

## 無人航空機搭載用可変指向アンテナの研究

著者	上羽 正純, 北沢 祥一
雑誌名	室蘭工業大学地域共同研究開発センター研究報告
巻	26
ページ	20-24
発行年	2016-02
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008958">http://hdl.handle.net/10258/00008958</a>

## 無人航空機搭載用可変指向アンテナの研究

著者	上羽 正純, 北沢 祥一
雑誌名	室蘭工業大学地域共同研究開発センター研究報告
巻	26
ページ	20-24
発行年	2016-02
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008958">http://hdl.handle.net/10258/00008958</a>

# 無人航空機搭載用可変指向アンテナの研究

上羽 正純\*1, 北沢 祥一\*2

## 1 まえがき

近年、無人航空機は民生用では農地のリモートセンシング用、あるいは災害地の状況観測やインフラ設備の点検に用いるなどの活用が始まっている。

このような無人航空機は、手動操縦でかつ操縦者の見える 2~300m 距離のみを飛行させるラジコン機ベースのものから、用途によっては 1 km を超え、10km, 100km を超える距離を飛行させることも想定される。このように長距離を飛行する、無人航空機には誘導制御系が搭載され自律飛行することが必然であり、かつ、その飛行状態を地上に送る、あるいは必要に応じて地上から無人航空機にコマンドを送出するテレメトリ・コマンド用の無線通信装置を搭載する必要がある。

一方無人航空機は軽量化のため、胴体部分には主に炭素繊維強化プラスチック (CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic) を用いられることが多く、さらに高速で飛行する場合には空力特性に影響を与えないよう、機体からの突起を出来るだけ少なくすることが求められている。従って、アンテナは低背であることと、導電性の CFRP によるアンテナの放射特性への影響を考慮する必要がある。またテレメトリに関しては、機体の姿勢が変わってもテレメトリの回線が切れないことが求められている。

これらの要求に応えるアンテナとして、機体の円周方向に 3 つのスロットアンテナを備え、地上に指向しているスロットアンテナのみを使用する構造で全周方向がカバーできるが、機体が導電性材料である場合は、放射パターンに大きなリップルが生じることを報告した [1]。本報告では、アンテナの設置場所を胴体中央部から機首に変え、新たにモノポールアンテナとスロ

ットアンテナの特性解析を行い、スロットアンテナを試作し、その放射パターンの評価を行った結果を述べる。

## 2 高速無人航空機の概要とテレメトリ

ここでは高速無人航空機として航空宇宙機システム研究センターで開発中の、第二世代 小型超音速飛行実験機を例として検討を進める。図 1 に、諸元を表 1 に示す。この実験機は全長 5.8m, 胴体部の直径 30cm, 主翼は翼幅 2.4m, 面積 2.15m<sup>2</sup>, 目標飛行マッハ数は、2.0 である。飛行実験は北海道の大樹町や白老町の滑走路から離陸し、第 1 段階では最大 10km 遠方までの飛行を、最終的には最大 100km 遠方の海上まで最大高度 11km 程度で飛行する。

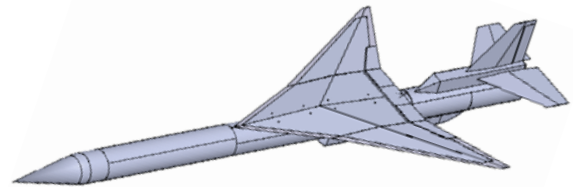


図 1 高速無人航空機の例

表 1 高速無人航空機の緒元

全長	5.8m	
胴体部 直径	0.3m	
主翼	翼幅	2.4m
	面積	2.15m <sup>2</sup>
目標飛行マッハ数	2.0	

機体はアルミフレームを用い、軽量化のため胴体表面は、CFRP を使用する。胴体部分には、胴体後端に搭載しているジェットエンジン 1 基用の燃料タンクが搭載されており、先端のコーン部分には制御系の機器

