

# 3C15 Arase 衛星における電磁適合性について

○小嶋 浩嗣(京大), 松岡 彩子, 三田 信(JAXA), 熊本 篤志(東北大), 石坂 圭吾(富山県立大), 尾崎 光紀(金沢大), 寺本 万里子(名大), 野村 麗子, 中澤 暁, 浅村 和史(JAXA)

## Electromagnetic compatibility in the Arase satellite

Hirotsugu Kojima(Kyoto Univ.), Ayako Matsuoka, Makoto Mita(JAXA), Atsusi Kumamoto(Tohoku Univ.), Keigo Ishisaka(Toyama Prefectural Univ.), Mitsunori Ozaki(Kanazawa Univ.), Mariko Teramoto(Nagoya Univ.), Reiko Nomura, Satoru Nakazawa, and Kazushi Asamura(JAXA)

Key Words: electromagnetic compatibility, emission, susceptibility

### Abstract

Electromagnetic compatibility (EMC) is an important concept in keeping performance and functions of electronic devices without any degradation due to external noise. The EMC criteria in scientific satellites is decided depending on payloads of satellites. In particular, noise levels to be allowed are quite low in missions to explore space electromagnetic environments, because their targets to observe are extremely weak magnetic fields and electromagnetic waves. Each onboard instrument is required to suppress its emitting noise levels to be below the levels regulated by the EMC criteria. The present paper describes the introduction of the EMC criteria, EMC measurements on the ground and results on the orbit for the Arase satellite, which is exploring electromagnetic environments in the geospace region.

## 1. 背景

電磁適合性(EMC: Electromagnetic Compatibility)とは、電氣的に動作するすべての機器の性能をその動作環境下で維持させるための考え方である。「いかに他の機器の性能に影響を与えるノイズを出さないようにするか」、「いかに他の機器からのノイズに耐性をもたせて自分の性能を低下させないようにするか」という考え方である。一般に使用する電子機器に対して、EMCの考え方が広まったのは、コンピュータなどデジタル機器が一般になり始めた頃からである。この EMC の考え方は高度な電子精密機器の代表でもある人工衛星に対しても導入されている。人工衛星の構成は大きくわけて、どの衛星でも備えている通信機器のようなバス機器、それから、その衛星の目的に合わせて搭載されている観測器のようなペイロード機器に分けられ、EMCについてもバス側からの要請と、ペイロード側からの要請がある。そしてそれらの要請はお互いに守らねばならないものであるが、一般的にはペイロード側からの要請の方が厳しくなる。特に、我々が観測をおこなっている宇宙電磁環境を探索する科学衛星におけるペイロードからの EMC 要請はかなり厳しい。宇宙電磁環境を探索する科学衛星には、微弱な DC・超低周波磁場を観測する磁場観測器、微弱な電磁波を観測するプラズマ波動観測

器、また微弱な DC・超低周波電場を観測する電場観測器が搭載されるのが一般的である。これらは、いずれも微弱な自然現象を対象とするため、各センサーが、外乱ノイズに対して「耐性を強める」という考え方をとることができず、結果的に EMC としては「ノイズを出さないようにする要請」という考え方になる。そしてそのレベルは当然ながらバス機器からのものに比べて非常に厳しいものになる。

本講演では、2016年12月に打ち上げられた内部磁気圏電磁環境を探索する我が国の Arase 衛星における EMC の考え方と地上試験、および、軌道上での観測結果についてまとめる。

## 2. EMC 基準

Arase 衛星における EMC 基準は、

- DC・超低周波磁場観測器 MGF からの要請
- プラズマ波動観測器 PWE(DC 電場観測も含む)からの要請

に大きく分けられる<sup>1)</sup>。

例えば、MGF からは、その DC 磁場測定精度を保証するために、EMC 基準として下記が設けられている(超低周波磁場に対しては更に別の基準が設けられている)。

- 各搭載装置単体から、1m の距離の球殻上での最大磁場強度が 50nT 未満。

- b. または、MGF センサーの位置(衛星から約 5m の位置)における推定磁場が 0.4nT 未満。

この EMC 基準はサイエンスターゲットとして測定する必要のある物理量(この場合は地球磁場)の測定に影響を与えないレベル、という観点で設定されている。Arase 衛星に搭載される機器はこの条件を満足するようにする必要がある。具体的には、各機器の帯磁と内部に流れる直流電流によるループからの磁場放射をこのレベルに抑制する必要がある、ということである。

また、PWE からの EMC 基準は、下記の項目からなる。

- a. **Conducted emission (CE)**  
計装線(主に電源ライン)に対して出力されるノイズの許容信号レベル。
- b. **Radiated emission (electric field) (RE02)**  
電磁波(電界)として放射されるノイズの許容信号レベル。
- c. **Radiated emission (magnetic field) (RE04)**  
電磁波(磁界)として放射されるノイズの許容信号レベル。

