

科学衛星搭載機器EMC試験用 雑音周波数ダイナミック・スペクトル表示システム

筒井 稔*¹・臼井 義比古*²・小嶋 浩嗣*³・橋本 弘蔵*³
長野 勇*⁴・岡田 敏美*²・八木谷 聡*⁴・松本 紘*³・山本 達人*⁵

(1996年5月7日受理)

Realtime Display System of Frequency Dynamic Spectra for the EMC test

By

Minoru TSUTSUI, Yoshihiko USUI, Hirotsugu KOJIMA, Kozo HASHIMOTO
Isamu NAGANO, Toshimi OKADA, Satoshi YAGITANI, Hiroshi MATSUMOTO
and Tatsundo YAMAMOTO

Abstract: A realtime display and recording system of frequency dynamic spectra has been developed for the Electromagnetic Compatibility (EMC) test. The system consists of an FFT spectrum analyzer connected to an electromagnetic sensor and a personal computer. The main part of this work is to develop software programs which can process the frequency spectrum data and display continuously scrolling spectra (the dynamic spectra) on the CRT on the real time basis.

Results of the processed data have provided clear displays of the dynamic spectra, from which we can clearly identify changes in spectral aspects when the electromagnetic condition has changed.

The system has functions of not only the display of the dynamic spectra but also the recording of the entire frame of the displayed spectra with all necessary information as a data file every 40 min interval. It also has a function of reproducing the spectrum display on the CRT from the recorded file, and we can get their color hardcopies.

*1 京都産業大学計算機科学研究所

*2 富山県立大学工学部

*3 京都大学超高層電波研究センター

*4 金沢大学工学部

*5 宇宙科学研究所

概 要

科学衛星搭載機器からの不要電磁界放射を抑制する事を目的とした電磁環境適合性能試験(ElectroMagnetic Compatibility (EMC) Test)において、測定時間の短縮等その能率を高めるための装置として雑音周波数ダイナミック・スペクトル表示システムを開発した。このシステムは電磁界検出用のセンサーを接続したスペクトル・アナライザーとそのスペクトル・データをダイナミック・スペクトルとして連続描画するための処理をするパーソナル・コンピュータから成っている。そしてその信号処理をするためのソフトウェア・プログラムを開発するのが本研究の目的であり、ここにそれを完成させる事が出来た。

本システムの主機能は測定された雑音信号のスペクトルをコンピュータのディスプレイ上に各周波数成分(それぞれの強度を色で表現)の連続的時間変化として表わすダイナミック・スペクトルを描画させる事である。しかし、システムとしての有用性を高めるためにいくつかの機能が備わっている。まず、スペクトル・アナライザーの測定周波数範囲や入力信号レベルを測定中にコンピュータから制御する事ができ、それに伴って画面上の各種パラメータも同期して変更される事が出来る。また、測定中に注目すべき現象が現われた場合、その部分を記録としてとどめておくための番号付きマーカーが画面上に付加される機能もある。更にこの画面情報(実時間にして約40分間分)をそのままファイルとして記録保存出来る機能をも備えており、後日、ディスプレイ上で再描画したりカラー・ハードコピーとし出力する事も出来る。

本システムはPLANET-B搭載機器のEMC試験で実際に使用され、明瞭なスペクトルの履歴として見る事ができ、極めて敏感に電磁気環境の変化を認識させてくれる事が確認され、多くの研究者によりその有用性が認められた。

重要語

科学衛星搭載機器

電磁環境適合性能試験(ElectroMagnetic Compatibility (EMC) Test)

周波数ダイナミック・スペクトル

信号処理ソフトウェア・プログラム

1. はじめに

わが国での人工衛星搭載機器に対する系統立った電磁環境適合性能試験(Electromagnetic Compatibility (EMC) Test)は文部省宇宙科学研究所(ISAS)と米国航空宇宙局(NASA)が協力して1992年7月24日に打ち上げた日米共同科学衛星GEOTAILに対して実施された[1]。この性能試験では搭載される個別の機器を、また最終的には組み上げられた衛星本体を磁気シールドチャンバー内に設置し、不要電磁界雑音放射の状況が調べられた。

EMC試験の項目は米国のMIL規格により細かく規定されており、EMCハンドブックにはそれらに関する測定方法が詳しく説明されている[2]。GEOTAILの搭載機器に対しては、電源ケーブルに重畳している雑音成分、即ち伝導性放射(Conducted Emission)における周波数範囲 20 Hz - 1 MHz の CE-01,-03、及び機器からの直接の放射(Radiated Emission)の電界成分で周波数範囲 20 Hz - 1 MHz の RE-02 と 磁界成分で周波数範囲 10 Hz - 10 kHz の RE-04 の 3 種類の測定が行なわれた。測定にはEMC試験専用測定装置(ヒューレット・パッカー社製)が用いら

れた。この専用測定装置は広帯域のスペクトル・アナライザとマイクロ・コンピュータ及びその周辺機器から構成されている。この装置の特徴は、予め測定に使用されるセンサー（電界アンテナやサーチコイルとプリアンプ、電流プローブ等）の利得の周波数特性を較正データとしてコンピュータに登録しておき、得られた測定値がそのまま電磁界強度や電流値に変換され表示されるように成っている。更に、予め規制すべき不要電磁界放射強度や雑音電流の最大値の周波数特性をも登録する事ができ、測定で得られた電磁界或は電流の周波数スペクトルに重畳して規制値が同時にコンピュータのCRTディスプレイに表示される仕組みに成っている。これにより規制値を越えた不要電磁界レベルを即座に判定出来る事になる。

測定は、外来からの雑音電磁界の混入を防ぐため、搭載機器を単体毎に磁気シールドルーム内に設置し上記3項目についての測定が行なわれた。その測定で規制値を越えた成分についてはその放射状況が判断され、その原因の検索が行なわれ、その源が特定された場合には必要な処置が施された[3]。このような方法で数多くの個々の搭載機器に対して検査がなされた。不要電磁波放射を抑制する処置が施された後に全ての搭載機器は衛星本体に組み込まれ、その衛星全体が再び磁気シールドルーム内に設置され、RE-02, -04 についての測定が行なわれた。このように特に単体機器を対象とした測定とその改修の繰り返しの結果GEOTAILは従来の衛星では経験しなかった極めて雑音の少ない衛星として完成する事ができた。打ち上げ後の観測でも驚くべき良好な波動データを得ることができ[4]、現在でも順調に観測が続けられている[5]。従来から米国では行われていた系統立ったEMC試験も、わが国においては科学衛星「あけぼの」で部分的に試みられたが[6]、系統立った試験としてはこのGEOTAILに対してが初めての実施であった。この実績により人工衛星を完成させる過程では必要不可欠な実施項目である事が改めて確認される事になった。

しかしこの一連のEMC試験においては膨大な時間と労力が費やされた事も否定できない。特に、様々な観測や駆動モードを持っている機器に対しての測定では、それらモード毎に測定データを取得する必要がある、長時間に亘る測定を余儀なくされる事も多かった。また個々の機器の測定時には発見出来なかった不要電磁波放射が全機器を衛星に組み込んだ段階で現われる事や、機器の観測モードの多さや互いに干渉する事により複雑な様相を見せ、不要電磁波発生の源を特定するのに多くの時間を要したり、またその原因を判明する事が出来ない状況もあった。この測定で時間が掛かるもう一つの要因はEMC試験専用装置を構成している広帯域の周波数分析器（スペクトル・アナライザ）にあった。一般的に周波数を分析する場合、まず分析すべき周波数の分解能が決められる。分析装置がアナログ回路で構成されている場合、決められた分解能で周波数分析をするにはその周波数分解能の逆数に相当する時間を要する事が知られている。分析すべき周波数の下限が低くなると、分解能の周波数幅も当然狭くなり、分析時間も長くなる。分析すべき信号の全帯域幅が周波数分解能のN倍であるならば、そのN倍した分析時間を要する事になる。EMC試験で用いた専用装置に組み込まれているアナライザはアナログ方式を採用しているため、100 Hz以下の低周波部分での分析には非常に長い分析時間を要し、1つの現象を10 Hzから1 MHzまで分析し、その結果をハードコピーとして出力するまでに約3分もの時間を要した。この点も含めて我々は大幅に測定時間を短縮する方法を見つける必要性を痛感していた。

