



小型無人超音速実験機向けテレメトリー用無線通信装置の性能評価

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター 公開日: 2016-12-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 上羽, 正純, 高久, 雄一, 石濱, 勇樹 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009136

小型無人超音速実験機向けテレメトリ用無線通信装置の性能評価

○上羽 正純（航空宇宙システム工学ユニット 教授）

高久 雄一（航空宇宙システム工学ユニット 助教）

石濱 勇樹（機械航空創造系学科 4年）

1. はじめに

室蘭工業大学・航空宇宙機システム研究センターでは、大気中を高速度で飛行するための革新的な基盤技術を創出する研究開発を推進しており、地上で研究された基盤技術を実際の高速飛行環境で飛行実証するための小型無人超音速実験機（フライング・テストベッド FTB）の構築を進めている。

本実験機を長距離飛行させるには、実験機に搭載したセンサにより位置、速度、姿勢等の飛行状態を計測し、それらデータをリアルタイムで無線伝送するとともに、地上からのコマンドを実験機に伝える遠隔監視制御系を構成（図1）することが必須である。無線伝送するために実験機に搭載あるいは地上で準備する無線通信装置は、最終的な飛行距離である 100 km の伝送できる能力が必要である。ここでは、本遠隔監視制御系として、10 km 程度の飛行距離を想定して選定した市販無線通信モジュール及び 100 km の飛行実験距離にも対応可能なよう 2014 年度開発したテレメトリ無線通信装置の性能評価を行った結果を報告する。

また、本テレメトリ回線を実現するためには、実験機に搭載するアンテナも重要である。ここでは、スロットアンテナを用いて機体の導電性の影響の評価ならびにその影響軽減のための対策を検討した結果も報告する。

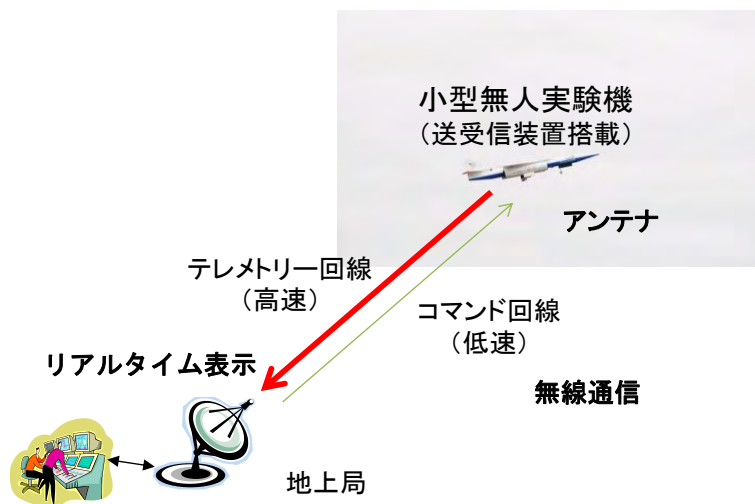


図1 遠隔監視制御系構成

2. 無線通信装置の構築

最終的な実験機は 100 km 飛行するために、それだけの距離を無線伝送可能な装置が必要であるが、最終的な実験機が完成するまでの途中段階の誘導制御系技術等の実証の観点からは、プロペ

ラジコン機、ジェットエンジンラジコン機等の小規模、中規模サイズの実験機が使用される。この場合、これら中間段階の実験機では最終的な実験機に比して搭載スペースが小さく、飛行距離も最大 10 km 程度であるために、規模に応じて搭載可能な市販の無線通信機器を使用しつつ、最終的な無線通信装置を段階的に準備することが現実的である。

飛行実証のための距離を勘案して、500 m 程度、10 km、100 km の 3 段階の無線伝送距離に区分して、前 2 つの伝送距離の場合には市販の無線通信を、100 km の伝送距離においては特注品を製作することとした。500 m 程度の無線伝送距離については、XBee Pro を使用することとし、その伝送特性評価は完了している^[4]。10 km 用及び 100 km 用については、それぞれ市販無線通信モジュールの使用、特注品による製造を行うことにし、これらについて性能評価を行った。

