

ERG 衛星搭載用広帯域 3 軸サーチコイルの開発

田中 諒 [1]; 八木谷 聡 [2]; 尾崎 光紀 [2]
[1] 金沢大・自然研; [2] 金沢大・理工

Development of Wideband Triaxial Search-coil Magnetometer for ERG satellite mission

Ryo Tanaka[1]; Satoshi Yagitani[2]; Mitsunori Ozaki[2]
[1] Kanazawa Univ.; [2] Kanazawa Univ.

This study aims to develop the search coil magnetometer for ERG satellite mission. ERG is a Japanese micro satellite mission for the first integrated observation of energetic particles, electromagnetic fields and plasma waves around the equatorial plane. The search coil magnetometer is required to have the performance to cooperate with other scientific instruments. For example, we need a high sensitivity of the search coil magnetometer ($1 \text{ fT}/(\text{Hz})^{1/2}$ at 100 kHz) for the detection of the Continuum Radiation which has been observed only by an electric field antenna in the conventional observation. Furthermore a triaxial search coil magnetometer gives the arrival direction of waves. We have been designing the search coil under the physical constraints (such as size:less than 20 cm; total weight:less than 1 kg; etc.) for ERG satellite.

Traditional search coils, which are mounted on many spacecraft for example GEOTAIL and BepiColombo/MMO, can observe electromagnetic waves below about 10 kHz. Here we should have great improvement in their frequency characteristics for ERG mission. The upper limit of the observable frequency depends on the inductance and the stray capacitance of the search coil. For wider bandwidth of the search coil, we should minimize these parameters. However, the inductance is not easy to be reduced because low inductance directly gives the poor sensitivity at low frequencies. The stray capacitance, which depends on the physical conditions like the cable length between the coil and the preamplifier, also can not be reduce easily. Thus, we should adjust the parameters for different purposes.

At first, we adjusted several parameters for the search coil and designed its preamplifier to obtain the sensitivity of $1 \text{ fT}/(\text{Hz})^{1/2}$ at 100 kHz. Then, it was confirmed that this goal is achieved by using a uniaxial search coil with the coil winding of 300-400 turns, the preamplifier which is similar to the search coil preamplifier onboard BepiColombo/MMO and some other parts.

Next, we carried out studies of a triaxial search coil magnetometer. It was found that just a combination of three uniaxial search coil magnetometers had interchannel crosstalk. Also, our experiments showed that the crosstalk pathway was on the preamplifier and the crosstalk could be reduced down to -50 dB with the use of the electrostatic shielding on each channel of the preamplifier.

Finally, for the wideband search coil magnetometer, we are developing a search coil having a variable inductance with frequency.

In this presentation, we will report the details about the topics such as 1. structure of high sensitivity uniaxial search coil, 2. crosstalk avoidance for wideband triaxial search coil and 3. search coil with variable inductance.

本研究は、ERG 衛星搭載用の磁界センサの開発を目的としている。ERG 衛星は、赤道面付近において初めてとなる粒子・電磁場・波動の統合観測を行うものであり、そのためには、今回開発する磁界センサも他の観測機器と連携できる性能が要求される。例えば従来電界のみの観測が主流であった Continuum Radiation に対して、その磁界成分を観測するためには、 $1 \text{ fT}/\text{Hz}@100 \text{ kHz}$ 以上という高感度のセンサが必要であり、また、波動の到来方向を得るために、磁界センサは 3 軸化が求められている。さらにこれらの性能は、ERG 衛星に搭載するために必要な制約条件（大きさ 20 cm 以下、総重量 1 kg 以下など）の下で実現させなければならない。

本研究では、サーチコイルタイプの磁界センサを扱う。従来のサーチコイルは、例えば磁気圏尾部観測衛星「GEOTAIL」や水星探査衛星「BepiColombo/MMO」に搭載のもので、対象とする周波数の上限が約 10kHz であり、本研究の目標を達成するにはこの周波数特性を大きく改善しなければならない。サーチコイルの検出可能な周波数の上限を決定するのは、サーチコイル自身が持つインダクタンスと、センサのいたるところに存在しうる寄生容量との関係である。センサを広帯域化させるためには、インダクタンスと寄生容量の双方を小さくする必要がある。しかしながら、インダクタンスはセンサ利得と関係があり、低いインダクタンスは感度劣化に直結する。また、寄生容量の低下はセンサの磁界検出部と信号増幅器との距離など物理的な条件とのトレードオフとなる上、ゼロにするのは不可能である。特にインダクタンスの低いサーチコイルは、低周波数帯域での感度が悪くなるため、センサの使用目的に沿ったパラメータ設定が必要不可欠である。

本研究ではまず、仕様目標である $1 \text{ T}/\text{Hz}@100 \text{ kHz}$ を達成するために、サーチコイルのパラメータの調整と、サーチコイルで得られた電圧信号を増幅するためのプリアンプの設計を行った。その結果、300~400 回程度の巻き数のコイルと「BepiColombo/MMO」に搭載されるものに類似した構成のプリアンプ、その他いくつかの条件設定により、少なくとも 1 軸においては、与えられた制約条件の下 $1 \text{ fT}/\text{Hz}@100 \text{ kHz}$ を下回る感度が実現可能であることが確認できた。

次に、設計したサーチコイルの 3 軸化について検討を行った。そのために、上で設計した 1 軸サーチコイルを単純に 3

つ組み合わせたセンサを作成したが、この試作機には、チャンネル間の信号が互いに影響しあう、いわゆる「クロストーク」が確認された。検討の結果、その主たる原因が従来の低周波数帯用のサーチコイルでは問題にならなかった増幅器間の相互作用にあるとわかり、また、この影響はチャンネル毎の独立した静電シールドを施すことによって-50 dB 程度にまで下げられることが確認できた。

現在は、一定のインダクタンスにとらわれない周波数の変化により柔軟に対応するセンサについて検討中である。特に本研究では、このようなサーチコイルを、プリアンプの他に補助的な能動素子を用いることなく実現させようとしている。

本発表では、上記「高感度 1 軸磁界センサの構成」「広帯域 3 軸サーチコイルのクロストークの回避」に関する研究の結果とともに、「周波数に対して可変なインダクタンスをもつサーチコイル」に関する研究の進捗状況について報告を行う。