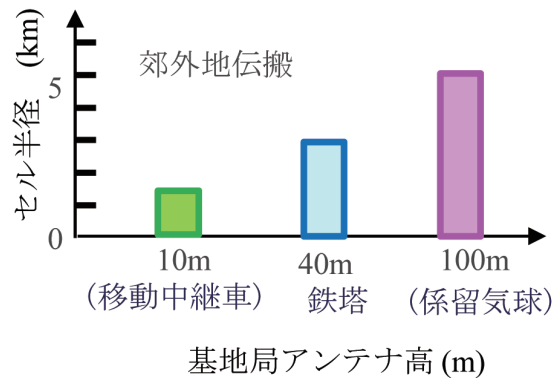
2. 気球無線中継システムの特徴

基地局のカバレッジエリアを拡大する技術として、基地局から離れた位置にリピータを設置し、基地局の電波をそのまま増幅して中継する無線中継方式がある。無線中継方式では一般に、リピータのアンテナ高を高くする程カバレッジエリアを拡大できる。

当社では災害時に大きなカバレッジを確保する方法として、アンテナ高を高く設置できる係留気球に着目し、リピータを係留気球に搭載する係留気球無線中継システムの検討を開始した。

まず、中継局アンテナ高とエリア半径の関係の一例を示

す。中継局アンテナ高が40mの時にセル半径が3kmである基地局において、アンテナ高を10mと低く設定した場合と100mと高く設定した場合のセル半径の推定結果を図1に示す。ただし、周波数を2.1GHz、伝搬損失推定式として「拡張坂上式」を用いて計算した^[3]。図より中継局アンテナ高を100mに設定すればセル半径を5km以上取れることが分かる。



■図1. 基地局アンテナ高とセル半径

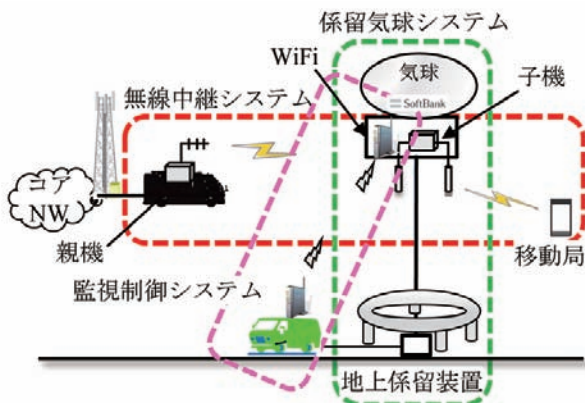
3. 係留気球無線中継システム構成

図2に開発した係留気球無線中継システムを示す^[4]。本システムは“無線中継システム”、“係留気球システム”、“監視制御システム”で構成される。以下に各システムを説明する。

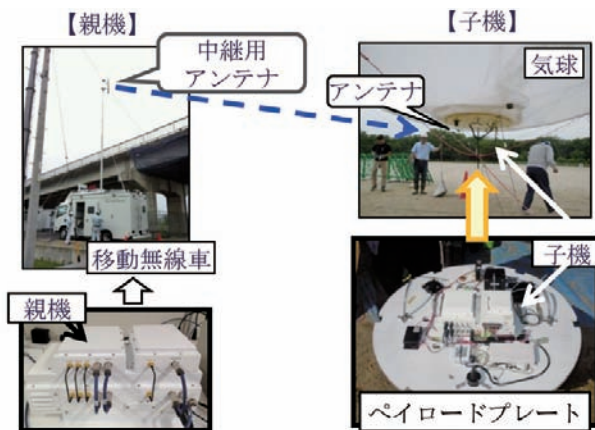
3.1 無線中継システム

本係留気球無線中継システムでは、気球に搭載する無線中継装置を極力軽量化するために、構成が簡易な非再生無線中継システム（リピータ）を採用した。非再生無線中継システムは図3に示すように中継元基地局（親機）と無線中継局（子機）から構成される。

本システムで採用した気球では、リピータの中継用アンテナと対移動局用アンテナの離隔距離を大きく取れない（1m以下）。そのため、同一周波数を増幅するリピータでは送受信アンテナ間の電波の回り込みが大きくなり、中継増幅器の利得を最大送信電力となるように設定できない。そこで本システムでは、中継周波数と対移動局周波数を異