2-1. 10 km 用無線通信装置

TWE-Strong (図 2) については、2014 年度は、地上 800 m 距離での伝送実験を行っているが、2015 年度は、送信側は模型航空機、受信側は地上として 800 m 距離での伝送実験を行った。模型飛行機 (カルマート $\alpha 60$) に慣性航法装置 (Tiny Feather) を搭載して、それにより計測される位置、速度、加速度等の 40 ms 間隔で送信される 78 バイトのデータを地上で受信したときの受信バイト数で受信率を評価した。受信率を表 1 に、模型飛行機の飛行エリアと受信点の位置関係を図 3 に、実際の飛行軌跡を図 4 に示す。



外観

使用アンテナ	伝送距離
内臓アンテナ	1.7km
無指向性アンテナ	3.1km
八木宇田アンテナ	10km

伝送距離

表 1 受信率

実験回数	受信率
第一回	94.2
第二回	94.8

図 2 TWE-STRONG の外観と伝送性能



$\alpha 60$ 旋回

受信点

図 3 無線伝送特性試験場所

最大 810 m 程度の伝送距離において、平均 94.5 % の受信率を得た。事前に昨年度と同様に地上-地上間 1 km での受信率の測定を行い、99.97 % の受信率を得ている。昨年度の模型航空機を用いた短距離 (200 m) での無線伝送特性試験結果 89.5 % に対して受信率は向上している。これは距離

が遠いため、模型飛行機の姿勢変化によるアンテナのヌル点、偏波面のずれの影響が少なかったためであると思われる。

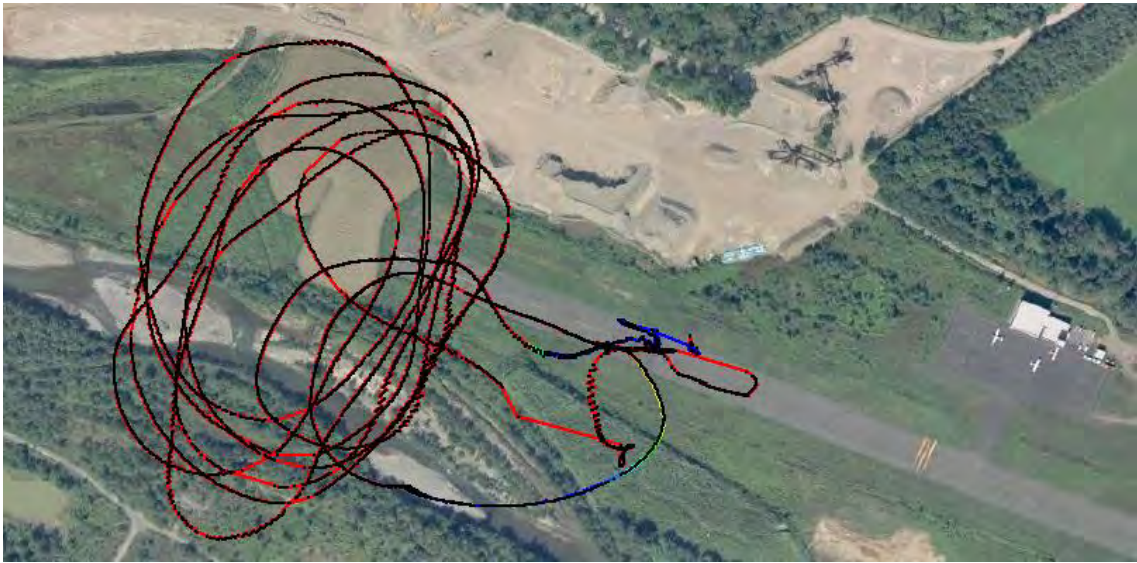


図4 模型飛行機の飛行軌跡（第2回目）

2-2. 100 km 用無線通信装置

2013年度製作のテレメトリー受信装置²⁾、2014年度製作のテレメトリー送信装置³⁾を用いて、伝送距離10 km程度までの距離に対する受信率を室蘭市内で試験により評価した。測定地点の場所として3 km~10 km程度で見通しが得られる図5、6に示す2か所を選定した。

