

HAPS システムにおけるドローン用アンテナの検討

宮下 功寛[†] 周東 雅之[†] 杉谷 敦彦[†]

[†]株式会社モバイルテクノ 〒211-8588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4-1-1

E-mail: [†]miyashita.n@fujitsu.com

あらまし 近年, HAPS システムによる広域ドローン運航管理システムが検討されている. このシステムに使用されるアンテナには, 広い角度範囲にて円偏波を放射できることが求められる. 本論文では HAPS システムにおけるドローン用アンテナの検討を行った. 円偏波の放射指向性をアンテナの構造によって高い自由度で設計できる 4 線巻きヘリカルアンテナの特徴に着目し, 2 つの 4 線巻きヘリカルアンテナから構成され, 動作モードを簡易的な方法にて電氣的に切り替えることにより, 放射方向を低仰角方向とするか垂直方向とするか制御できるアンテナを提案した. さらに, 提案アンテナの製作方法を検討した. 最後に今後の課題について述べる.

キーワード 円偏波アンテナ, ヘリカルアンテナ, ドローン

Study on Antenna for Drones in HAPS System

Norihiro MIYASHITA[†] Masayuki SUTO[†] and Atsuhiko SUGITANI[†]

[†] Mobile Techno Corp. 4-1-1 Kamikodanaka, Nakahara-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa, 211-8588 Japan

E-mail: [†]miyashita.n@fujitsu.com

Abstract Drones in HAPS systems need to radiate circularly polarized waves over a wide range of angles. In this paper, we propose a drone antenna for HAPS systems. Quadrifilar helical antenna can freely design radiation directivity by changing antenna structure. We propose a new antenna using the features of this quadrifilar helical antenna. The proposed antenna consists of two quadrifilar helical antennas which radiate in the low elevation direction and the vertical direction respectively, and has a function of switching the radiation direction to either the low elevation direction or the vertical direction. The manufacturing method of the proposed antenna is also described.

Keywords Circularly polarized antenna, Helical Antenna, Drone

1. はじめに

次世代の移動体通信システムの実現に向けて, HAPS (High Altitude Platform Station) を利用した NTN (Non-Terrestrial Network) の開発が盛んに進められている. 海や山, 森林地帯などの通信インフラが貧弱な地域を含めた広いエリアをカバーできる特徴があり, 近年では HAPS による広域ドローン運航管理システムが検討されている[1]. 図 1 にシステムの概要を示す. このシステムでは, 地上局とドローン間のコマンド・テレメトリ通信を飛行体に搭載した HAPS 中継局経由で行うことにより, 衛星より低コストで, 広いエリアをカバーできる特徴がある. 周波数は 5030~5091 MHz の使用が想定されている. 本システムにおいて HAPS 中継局を搭載した飛行体は, 高度 20 km を常に旋回することを想定している. また, ドローンの姿勢は一定ではない. そのため, HAPS 中継局とドローン間の通信には円偏波を使用することが望ましい.

また, 本システムでは 1 つの HAPS 中継局にて広いエリアをカバーすることが求められる. そのため,

HAPS 中継局とドローンへ搭載されるアンテナは, 広い角度範囲において放射できることが求められる. 本論文ではドローンへ搭載されるアンテナについて述べる. 図 2 にドローン用アンテナの電波の放射方向を示す. ドローンがエリアの端に位置する場合は低仰角方向に, エリアの中心に位置する場合は垂直方向に放射することが求められる. さらに, ドローンは移動時や風などの影響で機体が傾くことが想定される. そのため, ドローン用アンテナには, 広い角度範囲で円偏波を放射することが求められる.

広角に円偏波を放射するアンテナとしては, 4 線巻きヘリカルアンテナが知られており[2]~[3], ヘリカルアンテナ素子の巻き方向やピッチ角によって放射方向を設計できる特徴を有する. 放射方向を垂直方向から傾けるほど, 円偏波を放射できる角度範囲が広がるが, 垂直方向の利得が低下するといった問題がある.

