

プロジェクト名：超高分解能X線分光計のためのデジタル波形処理回路の開発

プロジェクト代表者：田代 信（理工学研究科・教授）

## 1 研究の目的

ブラックホールからの相対論的速度のジェット噴出、銀河同士の衝突などが明らかになりつつあり、あらゆる階層においての「動的な宇宙」が注目されている。その主たる観測手段は、天体の放射スペクトルのドップラー効果と相対論的偏移を調べる高分解能スペクトル解析である。特に光エネルギー現象において放射されるX線をつかち、高エネルギー分光観測が大きな役割を果たしている。

しかし、これまで中心となってきたX線分光装置は、結晶によるX線の散乱を利用するもので、X線天体観測においてもっとも強度が強い鉄輝線の帯域において必ずしも効率がよくないこと、さらに分散型であるため、撮像観測と両立せず広がりをもった天体に対して有効でないことが難点であった。

我々はこれに、JAXA-NASAを中心とした日米協力によるX線天文衛星ASTRO-H計画で挑む。

ASTRO-Hでは、ピクセル型X線マイクロカロリメータを搭載、0.2–12 keVの酸素輝線から鉄輝線をカバーする広い帯域で、撮像分光観測を行う。これによって、300km/s以下の天体の運動も識別し、動的な宇宙を明らかにすることができる。埼玉大学では、このX線マイクロカロリメータSXSの開発を分担、特に信号処理回路（図1）開発を責任担当している。SXSは、従来の数十倍のスペクトル分解能を世界で始めて実現する観測装置で、その究極の分解能は、我々が開発する衛星搭載回路によるデジタルフィルタリング処理を通じて実現される。

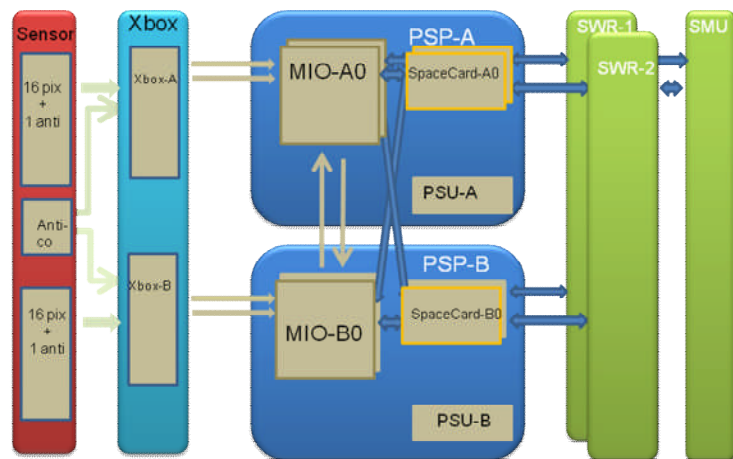


図1 デジタル処理回路 Pulse Shape Processor(PSP)とその周辺回路の接続図。センサーから前置回路部 Xbox を経てデジタル化された波形信号が入力される。PSP は、FPGA 部 (MIO) と CPU 部 (SpaceCard) をつかちて信号を評価して、光子情報を生成し、SpaceWire router (SWR) を介して衛星中央処理部 SMU にデータを送る。

## 2 研究内容

昨年度の基礎研究および概念設計にもとづき、本波形処理回路は、初段の信号検出をおこなう FPGA 回路部と、検出信号の評価からデータ処理までをおこなう CPU 回路部の二つの信号処理回路によって構成される。今年度は、このうちの FPGA 回路部のロジックの設計、実装、評価をおこなった。具体的には以下の手順でおこなった。

1. ロジックの設計：入力される信号波形にたいして、有限インパルス応答(FIR)によるデジタルフィルタリングで信号イベントを検出する。予想される検出器からの信号波形をもとに、FIR を設計し、計算機上のシミュレーションによって評価した。すなわち、もっとも検出しにくい短時間