送受の測定点(図7、8)においては、3.6 m高のスタンド上部に無指向アンテナを取り付けた。試験結果(表2)に示すように2か所の測定点で、100%の受信率が得られた。



図5 トッカリショ展望台—イタンキ浜（距離 3.6 km）

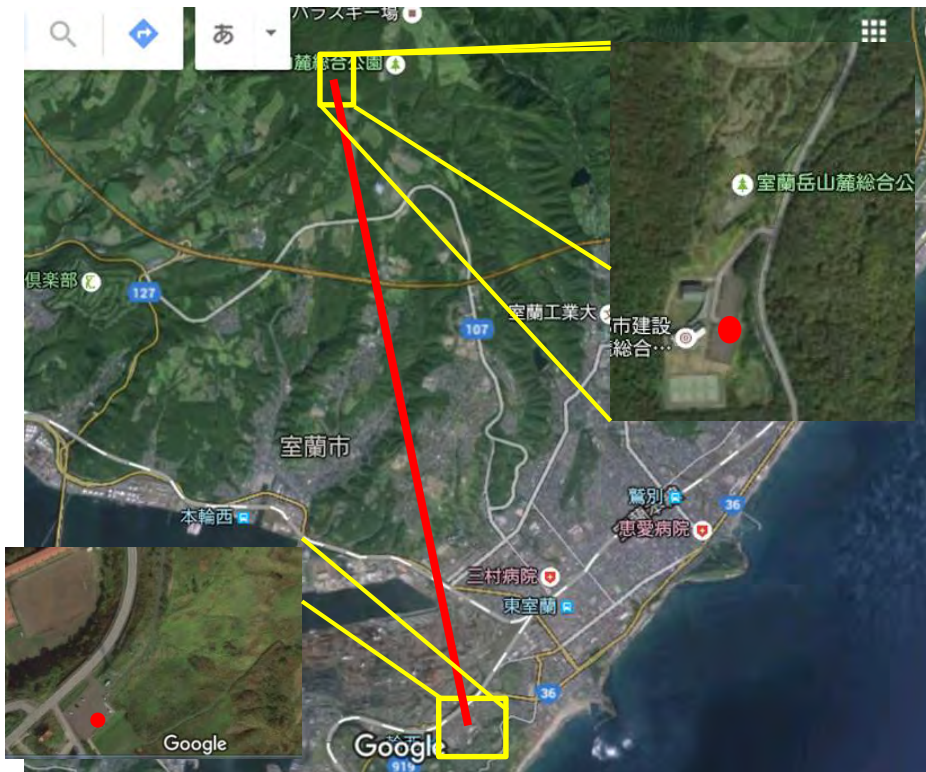


図6 だんぱらー潮見公園展望台（距離 8.6 km）

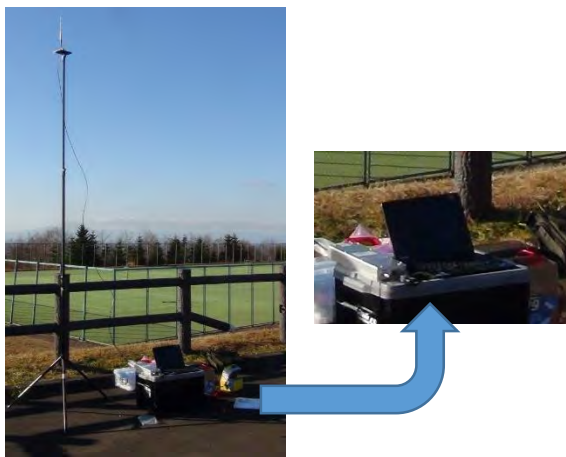


図7 本格版送信系設置状況(8.6 km)

