

GEOTAIL におけるプラズマ波動測定のための EMC / EMI 対策

長野勇¹, 小島浩嗣², 筒井稔³, 岡田敏美⁴, 松本紘², 向井利典⁵, 川口正芳⁶, 八木谷聡¹

- | | |
|--------------------|--------------------------|
| 1. 金沢大学工学部 | 〒920 金沢市小立野 2-40-20 |
| 2. 京都大学超高層電波研究センター | 〒611 宇治市五ヶ庄 |
| 3. 京都産業大学計算機科学研究所 | 〒603 京都市北区上賀茂本山 |
| 4. 富山県立大学工学部 | 〒939-03 富山県射水郡小杉町黒河 5180 |
| 5. 宇宙科学研究所 | 〒229 相模原市由野台 3-1-1 |
| 6. 日本電気 (株) | 〒226 横浜市緑区池辺町 4035 |

あらまし

1992年7月に打ち上げられた GEOTAIL 衛星では、波動観測装置の性能を保持し、搭載機器からの電磁干渉を避けるために、独自の EMC 規制値を設定した。この設定値をクリアするために機器単体レベルや、衛星本体からの電磁ノイズ放射を低減する各種の対策が取られた。本報告では、EMC 規制値の作成の根拠、機器単体やシステムの EMC 測定方法、そして、実際行なわれた測定で、規制値を満足しないノイズ源の特定とその対策について述べる。又、打ち上げ後、プラズマ波動の搭載機器によって実際に測定された電界、磁界の干渉についてもふれる。

和文キーワード 電磁干渉、EMC 規制、ジオテール衛星、放射電界雑音、放射磁界雑音、プラズマ波動

Improvements and requirements of EMI/EMC for the GEOTAIL satellite from a view point of the plasma wave observation

I.Nagano¹, H.Kojima², M.Tsutsui³, T.Okada⁴, H.Matsumoto², T.Mukai⁵, M.Kawaguti⁶, S.Yagitani¹

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. Kanazawa University | 2-40-20 Kodatsuno Kanazawa 920, JAPAN |
| 2. RASC Kyoto University | Gokanoshou Uji 611, JAPAN |
| 3. Kyoto Sangyou University | Motoyaya Kamigamo Kita-ku Kyoto 603, JAPAN |
| 4. Toyama Prefecture University | Kurokawa Imizu-gun Kosugi-machi 939-03, JAPAN |
| 5. ISAS | 3-1-1 Yoshinodai, Sagamihara 229, JAPAN |
| 6. NEC Corporation | 4035 Ikebe-cho Midori-ku, Yokohama 226, JAPAN |

Abstract

The Electro-Magnetic Compatibility specifications for the GEOTAIL spacecraft and sub-systems were established to keep high quality measurement of plasma waves. In order to accept this requirements, we had improved various kinds of ways in the sub-systems and the satellite system itself to reduce the electro-magnetic radiation and conduction noise from them. In this report, we describe specifications and measurement of the EMC for the GEOTAIL, and show the results of the EMC tests for the sub-systems and spacecraft, introduce a way to reduce the magnetic radiation noise generated by the trangent current in the Solar Cell on the surface of the satellite when a shadow of the extention mast is cast on the surface, and finally report the actual electro-magnetic interfeernce levels observed by the satellite after the launch.

英文 key words GEOTAIL, EMC requirement, EMI, RE02, RE04, CE01/03, Plasma waves

1. まえがき

衛星の内部には、各種 DC/DC コンバータを用いた電源、各種リレー、モータや計装線に流れる各種信号による電磁波雑音源が共存している。科学衛星のように限られた容積の中に、このような雑音源とともに各種計測器を搭載する場合、他の機器から発生する雑音が測定しようとする信号に混入し、互いに電磁干渉を受ける。特に微小信号を測定するプラズマ波動観測装置では、所望の信号レベルを越える他の搭載機器からの干渉ノイズが問題になる。1989年に打ち上げられた”あけぼの”衛星 (EXOS-D) では、打ち上げに先だて、各機器からの干渉ノイズ源を特定し、その対策が行なわれ、EMC 測定と干渉ノイズの軽減に関するノウハウが蓄積された (1)。

1992年7月に打ち上げられた GEOTAIL 衛星では、このあけぼの衛星での EMI 対策の経験を踏まえ、既に実績のある米国の科学衛星 DE (Dynamics Explorer) の EMI 規制値を参考にして、我国の科学衛星としては初めての、EMC に関する規制レベルが設定され、各種搭載機器はその規制値を満たすように要請された (2)。そのため、先ず各機器の EM (Engineering Model) モデル単体を用いての EMC 測定を行い、規制値を満足しない場合にはいろいろと対策を施し、FM (Flight Model) モデルの製作に取り入れられた。更に、FM モデルの単体レベルでの EMC 試験の終了後、フライト状態に最も近い状態の総合システムレベルでの EMC 試験も行なわれ、新たに生じた干渉の特定とその対策もとられ、GEOTAIL 衛星は設定された EMI 規制レベルをほぼクリアした。