GEOTAILの打ち上げ直前には既に火星探査衛星PLANET-B打ち上げ計画が始まり[7]、その搭載機器に対するEMC試験実施もスケジュールに組み込まれていた。このような状況のもと、GEOTAILでの経験で痛感した測定方法の改善が急務となり、新しい装置の開発を始める事になった。

本研究に於いて開発すべきシステムの基本的機能としては、検出信号の周波数スペクトル形態の時間的変化が容易に認識できるものでなければならなかった。それを実現するために検討した結果、ダイナミック・スペクトル表示方式が最適であるという結論に達したので、その方針に沿って開発をする事になった。しかし、検出した信号の周波数分析等信号処理部分をも含めて開発することはシステムとしての汎用性から離れてしまうため、その部分は既成の装置を利用する方向で検討を進め、そしてこの度そのシステムを完成させる事が出来た。この装

置を完成させた時点は丁度PLANET-BのEMC試験が控えていた為、その試験では従来から用いていた専用測定装置と併せて使用する事になった。試験の結果、新たに開発した装置を使うことにより測定時間を大幅に短縮でき、本システムが極めて有用である事が判明した。

本システム開発の主要部分はデータ処理のためのソフトウェア・プログラムであるため、本報告ではその原理と操作の方法、データの自動記録の仕組み等を信号処理プログラムのアルゴリズムと共に述べる。更に自動的に記録されたダイナミック・スペクトルを後日の点検や解析に供するハードコピーとして出力するための再描画方法も述べる。

開発したシステムはスペクトル・アナライザーを用いた実験を行なう様々な研究者にとっても極めて有用で重宝であると思われるので、このシステムを多くの研究者が使われる事を考慮し、ソフトウェアのプログラム・リストを公開する事にした。

2. 雑音周波数ダイナミック・スペクトル実時間表示装置

科学衛星の搭載機器に対するEMC試験で一番重要な測定とは、各機器の電源投入時や測定モード或いは駆動モードの変更時の前後におけるスペクトルの変化を調べる事である。それにより不要電磁界雑音の発生源を特定出来るからである。

周知の如くスペクトル・アナライザーとは瞬時瞬時における波動（または振動）現象の周波数スペクトルをモニターする為の装置であり極めて有用であり、あらゆる所で使われている。しかしそのままではそれらの周波数スペクトルの過去におけるものとの違いを比較する事はできない。それを調べるためには、スペクトルを写真またはXYプロッターによりグラフとして出力し、それらを並べて比較検討する以外に無かった。しかしこの方法では時間経過に伴うスペクトル全体の変化を把握するには時間の掛かる作業であり、より詳細な時間変化を調べるためには更に短い時間間隔でのスペクトル出力を取得する事が必要になり、膨大な記録量と労力が必要であった。実際GEOTAIL搭載機器のEMC測定試験時は正にそのような状態であった。この測定の際に痛感したのが周波数スペクトルの過去からの履歴を表示しながら且つ瞬時のスペクトルをも表示できる装置の必要性であった。それを満足させる表示方法はダイナミック・スペクトルと呼ばれ、現在の科学衛星の波動データの表示には殆どこの方式が採用されている[4]。しかし従来まで地上の測定実験等ではこのような装置は声紋分析等特殊な用途以外には用いられおらず、汎用装置としては存在していなかった。しかも声紋分析装置は極めて短時間の信号を高い時間分解能で周波数分析するのを目的としており、長時間連続測定とその記録には適していない。そこで本研究では装置の汎用性を念頭に置き、計測の自由度をできるだけ多く持たせる事を考え、汎用スペクトル・アナライザーを用いたダイナミック・スペクトル実時間表示および記録装置として開発する事になった。

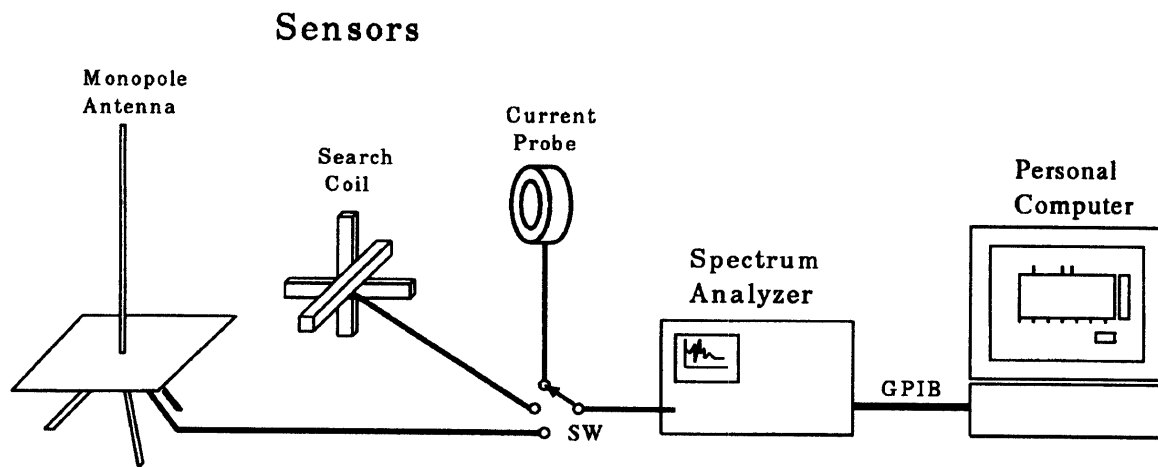


図1. ダイナミック・スペクトル表示システムの構成図。

各種のセンサーで検出された電磁界成分はスペクトル・アナライザーで周波数分析された後、GPIBを経由してパーソナル・コンピュータに送られ、CRT上にダイナミック・スペクトルとして表示される。

2-1. システム構成の概要

開発したシステム構成のブロックを図1に示す。装置は検出器（センサー）が接続されたスペクトル・アナライザーとパーソナル・コンピュータから成っている。電界、磁界そして電流等測定対象によって検出器（センサー）も異なるが、それらを切り替えるだけでスペクトル・アナライザー入力以降のデータ処理は同じ扱いと成っている。GEOTAILのEMC試験の時のセンサーとしては図に示すようにRE-02測定用の放射電界測定用のモノポール・アンテナとプリアンプ、RE-04用の放射磁界測定用のサーチコイルとプリアンプ、そしてCE-01-03用としてケーブル内を流れる不要電流成分測定用の電流プローブであった。

スペクトル・アナライザーの種類はマイクロ波帯の超高周波用のものから超低周波用のものまで千差万別であるが、できるだけ多くの機種に適用できる事が理想的である。またスペクトル・アナライザーの出力データをパーソナル・コンピュータで処理させる事を考え、そのデータ転送には測定機器間のデータ伝送形式の統一規格であるGPIB (General Purpose Interface Bus)[8, 9]を利用する事にした。この方式を用いれば装置の汎用性が保たれる事になる。これらの事からスペクトル・アナライザーにはGPIBの機能を備えていなければならない事が主要件であった。この事に加えてGEOTAIL搭載機器のEMC試験時から学んだ重要な点、即ち低周波数信号の分析時間の短縮がある。この点に関して使用すべきスペクトル・アナライザーとしては信号処理をデジタル的に行っているFFT (Fast Fourier Transformation)の機能を備えたものである事が必要条件となった。ただし、高い周波数信号での解析時間は短いためFFT方式でなくても使用可能である。また測定しようとする周波数範囲は極めて広いためスペクトル・アナライザーとしては周波数が対数目盛でも表示出来るものでなければならない。本研究ではこれらの要件を備えたスペクトル・アナライザーで宇宙科学研究所所有の3562A Dynamic Signal Analyser (ヒューレット・パッカード社製) [10]を用いる事にした。