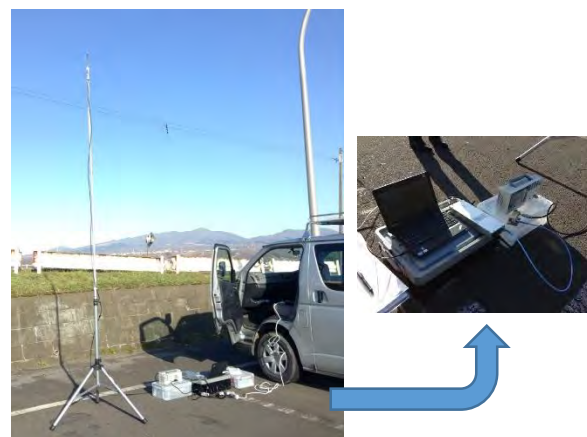


図8 本格版受信系設置状況(8.6 km)

表2 受信率結果

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	平均
3.6 km							
受信量[byte]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
受信率 %	100	100	100	100	100	100	100
8.6 km							
受信量[byte]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
受信率 %	100	100	100	100	100	100	100

3. テレメトリ送信用アンテナ

テレメトリ回線を実現するために重要な装置の一つはアンテナである。特に小型無人超音速機に搭載するアンテナには、空力的に抵抗とならない形状にて、超音速機の姿勢によらず、地上受信局方向に利得を有し、かつ、その利得については可能な限り大きいことが要求される。

さらに、CFRP という導電性の高い材料を機体を使用する場合には、その影響は無視することができず、影響を考慮した上で、所望のアンテナパターン、利得を有するアンテナを設計する必要がある。

ここでは、第一検討として、空力的に影響がなく、ある程度すべての方位に利得を有するスロットアンテナを図9のように機体軸周りに120度ずつずらして3枚の配置について、性能をシミュレーションにより評価する。

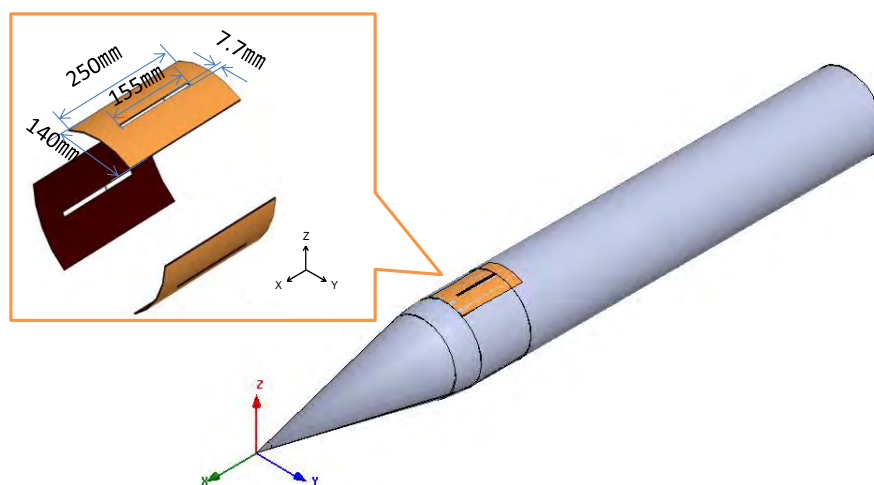


図9 送信アンテナ及び機体実装

3-1. スロットアンテナ単体性能

図10に示すサイズを有するスロットアンテナ単体を電磁界シミュレータのHFSSにて解析し放射パターンや共振特性を求めた。本スロットアンテナは、オオワシの胴体部に沿わすことを想定して幅方向を円弧としている。図11に示すように使用周波数である1281.5 MHz付近に共振点を有し、図12に示すようにYZ面においては $\pm 30^\circ$ の範囲で0 dB以上、 $\pm 60^\circ$ の範囲では-4 dB以上の利得を有し、XZ面においては、-X方向の利得は不足しているものの、 $-60^\circ \sim +30^\circ$ の範囲で-4 dB以上の利得、 $-30^\circ \sim +10^\circ$ の範囲で0 dB以上の利得を有している。