\*1 室蘭工業大学 もの創造系領域

\*2 (株)国際電気通信基礎技術研究所

や無線部を搭載する。

次に、実験機に搭載する無線システムについて説明する。図 2 に示すように、地上から実験機にコマンドを送るコマンド系は 400MHz 帯を用い、実験機の飛行状態等を知らせるテレメトリ系は 1.2GHz 帯を用いる。このテレメトリ系の諸元は表 2 に示すようになっており、出力 30dBm、ビットレート 138.24kbps、実験機搭載のアンテナは 2.1dBi の直線偏波、地上の受信アンテナは 16dBi で円偏波にし、機体の姿勢が変化しても受信レベルが大きく下がらないようにしている。

小型無人超音速実験機

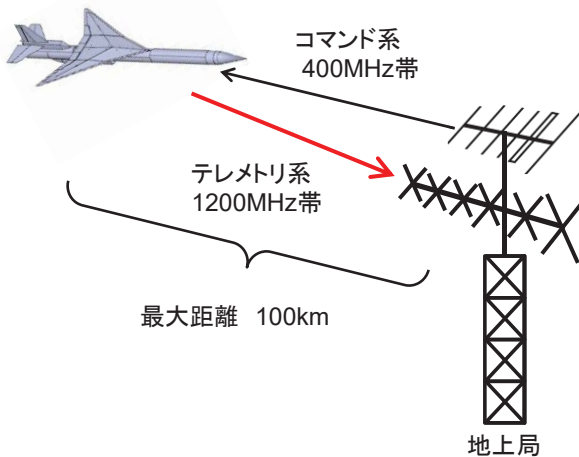


図 2 コマンド・テレメトリ系のイメージ

表 2 テレメトリの諸元

周波数	1.2815GHz
送信電力	30dBm
伝送速度	138.24kbps
変調方式	FSK
通信距離	最大 100km
アンテナ	実験機: 2.1dBi (直線偏波) 地上側: 16dBi (円偏波)

上記の条件で RF 系でのスイッチや同軸ケーブルの損失を 2.1dB、受信機の NF は 2dB、受信帯域幅 6MHz とし、リンクバジェットを計算した。表 3 の計算結果に示すように、距離 10km では回線のマージンが十分にあるが、100km では回線のマージンが 6.5dB となっている。ただし FEC による符号化利得を 5dB 見込んでおり、100km でも 10dB 程度のマージンが確保できる見込みである。

表 3 リンクバジェット

距離	10km	100km
自由空間伝搬損失 [dB]	114.6	134.6
受信機入力電力 [dBm]	-68.6	-88.6
受信雑音電力 [dBm]	-104.0	
S/N 比 [dB]	40.2	15.5
マージン [dB]	31.2	6.5

### 3 テレメトリ用アンテナ

実験機は超音速での飛行を計画しているため、空力特性に影響を与えないよう機体には突起物が無いことが要求されており、アンテナにも同様なことが要求されている。本章では、実験機に装着したアンテナの放射特性を確認のため、まずモノポールアンテナの検討を行った。さらに空力特性を考慮して、低背なアンテナとして選択したスロットアンテナでの検討結果を述べる。

#### 3.1 モノポールアンテナ

機体に装着したアンテナの基本的な放射性能を確認のため、1/4 波長のモノポールアンテナの性能を電磁界シミュレータで確認した。シミュレーションは、解析のメモリ制限もあり、図 1 に示した実験機の翼より前方の胴体の部分のみで行い、機体は CFRP の使用を想定して導電率を 51,000S/m とし計算している。図 3 は解析した形状で、モノポールアンテナは先端のコーン部分に近い機首部分に設けている。