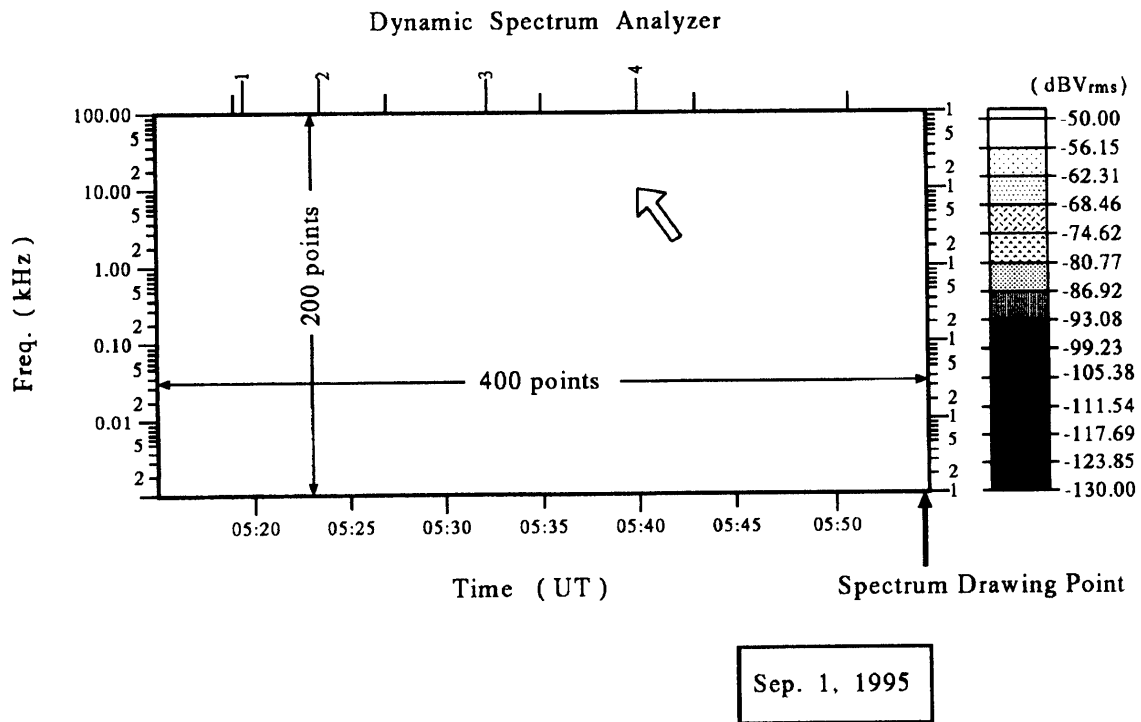


図2. パーソナル・コンピュータのCRT上に表示されるダイナミック・スペクトル画面の構成説明図。

中央の200 x 400点の画素（ピクセル）からなる領域の右下隅から縦一列のスペクトル・データが入力表示される。次のデータが入力表示される直前にその領域内の全データは左に1画素分だけスクロールする。周波数軸の目盛り及びカラーコード（図面右端）に対応する入力電圧値の範囲（dBVrms）は測定開始前のスペクトル・アナライザ設定時の状態に連動して表示される。横軸は時刻で1組のスペクトル・データが入力表示された段階でコンピュータ内臓の時計情報から5分毎に目盛り（領域枠外の上下）と時刻（枠外下側のみ）が表示される。日付けが変わると年月日枠内（右下）の表示も自動的に変化する。注目すべきスペクトル・データをマークしておきたい場合は、マウスを使って矢印（図中に表示）を目的の位置まで移動させ、その位置でマウスをクリックさせると表示領域枠の上部の該当時刻に縦棒マーカーと番号が描画される。時刻目盛りと番号付きマーカーはスペクトル・データと同期して左方向にスクロールする。

2-2. システムの機能

2-2-1. 周波数ダイナミック・スペクトルの表示機能

データ処理結果はダイナミック・スペクトルの形でその表示をNEC PC-9801型のパーソナル・コンピュータのCRTディスプレイ上で行っている[11, 12]。ディスプレイ画面上での表示仕様を図2に示している。横軸が時刻、縦軸が周波数、そして周波数スペクトルの強度を色で表す3次元表示方式である。即ちスペクトル・アナライザで分析された1回分の周波数スペクトル・データ（アナライザのCRT上での表示は横軸が周波数、縦軸がスペクトル強度）は各周波数成分の強度が色に変換され、それがコンピュータのディスプレイ画面では縦方向の1列状に表示される。CRTディスプレイ上では図に示すごとく画面の右端下から1列分だけの入力表示が行なわれる。測定は連続的に行われるため、次のスペクトル・データが取り込まれる直前に、それまで入力表示されていた画素（ピクセル）は時間軸の左方向に1画素分だけ移動（スクロール）するようになっている。

時間軸方向には400画素分の表示領域が確保されており、一番新しいスペクトルが取り込まれると、400回前に取り込まれたスペクトルは其の時点で画面左端から消えていく事になり、CRTディスプレイ画面には常に過去から現在までの400個分のスペクトルが履歴として表示される仕組みになっている。以下、ここで動作に付いてもう少し細かく説明する。

使用するFFT方式のスペクトル・アナライザは超低周波から測定できるが、今回使用するセンサーの特性を考えると、測定できる下限周波数は1 Hzとなる。一方、上限周波数はスペクトル・アナライザの最大周波数に依存している。図2での周波数軸は対数目盛りで示してあるが線形目盛りにもする事が出来る。どちらにするかの選択は使用するスペクトル・アナライザの表示機能に依存しているので、その取扱説明書によりプログラムを変更する必要がある。本研究の目的は広帯域の周波数成分を監視する事であるので対数目盛りにした。本測定で使用したヒューレット・パッカード社の3562A Dynamic Signal Analyserの上限周波数は100 kHzとなっており、CRT上に表示できる範囲は対数目盛りで4桁となっているため、そのダイナミック・スペクトル表示でも対数目盛りで4桁の表示として設計した。周波数軸を対数目盛りにした場合、スペクトル・アナライザ上でのデータは1桁につき80点から成っている。4桁分でのデータ点数は320点となる。一方、ダイナミック・スペクトルとして表示させる場合、コンピュータのCRTディスプレイ上では縦方向に周波数を取るようになるが、その縦方向の画素数は400個であり、ダイナミック・スペクトル画面の上下に目盛りや他の表示項目等の領域が必要である。この事を考慮すると、320点をそのまま描かせることは無理である事は理解できる。そこでデータ点数をそのまま使用せずに、何点かのデータ毎の間引きや平均操作によりデータ点数を減らす必要があった。今回は周波数表示領域を200点に制限して設計した。即ち、プログラム実行開始によりスペクトル・アナライザからGPIBを経由してスペクトル・データが送られて来るが、そのデータ点数は上述のごとく320点であるため、周波数の隣接する2点の値を平均して1点とするか或はどちらか1点を選び、4桁に亘るデータ点数として160点のデータをダイナミック・スペクトル上に表示することにした。200点のデータ領域は対数周波数にして5桁分であるのに対してスペクトル・アナライザの同時表示が4桁であるため、4桁分の160点を表示領域の上側の4桁として表示するか下側のそれにするかは測定範囲を最大で1桁ずらせる事によって実現できる事が判る。そこで開発したプログラマでは測定の周波数範囲が

1 Hz - 10 kHz

2 Hz - 20 kHz

5 Hz - 50 kHz

10 Hz - 100 kHz

のように変更できるようにしたので、スペクトル・アナライザでの測定周波数範囲の設定に応じてダイナミック・スペクトル表示の描画範囲がその枠内で上下できるようにした。

色情報に変換された160点から成るスペクトル・データはダイナミック・スペクトル描画枠内の右下隅から上に向けて順に色の点として表示される。現実には1つのスペクトル分のデータが枠内の右の縦1列に表示される直前に予め、ダイナミック・スペクトル表示枠内の全画素データは1画素分左へシフト（スクロール）するようになっている。計測が行なわれている間中この一連の動作が繰り返し実行され、色スペクトルが時間的に連続した画面となり左へのスクロールする動画状態として続く。

画面上に着色される色とスペクトル強度との関係はダイナミック・スペクトル画面の右にカラーコードで示されている。色に対する数値の単位はdBVrmsで表示されており、数値の最大及び最小値はスペクトル・アナライザでの表示値に一致しており、配色の数で等分化された値は対数値で表示されている。この色と数値表示との関係はスペクトル・アナライザ設定時に入力レベルとその範囲を変更させる事で自動的に変わるようになっている。