に複数の信号が重畳する場合をシミュレートし、計算機上でFIRフィルタリングをおこない、できるだけ単純なロジックで重畳を検出できるようにFIRを調整した。

2. 試作回路の製作、評価：実際に衛星で使用する予定のものとおなじ構造をもつ試作FPGAボードに、上で設計したFIRを含む機能を実装し、動作/機能試験を行う。本年度は外部とのコミュニケーションを中心とした基本的な機能の試験にとどまり、詳細な機能試験についてはひきつづき10年度におこなっている。

3. NASAが担当する前置信号処理部との結合試験：コミュニケーション試験の一環として、NASAが開発製作を担当している前置信号処理部との通信試験を11月および1月におこなった。この前置信号処理部は、検出器からのアナログ信号をフィルタ、増幅、デジタル変換を行う部分であるが、衛星中心部とのコマンド/テレメトリーはすべて、本研究で開発するデジタル信号処理部を介しておこなうので、そのすべての通信試験もふくめておこなった。

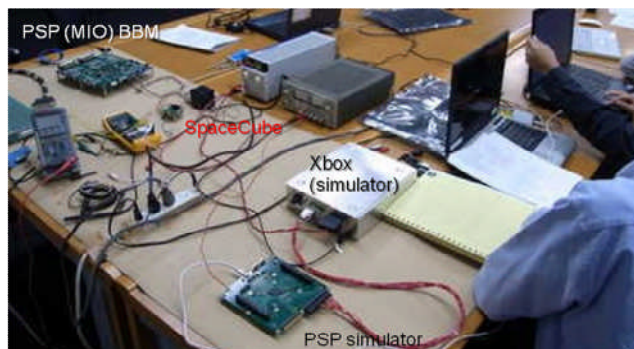


図2 前置回路 Xbox シミュレータとの接続試験の様子。

4. CPU 回路部および通信速度評価：衛星搭載時には、放射線耐性の高い、CPU (SH4 互換の SOI-SOC) を採用する。これを搭載した試作ボードに、信号波形評価プログラムをインストールし、処理速度を実測した。結果として、要求速度をみたすことを確認した。さらに、FPGA 部と CPU 部間のデータ転送速度についても要求速度を達成していることを確認した。

### 3 成果報告および外部資金獲得状況

全項で述べたように、開発研究は順調に進行した。FIR の設計に関しては、7月に Stanford 大学で行われた第 13 回低温検出器国際会議で報告し、会議録に収録されている。また、日本天文学会秋季年会、春季年会で口頭講演を行った。また本研究を基盤に、科学研究費補助金を申請し、2010 年度から 4 年間にわたる研究として採用された。

#### <成果発表リスト>

Seta, H., Tashrio, M. S., Terada, Y., Shimoda, Y., Onda, K., Ishisaki, Y., Tsujimoto, M., Hagihara, T., Takei, Y., Mitsuda, K., Boyce, K. R., Szymkowiak, A. E.,  
“Development of a Digital Signal Processing System for the X-ray Microcalorimeter on board ASTRO-H” The thirteenth international workshop on Low Temperature Detectors-LTD13. AIP Conference Proceedings, Vol. 1185, pp.278—281 (2009)

下田優弥、田代信、寺田幸功、瀬田裕美、朝比奈正人 (埼玉大)、石崎欣尚、阿部祐輝 (首都大)、辻本匡弘、満田和久 (ISAS/JAXA)、松田健司、益川一範 (三菱重工業)、ASTRO-H/SXS チーム  
「ASTRO-H 搭載精密軟 X 線分光装置 SXS の波形処理システム PSP の開発の現状」広島大学、2010 年 3 月 26 日、日本天文学会 2010 年春季年会

#### <獲得外部資金>

科学研究費補助金 (2010—2013年度) 基盤研究 (B) 22340039 「多波長観測による超相対論的ジェット天体の系統的研究」