現在、GEOTAIL 衛星は、衛星のアンテナを伸展し、波動観測を開始してほぼ1年が経過しているが、EMI 規制をした効果により、非常に良好な、質の高いプラズマ波動観測データを提供している (3-4)。

本報告では、GEOTAIL 衛星のために設定された EMI 規制値の作成、測定方法、それに基づいて行なわれた代表的な電界、磁界の放射ノイズの測定結果について述べる。また、この衛星特有の問題であった、マストの影がソーラセルを切るために生ずるであろう低周波磁界ノイズを減少させるために施した対策についても述べる。

2. EMC 規制レベル

GEOTAIL 衛星の EMC 規制値を決めるに当たって、過去に実績のある米国の DE 衛星で使用された規制値を参考にした (5)。これは、MIL-STD-461,462(6) を標準として、搭載科学観測器の特性を考慮して、CE (Conducted Emission) 及び RE (Radiation Emission) を一部修正して作成されたものである。従って、DE 衛星の EMI 規制には CS (Conducted Susceptibility) 及び RS (Radiated Susceptibility) も含まれた。しかし、GEOTAIL 衛星では、波動観測装置 (PWI: Plasma Wave Instrument) の観測帯域内で他の搭載機器からの干渉を抑えて、PWI のセンサー感度を最大限に利用すること及び、観測が期待される波動強度を考慮して、以下の CE 及び RE に関してのみの EMI 規制値が決められた。

2.1 CE01/CE03 (20Hz-20kHz、20kHz-1MHz)

これは、機器からラインへ流れる伝導電流ノイズの規制値であるが、GEOTAIL では、パワーラインのみに適用し

た。この規制値は、波動観測装置の観測帯域内での最大感度のもとで、干渉が生じない最大電源リップル電圧 (衛星電源のインピーダンス×CE 規制値) より決定するほうが望ましいが、ここでは、DE 衛星に使用された規制値 (MIL-STD-461 に準拠) を流用し、既に打ち上げられたあけぼの衛星の DHU (Data Handling Unit) のスペアで、この基準を満たすことを確認したのちに (7)、これを採用した。図 1 にその規制値を示す。

2.2 RE02 (20Hz-1MHz)

これは、機器が外部へ放射する電界ノイズ規制値である。GEOTAIL 衛星では、電界測定用アンテナとして、100m (片側 50m×2) のワイヤアンテナが用いられた。衛星本体からの強力な静電ノイズを軽減するために、衛星に近い部分に静電シールドを施した。これを sleeve つきアンテナと呼ぶ (図 2)。これをつけることにより衛星本体からの電界ノイズは以下のように評価出来る (7)。

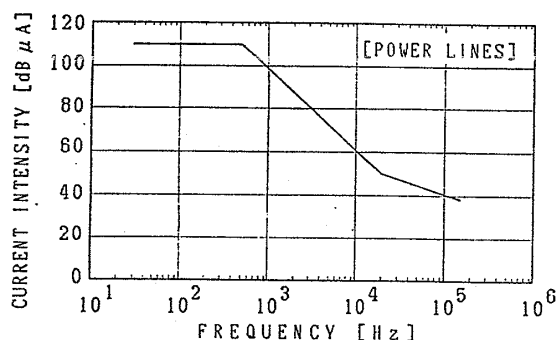


図 1. 伝導電流ノイズ (CE01/03) の規制値

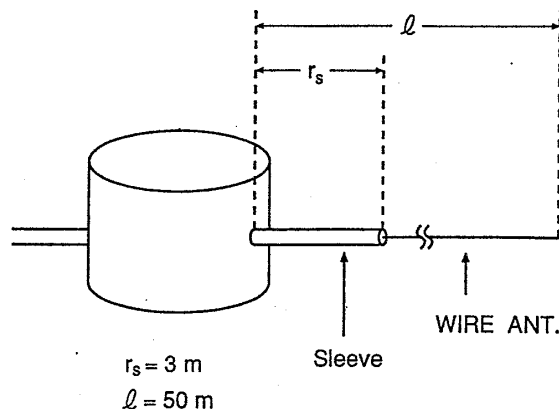


図 2. スリーブ付き電界アンテナの模式図

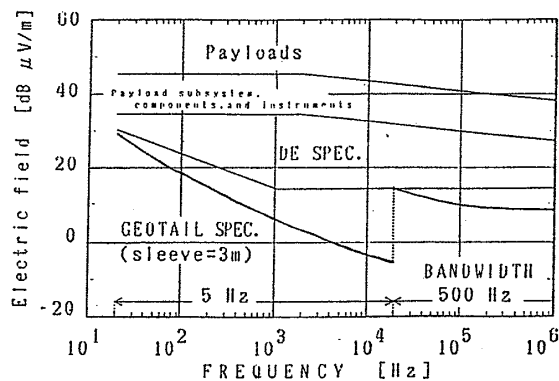


図 3. 1m における放射電界ノイズ (RE02) の規制値

衛星内部で発生する電界ノイズは $1/r^2$ 、または $1/r^3$ に比例するが、衛星近傍では誘導雑音が優るとして、 $1/r^2$ に比例すると仮定する。諸変数を以下のように置くと、