時刻はコンピュータ内部の時計により、5分毎に目盛りとその時分（例 03:15 のように）が表示される。又、

年月日についてはプログラム実行開始後の最初の時刻及び目盛描画に連動してその時点での年月日が画面右下の枠内に表示される。連続測定を続ける場合、日付が変わればそれに応じてその枠内の日付表示も更新される。またこの装置を自然電波測定等に使用する事をも考え、他の現象との関連を比較する事も有り得るので、時刻の表現方法は敢えて国際標準時(Universal Time: UT)とした。

2-2-2. コメント記録用マーカー付加機能

測定が開始されると信号強度を色で表わしたスペクトルが左へスクロールしながらの表示が続けられるが、図2に見られるように、この表示画面の枠内には矢印が常に表示されており、マウスにより移動可能状態と成っている。EMC試験やその他の測定において、被測定機器の電源投入や観測モード(駆動モード)の変更、あるいは外来からの突発雑音の混入等による電磁環境の変化は、ダイナミック・スペクトルでは明瞭に現われる。そのような変化部分について、その時の測定状態を記録しておきたい事がある。そのような場合はこのマウスを使って画面上の矢印をその変化部分まで移動させ、マウスのボタンを押す事によりスペクトル画面枠外上部にマーカー(縦棒)が描かれその上端に1から順に番号が付加表示される(図2参照)機能を持たせた。1回のマウス押入に対して1本のマーカーが描画され1づつ加算された番号が表示されるので、その番号と測定条件に関する情報とをノートに記録しておけば、後日にダイナミック・スペクトルを再描画した時の重要な情報となる。ただし、番号は1から99までとなっており、それを越えると再び1からの表示を繰り返す事になるので注意を要する。

2-2-3. 画面の自動及び強制記録保存と再描画機能

コンピュータのCRTディスプレイ上での表示はこのように連続して続けられるが、測定結果のデータを記録保存する事も必要である。そのため画面表示データが自動的にハードディスクに記録保存出来る機能をも備えている。

データ点数のみを試算すると1つのダイナミック・スペクトル部分のみに含まれる画素数は80,000点である。スペクトル・アナライザーの種類にもよるが3562Aを用いた場合スペクトル・データは実時間にして約40分間のデータであった。1日分のデータに換算すると約2,880,000点となる。もしGPIBで転送されてきたデータをそのまま数値として記録するならば、1日分の記録すべきデータ量は約23メガバイトとなる。しかもこのデータには時刻や特異現象等を明示しているコメント情報は含まれていないため、後日での解析時には十分な情報が与えられないことになる。後日に於いても測定時と同じデータとして見る事が出来、観測時点でのコメント情報がそのまま含まれている事が記録の基本である事を考えて、画面情報をそのまま記録させる事にした。即ちCRTディスプレイの各画素を色情報で表したVRAM (Video-RAM)のデータをファイルとして記録保存する方式を採用することにした。

ダイナミック・スペクトル画面時間軸方向には常に400個のスペクトル約40分間のデータとして並んで表示されているが、375個のスペクトルが表示された段階でCRTディスプレイ上に描かれている全ての画像情報が1つのファイルとしてハードディスクに記録・保存されるように設計されている。375個のスペクトルが表示される毎に記録・保存するのは、連続的に記録・保存されたダイナミック・スペクトル画面を再描画したりハード・コピーとして出力して並べた時、端の繋ぎ部分に25個(約2.5分間)分の重複部分を持たせる為である。

記録・保存時のファイル名として次のような記録時の年月日時刻が使われる。

YYMMDDHH.mm

ここで、

YY: 西暦の下2桁を表示

MM: 月を2桁で表示

DD: 日を2桁で表示

HH: 時を2桁で表示

mm: 分を2桁で表示

である。また、強制的に測定を終了させる場合も、その時点での画面が記録されるようになっており、その場合のファイル名末尾には強制を意味する"F"が付加されるようになっている。即ち、ファイル名は

YYMMDDHH.mmF

となる。

CRTディスプレイ上に表示するためのVRAMは1面当り $80 \times 400 = 32$ キロバイトのRAMから成っているが、3原色および色の強度情報の計4面から構成されているため、128キロバイトとなる。更にコンピュータの機構上これを2組使っているため最低で256キロバイトの容量が必要である。実際にファイルとして記録した場合、262.4 キロバイトの容量になっている事が確認された。上述のごとく実質的には37.5分間毎にファイルとして記録しているので、1日分のデータに換算すると約10メガバイトとなる。

このデータの最終的な保存は光磁気ディスクを考えているが、当面はハードディスクに記録した後、データ圧縮を掛けてフロッピーディスクに保存する事を行っている。実際圧縮を掛けると約1/4となり1日分のデータ量が2.5メガバイト弱になる事が確認された。ここで1/4に圧縮できるのはCRTディスプレイ全画面で実質的に情報として使われていない部分(背景部分)が3/4も占めている事による。

ハードディスクに記録・保存された画面は、再びCRTディスプレイ上に静止画面として表示できるプログラムも作成し用意されている。

記録画面は上に示したYYMMDDHH.mm 或は YYMMDDHH.mmF なるファイル名と成っている為、必要な日に相当するファイルは容易に探し出す事が出来る。そして再描画用のプログラムの実行の後、上記書式のファイル名を入力する事により、測定データの記録された時点での画面が静止画としてCRT上に現れる仕組みになっている。

また、CRTディスプレイ上に表示された静止画はVideo converterを用いビデオ信号に変換されプリンターによりカラーハードコピーとして出力する事が出来る(図4の測定例参照)。

3. 信号処理ソフトウェア

上記機能を備えたシステムを完成させる為には測定データの取得と必要な形式でのデータ保存を行なうための信号処理プログラムの開発が必要であるが、本研究ではスペクトル・アナライザからのデータ取得以降の信号処理プログラムの開発が中心と成っている。プログラムは全てC言語を使用している[13, 14, 15, 16, 17]が、特に処理速度を早める必要のある部分、即ち画面のスクロール部分ではアセンブリ言語[18, 19]を使用している。

以下の説明では上記機能と開発したソフトウェア・プログラムとの関係を分かりやすくする為にプログラム中で使用した関数名を付記しておく。

3-1. 測定データ表示プログラム

測定開始に先立ち、スペクトル・アナライザーでの測定周波数範囲および被測定入力信号の電圧範囲を決める必要がある。これらの範囲の決定には予め計測される現象をアナライザー上のスペクトル（横軸が周波数で縦軸が強度）画面を見ておき、それをコンピュータにより設定する方式を取っている。その設定は次のプログラム実行コマンドのオプションに加えておく。即ち、

```
¥> exp [parameter 1] [parameter 2]
```

を入力する。ここで2つのパラメータはスペクトル・アナライザーの測定モード設定を行なうためのオプションで [parameter 1] は信号の最大表示電圧 (単位: dBV) で

-30, -40, -50, ……

等を入力する。(ただし、-40 dBV 以上についてはHP3562AのCRT画面では指定通りに表示されるが -40 dBV以下にした場合、表示は -40 dBVのままである事に注意)。

[parameter 2] は測定信号の下限周波数 (単位: Hz) で

1, 2, 5, 10

の何れかを入力する。

また、これらオプションを省略すると、

```
¥> exp -50 5
```

を実行することになる。

3-1-1. フローチャート

前記コマンド入力により、ダイナミック・スペクトル表示のための信号処理プログラムの実行が開始する。図3は信号処理プログラムのフローチャートを示しており、流れは次のようになっている。