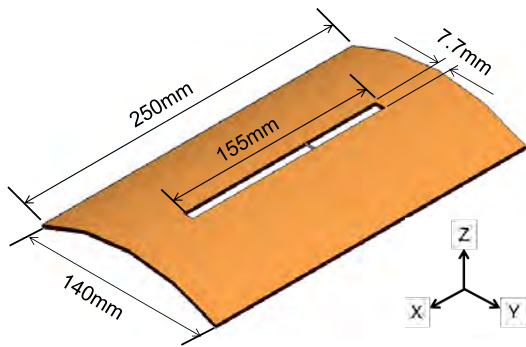


図10 スロットアンテナ概観

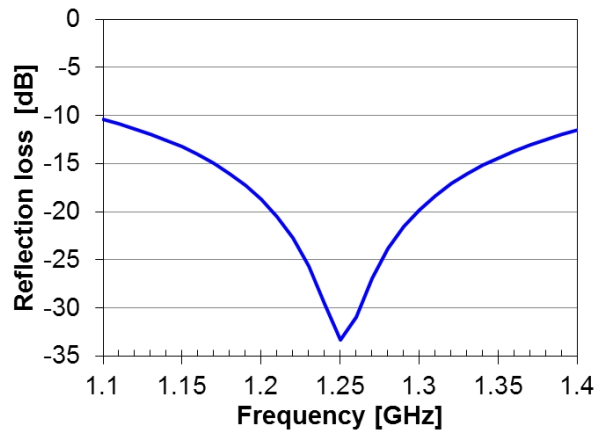
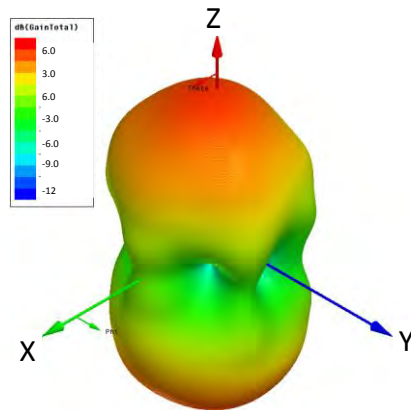
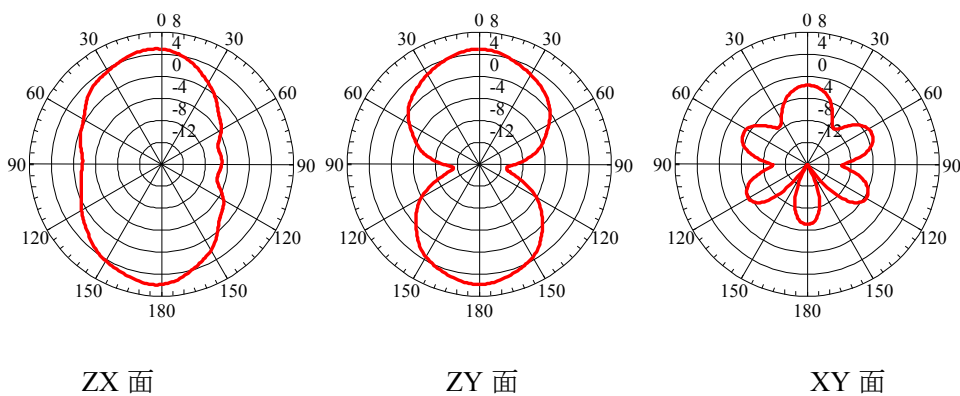


図11 スロットアンテナの共振特性



(a) 3D 表示



(b) カット面での放射パターン

図12 スロットアンテナの放射パターン

3-2. 機体の導電性の影響評価

オオワシ機体全体でのシミュレーションを行うためには機体サイズが大きく、現在所有の計算機ではメモリが不足する。そのため図13に示すように機体全長 5.8 m に対して、先端から 2.4 m

