

科学衛星搭載用機器

Components for Scientific Satellites

岡本 二彦
OKAMOTO Tsuguhiko林 英作
HAYASHI Eisaku斎藤 宏文
SAITO Hirofumi高橋 慶治
TAKAHASHI Keiji

わが国の科学衛星計画は文部省宇宙科学研究所 (ISAS) が推進しており、1970 年以來 25 機の科学衛星が打ち上げられた。そのうちの 12 機に東芝が開発したコンポーネントが搭載されている。これらのコンポーネント類は、科学衛星の観測ミッションの目となる各種センサと衛星機器の電力を配分・制御する電源系コンポーネントであり、高い評価を得ている。さらに、将来の科学衛星の小型・軽量化のためにコンポーネントの小型・軽量化開発を積極的に進めている。

In Japan, projects for scientific satellites have been planned and promoted by the Institute of Space and Astronautical Science (ISAS). A total of 25 such satellites have been launched since 1970, and components fabricated by Toshiba were installed in 12 of these satellites. These components include several types of sensors for the observation missions of the satellites, and power devices for power distribution and control.

This paper describes Toshiba's heritage of such components and new component development activities for future compact and lightweight scientific satellites.

1 まえがき

科学衛星のミッションには宇宙の謎を解く天体観測や宇宙プラズマ現象観測および惑星探査がある。加えて、これらの科学ミッションを支える宇宙工学ミッションもある。

打ち上げた科学衛星は、70 年の“おすみ”から 97 年の第 16 号科学衛星“はるか” (宇宙工学実験) まで 25 種類に及ぶ。ミッションは数々の学術的な成果を上げ、世界的に注目されている。第 14 号科学衛星“ようこう” (宇宙放射線観測) では X 線による太陽観測を行い、フレアやバーストの二次元画像をみごとにとらえた。また、“はるか”では衛星上の 8 m のアンテナと地上のアンテナを組み合わせて等価的に直径 3 万 km の電波望遠鏡を構成し、はるかかなたの銀河系の観測を始めた。

宇宙科学研究所の科学衛星を年代順にまとめた一覧表⁽¹⁾に東芝の機器が搭載された部分を表 1 にまとめた。センサ類や電源系コンポーネントは 12 機の科学衛星に搭載され、その実績によって高い評価を得ている。

センサ類は、軌道・姿勢制御用のバスセンサとして使われる太陽センサ、スターセンサ、スタースキヤナ、地平線検出器などやミッション用に使われる電離放射線センサ、太陽フレアモニタ、オーロラテレビカメラなど多岐にわたっている。電源系は、太陽電池とバスの間に入る電力シャント、バッテリー充放電制御器、電力制御器、バッテリーなどのコンポーネントで構成されている。

“はるか”以後の科学衛星 (月探査衛星 LUNAR-A、惑星探査衛星 PLANET-B、天文観測衛星 ASTRO-E、宇宙工

学実験衛星 MUSES-C) にも東芝は搭載コンポーネントの開発を行っている。

さらに、宇宙科学研究所では将来の科学衛星のために小型・軽量化プロジェクトを進めている。その一環として、東芝は光学コンポーネントの小型・軽量化開発に参画し、方式の見直しから光学レンズの改良、電子回路の小型化により従来の 1/2 まで軽量化できるめどを得ている。また、電源系コンポーネントの一つである DC/DC コンバータの研究にも参画し、スイッチング周波数を 1 MHz 近くまで上げることで、50% 程度の小型・軽量化を目標としている。

2 センサ類

地球物理観測、天文観測から惑星探査に至るまで、宇宙空間に飛翔(しょう)して活躍する科学衛星には観測ミッションの目となる各種観測センサが搭載されている。太陽や恒星を使って衛星自身の位置や姿勢を計測する光学センサも不可欠である。東芝では、科学衛星のミッションに対応したさまざまな光学センサの開発を行っている。これらのセンサが扱う波長領域は、観測対象により X 線、紫外線、可視から赤外線に至る広範囲の波長域を対象としている。

79 年に打ち上げられ、ブラックホールや X 線星の発見をはじめ X 線天文学を飛躍的に発展させた X 線天文衛星“はくちょう”に搭載された超軟 X 線観測装置をはじめ、オーロラのダイナミックな活動をエリア CCD (電荷結合素子) で撮像した“あけぼの”に搭載のオーロラテレビカメラなど、数多くのセンサを開発してきた。宇宙用センサの特徴は、