■図2. 係留気球無線中継システムの構成



■図3. 無線中継装置システム

ならせることで電波の回り込みを回避し、最大送信電力で常時送信できる周波数変換リピータを採用した。

本中継システムはLTE、W-CDMAに対応している^[5]。特に、気球中継では搭載するアンテナの重量や設置位置に制約があり、送受信にそれぞれ2本のアンテナを用いる2×2MIMO (Multi-Input Multi-Output) を適用する場合にはそれらを考慮する必要がある。そこで、子機の対親機向け、中継エリア向けアンテナとして、共に一本のアンテナに水平面内無指向性の垂直偏波 (V偏波) と水平偏波 (H偏波) の2つのアンテナを共用させたV・H直交偏波共用アンテナを開発し、搭載した。

また、無線中継は昼夜を問わず連続で中継する必要がある。そのため、リピータへ連続した電源供給が不可欠である。本システムでは、子機に地上から電線を用いて直流電源 (DC) を供給する方法を用いて、長期間の無線中継を可能としている。

3.2 係留気球システム

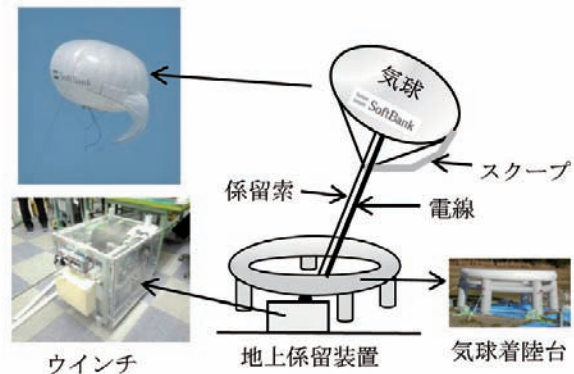
本係留気球無線中継システムでは、地上から1本の係留索で固定する一本係留気球を用いている。図4に係留気球システムを示す。係留気球は同図に示すように、気球本体と地上係留装置で構成される^[6]。

気球は風速、風向に対する安定性を向上させるために、スクープ (布) 付扁平気球を用いた。気球の大きさは直径5.2m、高さ3m、容積42m³で、不燃性のヘリウムガスを充填する。扁平気球本体は強度の高いナイロン製二重構造であり、気球外袋の内部にはヘリウムガス用内袋、空気袋を有し、加圧用ファンを備えている。気球外袋は、外部の衝撃や太陽光 (紫外線) から内袋を守るために用いている。この二重構造によりヘリウムガスが漏れることがなく、長期間の連続係留 (6か月以上) を可能としている。

扁平気球は風速が増大すると揚力が向上し、垂直方向の安定化が図れる。一方、スクープは常に風を孕むように動作し、横風に対して極めて高い安定性が保たれる。また、無線中継装置はペイロードプレート (図3参照) に搭載して気球の内側に収められ、アンテナのみが気球下部に露出していることから、風力に対する抵抗が小さくなる。これらの仕組みにより、本係留気球は風速20m/sの強風下においても安定して浮揚させることができる。

地上係留装置は気球着陸台とウインチで構成され、共に杭で地上に固定する。気球着陸台は形状がドーナツ状であり浮き輪と同様の構造で、空気ですその形状を維持する。一方、ウインチは気球を昇降させる係留索の巻き取り装置であり、昇降は電動モータで行う。地上係留装置により無人の長期運用に不可欠な気球の自動着陸を行うことを可能とした。

スクープ付扁平気球



■図4. 係留気球システム

3.3 電力供給・監視制御システム

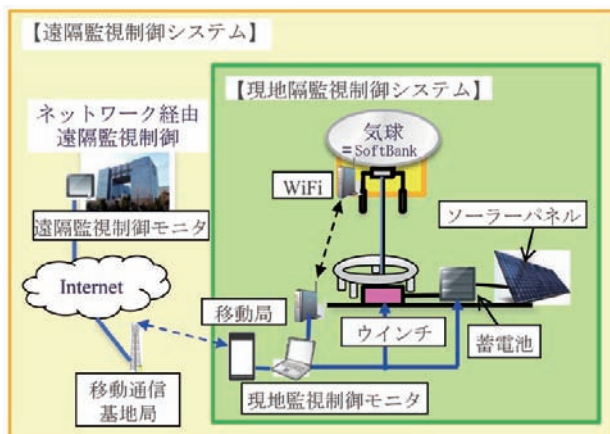
災害時には無線中継装置の長時間運用、及び現地での無人運用が期待される。そこで、現地での長期間無人運用を実現するために不可欠な電力供給・監視制御システムを開発した。本システムは、図5に示すように電力供給システム、自動昇降制御システム、現地及び遠隔監視制御システムで構成される^[7]。