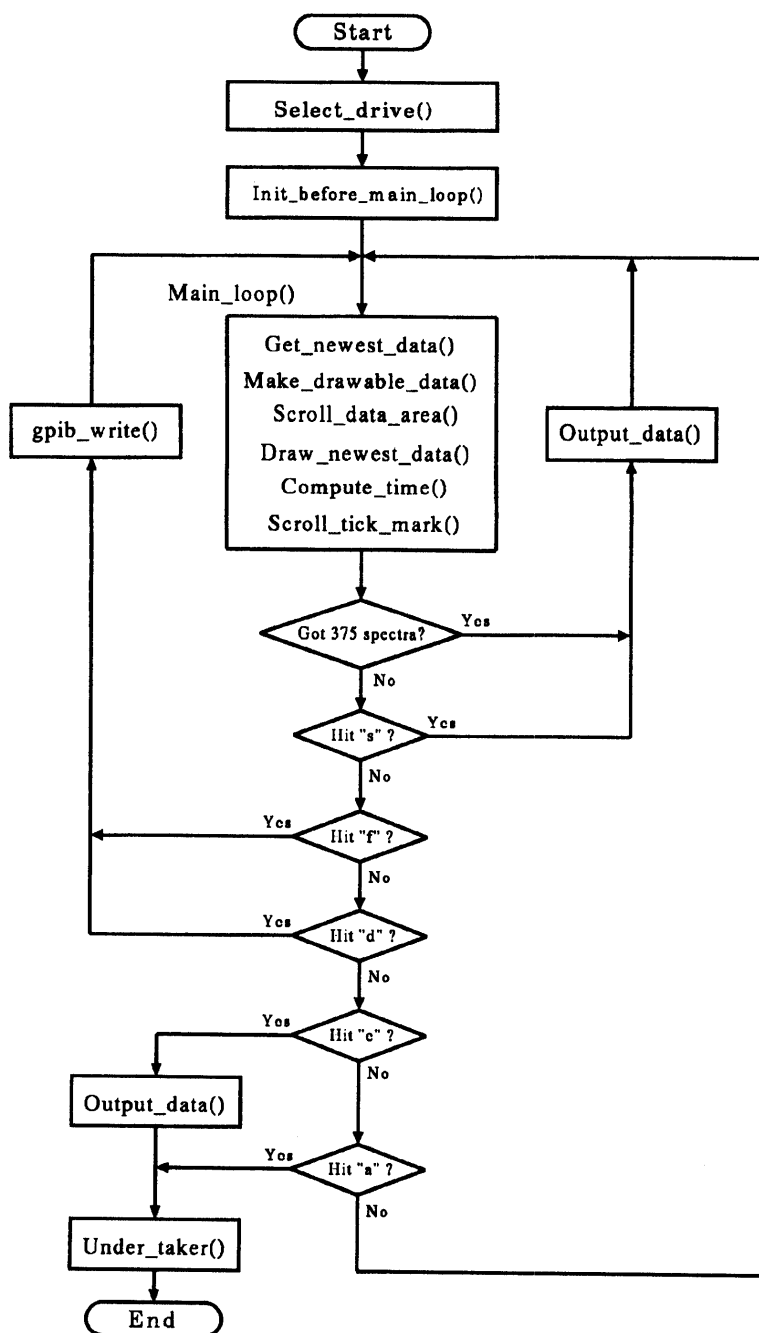


図3. 開発したシステムの信号処理ソフトウェア・プログラムのフローチャート。(本文参照)

プログラムのスタートにより関数 main() に入るが、その中でのメインルーチン (Main_loop()) に入る前に次の関数による準備作業が行なわれる。

1. Select_drive()

- ・表示された画面データの記録保存場所（ディレクトリ）の指定。

2. Init_before_main_loop()

- ・コンピュータ画面をグラフィック画面にする為の初期化。
- ・データ転送のためのプロトコル (GP-IB)の初期化とコマンド入力時に指定したパラメータによるスペクトル・アナライザー側の測定モードの設定。
- ・パーソナル・コンピュータのCRTディスプレイ上でのダイナミック・スペクトルの描画位置及び範囲の設定。
- ・測定年月日を表示する枠の描画。
- ・信号強度と色表示との関係を示すカラーコードの描画。
- ・座標軸名・目盛と単位の描画。

これが終了すると、スペクトル・アナライザーからの周波数スペクトル・データの転送が開始され、以下のルーチンが無限ループ状態で稼働を始める。

3. Main_loop()

- ・スペクトル・データ取り込み。
- ・スペクトル画面の左方向へのスクロール。
- ・CRTディスプレイ上への色表示によるスペクトルの描画。
- ・実時刻検出と5分毎の時刻表示とその目盛りの描画。
- ・表示時刻とその目盛りの左方向へのスクロール。

これにより連続測定と描画が続けられるが、

- ・測定開始から約37.5分毎にCRTディスプレイ上に表示されている画像をそのままファイルとしてディスク上に記録保存する。

この後再び Main_loop() の最初に戻り上記動作を繰り返すが、次のキー入力操作で各種の制御が可能である。

- ・ "f"----- (Change of F-range)

描画スペクトルの周波数範囲を測定途中で変更したい場合はキー「f」を押した後、最低周波数 1, 2, 5, 10 Hz を決めるためその数値のどれかをキー入力する。

- ・ "d"----- (Change of V-ref)

最大表示電圧を変更したい場合は、キー「d」を押した後、変更したい最大表示電圧値（負号無し）をキー入力する。

- ・ "s"----- (Data Save and Continue)

その時点での画像をファイルとしてディスク上に記録保存した後、測定・表示を続行させる場合はキー「s」を押す。

- ・ "e"----- (Data Save and End)

その時点での画像をファイルとしてディスク上に記録保存後、プログラムの実行を終了させる場合はキー「e」を押す。

・ "a"----- (Abort)

CRTディスプレイ上に描画されている画面情報を記録保存する事無くプログラムの実行を終了する場合は、キー「a」を押す。

4、 Under_taker()

・ GP-IBをリセットしてプログラム実行を終了する。

3-1-2. プログラムの主要内容

本節では信号処理システムの全体の流れの内、プログラムの内容の主要部分についてもう少し詳しく説明する。(ファイル名: hashimoto.c 及び arasu.c)

3-1-2-1. スペクトル・アナライザの測定モード設定とコンピュータ画面上での描画領域設定とデータ転送準備

[Init_before_main_loop()内]

まずコンピュータ画面をグラフィック画面にする為の初期化の関数を走らせる。

InitBGI()

次に GPIB を経由してデータを転送するプロトコルを確保する[8, 9]のために GPIB の初期化[20, 21]を行なう。

Gpib_init()内の

gpib_init()

gpib_ifc()

gpib_setren()

この後、スペクトル・アナライザの測定モードの設定を行う。先ずそのCRT画面表示での最大および最小電圧、その単位、測定信号の下限周波数とその範囲、その目盛り表示形式(対数か、線形か)、信号入力チャンネルの結合モード(ACか、DCか)及びその正負極性選択等の設定をそれぞれの項目毎に

gpib_write(GPIB_ID, "xxxxxx")

を用いて繰り返し指示する事により、それらの測定モードが設定される。その後、GPIBで転送データを読み取り

gpib_read(GPIB_ID, buf)

で測定モード設定を確認する事により、GPIBによるスペクトル・データ転送取得の準備ができたことになる。

次にコンピュータ側のCRTディスプレイ上でのダイナミック・スペクトル表示の為の設定を行う。ダイナミック・スペクトル表示領域、電圧カラーコード表示領域、測定年月日表示領域の位置を決め、

Define_Window_Size()

それぞれの領域に枠を描き、それぞれに目盛りと単位を描画、

```

Create_Window_Clinent()
Create_Window_Time_win()

```

また電圧値表示用のカラーコードに13種類の配色を行い、

```

Create_Window_Colorbar()

```

それぞれの枠の各辺に表示数値に対する単位を描画する。

```

Write_Unit()

```

これによりダイナミック・スペクトル描画の準備が整った事になる。

3-1-2-2. データ転送とダイナミック・スペクトルの描画

前節での初期設定により、データ送出側のスペクトル・アナライザーと取得側のコンピュータ側の態勢が整ったので、メインループでの動作を開始する。

[Main_loop() 内]

スペクトル・アナライザーから320点のスペクトル・データを GPIB を経由して取得を行なう。即ち、

```

Get_newest_data()
gplib_write(GPIB_ID, "DDAS")

```

により、データ送出が開始され、

```

gplib_read(GPIB_ID, aa)

```

でデータを受け取り、データが設定通りである事を確認の後、320個のデータを配列に納める。

得られた連続データの2点づつから値の大きい方を選び160点のデータとし、各値に応じた色情報に変換する。

```

Make_drawable_data()