そこで本論文では, アンテナの構造によって指向性を高い自由度で設計できる 4 線巻きヘリカルアンテナの特徴に着目し, 低仰角方向, 垂直方向に放射する 2

つの4線巻きヘリカルアンテナから構成されるアンテナを提案する。提案アンテナの動作モードを簡易的な方法にて電氣的に切り替えることにより、放射方向を低仰角方向とするか、垂直方向とするか制御し、広い角度範囲にて対応することを示す。

本論文は以下のように構成される。2章では4線巻きヘリカルアンテナについて説明する。3章では、提案アンテナの構成および動作原理、基本特性、製作方法について説明する。4章では、本論文のまとめと今後の課題について説明する。

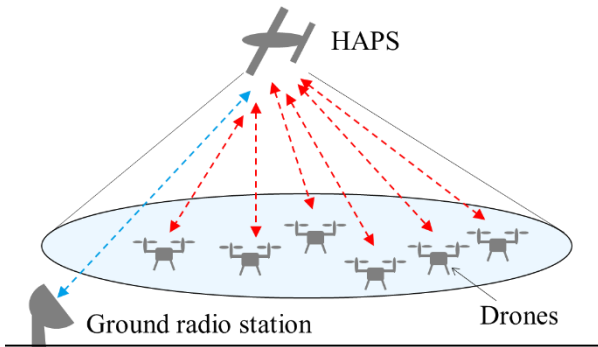


図1 システムの概要

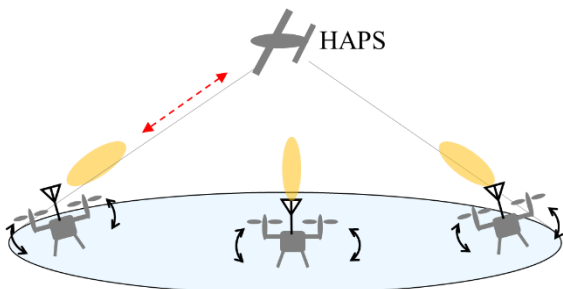


図2 ドローン用アンテナの電波の放射方向

2.4 線巻きヘリカルアンテナ

4線巻きヘリカルアンテナについて説明する。図3に4線巻きヘリカルアンテナの構成を示す。各アンテナ端子の給電位相は主偏波が右旋円偏波となる値とし、ヘリカルアンテナ素子の巻き方向が左巻きの場合を示す。4つのヘリカルアンテナ素子を図のように配置し、各アンテナ端子に対して90度ずつ位相差を設けて給電する。

図4に右旋円偏波におけるZX面の放射指向性のシミュレーション結果を示す。シミュレーションにおいて、設計周波数は利用周波数範囲の中心である5060 MHz、各アンテナ素子の長さは3/4波長程度、ヘリカルアンテナの巻き数は0.75に設定した。図4(a)はヘリカルアンテナ素子の巻き方向を偏波の回転方向と逆方

向となる左巻きに設定し、ピッチ角を63度に設定した場合の特性である。図4(b)はヘリカルアンテナ素子の巻き方向を偏波の回転方向と同一方向となる右巻きに設定し、ピッチ角を30度に設定した場合の特性である。

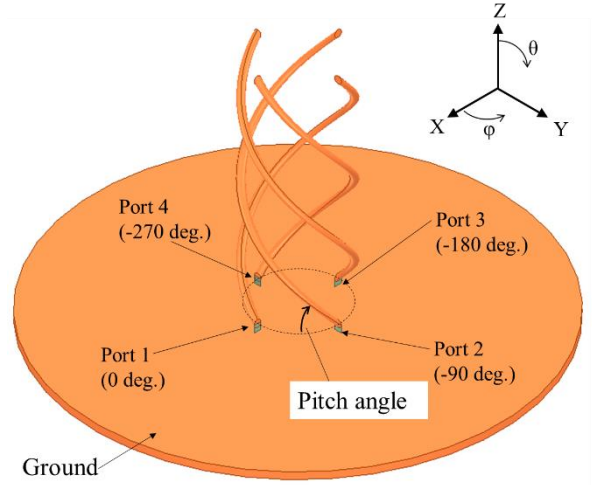
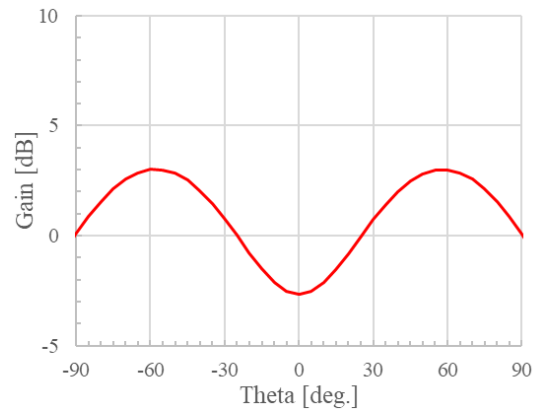
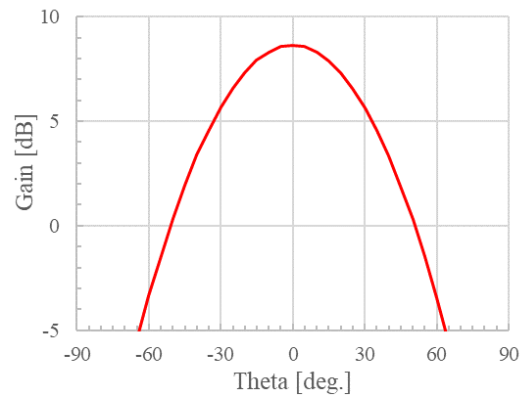