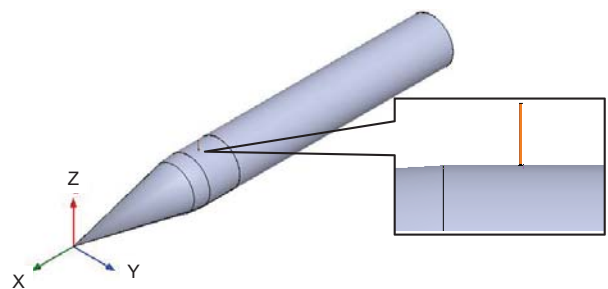
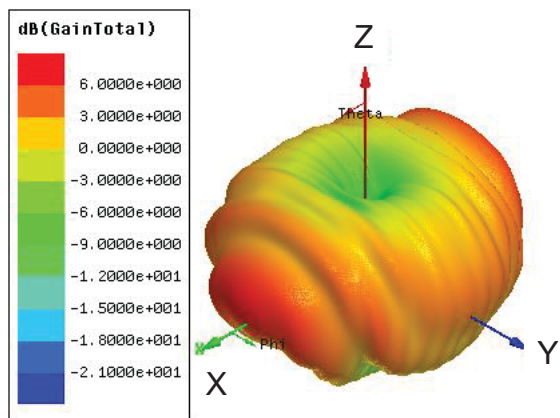
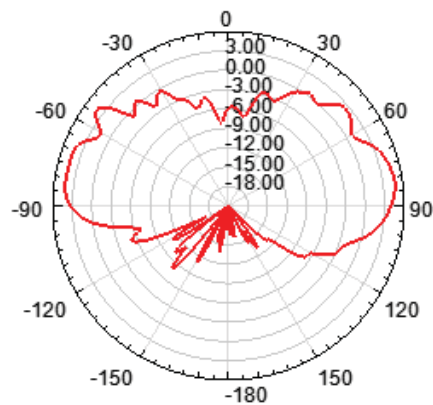


図 3 モノポールアンテナの解析形状

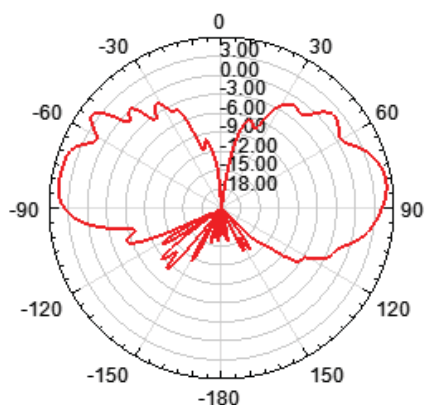
解析結果を図 4 に示す。図 4 (a) は 3 次元の放射パターンを示しており、X 軸方向が機首になる。また図 4 (b) は、ZX 面での放射パターンを示しており、ここで 90 度方向が機首で -90 度方向が後方となる。モノポールアンテナであるため、Z 軸方向にヌル点が存在し、±50 度ほどで利得が 0dBi 以下となっている。また放射パターンにリップルが有るのは、機体が導電性の