例として電磁波(磁界)として放射されるノイズの基準値を図 1 に示す。これは、電磁波(磁界)を観測するサーチコイルセンサーと受信器の組み合わせによる感度設定から決定されている。縦軸の数値からわかるようにかなり厳しい基準となっている。各機器は、それぞれの機器から距離 1m の位置でこの基準以下のノイズ放射に抑える必要がある。 $\Delta f$ とあるのは、この基準値とノイズレベルを比較する際の測定バンド幅を表しており、プラズマ波動観測器の測定帯域を目安に決められている。基準値が 2 本あるのは、ノイズ源となる電流ループの大きさによって、そのノイズレベルの距離特性が、2 乗で落ちるものと、3 乗で落ちるもの(あるいはその中間)に分かれるためである。実際にノイズの距離特性を取得して、どちら

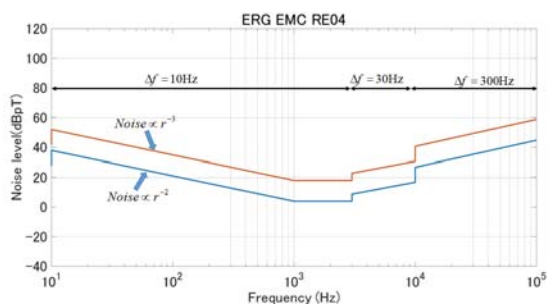


図 1 Arase 電磁波(磁界)放射ノイズ基準値<sup>1),2)</sup>

か、あるいは、その間の基準値で判断を行う。このような基準値が、上記の CE および RE02 においても設定されている。

また、更に、宇宙空間特有の基準もある。宇宙空間はプラズマという電離気体で満たされているため、衛星は帯電する。衛星表面の電位が同電位になるのが理想であるが、実際はその衛星の configuration により表面物性の異なる材料からなっているとそこに電位差が発生する。その電位差を最大で 1V 以内に抑える、という基準も設けられている。これは、衛星の帯電の影響をうける粒子(イオン・電子)観測器、あるいは、PWE が測定する DC 電場観測からの要請でもある。

### 3. EMC 測定・管理

EMC はその衛星に搭載される機器毎に管理される必要がある。前節で述べた基準値を満足しているかどうかは、搭載機器毎に測定して確認する必要がある。RE02/04、および帯磁・超低周波磁場変動については、シールドルームのような低ノイズ環境において特殊な EMC センサーにより計測する必要があるため、JAXA 宇宙科学研究所の磁気シールドルームで行われることが多い。1 機器ずつ磁気シールドルーム内に設置・動作させて、各 EMC 基準を満たしていることを確認する。そして、もし、基準を超過するノイズがみつかった場合は、そのノイズ発生メカニズムとその軽減対策をその場で検討することになる。

EMC 基準を満たすかどうかは上述のように機器単体毎に測定を行い確認する。EMC に関する測定では、この単体レベル以外にシステムレベルの測定がある。この測定では、衛星に全機器を組み込んだ後、磁気シールドルーム内に衛星を設置して動作させながら EMC 計測をする。EMC では予期しない電流ルートの存在や電流ループの存在がノイズ発生に影響をあたえる。そのため衛星内に全機器を組み込んだ後の EMC 測定は重要で、単体では認識できていなかった新しいノイズの発見や、既知のノイズの異常な増加がみつかることがある。

一連の測定・対策、および、その管理は、system 担当、磁場観測担当、およびプラズマ波動観測担当メンバーからなる EMC ボードによって行われる。膨大な計測時間を費やして行う全機器に対するノイズの検出、そのメカニズムの特定などを行うため、機器毎にそれらを管理することは、計測の高効率化という意味でも、ノイズ源の見落としを防ぐという意味でも

大変重要である。EMC ボードはこれらの一連の作業・管理を行う非常に重要な組織である。

#### 4. 軌道上での観測結果

打ち上げ後に各センサーの展開、観測装置の立ち上げなどが行われ、観測データとして得られるようになったのが、打ち上げ後 1 ヶ月ほどしてからである。更に、衛星に搭載されている全機器がすべて On となり運用が始まるまでに更に、1 ヶ月ほどを要する。すべての機器が On になったところで、どの程度、各機器からのノイズが観測データの中に含まれてくるかがわかる。講演では実際の観測データを示しながら、地上で懸念されたノイズが打ち上げ後にどのように観測データに含まれてきているかについて述べるが、EMC の成果は概ね良好であり、科学的なデータの品質を極端に落とすノイズは観測されていない。

科学衛星に搭載される機器は、多種多彩であり、また、設計・製造担当者やメーカーが異なる。このためその設計方針や EMC に対する対策の考え方も統一したのではなく、その意味で EMC 基準という定まった考え方でノイズ発生を抑制する方針の達成は容易ではない。講演では、そのような衛星特有の条件を踏まえつつ、科学衛星における EMC 対策がどのように行われ、どう達成されたかについて述べる。

#### 参考文献

- 1) JAXA: ジオスペース探査衛星(ERG) Component Electromagnetic Compatibility Design Criteria(SPB-002), 2013.
- 2) Kasahara, Y., Y. Kasaba, H. Kojima, S. Yagitani, K. Ishisaka, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, M. Ozaki, S. Matsuda, T. Imachi, Y. Miyoshi, M. Hikishima, Y. Katoh, M. Ota, M. Shoji, A. Matsuoka, and I. Shinohara: The Plasma Wave Experiment (PWE) on board the Arase (ERG) Satellite, Earth, Planets and Space, doi : 10.1186/s40623-018-0842-4, 2018.