図3 4線巻きヘリカルアンテナの構成



(a) 巻き方向：左巻き，ピッチ角：63度



(b) 巻き方向：右巻き，ピッチ角：30度

図4 4線巻きヘリカルアンテナの放射指向性

4 線巻きヘリカルアンテナでは、図 4(a)に示すようにヘリカルアンテナ素子の巻き方向を偏波の回転方向と逆方向とし、ピッチ角を大きな値に設定した場合、低仰角方向（±60 度付近）の利得が高くなる特徴を有する。一方、図 4(b)に示すようにヘリカルアンテナ素子の巻き方向を偏波の回転方向と同一方向とし、ピッチ角を小さな値に設定した場合、垂直方向（0 度付近）の利得が高くなる特徴を有する。

3. 広角な放射特性を実現する円偏波アンテナの提案

本章では、4 線巻きヘリカルアンテナから構成され、円偏波の放射方向を電氣的に制御できる提案アンテナについて説明する。

3.1. 提案アンテナの構成および動作原理

提案アンテナの構成を図 5 に示す。前章と同様に、主偏波は右旋円偏波とし、設計周波数は利用周波数範囲の中心である 5060 MHz、各アンテナ素子の長さは 3/4 波長程度の場合について説明する。

提案アンテナは 2 つの 4 線巻きヘリカルアンテナ（Antenna 1, 2）から構成される。Antenna 1 は低仰角方向に放射するアンテナであり、ヘリカルアンテナ素子の巻き方向を偏波の回転方向と逆方向となる左巻きとし、ピッチ角を大きく設定する。一方、Antenna 2 は垂直方向に放射するアンテナであり、ヘリカルアンテナ素子の巻き方向を偏波の回転方向と同一方向となる右巻きとし、ピッチ角を小さく設定する。

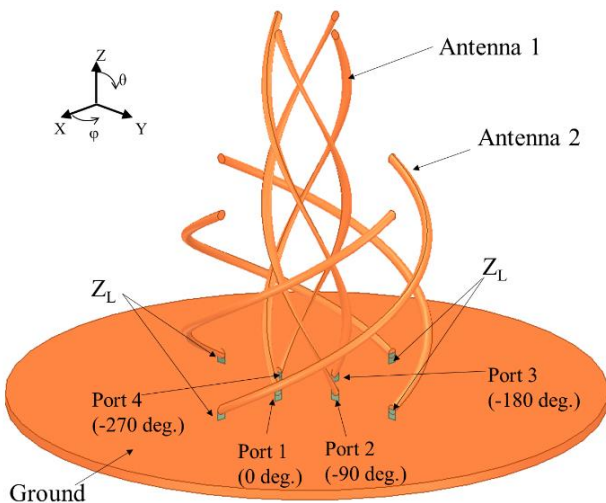
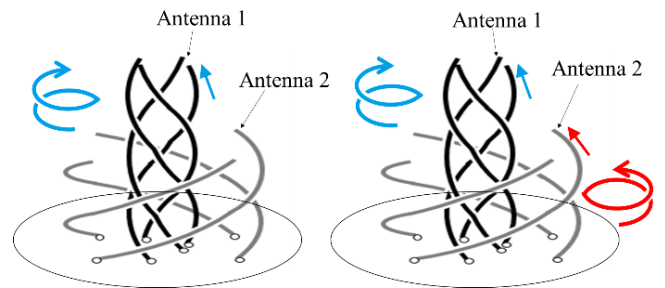