- l : wire ant の片側の長さ
- l_{eff} : 信号に対する wire ant. の実効長 (50m)
- r_s : sleeve の長さ (3m)
- r_0 : 放射電界を規制する距離 (1m)
- E_s : 信号の電界強度
- E_n : 衛星で発生するノイズの電界強度
- E_0 : 距離 r_0 におけるノイズの電界強度
- V_s : アンテナに誘起される信号電圧
($V_s = l_{eff} \cdot E_s$)
- V_n : アンテナに誘起される雑音電圧

アンテナに誘起される電圧は、 $E_n \approx 1/r^2$ より、

$$V_n = 2 \int_{r_s}^l E_n dr = 2E_0 r_0^2 (1/r_s - 1/l)$$

となる。 $l \gg r_s$ 、 $l_{eff} = l$ とし、 $V_s/V_n = 1$ ($S/N = 0\text{dB}$) となるように S/N 改善率を求めると

$$E_0/E_s \approx l_{eff}/2r_0^2 \cdot r_s$$

となる。ここで、長さ 3m の sleeve をつけることにより、約 38dB の SN が改善される。ここで、 E_s として、GEO-TAIL 衛星の軌道で PWI 装置が Continuum Radiation や Galactic background noise を観測出来るような電界強度 ($10^{-9}(V/m)/\sqrt{\text{Hz}}$ at 100kHz)、そして、低周波領域では、 S/N が 0dB で観測されるセンサー感度値が選ばれている。このようにして、sub-system から、1m 離れた地点で、放射電界の規制値が図 3 に示すように決められた。この図には、比較のため、DE 衛星並びに NASA の規制値が描かれている。

2.3 RE04 (10Hz-100kHz)

これは、機器が外部放射する磁界ノイズの規制値である。波動観測側で、磁界ノイズを軽減する方法としては、磁界センサーを搭載機器より離すことがベストである。GEO-TAIL では、磁界センサー (SC: Search Coil) は衛星本体から、6m の位置にマウントされた。衛星に搭載された SC の感度曲線を図 4 に示す。マストの先端で、衛星からの磁界ノイズ強度が図 4 の感度曲線より低くなるためには、60cm の位置での規制値は図 5 のようになる。ここで、衛星からの磁界ノイズは、 $1/r^2$ に比例するとした。比較のため、DE 衛星の規制値を示しているが、それは、GEO-TAIL とほぼ同程度となっている。なお、 $f < 100\text{Hz}$ では、ELF 波測定用 SC (衛星より 4m の位置にマウントされている) を使用するために、規制が少し厳しくなっている。

2.4 EMI 対策のための単体、システム側への要求

衛星内部では、システムの電源や各測定器内部で使用する電源は数多くあり、DC/DC コンバータで使用されているスイッチング周波数は、これまでの経験から上述の規制値を守れない可能性も考えられ、その場合波動観測において、観測上重要な周波数バンドに入らないこと、そしてたとえ干渉しても、最小限の被害にすることとして、従来の数十 kHz から 100kHz に上げてほぼ統一した周波数の使用

