

GPS／イリジウム用コンフォーマル・コンパクトアンテナの開発

川原康介, ○鎌田幸男 (宇宙航空研究開発機構)

The Development of Conformal Compact Antenna for GPS and Iridium Antenna

Kosuke Kawahara, Yukio Kamata (JAXA)

Key Words: CCA, GPS and Iridium antenna, Sounding Rocket

Abstract

A Conformal Compact Antenna (CCA) is developed for an onboard antenna of sounding rocket. This antenna is not stick out from the rocket surface. The CCA has advantages from the aspect of aerodynamic heating. This report introduces the electric features of CCA and an availability to the future missions.

1. 概要

JAXA 宇宙科学研究所(ISAS)では、高度 80km 以上の上空で行う理学観測や高真空・微小重力環境を利用した工学実験を主な目的とした観測ロケットの打ち上げを行っている。観測ロケットは衛星軌道投入用ロケットと異なり弾道飛行を行うため、ロケット自身が宇宙空間を飛びながら落下するまでの時間が観測や実験の場として使用される。取得された観測データは、ロケット搭載のテレメトリ送信機により地上に送られる。観測ロケットには、テレメトリ送信機以外にもロケットの位置標定を目的としたレーダトランスポンダや GPS 受信機が搭載されており、これら通信機にはそれぞれに対応したアンテナがロケット機壁に搭載されている。これらアンテナは外部に露出しているため、ロケットが大気層を飛翔する間に受ける空力加熱の影響を低減させるために、ロケット機壁から極力外に飛び出さない低姿勢な形状が求められると同時に耐熱性も要求される。さらに、観測ロケットではスピン安定を採っているため、ロケットの姿勢安定の観点からもアンテナの形状は低姿勢である事が望ましい。

筆者らはロケット搭載時にアンテナ表面がロケット機壁表面と面一になり一体化した小型・軽量のコンフォーマル・コンパクトアンテナ (CCA) を開発した。従来のロケット搭載用アンテナの場合、アンテナ自身がロケット構体表面から飛び出しているため、空力特性に影響を与えるだけでなく、アンテナ自身が高熱環境に曝される。図 1 にロケット搭載の S バンドアンテナ (S-ANT) における熱解析結果を示す。空力加熱を最も受ける部分では 550℃以上に昇温しており、アンテナ自身が厳しい熱環境に曝されて

いる事が分かる。一方、CCA はロケット構体表面から一切飛び出さない形状をしているためロケットが受ける空力特性に全く影響を与えないという特徴を持っている。

本報告で紹介する CCA は GPS アンテナとして周波数調整されており、2015 年 9 月 11 日に打ち上げられた S-520-30 号機に搭載された。図 2 と図 3 にロケットに搭載された状態での CCA の外観写真を示す。

本報告では、CCA の概要や電気特性について述べると共に CCA の用途について今後の可能性について述べる。

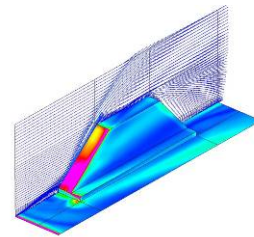


図 1 空力加熱による温度解析結果 (S-ANT)

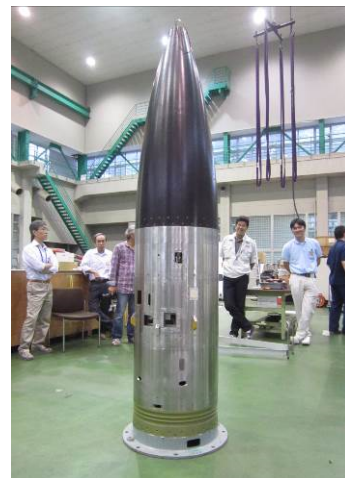


図 2 ロケット搭載時の CCA 外観写真 (S-520-30)