(a) 3次元放射パターン



(b) ZX面放射特性

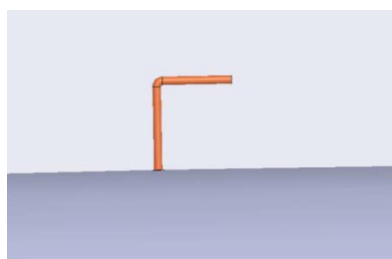


(b) ZX面放射特性

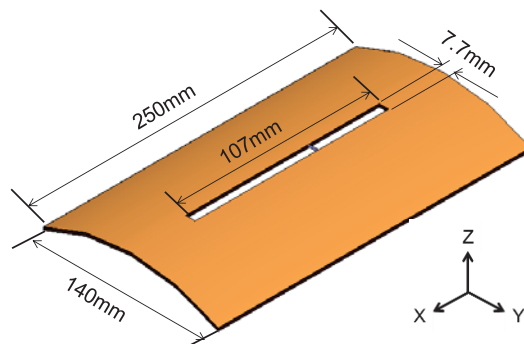
図5 ベント型モノポールとアンテナの放射特性

図4 モノポールアンテナの放射特性

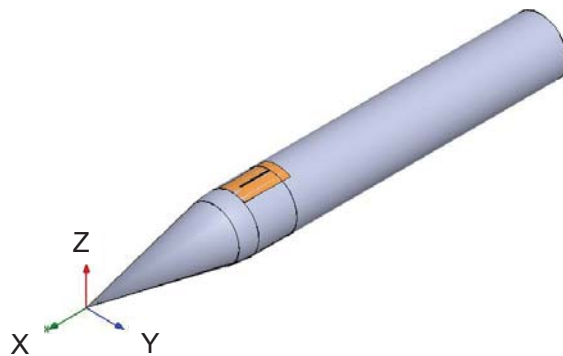
CFRP のため、特に胴体の長い後方でその影響が顕著である。放射パターンには 0 度方向にヌル点があるため、受信点が機体直下にある場合や飛行姿勢によっては、受信電力の低下が考えられる。そこで、Z 軸方向のヌル点を改善するため、図 5 (a) に示すような、モノポールアンテナの先端部分を折り曲げたベント型モノポールも評価した。Z 軸方向のヌル点が若干解消されるが、それでも図 5 (b) に示すように  $\pm 60$  度は 0dBi 以下の利得となっている。



(a) ベント型モノポール部拡大図



(a) スロットアンテナの形状



(b) 解析構造

### 3.2 スロットアンテナ

機体の空力性能に影響を与えない平面型のアンテナとして、スロットアンテナ<sup>10)</sup>の検討を行った。スロットアンテナの形状を図 6 (a) に、またスロットアンテナを CFRP の胴体に装着した解析構造を図 6 (b) に示す。また、アンテナ単体としては図 7 に示すような放射特性を有する。

図6 スロットアンテナ

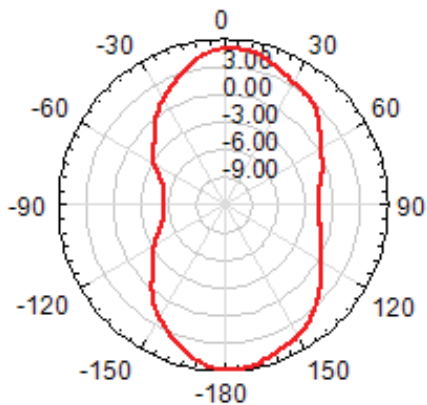
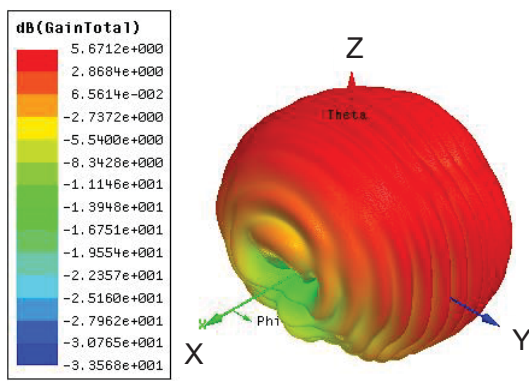
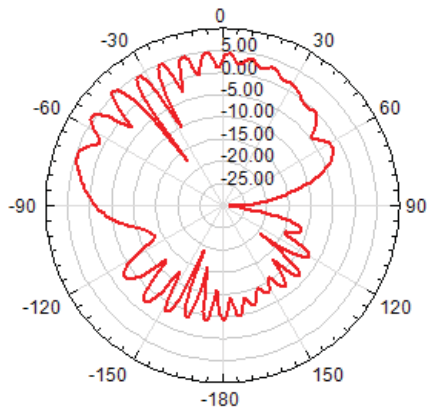