表1. わが国の科学衛星に搭載された東芝製の機器
Scientific satellites and Toshiba components on board

打 上 期	衛 星	ミ ッ シ ョ ン	重 量 (kg)	東 芝 担 当 品
1979	第4号科学衛星“はくちょう”(CORSA-b)	X線星, X線バースト, 超軟X線星雲などの観測	96	超軟X線観測装置, 地平線検出器
80	試験衛星“たんせい4号”(MS-T4)	ロケットの特性の測定と衛星についての工学的試験	185	スターセンサ
81	第7号科学衛星“ひのと” (ASTRO-A)	太陽軟X線フレアの二次元像, 太陽粒子線, X線バーストなどの観測	188	粒子X線モニタ, 太陽フレアモニタ
83	第8号科学衛星“てんま”(ASTRO-B)	X線星, X線銀河, γ線バースト, 軟X線星雲の観測	216	X線集光センサ, スターセンサ, トランジェントソースモニタ
85	第10号科学衛星“すいせい”(PLANET-A)	惑星間プラズマの研究およびハレー彗星の紫外領域における観測	140	太陽センサ
87	第11号科学衛星“ぎんが”(ASTRO-C)	活動銀河中心核X線源観測およびX線天体の精密観測	420	太陽センサ, X線全天モニタ
89	第12号科学衛星“あけぼの”(EXOS-D)	オーロラ粒子の加速機構およびオーロラ発光現象の観測	295	太陽センサ, オーロラテレビカメラ
90	第13号科学衛星“ひてん”(MUSES-A)	将来の惑星探査計画に必要な軌道の精密標定・制御・高効率データ伝送技術などの実験的研究	140	スタースカナ
91	第14号科学衛星“ようこう”(SOLAR-A)	太陽活動極大期における太陽フレアの高精密観測	420	電源系, 太陽センサ, 超高精度太陽センサ
92	磁気圏尾部観測衛星(GEOTAIL)	地球の夜側に存在する長大な磁気圏尾部の構造とダイナミックに関する観測研究	970	スタースカナ
93	第15号科学衛星“あすか”(ASTRO-D)	宇宙空間の星・銀河のX線観測, 銀河団など宇宙最深部のX線探査	420	電源系, 太陽センサ
94	宇宙実験・観測フリーフライヤ(SFU)	天文観測, 理工学実験	4,000	電源系, 太陽センサ
96	第16号科学衛星“はるか”(MUSES-B)	大型精密展開構造機構などの研究, VLBIに必要な位相同期などの試験	800	太陽センサ, GPSR
	* 第17号科学衛星 ^(注1) (LUNAR-A)	月内部の構造および熱的構造を解明する観測研究	550	スタースカナ
	* 第18号科学衛星 ^(注2) (PLANET-B)	火星上層大気の構造・運動, 特に太陽風との相互作用の研究	590	スタースカナ, 紫外線分光計

VLBI: Very Long Baseline Interferometry GPSR: Global Positioning System Receiver

高い機能・性能を要求されるのはもとより, 高信頼性, 打上げ時の振動・衝撃および軌道上の放射線, 真空下での厳しい温度環境に耐えうるものでなければならない。

光学機器は, 精密さとがんじょうさを両立させなければならない。2002年に打上げが予定されている探査機 MUSES-C では, 小惑星 NEREUS に向けて飛び, 到着後小惑星に着陸しそのサンプルを採集した後, 再び地球に戻りサンプルが回収される。探査機が小惑星に接近する際に, 小惑星までの距離を測定するのがライダーである。開発中のライダーのシステム構成を図1に示す。ライダーは, 小惑星に向けて発射したレーザーパルスの反射光を受信し, その所要時間から小惑星までの距離を計測する能動型の光学センサである。測定範囲は50m~50kmまでで, 距離の測定精度は1~10mである。目標重量2kgでこの性能を満たすために, 小型・軽量のレーザーと望遠鏡を新しく開発した。レーザーは, 発振波長1,064nm, 出力10mJのNd:YAGレーザーを300gで実現し(図2), 各種の環境試験を実施した。また, 望遠鏡は, 軽量でかつ耐環境性に優れた新素材のSiCミラーを宇宙用として初めて開発した。図3に示す振動試験では, 厳

