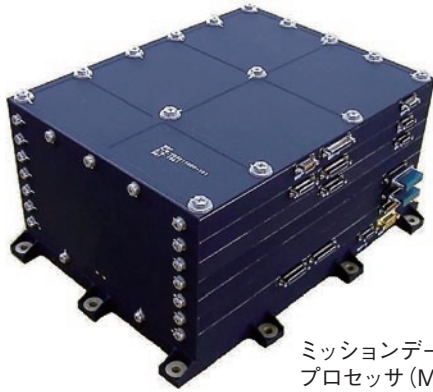


# 太陽観測衛星“ひので” ミッション データプロセッサの開発

## The Mission Data Processor (MDP) for the Hinode Mission



ミッションデータ  
プロセッサ (MDP)

黒田 能 克\*<sup>1</sup>  
Yoshikatsu Kuroda

小 山 正 博\*<sup>2</sup>  
Masahiro Koyama

中 村 信 乃 夫\*<sup>3</sup>  
Shinobu Nakamura

笠 井 茂 雄\*<sup>4</sup>  
Shigeo Kasai

仲 嶋 淳\*<sup>5</sup>  
Atsushi Nakajima

2006年に打ち上げられた太陽観測衛星“ひので”に搭載されている3つの観測機器が撮像する画像の発生量及び解像度は、従来の天文観測衛星に比べて格段に高い。今回ミッションデータプロセッサ(MDP)の開発に当たっては、要求された観測データ処理に最適化した処理フローを構築し、画像圧縮LSI及び宇宙用メモリモジュールを独自開発するとともに、ハードウェアの能力を最大限に引き出すソフトウェアを組み込むことにより、観測機器の制御、大容量の画像データの高速度処理、及び地上へのデータ送信処理を同時に行う日本の科学衛星として過去最大の処理能力を持つコンピュータを実現した。

### 1. はじめに

近年、衛星に搭載される観測機器用センサの高性能化が急速に進んでおり、撮像間隔の短縮及び高解像度化により、画像データの大容量化が進んでいる。しかし、画像の発生量に比べて、衛星から地上へ送信できるデータのレート(テレメトリ出力レート)が極端に小さいため、大容量の画像データを高速に処理するコンピュータの実現が必要不可欠となっている。

2006年9月23日にM-Vロケット7号機により打ち上げられた“ひので”は“ひのとり”“ようこう”に続く日本で3番目の太陽観測衛星で、可視光磁場望遠鏡(SOT)、X線望遠鏡(XRT)、極端紫外線撮像分光装置(EIS)の3種類の観測機器が搭載されており、これらの観測機器で太陽を同時に観測することにより、太陽で発生する様々な現象の仕組みについて解明することを目指している。

これらの観測機器が撮像する画像の発生量及び解像度は従来の天文観測衛星に比べて格段に高く、今回開発したミッションデータプロセッサ(MDP)(タイトル写真)は、これら3つの観測機器の制御、大容量の画像データの高速度処理、及び地上へのデータ送信処理を同時に実現したコンピュータである。

### 2. ミッション要求

MDPへのミッション要求は、各観測機器から非同期に出力される画像データを受信し、あらかじめ指示

された方法に従って画像データを圧縮した後、圧縮データを決められたフォーマットに編集しテレメトリに出力することである(表1)。

表1 ミッション要求

項目	要 求
画像のデータレート(階調)	
SOT	1.0 Mpixel/s (16 bit/pixel)
XRT	500 kpixel/s (12 bit/pixel)
EIS	128 kpixel/s (16 bit/pixel)
テレメトリ出力レート	2 Mbps

### 3. 設計結果

各観測機器から非同期に出力される観測データを滞り無く処理するためには、MDPの処理能力を画像のデータレートにまで引き上げる必要がある。一方、衛星に搭載する機器への、低消費電力化、小型・軽量化の要求が非常に厳しい上に、宇宙環境で使用可能な半導体の能力は民生品と比べ非常に低い。そのため、限られたリソースで処理能力を最大にするために最適化した処理フローを構築した。

#### 3.1 観測データ処理の概要

MDPの観測データ処理は、観測データ受信処理、ビット圧縮処理、画像圧縮処理、データフォーマット編集・出力処理の4つの処理に分かれており、これら処理を並列に動作できるように設計した。