の胴体部のみでシミュレーションを行い、機体の導電性の影響を評価した。また、機体材料としては、通常航空機で使用される CFRP と絶縁性の高い FRP の 2 種類を想定した。

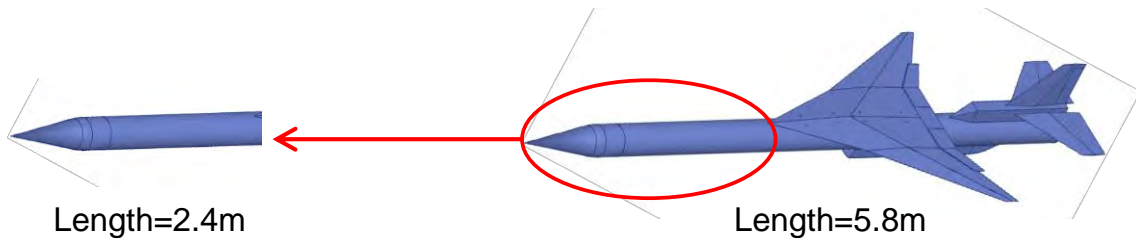


図 1 3 オオワシでのシミュレーション部分

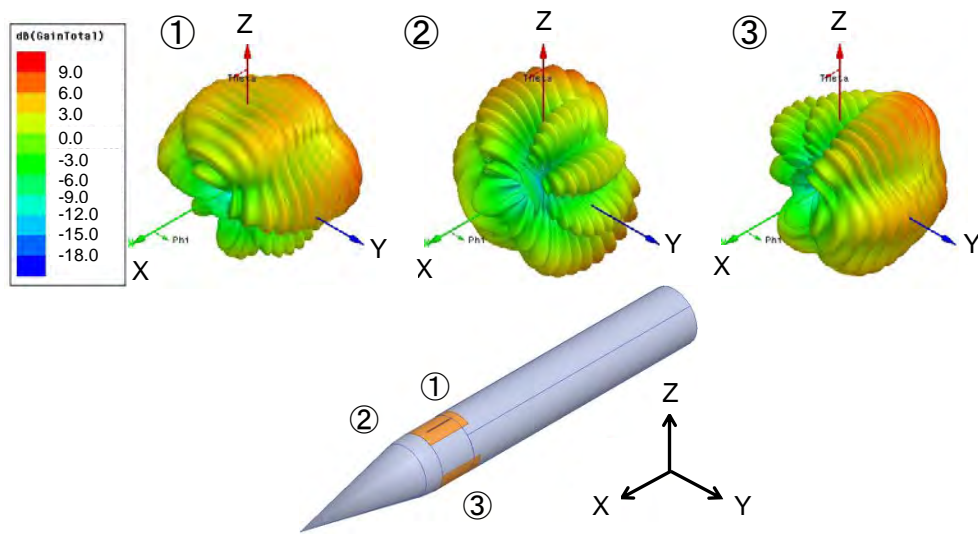


図 1 4 機体が CFRP の場合

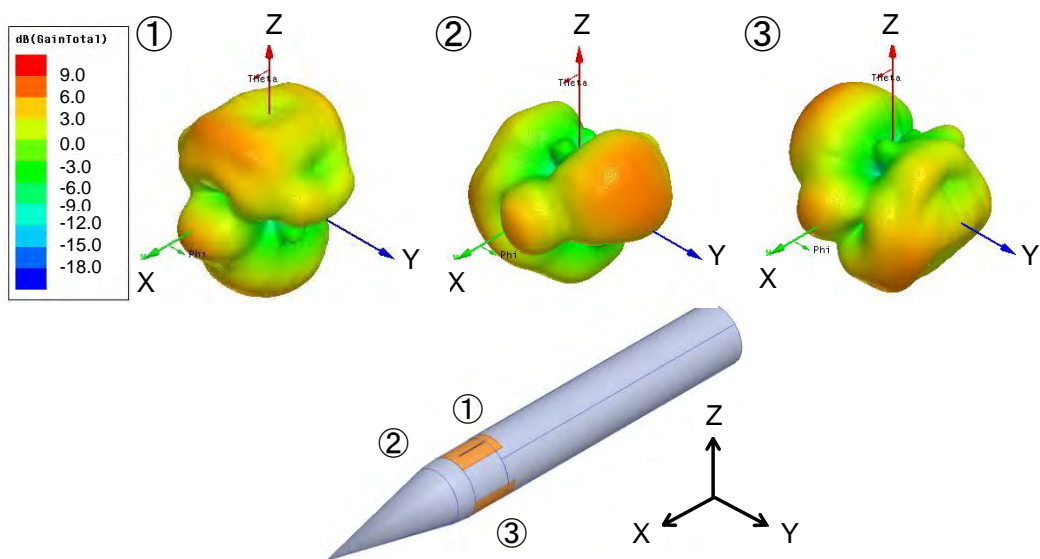


図 1 5 機体が FRP の場合

図 1 4 に CFRP を使用した場合，図 1 5 に FRP を使用した場合のアンテナパターンを示す．CFRP を使用すると機体の導電性の影響を受けて，アンテナパターンにリップルが発生しているものの，FRP の場合にはリップルが発生していない．ただし，アンテナパターンとしては機体という障害物の影響を受けて変形している．

3-3. アンテナと機体の間に誘電体を挟んだ場合の放射特性

CFRP 機体でのアンテナの放射特性の改善のため，アンテナと機体の間に誘電体を挟んだ場合の放射特性を FR4（比誘電率 4.5）と PTFE（比誘電率 2.1）の 2 種類の誘電体を用いた場合についてシミュレーションで評価した．その結果を図 1 6，図 1 7 にそれぞれ示す．このように単に誘電体の誘電率を変えても放射特性には大きな改善は見られなかった．

