# 人工衛星「まいど１号」からの雷観測

大阪大学大学院工学研究科
電気電子情報工学専攻

河　﨑　善一郎
森　本　健　志
菊　池　博　史

## １．はじめに

東大阪を中心とした町工場が作ったとして世間によく知られた人工衛星「まいど１号」（図１）が、平成21年１月23日12時54分、宇宙航空研究開発機構(JAXA)種子島宇宙センターから、H II-A ロケット15号機により、温室効果ガス観測衛星「いぶき」と共に打上げられた。この衛星プロジェクトは、不況に苦しむ関西を活気付け、若い世代へモノづくりを継承したいという町工場の夢から始まり、平成14年12月に設立された東大阪宇宙開発協同組合（SOHLA）が新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業（平成15年度～20年度)として行ったものである。筆者らは、組合設立当初、人工衛星を打上げようとは言うものの、その衛星で何をするかという衛星の使用目的（ミッション)に悩んでいた組合の初代理事長青木豊彦氏(㈱アオキ社長）との出会いに始まり、NEDO事業への申請段階から、このプロジェクトにミッション担当として参加している。そのミッションとは、「雷放電を宇宙から観測する」というもので、筆者らのグループが開発を進めてきた雷放電路可視化装置を、人工衛星に搭載して宇宙空間から観測したいという研究者的欲求から、プロジェクトへの参加を決めたのである。「まいど１号」で一気に、人工衛星から雷放電路を可視化とまではいかないが、プロジェクト開始から苦節５年余、筆者らにとって初めての宇宙用機器開発を成功させ、現在正にその装置が宇宙空間で取得したデータを地上に届けている。本稿では、この人工衛星「まいど１号」と搭載した俗称「雷センサ」について報告する。

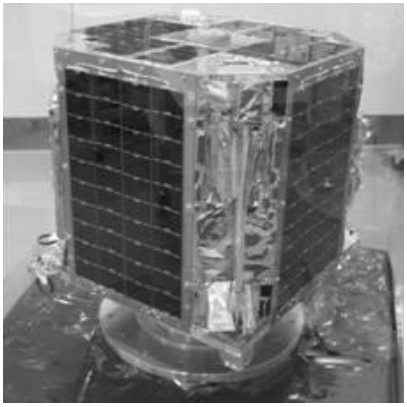

図１　SOHLA-1/まいど１号（実物）

## ２．宇宙からの雷観測

人工衛星からの雷観測例は、米航空宇宙局（NASA）が運用するOTD（Optical Transient Detector, 1995）やLIS（Lightning Imaging Sensor, 1997)の光学観測が挙げられ、全球的な雷活動の把握に貢献している。また電波観測では、通信総合研究所(当時)のISS-b（うめ２号，1978）によるHF波帯、米国ロスアラモス国立研究所のFORTE（Fast On-orbit Recording of Transient Events, 1997）によるVHF波帯の観測例が挙げられる程度である。

一方、筆者らのグループは、1995年から雷放電進展様相を可視化する観測機であるVHF波帯広帯域ディジタル干渉計の開発を進めており、地上用システムとしては実用のレベルに達しているものと自負している。雷放電進展に伴い、その先端から無数のVHF波帯インパルス性電磁波が放射される。広帯域ディジタル干渉計は、この電磁波を複数のアンテナで受信し、その放射源を求めることで、雷放電路を可視化する、所謂雷放電路の電波写真を撮る装置である。広帯域ディジタル干渉法は、受信機などが不要で、アンテナ間隔も短くすることができるので、衛星単体からVHF波帯電磁波源の測位を行うための唯一の手段であると考えられる。そこで筆者らは、地上用システムとして開発を進めてきたシステムに、宇宙で動作するために必要な処置を施して行くという開発方針で、VHF波帯広帯域ディジタル干渉計を低軌道人工衛星に搭載し、軌道上からグローバルな雷嵐監視の実現を目指しているのである。かかる目的のため、まず雷放電進展に伴い無数に放射されるVHF波帯インパルス性電磁波を宇宙空間においてアンテナで受信し、記録するVHF波帯広帯域波形測定装置（Broadband Measurement for Waveforms of VHF Lightning Impulses; BMW)を「まいど１号」に搭載している。