```

この160点の色情報化されたデータを CRT ディスプレイ上のダイナミック・スペクトル表示領域に描画するが、その直前に予めその領域内の全画素データを1画素分左にシフト（スクロール）させる。（ここで全画素数は80,000点あり、これを短時間で実現させるためにこの部分がアセンブリ言語で記述されている[18, 19]。）

```

Scroll_data_area()
ScrollWindow() ..... Assembly

```

全画素の内容が左へ1画素シフトが完了した時点でダイナミック・スペクトル枠の右端の下から順に160点の色情報データが決められた周波数の位置の画素を着色していく。

```

Draw_newest_data()
putpixel()

```

160点のデータが書き込まれた時点での実時刻（国際標準時）の計算をコンピュータ内蔵の時計を基準にして行なう。

```
Compute_time()
```

計算された実時刻に対して5分毎の目盛りがダイナミック・スペクトル枠の上下に付加され、時刻数値が描画される。実際はこれらの目盛りと数値も描画される直前に左に1画素分スクロールされる。

```
Scroll_tick_mark()
    ScrollWindow()..... Assembly
    Draw_tick_mark()
    Draw_time()
```

また最初の時刻描画と日付が変更になった時点で年月日とその表示枠内に描画される。

```
Draw_date()
```

測定監視中に注目すべき現象が見つかった場合、その時点のスペクトルにマウス矢印[17]を移動させマウスボタンを押すことによりダイナミック・スペクトルの上部枠に縦棒マーカが描画されイベント番号がその先に付加される。（このマーカ表示領域もスペクトル・データと同期してスクロールする。）

```
line()
Set_Font_Style()
outtextxy()
```

3-1-2-3. 描画されたCRTディスプレイ画面の自動及び強制保存ルーチン

ダイナミック・スペクトル描画領域内では縦方向に描かれたスペクトル400本を時間軸方向に並べて描画できるが、400本を越えると最初に描画されたスペクトルは其の領域の左端から消える様になっている。しかし再生描画データの連続性を見るためには重複部分を持たせる必要がある。そのためにはスペクトルが400本になるまでに描画された画面を自動的に保存するためのルーチンが Main_loop()内に準備されている。それは375本のスペクトルが描かれる毎に

```
Output_data()
    dwrite()
```

のルーチンに入る。このルーチン内で使われている関数 dwrite() はVideo-RAM のデータを直接ハードディスクに記録するために msdos で準備されている関数である[14]。画面情報の記録保存が終了すると再びデータ取得のルーチンに戻り同様の事を繰り返す。

強制的にこのルーチンに入るには3-1-1節で述べた機能の内"s"及び"e"のキー押入する事により実現できる。

3-2. 描画面面再生プログラム

コンピュータのCRT上に描画された約40分間毎のダイナミック・スペクトルの画像はVRAM上のデータがそのままの形で

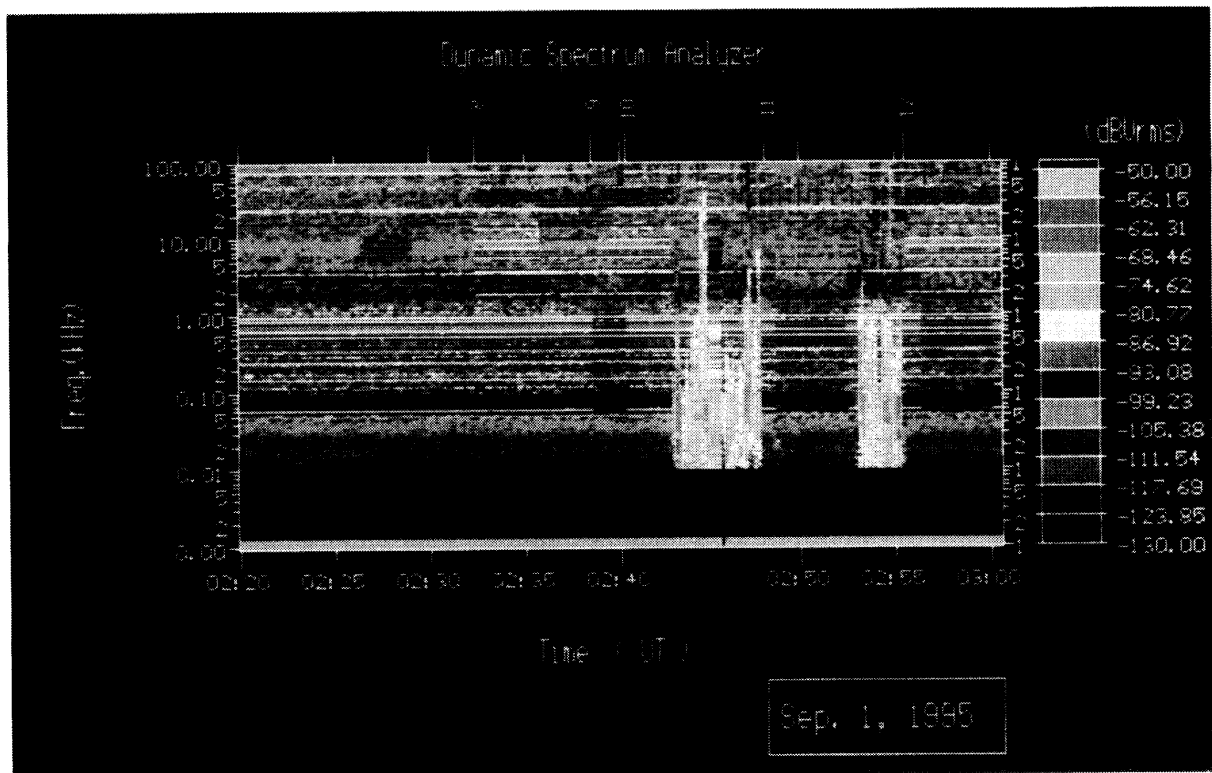
YYMMDDHH.mm (またはYYMMDDHH.mmF)

というファイル名が付けられ、ハードディスク上に記録・保存されているので、そのファイルを再びCRTディスプレイ上に描画させるためのプログラムを作成した。そのプログラム名は

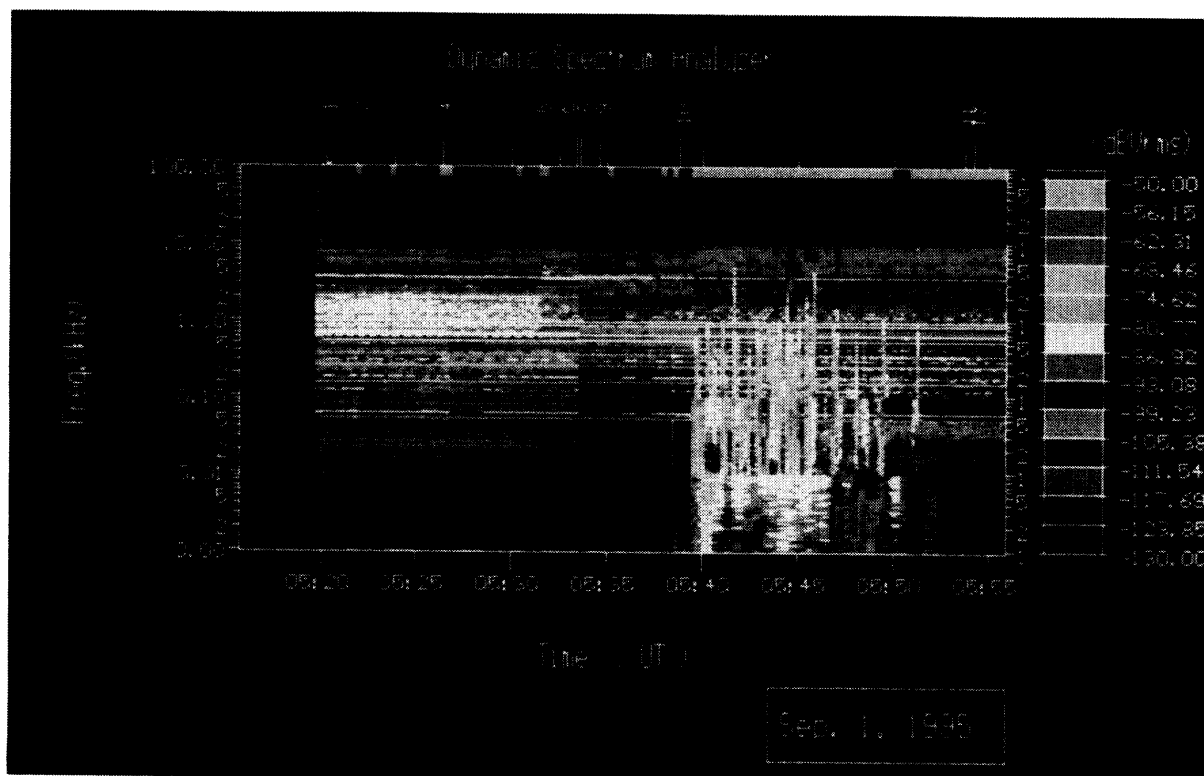
heguri.c

である。このプログラムはmsdos.hで定義している関数dread()により、ファイル内データを直接VRAMに書き込みを行う事[14]で、ダイナミックスペクトル画面を即座にCRTディスプレイ上に表示する事ができる。