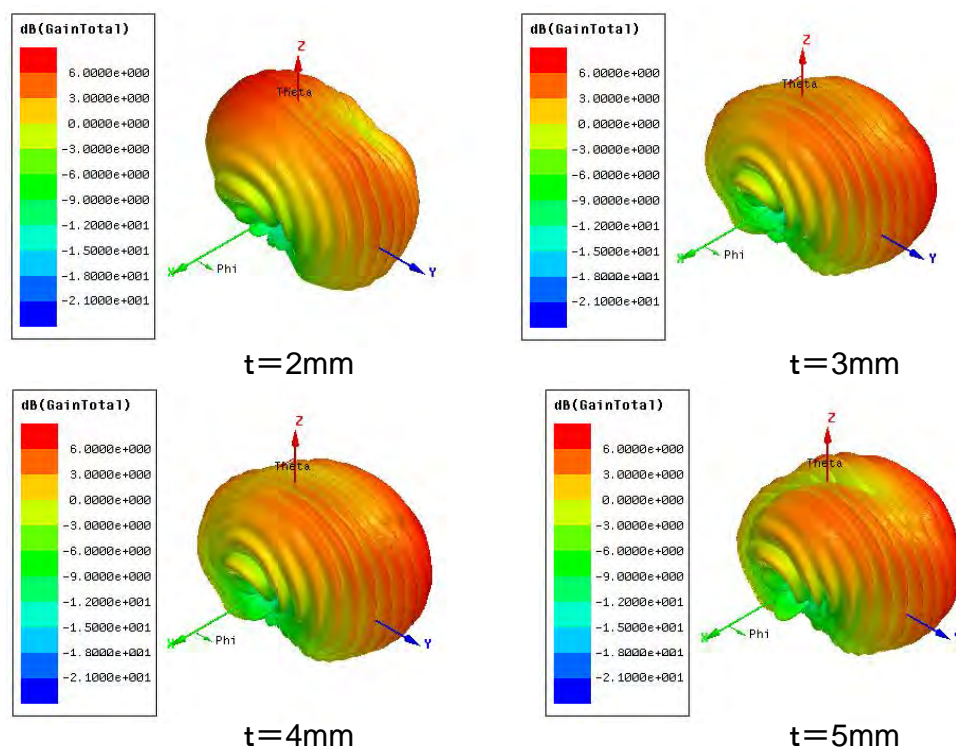


図 1 6 PTFE を挟んだ場合の放射特性

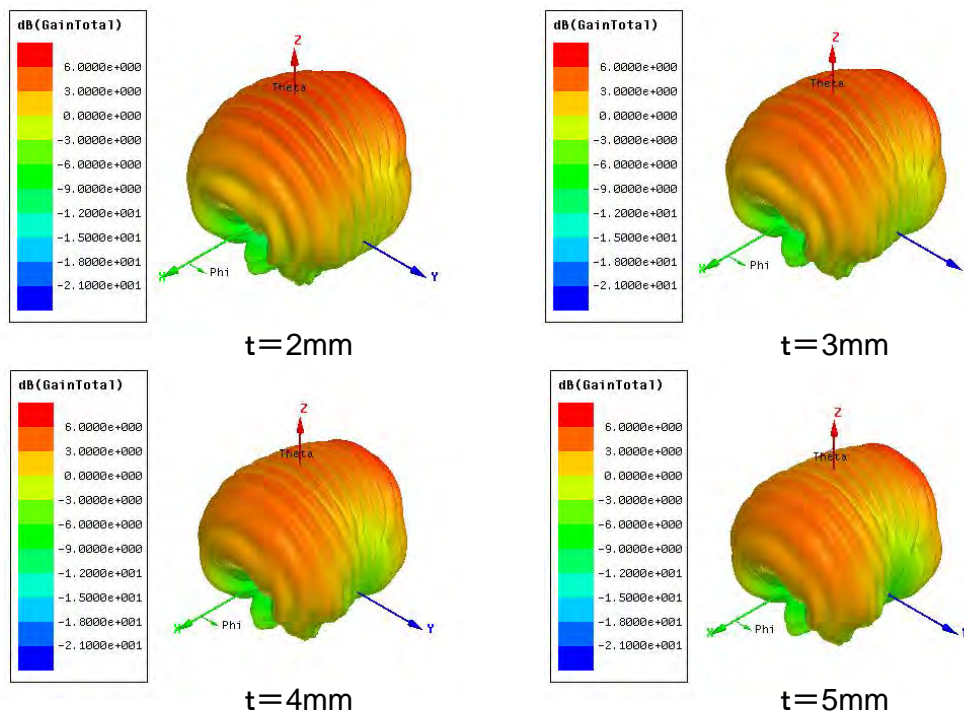


図 17 FR4 を挟んだ場合の放射特性

4. まとめ

最大 10 km まで無線伝送可能な市販品無線通信モジュールを実際に無人航空機に搭載し、1 km 以下での伝送特性として受信率を評価した。また、100 km テレメトリー送受信装置については距離 8.6 km までの伝送による受信率を評価し、本距離では 100 % であることを確認した。さらに、搭載用テレメトリー送信アンテナとして、スロットアンテナについて機体が CFRP 及び FRP 製の時のアンテナパターンへの導電性の影響を評価した。この結果、導電性の高い CFRP のみならず、FRP を使用してもアンテナパターンが乱れ、かつ、スロットアンテナと機体の間に誘電体シートを使用しても特性は改善しないことを確認した。今後テレメトリー送受信装置については模型飛行機に搭載しての伝送実験を行うとともに、搭載アンテナについては機体の導電性による影響を小さくする方法を検討する。

参考文献

- [1]上羽, 野口, 竹内, “小型無人航空機向け遠隔監視制御用無線通信装置の構築”, 航空宇宙機システムセンター年次報告書 2013, pp.78-80.
- [2]上羽, 竹内, “小型無人超音速実験機向けテレメトリー用無線通信装置の開発”, 航空宇宙機システムセンター年次報告書 2014, pp.110-113.