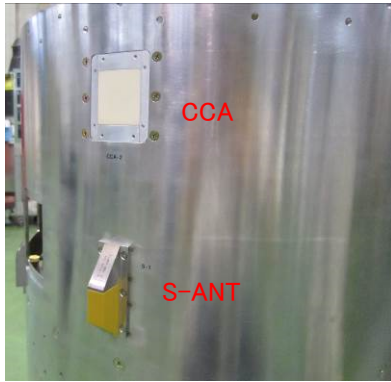


図3 ロケット搭載アンテナの外観写真

2. CCA 概要

図4にCCAの外形寸法を、図5に構造図を示す。CCAはGPS受信周波数(L1)に対応したLバンドマイクロストリップアンテナである。アンテナエレメントに摂動素子を設ける事により、1点給電による右旋円偏波アンテナとなっている。また、アンテナ自身をロケット機壁に埋め込むことにより、アンテナ開口面が機壁表面と面一となりロケット胴体と一体化する構造となっている。観測ロケット搭載用GPSアンテナには、GPSアンテナとしての基本的電気性能(周波数、偏波等)の他に、小型、軽量、低姿勢(low profile)且つ、耐環境性(振動、衝撃、熱環境、耐湿性)を有している必要が有る。そこでCCAでは、アンテナ基板に誘電率が10の高誘電率誘電体基板を採用する事で、波長短縮効果によるアンテナの小型化を行っている。また、アンテナカバーにアンテナ基板と同じ誘電率10のセラミック材を使用する事により、更なる小型化を図っている。誘電体カバーの材質はアルミナであり、最高使用温度は1500℃である。誘電体カバーはロケットが受ける空力加熱からアンテナエレメントを保護する耐熱カバーとしての機能も併せ持っている。以下に本CCAの主な特徴を挙げる。

- ・ 1点給電Lバンド右旋円偏波アンテナ
- ・ ロケット胴体に沿った形状で、ロケット胴体と一体化した構造
- ・ ロケットインタフェースプレートである地板を含めても外径寸法は55mm×56mm×7mm以下に小型化
- ・ 地板を含めたアンテナ全重量は75gと軽量化
- ・ 低吸湿性であり、降雨時の高湿度環境下でも電気特性が変化しない
- ・ 温度1500℃まで使用可能なアンテナカバーで保護する事により高耐熱性を有している

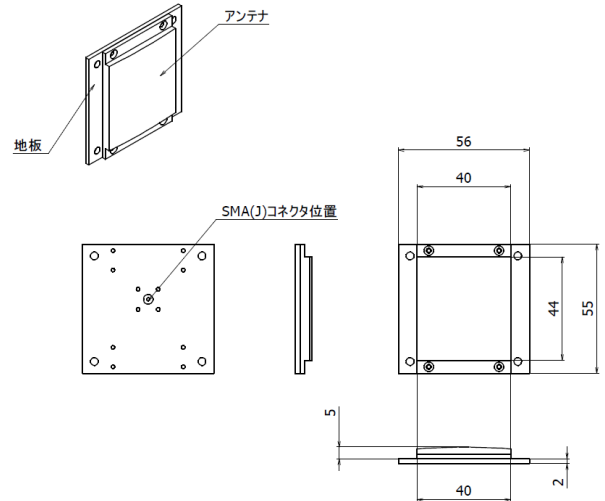


図4 CCA外形寸法

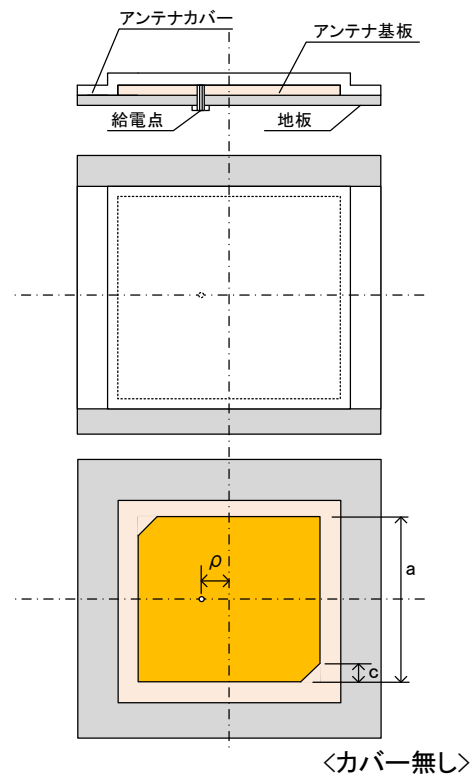


図5 CCA構造図

3. アンテナの電気特性

アンテナの電気性能として重要なリターンロス特性と放射パターンについて示す。CCAはロケット胴体と一体化しているため、ロケット胴体に取り付けた状態で電気性能が満足されるように設計されている。そのため、電気性能の確認を行う際にはロケットボディを模擬した試験治具を使ってデータ取得を行う。図6,7にデータ取得の様子を示す。