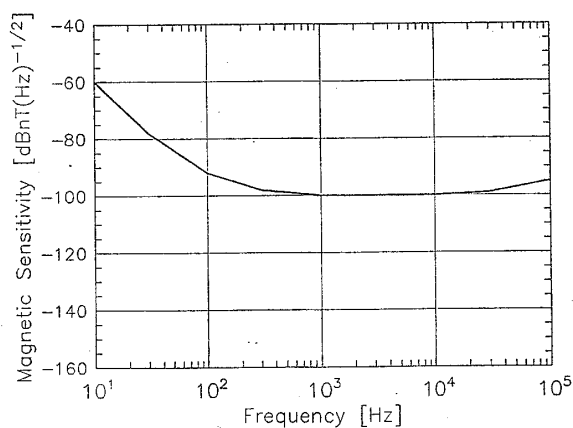


図 4. 搭載サーチコイルの感度特性

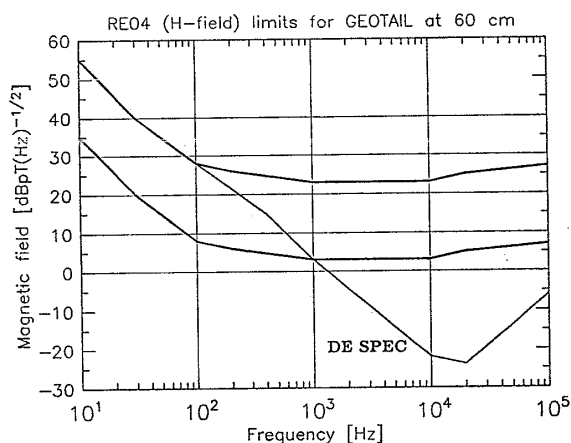


図 5. 60cm における放射磁界ノイズ (RE04) の規制値

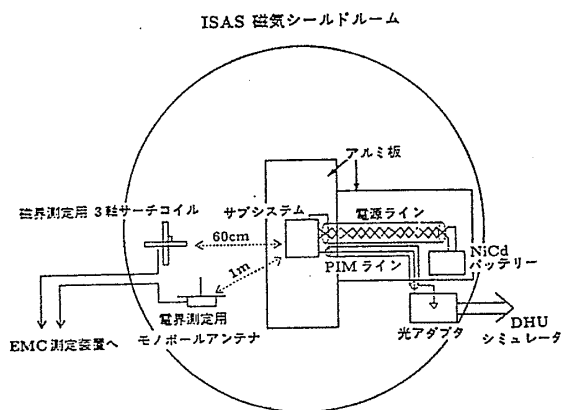


図 6. 単体 EMC 試験の機器配置図

を要求した。

放射磁界ノイズを軽減するために、単体に供給する電源ラインはツイストペアシールドラインを使用することや回路内部では信号のループを極力作らないこと、また、電源のリターンが電源ライン以外のルートを通らないように、単体機器内部では、シャーシに接地点を取らないこと (一点接地原則) を要求した。

3. 測定方法

搭載機器単体及び衛星本体を含めた総合システムにおける EMC 測定は、すべて宇宙科学研究所内の磁気シールドルーム内で行なわれた。単体レベルでの EMC 測定における機器配置を図 6 に示す。シールドルームの外部からの商用電源雑音やコンピュータの雑音を除くために、被測定器には内部においたバッテリーから給電し、単体からの信号ライン (PIM: Peripheral Interface Module) は、光アイソレータを用いて、シールドルーム外部にある DHU シミュレータに接続された。光アイソレータはこの試験のために新たに製作されたもので、63ch の一方向光ケーブルからなっている。この光アイソレータは、それ自体からの磁界ノイズを遮断するために、厚さ 5mm の鉄ボックスに入れられている。

EMC 測定用センサーは、CE 測定用に電流プローブ (EATON91197)、RE02 測定用にモノポールアンテナ (EMCO 3301B)、RE04 測定用に 3 軸サーチコイルを用いた。

総合システムに於ける EMC 測定の機器配置を図 7 に示す。衛星はシールドルーム内に置かれ、衛星と外部との通信は、実際のフライト時と同じように電波を通して行なわれた。従って、シールドルーム内の仮ワイヤアンテナおよび 3 軸サーチコイルで受けた放射雑音を、衛星内部の波動受信機でもモニターできた。EMC を測定するセンサー類は、図 6 の単体測定と同じく、モノポールと 3 軸サーチコイルを使用した。これらのセンサーは、規制値の規制通り、被測定機器より、1m 及び 60cm の位置に置かれた。

単体 EMC 試験の測定結果については、1991 年度宇宙観測シンポジウムにて発表されているので (8)、ここでは主に 1992 年 3 月下旬に行なわれた最終総合試験の結果について述べる。

4. EMC 試験結果並びに対策

4.1 伝導電流ノイズ (CE01/03)

搭載機器に使用される各電源、5V、+12V、-12V、+29V ラインについて PI(観測器)、CI(共通機器) の全てについて測定された。PI,CI 機器において、特に顕著に規制値を越えたものは見あたらなかった。図 8 に一例として、ADM(Antenna Drive Mechanism) と DCE(Antenna Despun Control Electronics) に供給している Bus ライン (29V) の伝導電流ノイズの測定結果を示す。

4.2 放射電界ノイズ (RE02)

図 9 に最終総合試験で取得された全搭載機器の動作状態における放射電界ノイズの測定結果を示す。横軸は 100Hz から 1MHz 迄の対数目盛りである。150Hz にあるノイズは商用電源の第 3 高調波である。106kHz には PCD(Power Converter and Distributor) の DC/DC コンバータノイズと見られる。単体試験から最終総合試験に至るまでの道のりは長く、単体試験で規制値を越えた機器は、そのノイズ発生源を突き止め、そして対策を施し、再度測定を行い、規制値を満足するまで何回もの試験をした。放射ノイズに関してとった主な対策は、