各処理は一時的にデータを格納しておくバッファ

\*<sup>1</sup> 名古屋誘導推進システム製作所電子システム技術部主席

\*<sup>2</sup> 名古屋誘導推進システム製作所電子システム技術部統合システム設計課

\*<sup>3</sup> 名古屋誘導推進システム製作所電子システム技術部宇宙システム設計課主席

\*<sup>4</sup> 技術本部名古屋研究所パワーエレクトロニクス・制御研究室主席

\*<sup>5</sup> 名古屋誘導推進システム製作所電子システム技術部電子機器設計課主席

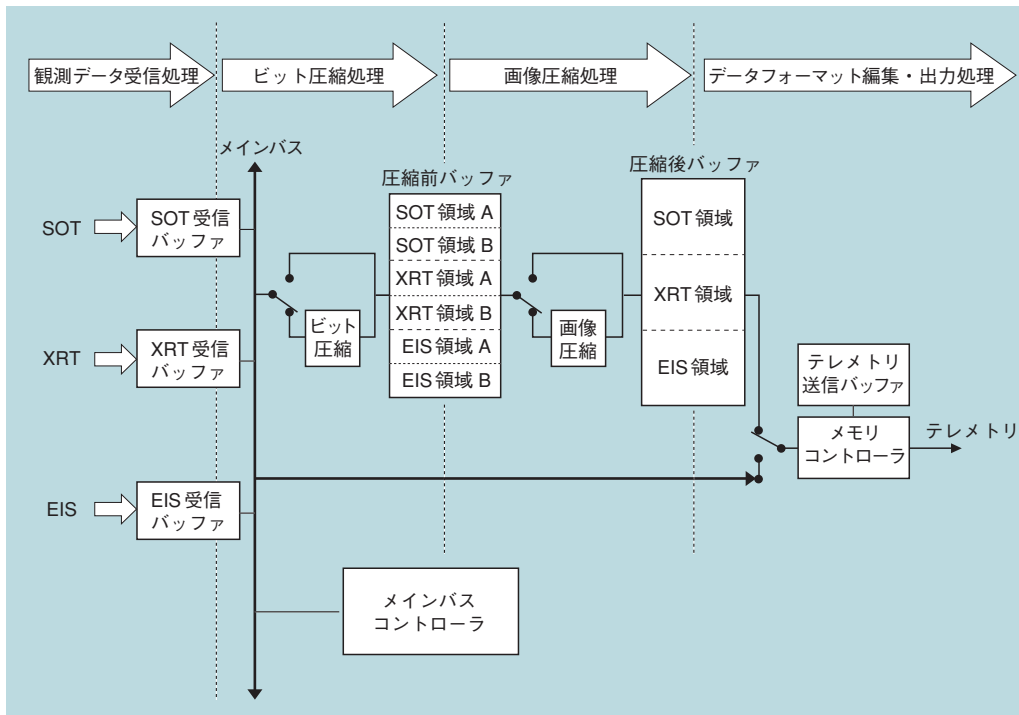


図1 観測データ処理概要

と呼ばれる高速かつ大容量のメモリモジュールで区切り、それぞれのバッファに格納されたデータをハードウェアにより時分割に処理することで、並列動作を可能にした。

MDPは、3つの観測機器から高速で非同期に送信されてくる観測データを受信するため、各々の観測機器用に独立した観測データ用受信バッファを持つ。

受信した観測データは、2段階の圧縮処理（ビット圧縮処理、画像圧縮処理）によりデータ量を減らした後、地上へ送信するためのデータフォーマットに編集され、テレメトリとして出力される。

観測データ処理の概要を図1に示す。ここで、圧縮処理を共有化するため、観測データを時分割で順に処理を行う。MDPのメインバスの使用権は、各観測機器に対して時間配分されている。これをスロットと呼ぶ。メインバスのスロットの割り当てパターンを、メインバススロットパターンと呼ぶ。

MDPのソフトウェアは、あらかじめ決められたメインバススロットパターンに従い各観測機器の受信バッファ内の観測データを圧縮前バッファへ転送する。このような観測データの転送を行うことで、各観測機器の観測データが非同期に入力されても、観測機器ごとに独立したデータ転送量を確保することができる。