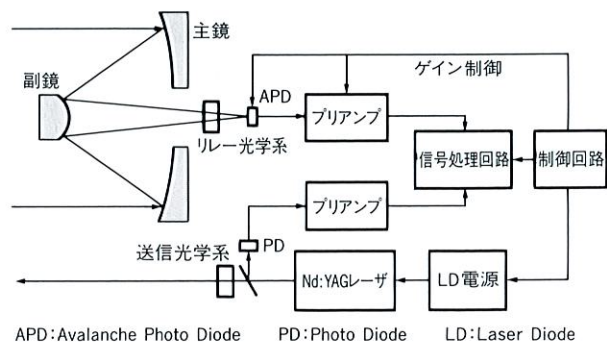


図1. 惑星探査機 MUSES-C 用ライダーシステムの構成 Nd:YAGレーザーで高出力パルスを送信し, 目標からの微弱反射光をSiCミラーを用いた望遠鏡でとらえる構成になっている。後段の信号処理回路によって距離を算出する。

Configuration of MUSES-C light detection and ranging (LIDAR) system

しい振動環境にも十分耐えることを確認した。これらの成果を搭載ハードウェア設計に活用していく。

さらに, 近年では衛星ミッションの高度化に対応し, 搭載機器のいっそうの小型・軽量化, 高機能化を旨とした STRAIGHT 計画(高機能で軽量の衛星搭載機器の開発プロ

(注1), (注2) 第17号と18号科学衛星は98年度に打ち上げる予定。

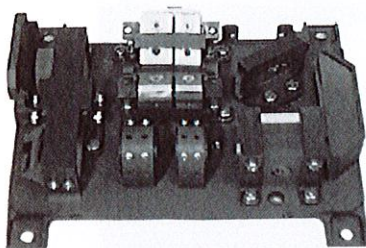


図2. ライダ送信用 Nd: YAG レーザ 発振波長 1,064 nm, 出力 10 mJ, 重量 300 g で実現し, 振動試験, 熱真空試験など各種宇宙環境試験をパスした。
Nd: YAG laser for LIDAR transmission

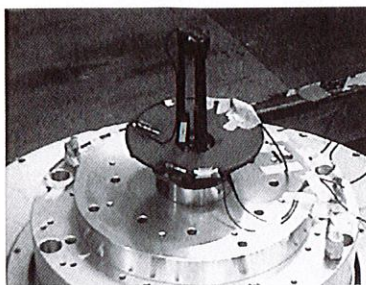


図3. SiC ミラーを用いた望遠鏡の振動試験 軽量かつ耐環境性に優れた SiC 望遠鏡は, 厳しい宇宙振動環境にも十分耐えることを確認した。
Vibration test of telescope using SiC mirror

グラム) を宇宙科学研究所の指導の下に進めている。STRAIGHT では, 衛星の姿勢決定をもっとも高い精度で計測できる恒星センサの開発を実施した。恒星センサには, 3 軸制御衛星用のスタートラッカ, スピン型の衛星用としてスタースカナがある。スタートラッカでは, 小型の広角レンズを新たに開発し, ロジック回路の FPGA (Field Programmable Gate Array) 化などによる小型化, スタースカナでは, デジタルフィルタの採用などによりいずれも重量約 1 kg という小型・軽量化のめどを得た。この成果は, MUSES-C に搭載のスタートラッカの開発に活用しているほか, 今後の探査機設計に生かされる。さらに, 宇宙空間

で活躍するロボット, ローバーや監視モニタなど多目的に利用できる超小型カメラの開発を予定している。撮像デバイスは, CCD に比べ低電力で小型化が可能な, デジタルカメラ “アレグレット” にも採用されている CMOS センサである。宇宙をより身近なものとするわれわれの目として搭載化を進めたい。

3 電源機器

電力制御機器, シャントデシペータ, バッテリ充電制御器, バッテリなどの衛星搭載用電源機器により構成される電源系サブシステムは, 衛星の打上げからミッション終了までのすべての期間にわたり衛星に搭載された各負荷機器に電力を供給する。日照期間中は太陽電池パドルからの電力を電圧安定化の後各負荷に供給するとともに食時期間中の電力源となるバッテリーの充電を行い, 食時期間中はバッテリーからの電力を各負荷へ供給する。