- (1) 信号ラインやドライブ信号のように交流信号が流れる

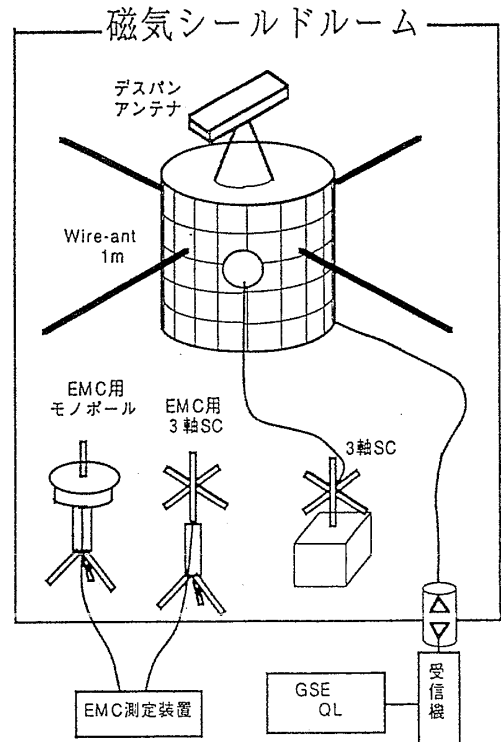


図 7. 総合システム EMC 試験の機器配置図

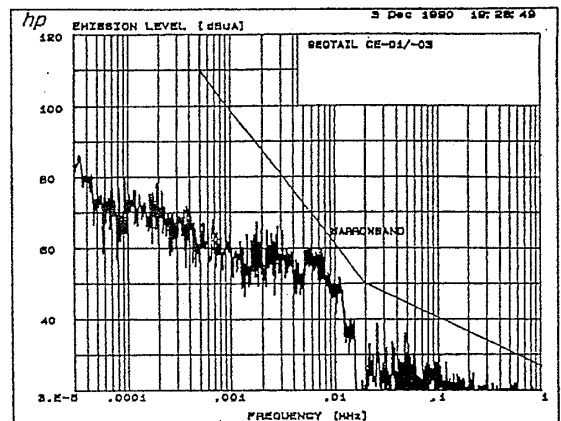


図 8. ADM+DCE サブシステムの 29V ラインの CE01/03 測定値

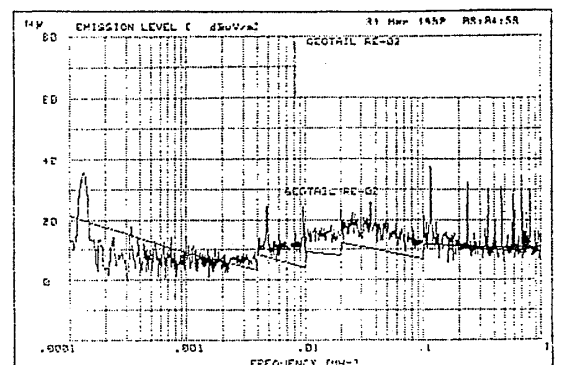


図 9. 総合システム (全ての機器 ON) における RE02 の測定値

ラインでは、そのラインをシールドするだけでなく、コネクタにもバックシェルをかぶせてグラウンドに落とす。

(2) 搭載機器のセンサーが衛星構体(シャーシ)から浮かしておく必要がある場合、そこから電界ノイズが発生する。これはセンサーが衛星電源の共通線(COM2)に接続しているため、COM2に含まれているノイズが放射されたためである。この対策はセンサーを絶縁物で囲い更に導体でシールドし、それを構体に接地することで防げた。

(3) GEOTAIL では衛星表面を等電位にするために Solar Panelの表面に導電コーティングがなされている。この表面電位は、PCD内の一点接地点の電位をとる。これは、Solar Cellとコーティング表面がコンデンサーを形成しており、コーティング面を衛星構体に接続することにより、高周波的に一点接地の原則が破れてしまうため、衛星表面上で大きな電流ループを作る可能性がある。これは次の磁界放射ノイズにも影響を与えるので、接地に関しては特に注意を払う必要があった。

4.3 放射磁界ノイズ (RE04)

図10は最終総合システム試験における、全搭載機器の動作状態における放射磁界ノイズを、衛星の円周方向の磁界センサーで測定した例である。上下の実線は衛星からの磁界放射ノイズがそれぞれ距離の3乗及び2乗に逆比例すると仮定したときの規制値である。横軸は30Hzから100kHzまでを対数に目盛られている。測定値は下側のラインを越えているが、上側には達していない。図7に見られるように、EMC測定用のSCと同時に搭載用SCでPWI装置を通して衛星からの磁界放射ノイズを測定した。図の900Hz付近のマークは10pTの校正信号でPWI装置でも同時に見えていた。200Hz以下のノイズはデスパンモータのノイズであると考えられる。2,4,8kHzのピュアなノイズはPIMラインによるノイズである。1991年2月に行なわれた最初の総合試験でこのPIMラインによる大きな磁界放射ノイズが見つかった。これは、図11に示すように、サブシステムの信号ライン(PIMライン)のhot側はDHUに直接接続されるが、return側はサブシステム電源のCOM2ラインを通り、PCDを経由して、DHU電源のCOM2ラインを通してreturnするために、PIMラインに乗っている信号電流が大きなループを形成しているために生じた。その後、PIMラインとDHU、PCDでループが出来ないように計装線の変更を行ない(9)、図10の結果を得た。その他、単体試験後に対策をした点は、DC/DCコンバータや、デスパンモータではその駆動回路から規制値を越える磁界放射が認められ、不要な電流を制限し、制限値をクリアした。データレコーダーは米国製で、出荷前にNASAの施設を利用してEMC測定を行い日本に搬入した。

ある特定の放射ノイズに対して衛星からの距離特性を調べたところ、概ね2.3~2.5乗に反比例していた。このことから、図10の放射磁界ノイズの総合特性は2本の規制値のほぼ中間よりも下方にあり、規制値を満足していると言える。

