

PWI 装置の開発歴史

元 金沢大学 長野 勇

OPEN-J (GEOTAIL) 衛星搭載のプラズマ波動装置の開発、動作試験、EMC・EMI について記録していたノート 6 冊、A4 ファイル 16 冊あまりの資料を見返し、日時を追って項目をリストアップし開発の経緯を振り返ってみます。

PWI 装置の設計・試験 (1981-1992 (打ち上げ)) を経て、都合かれこれ 30 数年を経ていますので、失った資料や記憶に誤りがあるかもしれませんがご容赦ください。今振り返ってみれば、困難よりも楽しみが多かったと思います。このような研究開発にコミットさせていただき大変感謝しております。

装置の基本コンセプトは松本先生の卓越した見識とリーダーシップで行われました。装置の開発にあたって一番大事にしたことは、限られた電力、スペースで、磁気圏尾部のプラズマ波動の時間分解能と周波数分解能を使い分け、出来る限りの情報を地上に伝送することで、電界 2 成分、磁界 3 成分の広ダイナミックレンジでそれらの絶対強度を測定できること。そのためには、他のサブシステム及び衛星本体 (電源や TM) 自身からのノイズや干渉をできるかぎり遮断し、センサーの感度を目いっぱい生かすことに注意しました。向井先生からは、システムとして 60% の成功は大成功だから欲を出さないようにと言われそれに心がけました。

PI : 松本紘

MCA PI : Fred. Scarf (他界) → Roger Anderson (他界)、Mr. Dan Odem (他界)

Co-I : 長野勇、森岡昭、小嶋浩嗣、橋本弘蔵、筒井稔、岡田敏美、大村善治

明星電気 : 佐藤、田口、篠原 (ワイヤアンテナ)、日本飛行機 (6m マスト) : 矢作、狩野 日立製作所 (ワイヤアンテナ)、アビオニクス (WIDA-IC、BQ-IC)、明和システム : 高野

1980 年 秋 松本紘先生から OPEN-J 波動班の参加要請を受ける

1980 年 10 月 6 日 OPEN-J 波動観測搭載機器の問題点の検討 : 京大宇治

1. 対数圧縮器のダイナミックレンジ (WIDA-IC 110 dB) の検討

- ・ 60 dB x 3 台でデジタル AGC
- ・ 交流対数と直流対数のどちらが良いか
- ・ Iowa 大へ対数圧縮器の購入の可能性

2. 多チャンネル受信機

・ アクティブ RC フィルターの特性について調査・検討。特に 1 個の IC でどの程度の特性が得られるか、その重量はどうか、S/N はどうか。各バンド内で帯域幅を可変するかあるいは固定か。

3. 掃引受信機

水晶制御シンセサイザーの小型化及び回路構成の検討

4. 各受信機の A/D の共通化

5. DPU の構成及び回路の設計

6. 波形キャプチャー＋メモリ

A/D 及びメモリの書き込みサイクルを可変できるか

7. サーチコイル・アンテナの開発

少なくとも OGO II 衛星搭載の性能 (利得係数 $10/\text{Hz}/\gamma$) を製作する。

1981 年 9 月 3-4 日: OPEN-J 用 IC 及び回路方式の検討 : 京大宇治

・ WIDA-IC 基礎開発費申請 450 万円 (松本、長野、橋本) → アビオニクスへ試作依頼 (1982 年 3 月の納期: 完成→結果的には、GEOTAIL にはこの IC を搭載しなかったが、EXOS-D の MCA に十数個搭載。また、開発回路は EXOS-D PFX に使用)

・ SFA 用 Synthesizer に PLL を使用

・ S-520-5 号機ロケットに MCA, SFA に WIDA-IC 及び PPL を搭載し宇宙環境での試験をする。

1982 年 1 月 14-15 日 OPEN Science Working Group Meeting

1982 年 1 月 20 日 波動班 京大宇治で会合

・ WIDA-IC の現状

・ SFA 掃引回路の試作結果の報告

・ フィルターについて、Biquad 方式の試作報告

・ OPEN-J 波動装置の見直し (Spec ダウン、重量、容積、電力その他)

重量 (17.8kg (20.3kg Boom 含む))