図 5 提案アンテナの構成

また、Antenna 1 に対しては給電を行うが、Antenna 2 に対しては給電せず、アンテナ端子を負荷 Z_L にて終端する。Antenna 1 に給電すると、Antenna 2 に電流が誘起されるが、終端負荷 Z_L の値を切り替えることにより、Antenna 2 に誘起される電流を制御する。これにより提案アンテナの動作モードを制御し、放射方向を低仰角方向とするか、垂直方向とするか切り替える。中継局の方向、ドローンの姿勢に応じてアンテナの放射方向を電氣的に制御することにより、広い角度範囲に対応する。



(a) 終端負荷：Open (b) 終端負荷：Short

図 6 提案アンテナの動作モード

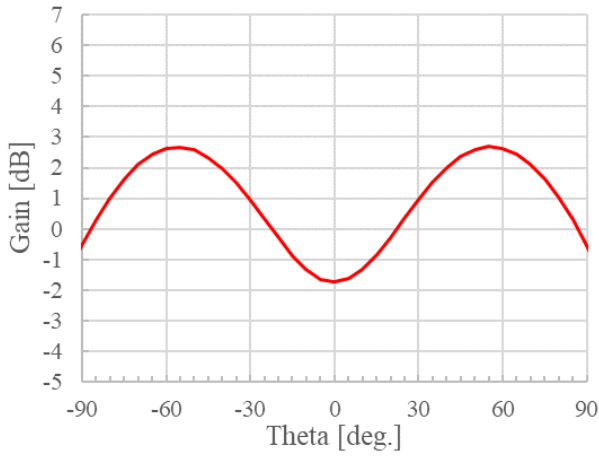
提案アンテナの動作原理について図 6 を用いて説明する。青線は Antenna 1 における電流方向、赤線は Antenna 2 における電流方向の例を示す。終端負荷 Z_L が Open の場合、Antenna 1 に給電しても Antenna 2 に電流が誘起されにくい。これはアンテナ素子の長さが 3/4 波長程度であり、アンテナ素子の両端が Open であるためである。このとき Antenna 1 による動作モードとなり、低仰角方向に放射する。

一方、終端負荷 Z_L が Short の場合、Antenna 1 に給電すると、Antenna 2 に電流が誘起されやすくなる。また、Antenna 1, Antenna 2 では巻き方向が互いに逆方向であるため、お互いのアンテナ素子からの放射が打ち消しあうことなく、互いに近い給電位相でアンテナが励振される。このとき Antenna 1, Antenna 2 による動作モードとなるが、Antenna 2 による放射が支配的となり、垂直方向に放射する。

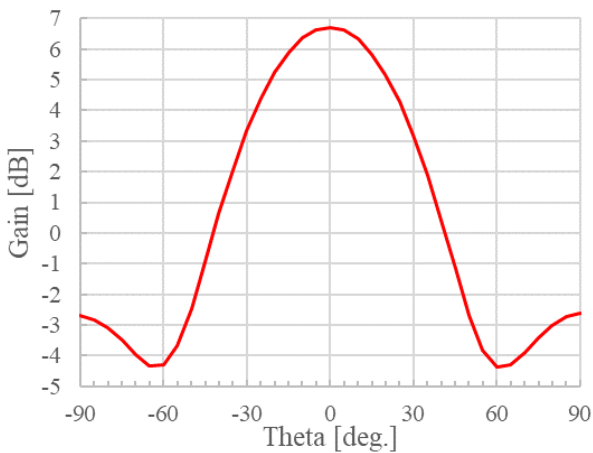
3.2. 提案アンテナの基本特性

提案アンテナの特性について、シミュレーション結果を用いて説明する。図 7 に右旋円偏波における ZX 面の放射指向性を示す。終端負荷が Open の場合は Z_L の値を 1 M Ω 、終端負荷が Short の場合は Z_L の値を 0 Ω に設定した。終端負荷が Open の場合、低仰角方向（±55 度付近）の利得が高いことがわかる。一方、終端負荷が Short の場合、垂直方向（0 度付近）の利得が

高いことがわかる。以上より、提案アンテナは終端負荷 Z_L の値を切り替えることにより、放射方向を変化させて円偏波を放射できることがわかる。



(a) 終端負荷が Open の場合



(b) 終端負荷が Short の場合

図 7 提案アンテナの放射指向性

3.3. 提案アンテナの製作方法の検討

提案アンテナを実際に製作するため、(1) ヘリカルアンテナ素子の構成、(2) 給電回路、(3) 終端負荷の切り替え方法について検討を行った。図 8 に提案アンテナの構成を示す。