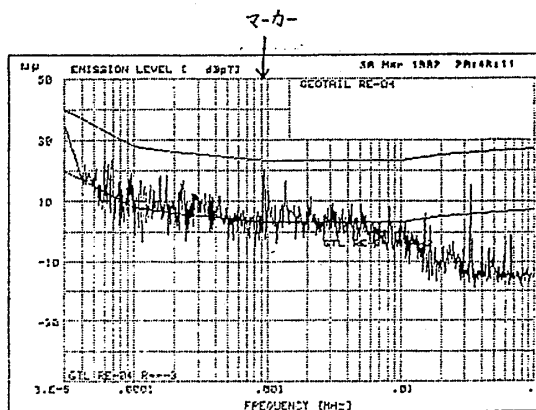


図10. 総合システムにおけるRE04の測定値

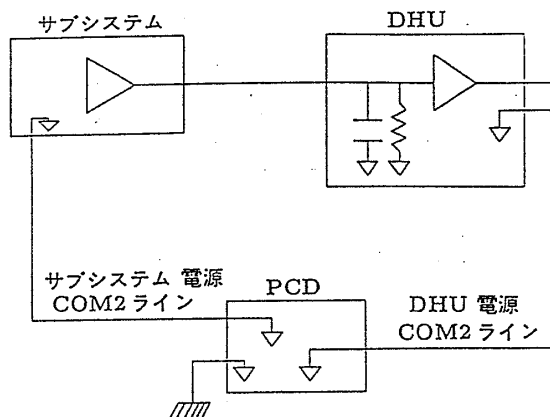


図11. PIMラインと電源リターンによる電流ループの形成

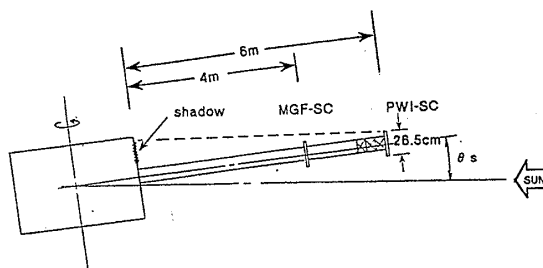


図12. 太陽電池パネル上に生じるマストの影の概念図

5. マストの影による太陽電池パネルからのノイズ

GEOTAIL 衛星は日米の観測機器が搭載されている。米国ではこれまでに波動観測を搭載した衛星が二十数個打ち上げられており、EMC 対策の経験は豊富であった。故 Prof.Fred Scarf は図 12 に示すように、6m のマストの影が太陽電池上に生じ、衛星のスピンのによりその影が太陽電池ラインを横切ることにより、発電が停止し、バスライン電流が切れ、磁界放射ノイズを発生することを予見した。そこで、次の仮定のもとで、マストの先端 (6m) 地点で磁界強度及びそのスペクトラムを計算した。

1. マストは直径 20cm の棒とする。
2. 一つの直列グループ内 (bus line) に複数の磁気モーメントを仮定して、Biot-Savart の法則を使用して、発生磁界を計算する。
3. ダイオードが 5 個のセル毎にバイパスすると仮定する。
4. それぞれのバスラインを構成するセルのグループに影があるかを判定し、影の部分が 5 個を越えた場合は電流を零にした。

なお、バス電圧は 63 個のセルが従属接続されて発生し、セル列が 156 列で、バスライン数を 144 個としている。

まず、図 13 のソーラセルのパターンで、スピン周期 3 秒、 $\theta_s = 0$ 度で、磁界強度、発生電力、ノイズスペクトラムを計算したところ、それぞれ最大約 $5m\gamma$ 、270-380W、RE04 規制を約 20dB オーバーする結果が得られた。そこで、システム側では、SC のプレートが光がなるべく遮断されないようにできるだけ切欠くように、そして、打ち上げ後の衛星の姿勢はほぼ上側に影になるように設定されるので、図 14 のようにソーラセルを 2 段にして、リターン電流 (backwiring) をセルの裏側にフラットケーブルで返すようにした。このモデルで、 $\theta_s = 5$ 度でシミュレーションした結果を図 15 に示す。磁界強度は 1 スピン間を描いており、その強度は $1pT$ を越えない。これは MGF 班の静磁界の規制値もクリアしている (10)。また、下図の磁界スペクトルでは、搭載 SC のノイズレベルとほぼ同強度となっている。

観測開始後にはこのマストの影による磁界放射ノイズの干渉は現在までのところないようである。

6. 軌道上における干渉レベル

GEOTAIL 衛星は 1992 年 7 月 24 日 14:26(UT) にケネディスペースセンターからデルタロケットにより打ち上げられ、軌道投入後、各搭載機器の動作試験が行なわれ、ワイヤーアンテナそしてマストが伸展された。センサーの全伸展が終了したのち、プラズマ波動測定器による波動観測が開始された。

図 16 は、PWI 搭載機器の一つである SFA(Sweep Frequency Analyzer) によって観測されたプラズマ波動の QL(Quick Look) 画面である。この時、衛星は地球から約 $130R_e$ (R_e : 地球半径) 離れた地球磁気圏尾部のマグネトシース領域にいたと思われる。図の上は電界で下は磁界のスペクトラムである。電界の縦軸は 24Hz から 800kHz を 5 バンドに区分けされ、それぞれのバンド内は周波数が線形に目盛りされている。磁界は 24Hz から 12.5kHz 間を 3 バンド

