

MUSES-C 搭載用蛍光 X 線分光計における X 線 CCD の機上解析

On-board analysis of X-ray CCD based X-ray fluorescence spectrometer on MUSES-C spacecraft

山本 幸生[1], 岡田 達明[2], 白井 慶[1], 加藤 学[1]

Yukio Yamamoto[1], Tatsuki Okada[1], Kei Shirai[1], Manabu Kato[1]

[1] 宇宙研, [2] 宇宙研・惑星

[1] ISAS

MUSES-C 探査機に搭載予定である蛍光 X 線分光計(XRS)は X 線の検出器として X 線 CCD を使用する。X 線 CCD のデータは画像として取得され、それを解析することにより X 線のスペクトルを得ることができる。X 線天文衛星など地球周回衛星上、つまり X 線 CCD の画像を取得することが十分可能な環境下において、X 線 CCD は広い有効面積と高いエネルギー分解能によってその成果を挙げてきた。

惑星探査用の蛍光 X 線分光計としても、X 線 CCD の持つ有効面積とエネルギー分解能は魅力的である。惑星や小惑星、衛星などの表層から励起放射される蛍光 X 線を観測するためには、25 平方 cm 以上の有効面積が必要である。また惑星の構成元素として重要な Mg, Al, Si など主要元素の蛍光 X 線を分離するためには、およそ 200eV 以下@5.9keV が必要となる。X 線 CCD はこの2つの要請を十分満たしている。Apollo 15, 16 や NEAR Shoemaker で使用された比例計数管を主体とした蛍光 X 線分光計と比べ、X 線 CCD を使用した X 線分光計を開発することが可能であれば、エネルギー分解能や重量面において大きくアドバンテージを得ることができる。

しかしながら、X 線 CCD は画像データを取り扱うため、惑星探査機など画像データを地上へと送信することが困難である状況においては、そのデータ量が深刻な問題となる。もしこのデータ量の問題点を解決することができれば、X 線 CCD は惑星探査用蛍光 X 線分光計の X 線検出器として十分有用な検出器となる。

本研究では地上で行う X 線 CCD の解析手法を探査機上で行うことにより、画像データが取得困難な状況においても、地上解析と比べて遜色ない X 線スペクトルを得ることを目標とし、本発表ではその具体的手法について報告する。

機上解析を導入し成功した背景には、新たに宇宙用に開発し MUSES-C で初めて導入したマザーボード(SH-OBC)の存在がある。SH-OBC の主な特徴は、高速な CPU と3重冗長系である。CPU には SH7708(SH3)を使用しており、周波数 60MHz と惑星探査用としては高速に動作する。また SH3 は民製品として広く使用されており、コンパイラなどその強力な開発環境により開発効率が飛躍的に向上している。もう一つの特徴である3重冗長系は、CPU や ROM, RAM をそれぞれ3つずつ搭載しており、放射線の影響により偶発的に発生する演算ミスを多数決処理により修正可能とする。この SH-OBC を用いて、従来ソフトウェアの主な役割であったコマンド・テレメトリなどの通信処理に加えて、XRS センサのハードウェア制御、機上解析を同時にかつ独立に動作させることを可能とした。

CPU が高速化したといえども、クロックと同期して動作するハードウェア処理と CPU で動作するソフトウェア処理では、その処理速度はハードウェアの方が高速である。したがって、X 線 CCD の機上解析の項目に応じて、ハードウェア、ソフトウェアで行う処理内容を検討しなければならない。

X 線 CCD の解析処理のうち、X 線 CCD の各画素中において X 線の照射された画素と照射されていない画素を区別する処理(Event 抽出処理)はハードウェアに行わせ、Event 抽出後のデータ解析(Grade 判定)はソフトウェアに行わせる方式を採用した。この方式を用いることで、CCD の駆動速度に依存する高速な処理はハードウェアに行わせ、一方でイベント判定など柔軟性を要する処理をソフトウェアに行わせ、効果的に X 線のスペクトルを得ることが可能となった。

その他、複数の画素をまとめて1つの画素とする Binning 処理や、X 線 CCD を駆動するための電圧を可変にするなど、性能を向上させるために XRS では多くの開発要素を取り入れて開発を行った。

XRS は地上解析を行うために、X 線 CCD の画像データを直接外部バスに出力するモードを実装しており、地上解析と機上解析の比較を行うことが可能である。機上解析により取得した画像データ 100 枚(約 200 MB)と、機上解析によって 30 秒ごとに1パケットずつ、全 11 パケットで取得したデータは同等のエネルギー分解能を示し、実際に惑星探査用として十分な機上解析が実装可能であることを示すデータが得られた。

このようにして開発した蛍光 X 線分光計は、過去の蛍光 X 線分光計と比べて、エネルギー分解能において約 5~6 倍高い 180eV@5.9keV を達成した。このエネルギー分解能により、実際に Mg, Al, Si の調査試料を測定したところ、実際に Mg, Al, Si の輝線を分離することに成功した。