図2にスロット単位にメインバスの使用権が遷移するイメージを示す。圧縮前バッファには、ビット圧縮処理を行った順に、1スロット単位で観測データが到

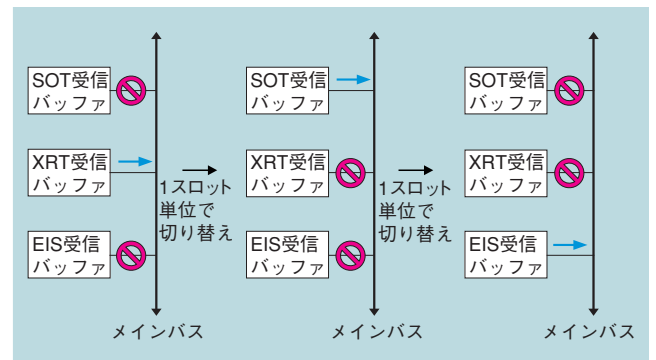


図2 メインバス使用権の遷移

着する。画像圧縮処理は、ビット圧縮処理と同期して、1スロット単位に動作する。

したがって、画像圧縮処理は、ビット圧縮処理と1スロットずれた周期で観測データを処理することとなる（図3）。

### 3.2 画像圧縮 LSI の開発

MDPに要求された画像圧縮処理の仕様を表2に示す。当初は、画像圧縮処理をソフトウェアで実現することを検討したが、当時の宇宙用CPUの処理能力が低く、表2に示した要求を満足することができなかったため、ハードウェアで実現することとした。

ここで、ビット圧縮後の画像の階調は、XRTの画像データが8bit（256階調）、XRT及びSOTの画像データが12bit（4096階調）となる。どちらのデータも画像圧縮するために必要な演算回路の規模が非常に大きくなり、開発当時に利用可能であった宇宙用

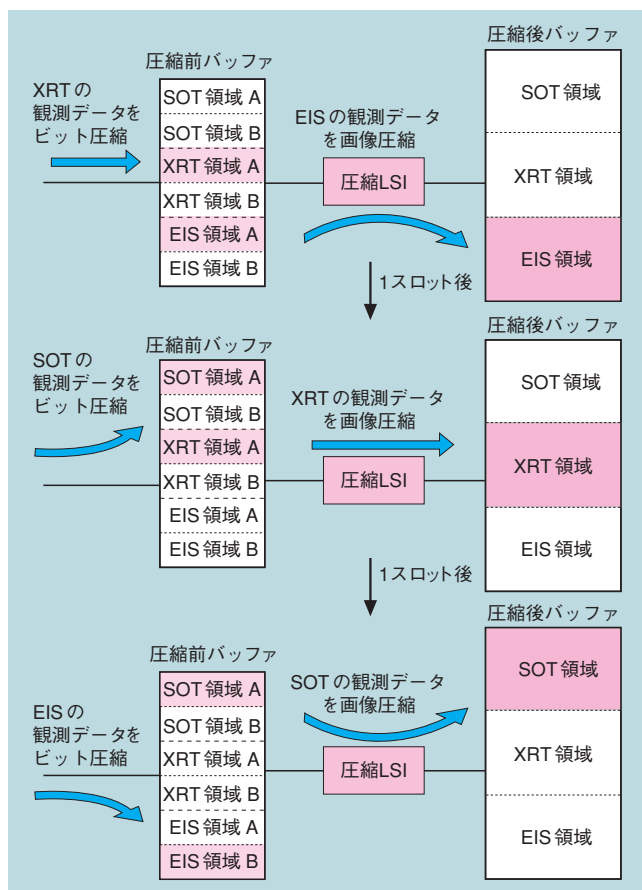


図3 画像圧縮処理

表2 画像圧縮処理の要求仕様

項目	仕様
圧縮方式	可逆圧縮・非可逆圧縮（選択可）
画像サイズ	2kpixels×2kpixels（MAX）
階調	12bit/8bit（選択可）
処理能力	4Mpixels/s

FPGA（Field Programmable Gate Array）の回路規模を超えたため、専用の画像圧縮 LSI（図4）を開発することとした。

また、観測データレートに対してテレメトリの出力レートが極めて小さいため、画像データを観測データとしての価値を損なうことの無い範囲で圧縮率を可能な限り高めることも求められた。圧縮率を決めるのは、量子化や符号化の演算に使用する圧縮パラメータであり、圧縮率が最も高くなる圧縮パラメータの値は画像の性質により異なる。