図 7 スロットアンテナの単体での放射特性



(a) 3次元放射パターン



(b) ZX面放射特性

図 8 胴体に装着したスロットアンテナの放射特性

次に図 6 (b)に示すように胴体にアンテナを装着すると図 8 に示す通り、放射パターンにリップルが生じているのが確認できる。このとき 90 度方向が機首方向である。機首方向に比べ、胴体のある後方、特に-30 度

から-60 度にかけては、利得の深い落ち込みがあり、胴体の影響が大きいことがわかる。なお図として示していないが、胴体を繊維強化プラスチック (FRP: Fiber Reinforced Plastics) にした場合も解析を行った。結果、FRPではこのようなリップルが無いことを確認している。

### 3.3 スロットアンテナの評価

シミュレーションを基に、厚さ  $t=0.3\text{mm}$ 、長さ  $L=250\text{mm}$ 、幅  $W=150\text{mm}$  の銅板に、図 9 示すように長さ  $L_1=107\text{mm}$ 、幅  $W_1=6\text{mm}$  のスロットを形成し、放射特性を評価した。

このスロットアンテナは、スロット中央で給電すると給電点インピーダンスが約  $500\Omega$  であるが、給電位置をずらすことで  $200\Omega$  で給電できる。そこで 1:4 バランを用いて評価を行った。バランの平衡ポートを  $200\Omega$  で終端した場合の周波数特性を図 10 に示す。整合のとれている周波数が若干低周波側で整合しているが、今回の測定には問題ないと判断し、このバランで評価を行った。

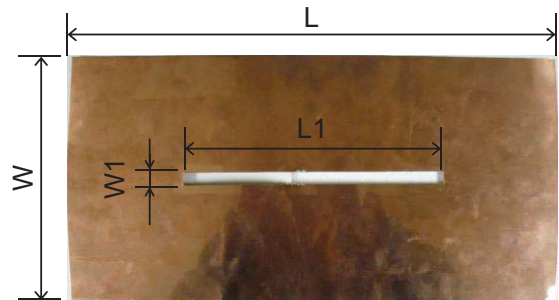


図 9 試作したスロットアンテナの概観

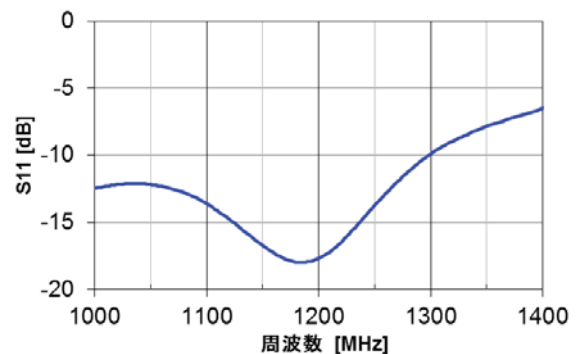
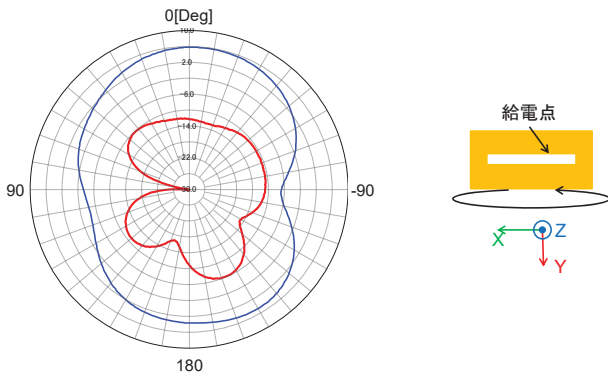