電力供給システムは、ソーラーパネル、蓄電池及び非常用の発電機で構成される。蓄電池はソーラーパネルで発電した電力を蓄えるとともに、各装置へ電力を供給する。蓄電池がフル充電されていれば、3日間の連続曇天でも電力を供給できる設計としている。

自動昇降制御システムは、ウインチを自律または遠隔制御することで気球の昇降制御を行う。気球の自律的な昇降を実現するために、線長センサ等の複数のセンサをウインチに取り付けて、それらの出力をもとに強風時においても安全に昇降させることを可能としている^[6]。

現地及び遠隔監視制御システムは、本システム全体の運用を監視制御する。上空に係留されている気球は風の影響を大きく受ける。許容できる風速を越えると気球を安全に係留できなくなるため、降下させるなどの対処が必要となる。そのため、監視制御システムでは上空の風速と無線中継装置の状態を遠隔で監視し、適宜制御する。なお、気球監視制御装置と地上監視制御装置間のデータ通信はWiFiで行う^[2]。

監視制御システムでは、現地での監視制御（現地監視制御）のみならず、移動通信網（LTE/W-CDMA）を介して遠隔地からの監視制御（遠隔監視制御）を行うことも可能としている。



■図5. 電力供給・監視制御システム

4. 係留方法

迅速及び長期間、広域の無線中継を実現するために、図6に示すように“陸上係留”、“船上係留”、“車載係留”の複数の係留方法を開発した^[4]。

係留気球無線中継システムの基本の係留方法は図6 (a) に示す被災地及びその周辺での地上係留である。一方、沿岸地域の被災地では地上に係留することが困難な場合がある。例えば、リアス式海岸地域では海岸線の起伏が非常に複雑であり、地上係留では広範囲にエリアを確保できないことがある。このような場合、図6 (b) に示すように船上に係留気球無線中継システムを設置し、海上から陸上に向かって無線中継することで沿岸地域に広範囲なエリアを確保できる。陸上係留、船上係留は基本的に同じ構成であり、現地到着後およそ4時間で無線中継を開始できる。

一方、被災地到着後1時間以内で迅速な気球の係留開始を行うため、図6 (c) に示すように車両に搭載する車載係留システム（気球格納箱）を開発した。気球格納箱内には気球着陸台とウインチが設置されている。トラックの荷台等に搭載された気球格納箱は係留地点に到着後、天井を収納し、側壁、後部壁を外側に倒し、箱の内部で気球を膨らませ、そのまま箱の上部から気球を上昇させる。気球に係留している間は元の箱幅に戻し、駐車スペース（省スペース）での係留が可能である。



(a) 陸上係留 (b) 船上係留 (c) 車載係留

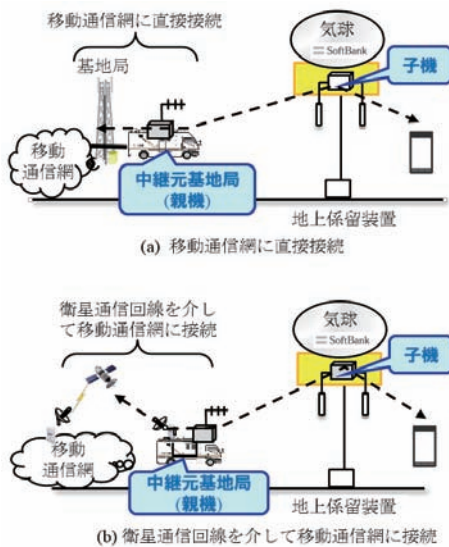
■図6. 係留方法

5. 利用形態

本係留気球無線中継システムは、親機と移動通信網の接続方法により図7に示すように2通りの利用を実現している^[2]。

図7 (a) は移動無線車に基地局装置と親機（周波数変換装置）を搭載し、基地局装置を移動通信網へ直接接続する方法である。この接続方法は通常の基地局と完全に等価であり、通信可能なユーザー数、データ通信速度は同じである。