4. 測定結果の例



(a)



(b)

図4. 開発したシステムを用いて得られたダイナミックスペクトルの実測結果例。

火星探査衛星PLANET-Bに搭載される CCDカメラとその電子装置に対して行われた EMC 試験の結果で、(a)はモノポールアンテナにより検出された雑音電界成分。(b)電流プローブを用いて電子装置の電源ケーブル内を流れる雑音電流成分。(a)において20:45 UT の目盛と時刻表示がなされていない理由については本文を参照の事。

図4は本研究で開発したシステムを用いて得られたダイナミック・スペクトルの実測例である。これは1995年9月1日に宇宙科学研究所（神奈川県相模原市）の磁気シールドルーム内で行われた火星探査衛星PLANET-Bの搭載機器の一つで火星表面を撮像するCCDカメラとその電子装置に対して行なわれたEMC試験の結果である。この例を基に、どのような雑音成分が検出されているかを説明していく。

図4(a)は図1に示すモノポールアンテナにより検出された電界成分のダイナミック・スペクトルを示しており、測定周波数範囲は10 Hz から100 kHz となっている。スペクトルには50 Hzの商用電源周波数とその高調波成分の混入が明瞭に現われている。このスペクトルでは基本周波数成分よりも奇数高調波成分の方が強く検出されている。一方、60 Hz とその高調波成分も検出されているが、その高調波は基本波成分よりも弱い整数倍成分として現われている。このように50 Hz とその高調波から成るスペクトルと60 Hz のその形態が異なっている事から、60 Hz とその高調波成分からなるスペクトルは西日本で使用されている商用電源周波数が検出されたとは考えにくい。しかもこの信号は連続的に現われておらず間欠的な消滅が見られる。この間欠的消滅には強い25 kHz, 50 kHz, 及び75 kHz成分が同期している。これらの成分は標準EMC測定装置や他のCRTディスプレイからの影響であることが下に述べる確認作業で明らかとなった。

図中数kHzまで延びた広帯域のスペクトルが02:42-02:48 UT と02:53-02:55 UTに現れているが、これらは磁気シールド内での作業のために人が入った事により電界が強く乱されている事を示している。

また、3.5 kHzに強い成分が検出されているが、この原因については今のところ見当が付かない。

以上が測定環境における背景雑音成分であり、このような環境下で測定を開始した。

時刻的には前後するがマーカー番号9においてはEMC専用測定装置に備え付けのコンピュータのCRTの電源をOFFにしマーカー番号10において再びONにした。OFFの期間中においては60 Hzとその高調波と25 kHz、50 kHz、及び75 kHzの成分がスペクトルから消えている。このことから60 Hzはノーマルモード用400ラインCRTディスプレイの垂直同期信号(61.2 Hz)であり、25 kHzは水平同期信号(24.83 kHz)であり、それらの高調波成分が強く混入していると考えている。

マーカー番号8(02:32 UT、日本標準時 11:32 JST)においてCCD信号読出しのための掃引信号パルス(周期0.5 msec)を印加した。その結果2 kHzとその高調波成分が強く現れている。この2 kHzの雑音成分がCCD電子回路のどの箇所から放射しているかを特定するために、02:42 UTからその装置のケーブルが露出している部分にシールドを施すための作業を開始した。その作業は02:48 UTまで行われた。マーカー番号11の少し後で測定を再開したところ2 kHzの成分が現れなくなった。シールドを施した部分は電子回路のプリント基板間を接続するケーブルがコネクタを介してケース外に露出している部分であった。このことからケーブルに対してのシールドは勿論の事、コネクタの背後にも(Back Shellで)シールドを施す必要がある事が明確に示された。それはマーカー番号12以降でBack Shellを取り外したところ再び2 kHzの雑音が見られる事で再確認された。

図4(b)は同じCCD装置に接続されている電源ケーブル内を流れる雑音成分を電流プローブを用いて測定した時のダイナミック・スペクトルの表示例である。05:19 UTから測定を開始したが、その時の測定周波数範囲は5 Hzから50 kHzであった。しかし、更に低い1 Hzからの測定が必要となったので05:20 UTに表示周波数範囲を下げています。即ち、測定中に「f」のキー入力の後「1 [RET]」を入力して周波数の変更を行なった。測定開始から05:32 UT(マーカー番号5)まで1 kHzを中心に極めて強い信号が観測されている。この時CCDは撮像モード状態であり、そのための装置内の専用CPUが稼働しており、それによる複雑な成分が雑音として検出されたものと思われる。この事は05:32 UTにCPUをoffした時1 kHzを中心とした雑音が少し減少している事から明らかである。即ち、CPU信号に含まれている様々な周波数成分が電源ケーブルに混入していた事を示している。CPUをoffした後も20 Hz以上10 kHzに至る広帯域な雑音成分も検出されている事が見られる。これは、搭載機器からのデータを集めている装置(DHU: Data Handling Unit)とこの装置との間に流れている信号成分が更に電源ケーブルに混入している事を示唆しているもので、05:33:30 UT(マーカー番号7)でDHU信号をoffにした時その成分が消え、極めて静かになった事から明白である。即ち、05:33:30 UTからは全ての信号関係をOFFした状態での測定である。

05:38:30 UT(マーカー番号10)においては、センサーを電流プローブから再び電界測定用のモノポール・アンテナに切り替えている。センサーを切り替えても商用電源周波数とその高調波成分は変わる事なく強く検出されている事が判る。この事は商用電源の電磁界成分が計測機器類周辺に充満しており、センサーで直接検出される分に加えてセンサーとスペクトル・アナライザーとを接続している同軸ケーブルに混入しているものと考えられる。即ち、同軸ケーブルの内外導体がアースに対して不平衡となっているため、空間に充満している商用電源周波数成分がケーブル内にアンバランス電流として混入してしまった事を示唆している。この測定結果から、この種の試験では商用電源周波数成分の混入を防止することが極めて重要であることが明らかとなった。

5. 検討及び結論

本システムを用いた最初の実用測定試験は上述のごとくHP3562Aを用いて行ったが、その表示結果(図4)

から明らかなように、ダイナミック・スペクトルの表示部分は実時間にして約40分である。これは1つのスペクトル表示に要する時間が約6秒である事を示している。この6秒が表示の時間分解能を表している事になる。この所要時間にはスペクトル・アナライザにおける信号波形のA/D変換、周波数分析、GPIBによるデータ転送、コンピュータ内におけるデータ変換とCRT上への描画、そして画面スクロールの時間が含まれている。この中で時間の増減が影響するのは、データ取得と周波数分析である。超低周波信号においてはアナログ周波数分析に比べてFFT方式は格段に処理時間は速いが、周波数が極めて低い場合はそれに応じて長時間のA/D変換データの取得が必要になってくる。そしてその長時間のデータ故に分析にも時間がかかる。今回は分析周波数下限が極めて低い事から6秒という時間が掛かったものと思われる。これらの時間はスペクトル・アナライザの機種に因っても異なるため、使用する機種としては分析処理が速いプロセッサを搭載したものを選ぶ必要がある。分析すべき信号周波数が高い場合は分析時間は短くなって来るが、今度は信号分析以外の信号処理部分での時間短縮に限度が現れてくる。