(1) ヘリカルアンテナ素子の構成

フレキシブル基板上にアンテナパターンを設け、筒状に丸めることでヘリカルアンテナ素子を構成する。これにより寸法精度の高いアンテナを製作できる。また、アンテナの組み立て後のインピーダンス調整を不要とするため、プリント基板上に配置される給電回路とフレキシブル基板で形成されるアンテナ素子は、組

み立て前にそれぞれでインピーダンス調整を行う。そのため、Antenna 1 のインピーダンス調整をするための整合回路はフレキシブル基板上に配置する。

(2) 給電回路

Antenna 1 へ 90 度位相差給電するため、ウィルキンソン分配器と移相器で構成された給電回路をプリント基板の裏面に設ける。プリント基板の表面にはグラウンドを設ける。給電回路からの電波の放射が円偏波の放射特性へ影響を与えないように、給電回路をシールドケースで覆う構成とする。

(3) 終端負荷の切り替え方法

Antenna 2 の端部とグラウンドの間に、終端負荷としてダイオードを挿入する。また、ダイオードに DC 電圧を印加して制御するための制御線を Antenna 2 へ接続する。ダイオードはフレキシブル基板上に配置し、制御線のパターンはフレキシブル基板上に設ける。ダイオードに印加する DC 電圧を制御することにより終端負荷のインピーダンスを Open とするか、Short とするか切り替える。またアンテナからの電流が制御線へ流れることを阻止するため、制御線には並列共振回路(共振周波数：5060 MHz)、バイパスコンデンサを挿入する。

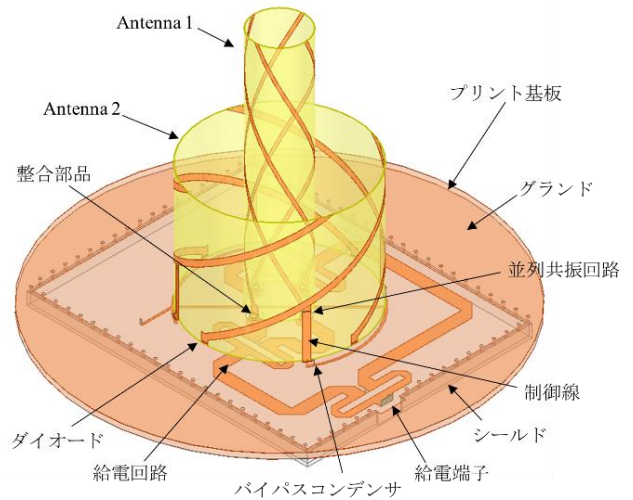


図 8 提案アンテナの構成

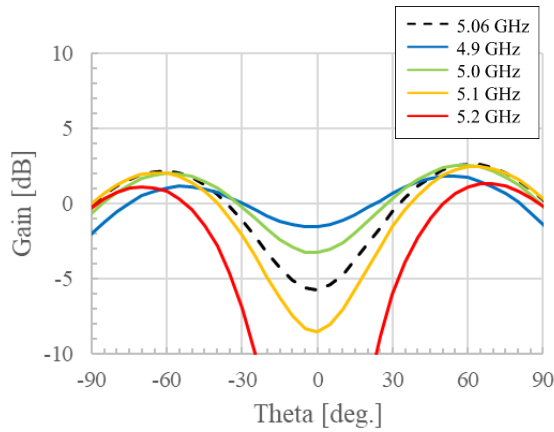
図 8 の提案アンテナの構成での特性について、シミュレーション結果を用いて説明する。周波数による特性の変化を確認するため、設計周波数である 5060 MHz における特性と、4900 MHz から 5200 MHz の周波数範囲 (100 MHz ステップ) における特性を示す。

図 9 に右旋円偏波における ZX 面の放射指向性を示す。5060 MHz において、終端負荷が Open の場合は低仰角方向の利得が高く、終端負荷が Short の場合は垂