一方、図7 (b) は移動無線車に基地局装置と親機（周波数変換装置）を搭載し、基地局装置を衛星通信回線経由

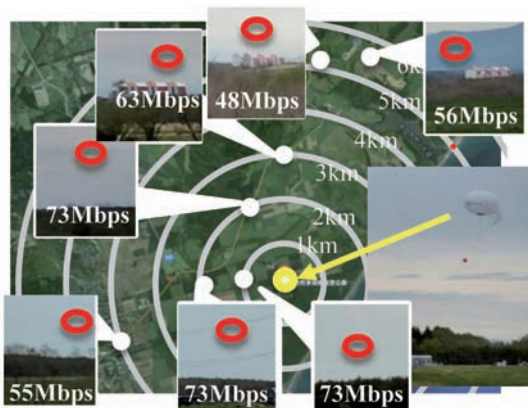


■ 図7. 利用形態

で移動通信網に接続する方法である。この接続方法は通信元となる基地局を探す必要がないため、被災現場で迅速に運用を開始できる。ただし、通信可能なユーザ数は衛星通信回線のデータ通信速度に依存する。

6. 実証実験

北海道・大樹町の航空公園周辺で、地上100mの高度に気球を係留し、実証実験を行った。中継無線周波数は1.5GHz帯、対移動局への無線周波数は2.1GHz帯、帯域幅は共に10MHzである。下り回線は2×2MIMOであり、対移動局の送信電力は1アンテナ5W（全10W）である。対移動局への最大通信速度は75Mbpsである。図7 (a) の移動通信網へ直接接続する方法で実施し、親機と子機間の距離は約1kmである。測定は送受信間が見通しとなる道路上等においてデータ通信の測定を実施した。



■ 図8. 実証実験結果

図8は、測定エリア内の様々な地点から撮影した係留気球及びその位置での通信速度(bps)を示す。今回の測定では、最大距離6km以内の地点でLTEを用いたデータ通信やVoIP (Voice over IP) による音声通話 (VoLTE: Voice over LTE) が利用できることを確認できた。

7. おわりに

本稿では、当社の災害対応の一環として開発した“災害時における係留気球を用いたLTE、W-CDMA対応臨時無線中継システム”の概要を紹介した。

無線中継装置の徹底した軽量化により、係留気球の小型化と地上係留装置の小型・軽量化を図り、設営時間の大幅な短縮を図った。また、衛星通信接続の開発により、被災現場での迅速な運用が可能である。その結果、陸上及び船上係留では被災地に到着後4時間程度で、また車載係留では被災地に到着後1時間程度で係留気球無線中継システムの運用を開始できる見通しが得られた。開発した係留気球は1か月以上の連続係留が可能であり、また風速20m/sの強風下においても安定して浮揚させることができる。

最後に、実証実験中に得た感想として、遠方から“係留気球”を発見すると不思議と安心感が得られる。大地震等で通信ができない被災地において、当社の“係留気球”を発見すると、少なくともその場所は移動通信が可能なエリアであり、ユーザに“つながる”安心感を提供できるものと期待する。

(2016年10月19日 ITU-R研究会より)

参考文献

- [1] 電波止めるな 携帯3社の災害対策 (下)
<http://www.nikkei.com/article/DGXBZO52650670Q3A310C1000000/>
- [2] 藤井輝也、他、“係留気球を用いた災害対応臨時無線中継システム”、信学技告、RCS2013-26, 2013.
- [3] 藤井輝也、“陸上移動伝搬における伝搬損失推定式－坂上式”の拡張－”、信学論B、Vol. J86-B, No. 10, pp. 2264-2267, 2003.
- [4] 藤井輝也、他、“係留気球無線中継システムの高度化－システム概要－”、2015信学総大、B-5-59.
- [5] 太田喜元、他、“係留気球無線中継システムの高度化－無線中継システム－”、2015信学総大、B-5-60
- [6] 中島潤一、他、“係留気球無線中継システムの高度化－気球システム－”、2015信学総大、B-5-61.
- [7] 宮島春弥、他、“係留気球無線中継システムの高度化－監視・制御システム－”、2015信学総大、B-5-62.