優先開発順位の検討を行う

1. DPU+アンテナスイッチ

2. SFA

3. 広帯域受信機

4. 波形キャプチャー＋メモリ

多チャンネル受信機

低周波受信機

プラズマサウンダー

各サブシステムの仕様

SFA: 100-800Hz 0.8-6.25 kHz 6.25-50 kHz 50-400 kHz、周波数分解能を 256 ステップ。E, B 各 1 成分の観測

Wide Band 受信機 (0-1kHz) の TM の仕様。電界 2 成分、磁界 3 成分の WB 帯域の 1/10 で送れるかもしれない (5ch A/D → D/A → WB)。後にこの方式ではなく、デジタル方式の WFC となる。

(1985. 10 基礎開発報告書に詳細あり)

1985 年 4 月 19 日 GEOTAIL 第一回設計会議 I S A S

1985 年 5 月 6 日～7 日 京大宇治

・ US より MCA の LOG アンプの提供は困難

・ WFC の基礎開発報告は宇宙観測シンポで行う

1985 年 6 日～11 日 GOTAIL サイエンス会議

・ 観測装置の時間及び周波数分解能について

SFA BAND 2-5 128step、8 秒

BAND 1 128step、128 秒

MCA 0.5 秒

1985 年 7 月 9 日 サブシステム会議 宇治：明星：松本、森岡、橋本、長野

- ・ Wire Ant. Sphere Ant. への Cal 信号の送り方
- ・ EFD の Pre-amp の回路決定
- ・ PPS の検討
- ・ MCA 回路図
- ・ WFC ダイレクトモードの検討 E/B 8 秒観測、5 分間隔
- メモリ容量 4Mbit
- 5 成分書き込みの同時性を保つための工夫
- メモリの一部分故障の対策
- メモリーチェック方法の方策

1985 年 9 月 19 日 GEOTAIL 設計会議

- ・ 伝送レート 64 k Bps
- ・ MGF, PWI-SC をブーム長 6 m 一本のマストに配置
- ・ 宿題 WORD 配分、ステータスの共通分
- ・ CAL は 5 周波数の合成

1986 年 4 月 18 日 Dr. Fredrick Scarf (1988. 7 他界) よりアンテナ影によるプラズマ波動へ影響を除くための導電遮蔽バンドの提案

1986 年 5 月 26 日 DE および MIL-STD-461A、461、462 を参考にして、GEOTAIL 用の EMI/EMC の資料づくりを始める。

1986 年 6 月 4 日 「科学衛星モデルの試作による、プラズマ波動に関する測定および EMI、EMC 対策」の申請、申請者：松本、長野、橋本、鶴田

1987 年 2 月 9 日—10 日 GEOTAIL EMC レベル 検討作業について、相模原キャンパス磁気シールド：DHU, TMS, ESP(高圧)について、DC コンバーターの周波数を除いて RE04, CE の試験を行った。PWI の要求をすべて満足。 長野、岡田、林（金大修士）、NEC

1987 年 4 月 8 日 GEOTAIL EMC レベル検討 WG 会議開催：EMC レベルの決定

1987 年 5 月 18 日「ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY SPECIFICATIONS for GEOTAIL SPACECRAFT and SUBSYSTEM」の測定マニュアル（英文）を向井先生へ提出：全 10 ページ、CE 及び RE の規制値並びに測定法を記載

1987 年 9 月 1 日 サイエンス会議

- ・ GSE の検討
- ・ 軌道
- ・ EMI の最終版 (CE01-02)

1987 年 9 月 MCA 明星に搬入スケジュール：1988 年 8-9 月にかけて MCA の総合試験を明星にて行う。Dr. Roger Anderson (2014 死去) & Dan Odem (2014 死去)

1987 年 10 月 明星佐藤さんと打ち合わせ

- ・ WFC 11 月下旬回路図出来上がり。2 バンク方式でラッチアップを検出し、検出したバンクの電源を切ることで対応
- ・ SFA ソース接地にするとなぜか S/N が悪い。CH 4 の IF は LC フィルター、CH5 はセラミック

フィルター： 橋本

- ・ PLL 実験： 21 kHz にジッターがあるが、アースおよび電源周りで生じている。VCO 出力の 1/N にするとジッター成分が減少。したがって CH5 の条件が悪いので検討する。