そこで、画像データを圧縮する度に、画像データの性質に応じて最適な圧縮パラメータを設定して圧縮率を高める方法を検討した。

圧縮パラメータの格納場所については、圧縮の演算に必要なパラメータの数が非常に多いことと、圧縮の度に地上から設定していたのでは効率が悪いことか

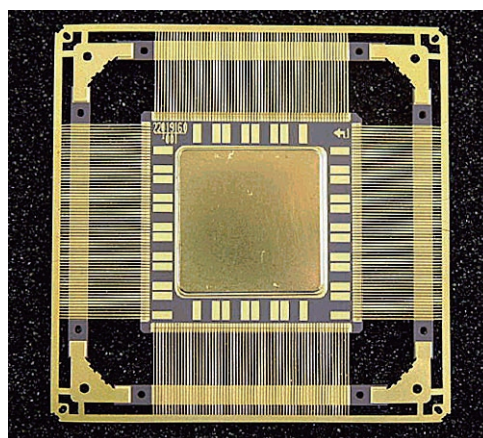


図4 画像圧縮 LSI

ら、設定が予測されるパラメータを可能な限りあらかじめ MDP に格納しておくことにした。

ここで、MDP に搭載されているメモリに格納しておくこと、CPU がメモリにアクセスして画像圧縮 LSI に設定しなければならず、CPU の負荷が高くなることが懸念された。

そのため、圧縮パラメータのテーブルを画像圧縮 LSI の内部メモリに複数格納し、地上からのコマンドでテーブルを指定するだけで、圧縮パラメータを変更できるようにした。

今回開発した宇宙用画像圧縮 LSI は、設計を社内で実施し、製造をファウンドリメーカで実施した。また、宇宙用部品に要求されるスクリーニング（初期故障除去試験）を実施することで、高い信頼性を確保している。

さらに、MDP 搭載時の機械環境や宇宙放射線環境に対しても、振動・衝撃試験、熱真空試験及び放射線照射試験を実施し、問題無いことを確認した。

なお、万一この画像圧縮 LSI が故障した場合を想定し、データを LSI に入力せずに、LSI の外部を迂回してテレメトリに直接出力可能なバイパスラインを設けることで、全くデータが地上に送信されなくなるリスクを回避した。

### 3.3 宇宙用メモリモジュールの開発

観測機器が撮像する観測画像データの容量は非常に大きく、MDP のデータ処理能力を上げるためには、観測画像データを格納するバッファに、高速にアクセス可能でかつ容量の大きいメモリを採用することが必要不可欠であった。

しかし、開発時に利用可能であった宇宙用メモリモジュールでは、要求を満足できるものが無かったため、独自開発することにした（図5）。

メモリには SDRAM（Synchronous Dynamic Random Access Memory）と呼ばれる同期式 DRAM を採用



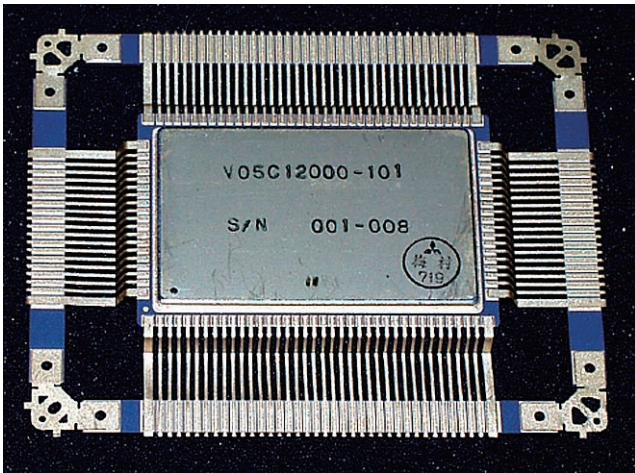


図5 宇宙用メモリモジュール

した。SDRAMは、クロックに同期して制御するDRAMであり、バーストアクセスと呼ばれるアクセス方法で制御すると従来型のDRAMより高速なアクセスが可能となるため、MDPでは、このバーストアクセスを用いることでメモリのアクセス能力を上げている。

#### 4. ま と め

MDPに要求された観測データ処理に最適化した処理フローを構築し、画像圧縮LSI及び宇宙用メモリモジュールを独自開発するとともに、ハードウェアの能力を最大限に引き出すソフトウェアを組み込むこと

により、制限されたテレメトリの出力レートに対して、観測データレートの最大でもデータを欠落すること無くテレメトリ出力を可能にした。これは、日本の科学衛星として過去最大の処理能力である。

これにより、宇宙空間で多量の太陽観測データを処理することが可能となったため、“ひので”は世界に先駆けて太陽の鮮明な映像を多数撮影することに成功、これらの映像を現在も全世界へ提供し続けている。

本機器の開発に当たり、多大なご指導、ご助言をいただきました、(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)及び大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 国立天文台(NAOJ)の関係各位に深く感謝致します。



黒田能克



小山正博



中村信乃夫



笠井茂雄



仲嶋淳