東芝は, わが国で唯一の宇宙用 Ni-H₂ バッテリセルのメーカーである立場を生かし, バッテリセル特性をセル内部構造までを含んで熟知したうえで, バッテリを最適な状態で使用する電源系を提供するとともに単一故障点を排除した信頼度の高いサブシステムを提供している。そして, 東芝が電源系を担当した第 14 号科学衛星 “ようこう” および第 15 号科学衛星 “あすか” は, 98 年 4 月時点の現在でも順調に観測ミッションを遂行中である。

現在開発中の第 19 号科学衛星 “ASTRO-E” (2000 年 2 月打上げ予定) の電源系では, 電力伝送ロスの低減と低ノイズ化を目的として科学衛星としては初めて +51 V 非安定バス/分散電源方式 (図 4) を採用した。

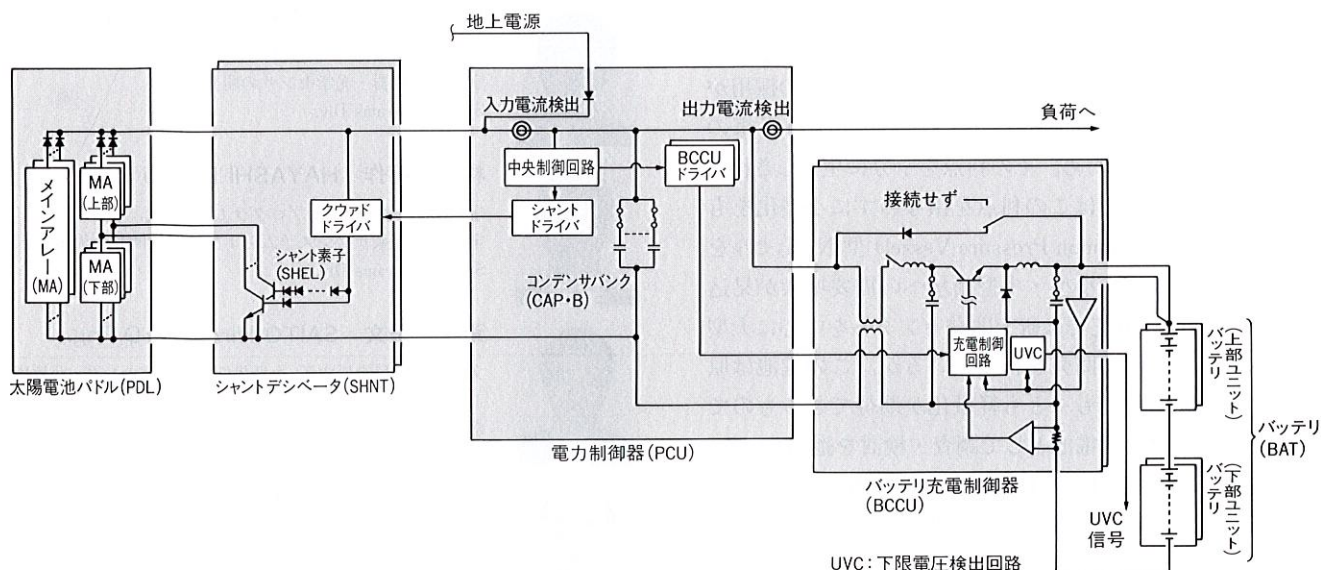


図4. ASTRO-E 電源系の基本機能構成 日照時と食時でバス電圧が変化する非安定バス方式の電源系の基本機能構成を示す。
Functional block diagram of ASTRO-E electric power subsystem (EPS)

図4に示す電源系方式では、日照時の電力源である太陽電池パドルからの電力はトランジスタなどの制御素子を直列に介することなく直接負荷へ供給されるため、電力伝送ロスが少ない低ノイズの電源系を実現することができる。また、日照時のバス電圧を従来の+28Vから+51Vに上昇させることにより、同一電力負荷に対する電源系からの出力電流を低減し、電力伝送ロスを低減させている。衛星が地球などの影に入る日陰時には太陽電池からの電力は得られないため、電力源としてバッテリーを保有しているが、このバッテリー放電電力もブロッキングダイオードを経由するだけで各負荷へ供給されるため、日照時と同様に低ノイズの電源系を実現できる。