図 10 1:4バランの周波数特性

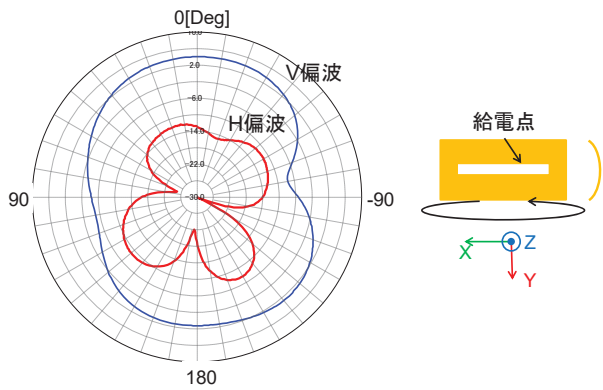
試作アンテナの放射特性を以下に示す。まず最初にスロットアンテナ単体での放射特性を確認した。図 11 (a) は平面型のスロットアンテナの場合で、最大利得が  $5.8\text{dBi}$  であった。また図 11 (b) はアンテナを胴体



に装着することを想定し、曲面にした場合の ZX 面での放射特性である。この場合の最大利得は、平面の場合より若干利得が下がり、4.1dBi であった。



(a) 平板型のスロットアンテナ



(b) 曲面型のスロットアンテナ

図 11 スロットアンテナの放射特性

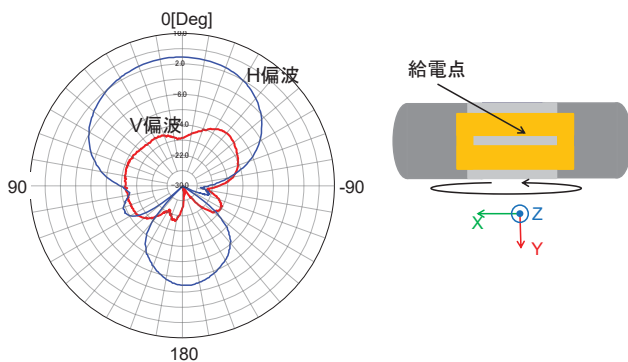


図 12 金属筒にアンテナを装着した場合の放射特性

次に胴体にアンテナを装着した場合の影響について基礎検討を行った。今回は直径 300mm 金属筒が無く、手持ちの直径 210mm、長さ約 1m の胴体部を模擬し

た金属筒で評価を行った。評価結果を図 12 に示す。最大利得は 3.9dBi であった。この金属筒の長さでは、シミュレーションにおいても、胴体に装着した場合シミュレーションのように放射パターンにヌル点が見れることはなかった。

#### 4 おわりに

小型無人超音速実験機に搭載予定のテレメトリ装置に用いる 1.2GHz 帯アンテナについて、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) を胴体として用いた場合のアンテナの放射特性に与える影響を含めた検討を行った。シミュレーションの結果、導電性の胴体にスロットアンテナを装着すると、モノポールアンテナに比べ、放射パターンに大きなリップルが生じることが判明した。またスロットアンテナを試作し評価した結果、アンテナ単体では 5.8dBi の利得があり、シミュレーションとも良い一致を見た。さらに胴体に装着することを模擬し、金属筒に試作アンテナを張り付けた状態での放射パターンの測定もおこなったが、筒長が短いためかシミュレーション、測定とも放射パターンにリップルは出なかった。

今後、胴体長を変え、放射パターンへの影響の評価や、実際の素材である CFRP にアンテナを搭載した場合での放射特性への影響やその対策について検討する計画である。

#### 文 献

- [1] 北沢祥一, 上羽正純, “小型無人超音速実験機テレメトリ用指向性切り替えアンテナに関する考察,” 第 58 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 3E-10, November, 2014
- [2] A. Galehdar, P.J. Callus and K. Ghorbani, "A Novel Method of Conductivity Measurements for Carbon-Fiber Monopole Antenna," IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol.59, no.6, pp.2120-2126, June 2011
- [3] “アンテナ工学ハンドブック”, 電子情報通信学会編, pp152-154, オーム社, 平成 20 年 7 月 25 日