## ３．小型人工衛星 SOHLA-1

SOHLA-1 は、SOHLA が JAXA との間で締結した「小型衛星技術についての協力に関する取決め」のもと、JAXA の保有する小型衛星技術、中でも小型スピン衛星μ-LabSat 1 号機の技術移転を受けて開発した衛星である。SOHLA を中心に、衛星のシステム設計および解析については大阪府立大学と龍谷大学が、実験機器については筆者ら大阪大学が、各構成機器の構造については中小企業がそれぞれ分担して実施している。すなわち SOHLA-1 の目的は、低コスト、短期間開発による宇宙実証用小型衛星をμ-LabSat の技術を基本として実現し、SOHLA 組合員および参画大学の研究者や学生らが、人工衛星の設計・製造・試験・打上げ・運用の一連の作業を経験し、人工衛星開発の基礎技術を取得することにある。筆者らのグループにとっても、この目的はあてはまり、更にこれに加えて、BMW による宇宙空間での VHF 波帯の電磁波の観測を行うものである。

SOHLA-1 の概要とシステムブロック図を、表 1 および図 2 にそれぞれ示す。機能サブシステムは、電力制御機能、データ処理機能、通信機能、姿勢制御機能、搭載・環境維持機能、実験機能に分類される。このうち実験機能としては、次章で詳しく述べる雷観測ミッションの基礎実験のほかに、50kg 級小型衛星のバス技術実験として、軌道決定技術実験および機器の実証、宇宙環境計測実験および機器の検証、展開ブーム実証実験、小型モニタカメラ実証実験、府大太陽センサ実証実験、宇宙用技術実証実験を計画し、関連の実験機器を搭載している。

設計においては、JAXA の既開発実績を最大限に活用し、新規開発要素を最小限に止めることを基本方針として、衛星システムの信頼性および寿命は特に規定しないこととした。リソース制約から、コンポーネントレベルでの冗長設計は行っていない。ただし、特にバス系コンポーネント内において、特にクリティカルであると思われる箇所や部品等においては、システム設計に大きなインパクトが無い範囲において冗長化を図っている。また、SOHLA-1 システムおよびこれを構成するコンポーネントは、衛星システムが破局的故障に至るような単一故障点が少なくなるように設計がなされている。すなわち､コンポーネントの故障が、一次電源や二次電源に対しても永久的な短絡モードとならず、また他のコンポーネントの故障の誘発や、その機能障害に至ることを最小限にするような設計を行っている。ミッションコンポーネントである BMW も、これらの方針に従った設計とした。

| | |
|---|---|
| 寸法 | 500×500×500mm を包絡線とする八角柱<br>（突起部を除く）<br>アンテナおよびブームは軌道上で展開する |
| 質量 | 約 50kg |
| 電力 | 約 40W |
| 姿勢制御 | スピン安定 |
| 運用期間 | 3ヶ月以上 |

表 1　SOHLA-1 の概要

以上で述べたように、SOHLA-1 は衛星開発に関わる一連の作業を習得することを目的とした、技術習得用衛星であるが、簡易な宇宙実験・実証衛星としての特性を備えている。この衛星のバス機器を共通化し、実験部分のみを新規開発部品や新規開発センサなどに置き換えることで、有効な宇宙実験や宇宙実証の機会を提供できるもので、短期に安価な宇宙実験を求めるユーザを対象とした衛星としても期待できるものである。ちなみに、人工衛星は通常開発段階では SOHLA-1 のような開発コードで呼称され、打上げ・軌道投入後俗称が命名される。従って、SOHLA-1 が正式に「まいど 1 号」となったのは、平成 21 年 1 月 23 日である。

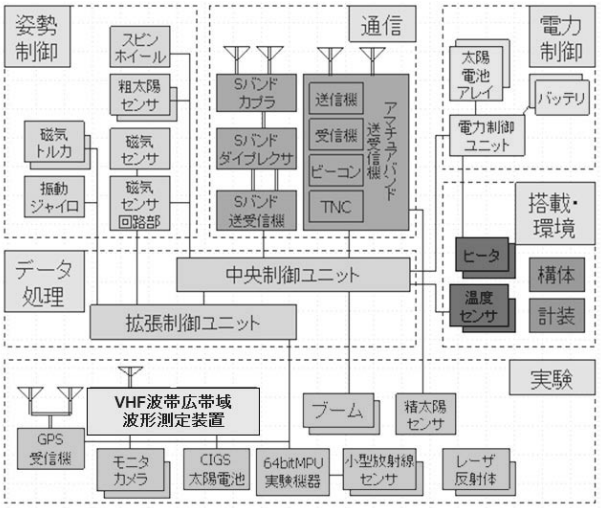


図 2　SOHLA-1 システムブロック図

## ４．VHF 波帯広帯域波形測定装置 BMW

「まいど 1 号」に搭載している VHF 波帯広帯域波形測定装置 BMW（「雷センサ」）は、雷放電進展に伴い無数に放射される VHF 波帯インパルス性電磁波を、宇宙空間においてアンテナで受信し記録するものである。これは、将来実現を目指す衛星搭載型の広帯域干渉計、すなわち適当な間隔で設置した 3 機以上のアン