各負荷へ供給される電源電圧は、太陽電池パドルの出力電圧-電流特性、バッテリーの放電特性と負荷電力総和との相互関係により決定されるが、日照時の電源電圧上限値(ASTRO-Eの場合は約51V)は電力制御器がバッテリーの充電制御を行うバッテリー充電制御器、および太陽電池に接続されたシャントデシベータを制御し決定する。

衛星は、打上げロケットの能力に応じて最大重量および容積が決定されるため、搭載機器、特に電源系のようなバス機器に対しては小型・軽量化が求められる。これを実現するため、部品の表面実装やDC/DCコンバータスイッチング周波数の高周波化を現在順次実施中であるが、高周波化に関しては94年度から宇宙科学研究所からの委託を受け開発に取り組んでいる。高周波化に伴う変換効率の低下およびスイッチングノイズの発生を回避する手段として部分共振回路を採用し、スイッチング周波数800kHz以上で効率90%以上、重量/体積を従来の1/4~1/5にできるめどを得た。

“軽量化”に関しては、電源機器総重量に占めるバッテリー重量の割合が大きい(ASTRO-E電源系では約79%)ためバッテリーの軽量化が特に重要である。大電力衛星用バッテリーの軽量化に関しては図5に示すNi-H₂バッテリーセルの採用が有効であるが、中電力以下の衛星では実装効率が従来のNi-Cdセルに比べ劣るため、その利点を十分に生かしきれなかった。現在、東芝ではこの利点を損なわずに小型化をも実現できるCPV(Common Pressure Vessel)型Ni-H₂セルを開発しており、今後の小型・中型衛星への需要増大が見込まれている。また、東芝では研究開発センターを中心に大型リチウムイオン電池の開発を行っているが、この電池は原理的に化学電池の中でもっとも軽量化が期待できるものであり、衛星搭載用次期電池として調査・検討を進めている。

上述のNi-H₂バッテリーセルは軽量の電池であるが、バッテリーとしては所定の電圧を得るために複数のセルを直列接続して用いる必要があった。そこで東芝では、より高電圧が取り出せるCPV型のNi-H₂バッテリーセルを開発している。

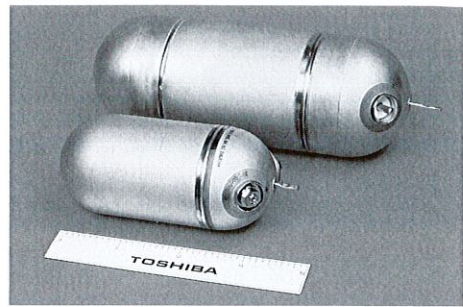


図5. Ni-H₂バッテリーセル 手前が35Ahセル、後方が100Ahセル。
Ni-H₂ battery cells

4 あとがき

科学衛星のミッション要求から、搭載コンポーネントの小型・軽量化の努力は今後も続くと考えられる。その小型・軽量化の一つの方向として、民生品の分野で培われた電子回路の高密度実装技術やFPGAの適用があり、衛星搭載用センサとDC/DCコンバータはそれぞれに成果を上げてきている。電源機器の小型化の限界は排熱処理が次の課題となる。さらに、人工衛星の必須(す)技術であるバッテリーの蓄積密度を上げること、太陽電池パドルの単位重量当たりの発生電力の向上など大きなテーマも残っている。

文 献

- (1) 斎藤宏文, アメリカの小型衛星開発の動向, 日本ロケット協会, 1995.
- (2) 上杉邦憲, 科学衛星のシステム設計とマネージメント, 日本航空宇宙学会誌, 36, 416, 1988.



岡本 二彦 OKAMOTO Tsuguhiko

宇宙開発事業部 宇宙設計部部長。
宇宙搭載機器・光学センサの開発に従事。
Space Programs Div.



林 英作 HAYASHI Eisaku

宇宙開発事業部 宇宙プログラム担当参事。
宇宙用電源系サブシステムおよび機器の開発に従事。
Space Programs Div.



斎藤 宏文 SAITO Hirofumi, D.Eng.

文部省宇宙科学研究所 次世代探査機研究センター助教授, 工博。
惑星探査計画, 高性能小型衛星の開発に従事。
Institute of Space and Astronautical Science



高橋 慶治 TAKAHASHI Keiji

文部省宇宙科学研究所 衛星応用工学研究系助手。
科学衛星の電源システムの研究・開発に従事。
Institute of Space and Astronautical Science