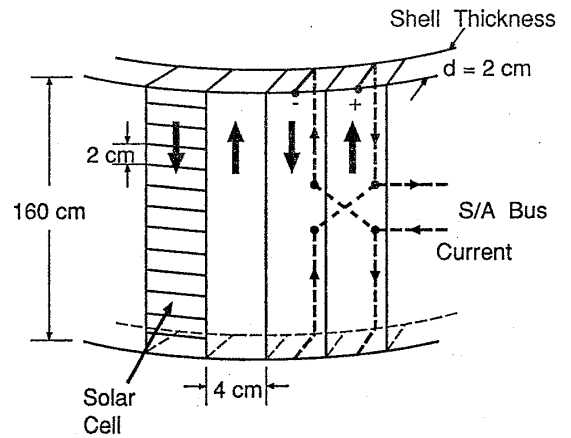


図 13. EMI 対策前の太陽電池の配置図

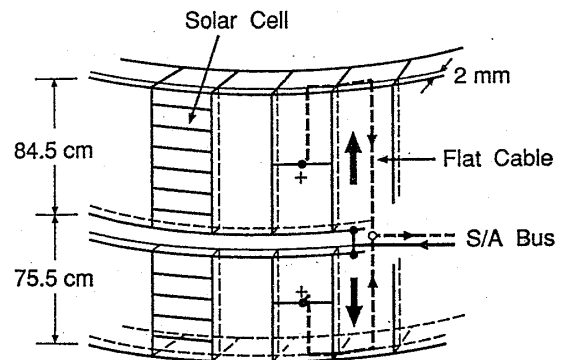


図 14. 対策後の太陽電池配置図

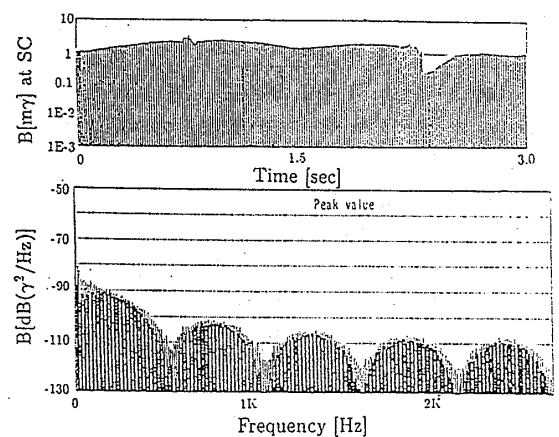


図 15. 図 14 の配置でシミュレーションした磁界強度及びそのスペクトラム強度 ($T=3\text{sec}, \theta_s = 5^\circ, I_{max} = 0.3A$)

に分けられている。実際の QL 画面では強度はカラーの濃淡により表示されているが、図のモノクロでは白い部分がプラズマ波動強度の強い部分である。電界では、8kHz 付近に見られる数本の直線が PIM の干渉である。また、数百 kHz に見られる数本の直線は DC/DC コンバータの高調波による干渉と思われる。他の白い部分は磁気圏尾部で観測される典型的なプラズマ波動である。例えば、300kHz 付近では AKR(Auroral Kilometric Radiation)、20kHz 付近に cut-off がある CR(Continuum Radiation)、12.5kHz 以下でスパイク的に見えるのは、BEN(Broad Band Electrostatic Noise) である。一方、磁界のスペクトルでは、横に直線の干渉ノイズが十数本見られる。これは、テレメータのフレーム単位の、16Hz、64Hz の高調波成分である。これらの干渉は衛星から放射ノイズではなく、観測機器内部からの干渉である。それは、磁界センサーの伸展によって、この干渉レベルの強度にあまり変化が認められなかったことから判断できた。24Hz から 200Hz の範囲に見られる、スパイク的な磁界ノイズは MNB(Magnetic Noise Burst) と呼ばれるホイスラモードの電磁波である。

図 17 は 11:13:30(UT) から 11:25:00(UT) 迄の電界スペクトル強度を積分した値である。10kHz 及び 200kHz 付近にける自然電波強度の弱い付近では、期待通りのノイズレベルになっている。図 18 は磁界について同時刻のスペクトルの平均値である。64,128,196Hz に強い干渉が見られる。このフレーム周期の高調波ノイズを除いたレベルは搭載 SC のノイズレベルとほぼ一致している。フレーム周波数は安定しており、信号処理により、これらを取り除くことが可能であり、それらを取り除いたスペクトル画面を解析に使用する予定である。

7. まとめ

日本の科学衛星 GEOTAIL で、波動観測のセンサー感度を最大限生かすように、EMC 規制値を作成し、それを搭載機器に要求した。単体レベルでの測定や総合システム試験を通して、EMC 規制値をクリアするために多くのノウハウや経験が得られた。波動観測装置自身において、今回は CS,RS の感受性に関する規制を行なわなかったが、将来の衛星では、観測器に感受性の規制値を作成すべきである。打ち上げ後のデータで示したように、放射電界ノイズでは、特定の機器からの弱い干渉が見られた。放射磁界ノイズでは衛星からの放射磁界ノイズは殆ど消えていると思われるが、波動観測装置の pre-amp 内部で COM2 ラインとの干渉で、PIM ノイズが低周波に現われている。しかし、総合して、GEOTAIL 搭載波動観測器のプラズマ波動データは、最も良質のデータと評価されつつある。