テナで同電磁波を受信し、その到来方向を求めることによる衛星軌道上からの雷監視のための基礎実証として位置付けられる。

BMWの概要と構成を表2および図3にそれぞれ示す。BMWの機能は、アンテナで受信した電磁波をフィルタおよび増幅器通過後、A/D変換器でサンプリング記録する。フィルタの通過帯域は30MHz-100MHz、増幅器の利得は45dB、A/D変換器はサンプリング周波数200MHzで分解能が8bitである。記録する波形は、512pts(≒2.5μsec)を1パルスとし、100パルス分のオンボードメモリを搭載している。データ記録は、予め設定した閾値を超える強度の信号を受信した際に1パルス分のデータ記録を行うイベントトリガ方式を採用している。筆者らが地上システムとして開発し運用している広帯域ディジタル干渉計を構成する技術をベースにして、宇宙空間の真空・熱・放射線および打上げ時の振動・衝撃などの環境に耐えうるための、部品選定や構造変更を施し、環境試験を繰り返して耐性を保障する方法で開発を行い、完成させた(図4)。

広帯域ディジタル干渉計として雷放電位置を特定するためには、3機以上のアンテナでVHF波帯電磁波を受信して、その波源を求めることになるが、BMWはそのうち1機のアンテナと単チャネルの受信系から成り、これによって取得された波形は、ディジタル干渉計開発にフィードバックする重要なデータとなる。ここで、現在筆者らのグループでは、国際宇宙ステーション(ISS)日本実験棟「きぼう」の暴露部でのGLIMS(Global Lightning and Sprite MeaSurement on JEM-EF)ミッションとして、平成23年度打上げを目指し、光学観測と共に2機のアンテナと受信系によるVHF波帯電磁波の到来方向を推定する計画を進めていることを付記する。

| | |
|---|---|
| 寸法 | 100×80×150mmの包絡域 |
| 質量 | 950kg |
| 消費電力 | 4W(5V: 2W, 15V: 2W) |
| 機能 | 2.5μ秒の広帯域波形を100パルス記録<br>(オンボードメモリ)<br>イベントトリガ、強制トリガモード<br>バス部との通信<br>(コマンドにより動作) |
| 帯域通過フィルタ | 30～100MHz |
| 広帯域増幅器 | 約45dB |
| A/D変換機 | 200MHz, 1ch, 8bit |

表2　VHF波帯広帯域波形測定装置BMWの概要

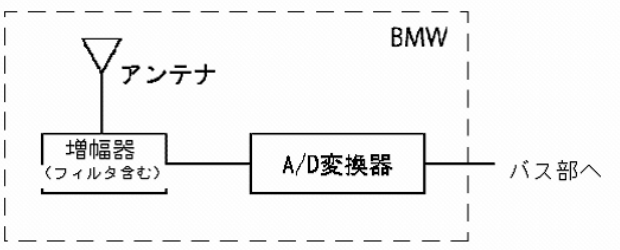


図3　BMWの構成

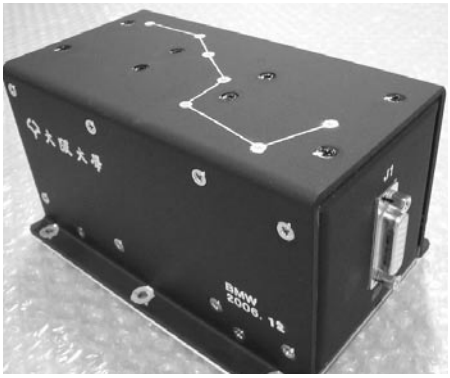

図4　VHF波帯広帯域波形測定装置(雷センサ、実物)