図4(a)において、20:45 UTの目盛と時刻表示が現われていないのは次の理由による。

画面へのスペクトル描画の時間間隔は秒の経過とは同期していない。そのため本プログラムでは、5分毎の時刻目盛表示を行なうためにその時刻の直前に6秒間の時間幅を設定している。時刻検出ルーチンがその時間幅内で走っている場合のみ目盛と時刻表示が行なわれる。しかしスペクトル表示の時間間隔は厳密には6秒より極く僅かに長いため、その時間幅の直前で時刻検出ルーチンが走る場合がある。その場合は時刻目盛を表示しない。そして次の時刻検出ルーチンではその時間幅の直後になって、この時も表示しない判断をくだしてしまう。このため、この2回の時刻検出ルーチンの間に表示すべき時刻が存在しているにも拘らず画面上には目盛が表示されない事になる。この点の解決については現在検討中である。

GPIBによるデータ転送コマンド内のパラメータはスペクトル・アナライザの機種により独自のものが定義されており、その定義されているパラメータをプログラム内で記述する必要がある。それらの記述及び描画方法については、本論文のプログラムとは異なってくるが、本質的な部分はそのまま使用出来る。

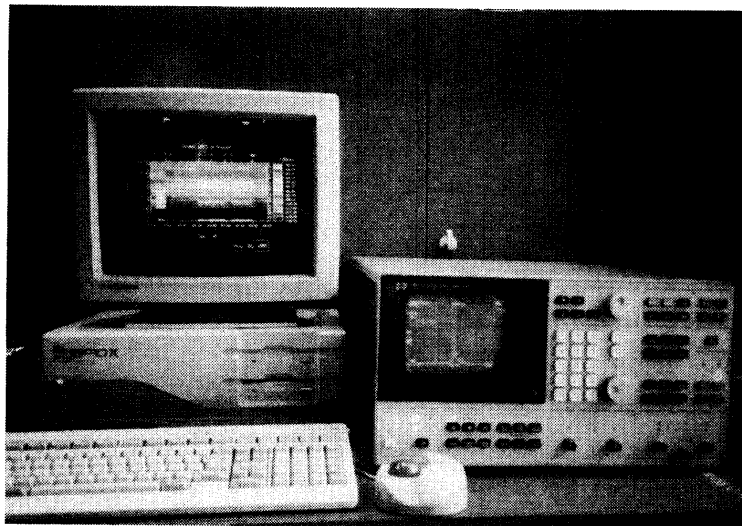


図5. 表示システムの外観。

測定中のスペクトル・アナライザ (HP 3562A Dynamic Signal Analyzer) (右) とダイナミック・スペクトル表示中のパーソナル・コンピュータ (NEC PC-9801 DX) (左)。

今回の測定で使用したスペクトル・アナライザは文部省宇宙科学研究所にあるヒューレット・パッカード社のHP3562Aであった (図5参照)。特に周波数の低い部分に注目すると、表示データの周波数分解能が極めて

高い事が判る。即ち対数で表されている周波数で低い領域でも高い領域と同じデータ表示間隔を持たせている[10]。これはこのスペクトル・アナライザーの表示性能が極めて優れている事を示している。この点が分析及び表示性能の優れたスペクトル・アナライザーを使用する事の大切さを物語っている。何れにしても、FFT機能を持ち GPIB を備えたスペクトル・アナライザーであれば、ここで開発した信号処理システムは殆どそのまま使用する事ができ、極めて汎用性に富んでいる。

上記の例を見て判るように、電磁波成分を感度の良いセンサーで検出し、本システムを用いて表示させると明瞭なスペクトル履歴として見る事ができ、極めて敏感に電磁気環境の変化を認識させてくれる事ができ、EMC試験において雑音の発生源や干渉源を特定するのに極めて強力な装置であることを確認する事ができた。そしてこのシステムの有用さはこれを利用して実際に測定実験を行った研究者によって高く評価されており、更に広い応用があるものと思われる。

謝 辞

本システム開発のきっかけとなった GEOTAIL の EMC 試験では、宇宙科学研究所の向井利典教授にいろいろ議論をして頂いた。本システムの仕様を決めるに当りそれらの議論が極めて役立った事を付け加え、ここで改めて感謝致します。また、本システム開発と実用試験のためにスペクトル・アナライザー及びパーソナル・コンピュータ等を提供して頂いた宇宙科学研究所の鶴田浩一郎教授及び早川基助教授のご協力に感謝致します。

尚、本システムの開発は京都産業大学・理学部・計算機科学科 2 回生の計算機実験のテーマとして学生に与えることで開始し、その後学生による改良によりここに示したような実用システムとして完成に至った事を付記し、ここに学生たちの健闘を称えたい。

尚、本研究で開発した信号処理プログラムのソースファイルを公開しているので使用を希望される方はご連絡下さい。

参考文献

- [1] 長野 勇、小嶋浩嗣、筒井 稔、岡田敏美、松本 紘、向井利典、川口正芳、八木谷 聡、GEOTAIL におけるプラズマ波動測定のための EMC/EMI 対策、電子情報通信学会 アンテナ伝搬研究会資料、A・P93-9、EMCJ93-55、33-40 頁、1993。
- [2] D. R. J. White, EMC Handbook, Vol.1 - 6, Interference Control Technology, Inc., 1988.
- [3] M. Tsutsui, H. Kojima, I. Nagano, H. Sato, T. Okada, H. Matsumoto, T. Mukai, M. Kawaguchi, Magnetic Radiation from Harness Wires of Spacecraft, IEICE Trans. Commun., Vol.E75-B, No.3, 174-182, 1972.
- [4] H. Matsumoto, I. Nagano, R. R. Anderson, H. Kojima, K. Hashimoto, M. Tsutsui, T. Okada, I. Kimura, Y. Omura, and M. Okada, Plasma Wave Observations with GEOTAIL Spacecraft, J. Geomag. Geoelectr., Vol. 46, 59-95, 1974.
- [5] GEOTAIL 実験報告書、SES-TD-93-006、SES データセンター、宇宙科学研究所、1993。
- [6] 長野 勇、木村磐根、岡田敏美、山本正幸、橋本弘蔵、鶴田浩一郎、杉森明志、EXOS-D の EMI 測定 (VLF 波動観測装置への干渉)、宇宙科学研究所報告 特集号、第 28 号、77-91 頁、1991。
- [7] PLANET-B INTERIM REPORT、SES-TD-94-022、SES データセンター、宇宙科学研究所、1995。

- [8] 村岡 夫、IEEE-488(GPIB)とその応用、CQ出版社、1990.
- [9] 松野嘉夫、GP-IBインターフェイスの使い方、日刊工業新聞社、1990.
- [10] 3562A DYNAMIC SIGNAL ANALYSER User's Manual, HEWLETT·PACKERD, 1985.
- [11] PC-9800 シリーズ テクニカルデータブック、アスキー出版局、1991.
- [12] 98 ハードに強くなる本 II、技術評論社、1988.
- [13] TURBO C 2.0 ユーザーズガイド、マイクロソフトウェア アソシエイツ、1988.
- [14] TURBO C 2.0 リファレンス マニュアル、マイクロソフトウェア アソシエイツ、1988.
- [15] 穴倉幸則、TURBO C プログラミング・ハンドブック、技術評論社、1988.
- [16] 河西朝雄、Microsoft C 実践プログラミング入門、技術評論社、1988.
- [17] 河西朝雄、C プログラミング技法、ナツメ社、1990.
- [18] 蒲地輝尚、はじめて読むMASM、アスキー出版局、1990.
- [19] 河西朝雄、Ver. 5.1 MASM 初級プログラミング入門、技術評論社、1990.
- [20] 98GPIB-HG、AZI-4301、ハイグレードGPIBインタフェース ユーザーズマニュアル、98- FBI series、Hardware Library、インタフェース、1991.
- [21] GPIB インターフェース・コントローラ uPD7210、MOS 集積回路データ・シート、IC-5971C、NEC電子デバイス 1991.