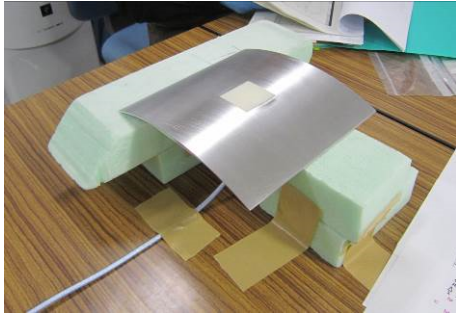


図6 電気性能取得（インピーダンス）の様子

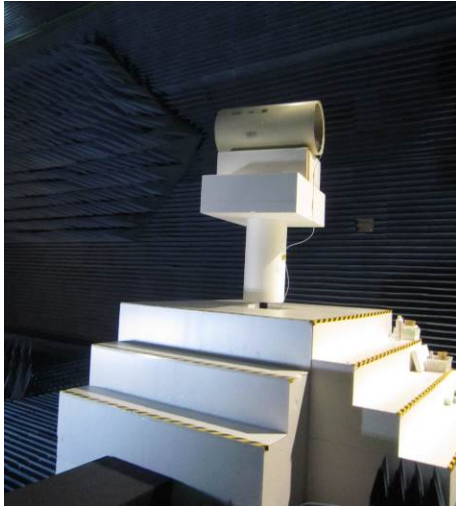
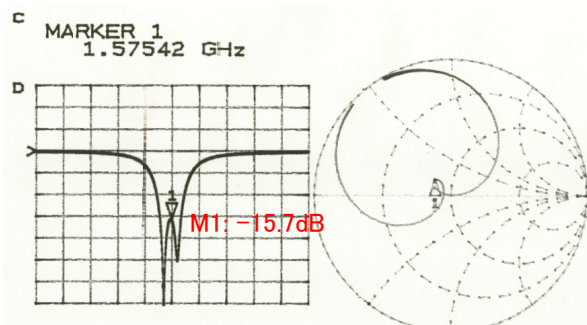


図7 電気性能取得（放射パターン）の様子

インピーダンス特性

図8にインピーダンス性能を示す。GPS周波数である1575.42MHzにおいてリターンロス-15.7dBであり、リターンロス特性は良好である。また、インピーダンスについても、摂動素子により適切に縮退が解けており、円偏波特性の良い範囲にて使用周波数がかかるように調整が出来ている。このとき、アンテナ正面方向での軸比は2.1dBである。



Center 1575.42MHz, Span 200MHz

図8 インピーダンス特性

単体放射パターン

CCAをロケット模擬構体に取り付けた状態でアンテナ1素子だけのパターンの取得を行った。図9にアンテナの外観写真を、図10に座標系を示す。アンテナパターン図を図11と12にそれぞれ示す。ロケット機軸と直行する方向（ラジアル方向）に指向性をもつ放射パターンであることが分かる。正面利得は3.5dBiであり、アンテナ正面から120°の範囲内において0dBi以上を満足する非常にブロードなアンテナパターンを有している。



図9 CCA搭載の様子

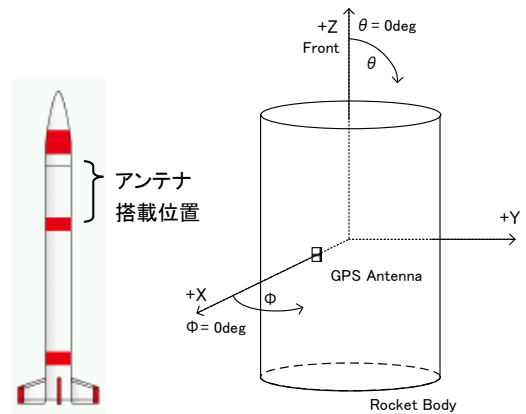


図10 座標系

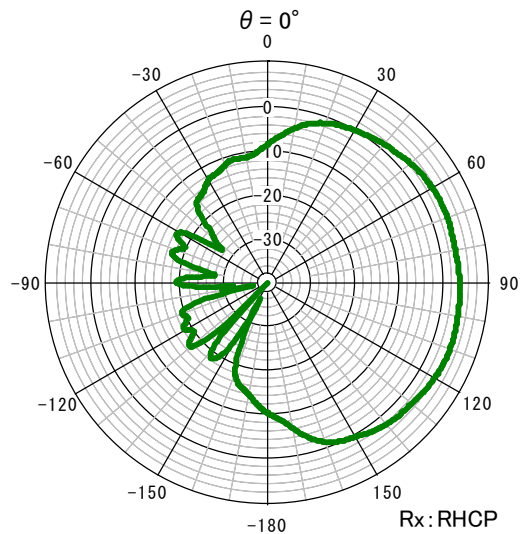


図11 単体放射パターン($\phi=0^\circ$ 面: X-Z 面)