## 5. 初期観測

SOHLA-1は平成21年1月23日12時54分に、JAXA種子島宇宙センターから、H II-A15号機により、温室効果ガス観測衛星「いぶき」と共に打上げられた。衛星分離後、14時36分には衛星からの電波を受信し、軌道投入成功の確認をもって「まいど1号」と名付けられた。地上高度約660kmの軌道に投入され、一周約90分で地球を周回している。その後、通信リンクやスピン安定姿勢の確立を行う、約1週間のクリティカル運用期間を経て、初期機能確認運用段階へ移行した。初期機能確認運用は、衛星バス機器および実験機器等の機能を確認するもので、2月12日から14日にかけてJAXAの協力のもと、JAXA筑波宇宙センターの小型衛星運用室において、BMWの機能確認を実施した。2月12日にアンテナ展開を行い、初めて軌道上でBMWに電源が投入された。消費電力等のモニタ結果が健全な値を示し、衛星バスとの通信も正常であることが確認された。丹精込めて開発を行った装置が、宇宙空間で起動したことを確認できた瞬間である。図5は、「まいど1号」に搭載した「雷センサ」から、初めて地上に届けられた波形である。更に、平成21年4月末までの間に、発雷地域を中心に、軌道上の約140箇所で観測を行った。これらを通じて10,000パルスを超える電磁波を観測し、このうち約400波形を地上にダウンロードしている(図6)。地上観測結果との比較や、人工衛星までの電波伝搬シミュレーション結果

などから、雷放電から放射されたVHF波帯電磁波を受信したものである可能性は高いと考えており、宇宙空間においてこれだけの広帯域で受信した波形は、過去に例のないものである。現時点において、何よりも装置が正常に機能していることと、感度等の設計が正しかったこと、これまで未知であった軌道上の電波環境が雷観測の実施可能なレベルであることを確認できたことが何よりの成果である。

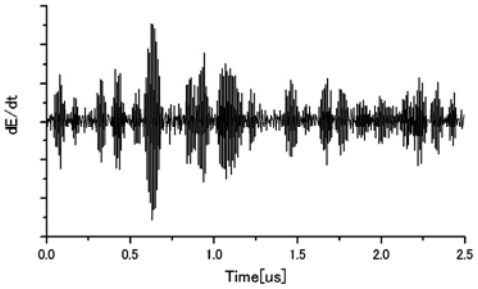


図5 「まいど1号」搭載「雷センサ」が初めて取得した波形
(2009.2.12オーストラリア上空)

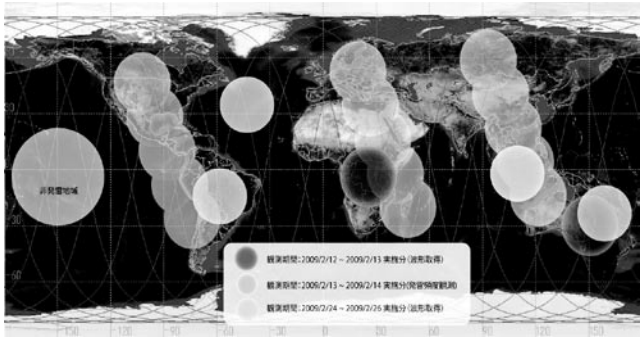

図6 「まいど1号」による雷観測実施場所

## 6. おわりに

「まいど1号」は、本稿執筆時点の5月末時点で引き続き正常に飛行を続けている。取得した波形データとその解析結果を最大限フィードバックして、ISSのGLIMSミッション機器の開発を進めている。

「まいど1号」は、筆者らにとって全く初めての宇宙用装置開発の経験で、放射線・真空・温度・打上げ時の振動など、そして何より一旦打上げたら二度と触れることができない（何かあっても修理・交換ができない）という厳しい条件、独特な品質管理や試験手順、限られた通信時間でミスの許されない運用など、カルチャーショックの連続であった。膨大な行程で、無事打上げに辿り着けるのか不安な時期もあったが、今こうして手がけた機器が、我々の頭上で活躍しているのかと思うと感慨深い。多くの成果を生み出してくれるものと開発者自身期待をしつつ、改めて気を引き締める次第である。

本衛星開発は、NEDO基盤技術研究促進事業（民間基盤技術研究支援制度)において採択された「高度製造技術と革新的設計の融合による汎用小型衛星の研究開発」に基づき行われたものである。打上げはJAXA「あいのり公募小型副衛星事業」で実施された。また、開発を通じてJAXA研究開発本部宇宙実証研究センターからは甚大な技術指導と協力をいただいた。関係各位に心より感謝申し上げます。

河﨑善一郎（通信　昭和48年卒　50年修士　53年博士）
森本　健志（電気　平成12年卒　14年前期　通信17年後期）
菊池　博史（学界）