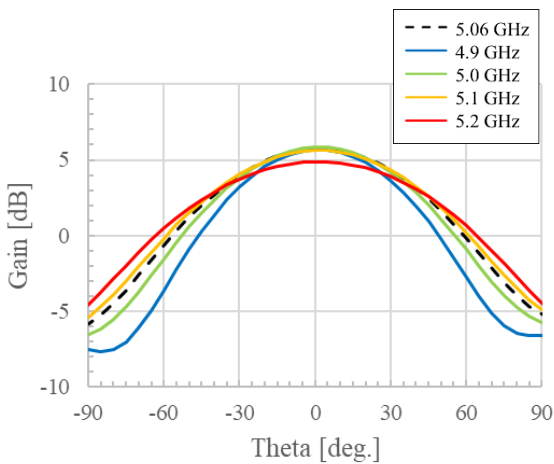
直方向の利得が高いことがわかる。図 7 で示した結果と比較して、利得が約 1dB 低い結果となっている。これは給電回路の損失を含むためと考えられる。

図 10 に ZX 面の軸比特性を示す。終端負荷がいずれの場合においても放射方向において約 3dB 以下の低い軸比が得られており、良好な円偏波特性が得られていることがわかる。

図 9, 10 の結果より、提案アンテナは終端負荷の値を切り替えることにより、広い角度範囲にて円偏波を放射できることがわかる。また 5000 MHz から 5100 MHz の周波数範囲では、放射方向における特性の劣化が見られないことから、HAPS システムで想定されている 5030~5091 MHz の範囲で利用できると考えられる。

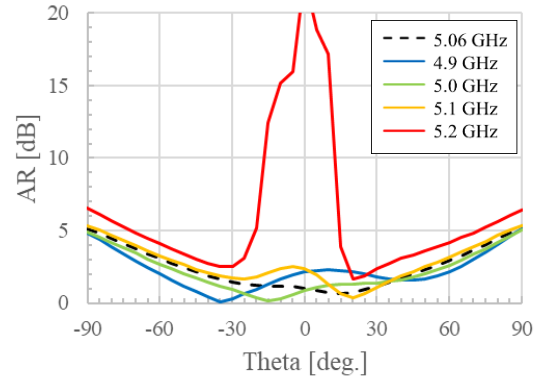


(a) 終端負荷が Open の場合

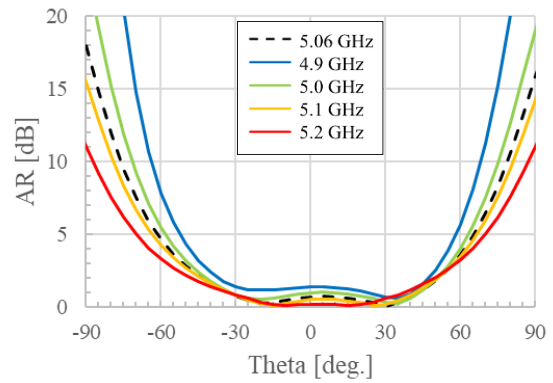


(b) 終端負荷が Short の場合

図 9 提案アンテナの放射指向性



(a) 終端負荷が Open の場合



(b) 終端負荷が Short の場合

図 10 提案アンテナの軸比特性

4. おわりに

本論文では、広い角度範囲にて円偏波を放射できるドローン用アンテナを実現するために、4 線巻きヘリカルアンテナを用いた検討を行った。アンテナの構造によって指向性を高い自由度で設計できる 4 線巻きヘリカルアンテナの特徴に着目し、低仰角方向、垂直方向に放射する 2 つの 4 線巻きヘリカルアンテナから構成されるアンテナを提案した。提案アンテナの放射方向を電氣的に制御するため、終端負荷のインピーダンスを切り替えるといった簡易的な制御方法を提案した。中継局の方向、ドローンの姿勢に応じてアンテナの放射方向を制御するシステムの検討が今後の課題である。

文 献

- [1] 三浦龍,小野文枝,松田隆志,児島史秀,鈴木淳,高盛哲美,“高高度プラットフォーム (HAPS) を利用した 3 次元非地上通信ネットワーク (NTN) の開発 - 広域での UAV 運航管理のための HAPS 中継制御リンクの検討 -,”2021 信学総大,B-3-5, p.209, March 2021.
- [2] 西澤一史,瀧川道生,大橋英征,宮下裕章,小西善彦,“広角放射特性を有する 4 線巻き巻き戻しヘリカルアンテナ,”2009 信学総大,B-1-102,p.102, March 2009.
- [3] 福迫武,円偏波アンテナの基礎,コロナ社,2018.