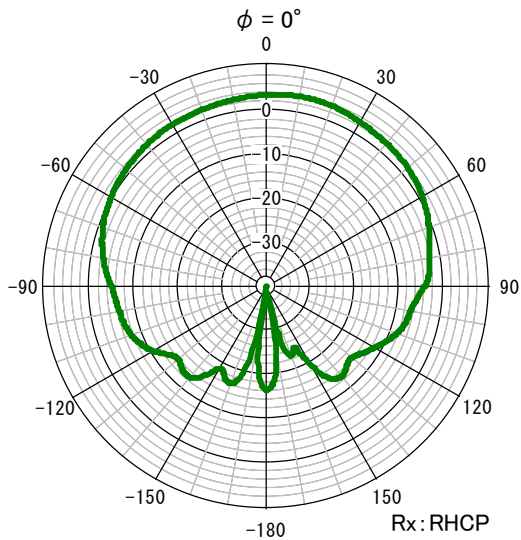


図 12 単体放射パターン($\theta = 90^\circ$ 面: X-Y 面)

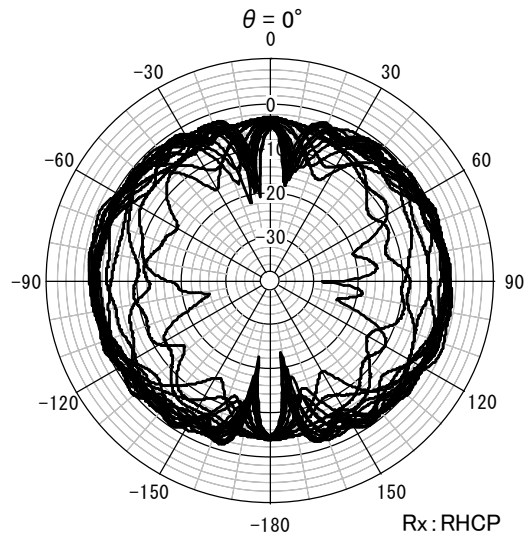


図 14 2 素子合成 (逆相) 放射パターン

2 素子合成放射パターン

1 素子だけではビームが出ない方向が現れてしまうため、ロケット搭載として使用する際は 2 つの CCA をロール方向に 180° 間隔に搭載して 2 つのアンテナを電力合成することで全方位に無指向性な放射パターンを持たせる。このとき、電力合成を同相で足し合わせるか逆相で足し合わせるかにより指向性が変わる。図 13 に同相で合成した放射パターンを、図 14 に逆相で合成した結果をそれぞれ示す。同相給電では、ロケット機軸方向で Null が発生してしまう。一方、逆相給電の場合はロケット機軸方向での Null は無くなり、ロケット横方向でのレベル変化も少なくなった。

今回の実験結果から逆相給電の方が全体的に良好な放射パターンとなった。

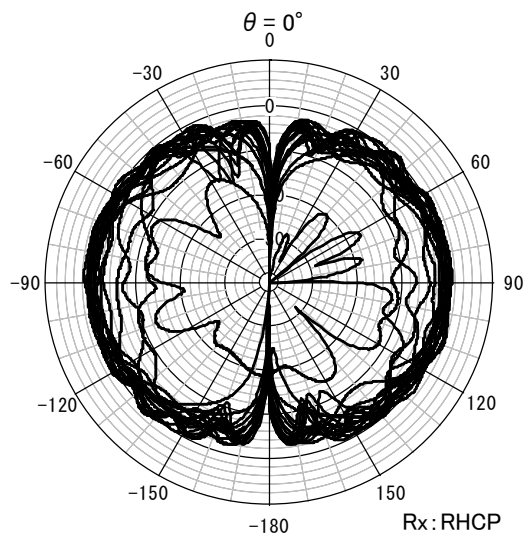


図 13 2 素子合成 (同相) 放射パターン

4. まとめ

本報告では CCA を観測ロケット用 GPS アンテナとして使用したケースについて紹介した。ロケット表面に対して全くの突起構造を有さないという利点に加え、従来の GPS アンテナと同等の優れた電気特性を有していることが分かった。

観測ロケットにはイリジウム通信機も搭載されており、SBD を使ったテレメトリ・コマンド用通信機として試験的に使われている。イリジウム通信機でも同じ 1.6GHz 帯を使用していることから、本 CCA と殆ど同じ設計で観測ロケット搭載用イリジウムアンテナとしても提供する事が出来る見込みである。

また、本 CCA は構造的な特徴から厳しい空力環境に曝されるミッションにおいて適合性が高く、空気中を高速で飛行するスペースプレーンや大気圏に突入するミッション等アンテナ搭載性の観点から今後これらのミッション等にも利用が期待される。