謝辞

GEOTAIL EMC 規制値の作成、及び試験を行なうにあたり、宇宙科学研究所のスタッフの方々、各サブシステムの担当者の方々をはじめ、日本電気(株)、明星電気(株)、明和システム(株)の方々の非常な協力を得ることが出来ました。また、PWI チーム、京都大学超高層、金沢大学電磁波工学研究室の学生には EMC 測定に協力して戴きました。ここに深く感謝致します。太陽電池からの放射雑音のシミュレーション計算は、当時金沢大学大学院生軒内君(現

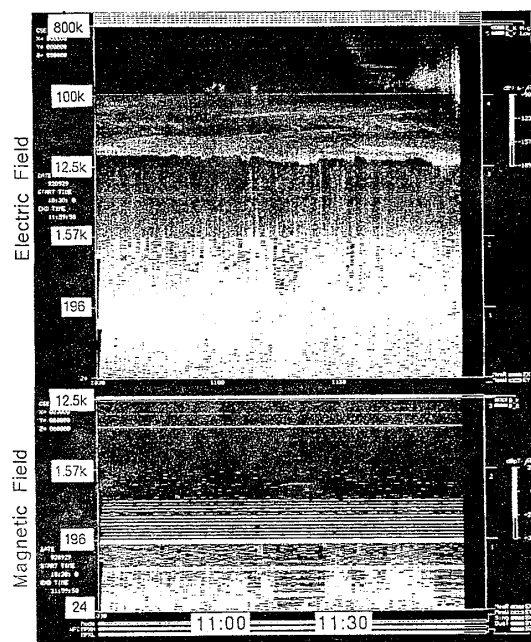


図 16. 磁気圏尾部で PWI-SFA によって観測されたプラズマ波動の QL 画面
上図：電界スペクトル、
下図：磁界スペクトル

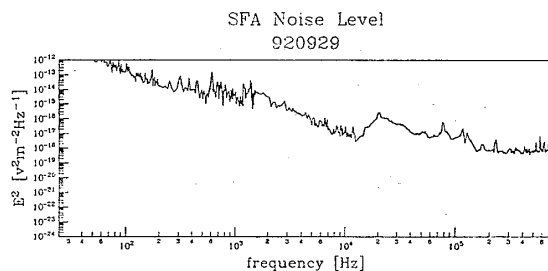


図 17. 11:11:30UT から 11:25:00UT 間の電界ノイズスペクトラム強度の平均値

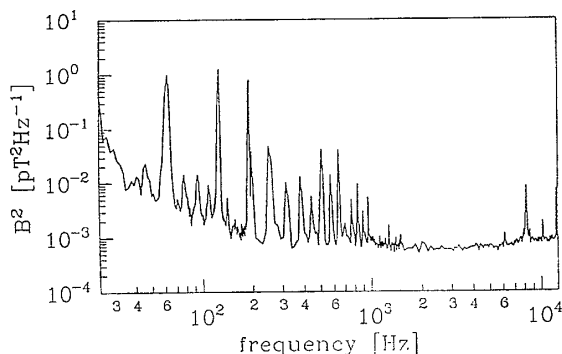


図 18. 同時刻における磁界ノイズスペクトラム強度の平均値

NEC) に負うところが大きであり、ここにお礼を申し上げます。

参考文献

- (1) 長野他、EXOS-D の EMI 測定 (VLF 波動観測装置への干渉)、宇宙科学研究報告、特集第 28 号、p.78-91,1991
- (2) GEOTAIL prelaunch report, ISAS SES Data Center,SES-TD-92-007SY,1992
- (3) Matsumoto et al.,Plasma wave observation with GEOTAIL spacecraft, JGG (submitted)
- (4) 塩崎他、GEOTAIL 衛星で観測されたコーラスエミッションの k ベクトル解析、信学技報、A.P93-77、p33-39,1993
- (5) Project requirement for Dynamics Explorer A&B, Spacecraft level EMC tests, GSFC-DE100-0280B,1980
- (6) J.S.Hill and D.R.J.White,EMC HANDBOOK VOL6,Don White Consultants.Inc,1981
- (7) 林、科学衛星搭載磁界センサーとその電磁干渉問題、金沢大学修士論文、昭和 63 年
- (8) 小嶋 他、GEOTAIL における波動観測のための EMI 対策、平成 3 年度宇宙観測シンポ、p.11-22、1991
- (9) Tsutsui et al.,Magnetic Radiations from Harness.Wires of Spacecraft, IEICE.Trans.COMMUN., E75-B,3,p.174-182,1992
- (10) 山本、宇宙空間で測る-衛星からの電磁干渉との戦い-,ISAS ニュース No.139,1992