- ・ WFC のトリガーレベルの発生時刻：トリガーがかかるまで、1 F 時間（約 15 秒から 30 秒）かかるが問題ないか。また、トリガーソースを切り替えると比較器が動作する可能性がある。これをよしとする。メモリーチェックとして 0 か 1 であるが、1010 としたい。メモリーアドレスを直接アドレス方式にする。

- ・ MCA への質問 MCA を PWI ボックスに組み込むため、ボックス表面処理や PWI の GSE とのインターフェース等の質問や試験の日程の打ち合わせをする。

1988 年（昭和 63 年）5 月 19 日 GEOTAIL 設計会議：PM 設計&PM 試験 QL システム

1988 年 12 月 14 日 SAS の EMI 測定：SAS の電源内部の配線をツイストとしてこれ以上の放射磁界のノイズ出さないこと、コンバーター周波数を現状の状態で PWI の例外として認めることができる。また電源フィルターを入れることを伝える。参加者：向井、木村、小川（NEC）、長野

1989 年（平成元年）11 月 13 日設計会議：FM 設計&データ処理・解析システムについて

1991 年 2 月 21-26 日 総合 EMC 測定 ISAS : 小嶋、筒井、橋本、八木谷、長野、田口、佐藤

1991 年 5 月 17 日 明星電気運動場にて Wire Ant. の受信テスト：バルーンにて吊り上げ、40 kHz, 中波電波の受信にて実効長を確認する。小嶋、筒井、長野、田口、佐藤

1991 年 7 月 13~15 日最終 SC 回路決定 金沢大シールドルームにて 筒井、長野、佐藤

- ・ SC の最終回路図確定、入力抵抗 $270\text{ k}\Omega \times 2$ （感度を多少犠牲にして発振止める）、負帰還方式、校正回路あり、3 軸クロストーク -40 dB 以下。

1991 年 8 月 1~3 日：3 軸の指向特性、位相特性のデータ取得：金沢大シールドルーム 筒井、長野、佐藤、臼井（富山県大）

1991 年 8 月 22 日 マストの目視検査項目について

- ・ マストアライメント PWISC 側 1 m で閉ループの有無
- ・ マスト上におけるハーネスの具合、留め金の接触状況
- ・ SC 展開

ベータ（Y）軸のブレを ± 1 度以内の確認、ロックの時のケーブルの位置、止め位置、センサーの結束固定方法、マスト及びシールド間の抵抗値測定データの取得

1991 年 8 月 29 日 SMAST 上の SC 取り付け金具による閉ループの改修依頼

- ・ Z 軸 SC 止め金具に閉ループが見られ、特性が 3 dB 以上の劣化。日本飛行機に 9 月 10 日までに改修をお願いした。その後、最終特性試験を金沢大で行うことを向井先生の了解をとる。

1991 年 9 月 3~4 日 FMSC 再校正試験 金沢大シールドルーム：SC に関するすべてのデータ（振幅、指向性、位相特性、クロストーク）を取得した。SC とプレート間の絶縁、ケーブルとシールドケースの接続点のチェックをした。結果は 3 軸とも振幅、位相特性が、 0.4 dB 以下、プレート板の Z 軸に及ぼす指向性の影響は 4 度となった。SC センサーとして悔いを残さない校正ができた。

9 月 5 日 松本先生に報告。長野、筒井、佐藤、狩野

1992 年 4 月 4 日 Final EMC Test 報告 小嶋→向井、長野

1992 年 7 月 24 日 KSC より GEOTAIL 打ち上げ：KSC における動作試験は OK。打ち上げ成功！！

1992 年 8 月 27 日 PANT、WANT の展開 スピン変調のデータ観測

1992 年 9 月 4 日 MAST 展開 MCA(5.6 kHz)で 2.5m 伸展後には出力レベルが一定。もう少し下がることを期待したが。たぶん衛星の内部雑音であろう。

1994 年 1 月 8 日 GEOTAIL PWI CAL について纏める。これより、電界（実効長）の絶対校正、K の絶対方向、Poynting Vector の計算が可能となった。（報告書の必要な方は長野までご連絡ください）

現在 SFA、WFC、MCA 装置に別段の不具合はなし。DPU によるアンテナ切り替えの SW にも異常なし。SC の Pre-amp に PIM ノイズの干渉が見受けられるが、概ね PWI 装置は磁気圏尾部における良質のプラズマ波動のデータを取得できている。

文責：PWI 波動班 長野 勇 2015 年 1 月 10 日