

セレーネ搭載蛍光X線分光計（XRS）の開発の現状

Current status of development of x-ray spectrometer (XRS) onboard Selene

岡田 達明 [1], 加藤 学 [2], 山下 靖幸 [3], 白井 慶 [4], 山本 幸生 [2], XRS開発チーム 岡田 達明
Tatsuaki Okada [1], Manabu Kato [2], Yasuyuki Yamashita [3], Kei Shirai [4], Yukio Yamamoto [2], Okada Tatsuaki XRS Team

[1] 宇宙研・惑星, [2] 宇宙研, [3] 宇宙研・次世代探査機研究センター, [4] 名大・理・地球惑星

[1] Div. Planet Sci., ISAS, [2] ISAS, [3] CAST, ISAS, [4] Earth and Planetary Sci., Nagoya Univ

月周回探査機セレーネに搭載するCCD搭載型蛍光X線分光計（XRS）の開発の現状について報告する。XRSは両極を除くほぼ月面全域を空間分解能約20キロメートルで主要元素の分布を調べる。XRSでは惑星探査機で初めてX線CCDを搭載する。CCDは-40℃以下で、比例計数管よりも数倍優れたエネルギー分解能が得られる。CCDをアレイ化して有効受光面積100平方センチを実現する。XRSの熱的・機械的構造の詳細な設計を行った。また、処理系回路の詳細な検討を行った。XRSの要素開発の一環として、ロケット実験（S310-28号機）で、XRSのプロトモデルを用いた技術実証試験を行った。

月周回探査機セレーネに搭載するCCD搭載型蛍光X線分光計（XRS）の開発の現状について報告する。最新のXRSの詳細設計の内容や、XRSの要素開発の一環として実施したロケット実験（S310-28号機）から得た情報についても述べる。

月探査周回衛星計画（セレーネ計画）は、宇宙開発事業団と宇宙科学研究所が共同で行う月探査ミッションであり、2003年度に打ち上げる。目標は「月の科学」、「月での科学」、「月からの科学」である。XRSは「月の科学」を行う機器のひとつであり、両極を除くほぼ月面全域を空間分解能約20キロメートルで主要元素（Mg、Al、Si他）分布図を作成する。可視・近赤外の分光撮像やガンマ線分光観測と併せて、月の地質調査、さらに月の過去の火成活動や月地殻の進化過程等の研究を行う。

XRSの測定原理は通常の蛍光X線分析と同様である。励起源は太陽X線であり、太陽X線が月面に照射することで、表層物質の元素組成を反映するエネルギー分布をもつX線が常に励起放射されている。月面からのX線と太陽X線を同時に観測することで、定量的な元素分析ができる。

XRSは周期2時間、高度100キロメートルの極周回軌道から観測する。重量・電力等のリソースの制限のもとで、X線検出器系の選択と機器の熱構造設計を行った。X線検出器には惑星探査機として世界に先駆けてX線CCDを使用する（大阪大学や浜松ホトニクスと共同で開発中）。月面観測用センサはCCDを16枚並べて有効面積100平方センチを実現する。CCDの前面には軟X線を有効に透過する厚さ5～10ミクロンのベリリウム製遮光膜を貼る。さらに燐青銅製コリメータによって視野角を15°に制限する。背面側には約800平方センチの放熱板を装備する。太陽X線モニタは、標準試料に太陽X線が照射することで励起されるX線を測定するX線CCDと、X線強度の時間変化を直接測定するPINダイオードを搭載する。ケース上面に放熱板を装備する。電子回路系にはアナログ・デジタル処理部のほか、SH-3を3重冗長系にしたCPUを搭載する。総重量が約25kg、電力が約36Wである。

X線CCDはアポロやNEAR等の蛍光X線観測で使用された比例計数管に比べて、エネルギー分解能で数倍～10倍、検出帯域も1KeV以下まで感度が延び、主要元素分析に有利である。X線CCDは光用CCDに比べて空乏層が厚く、X線光子を有効に吸収する。開発中のCCDは、1インチ角の有効受光面（1M画素）をもち、アレイ化に適したバタブル型の構造をもつ。軽量化のため不感領域の少ないフルフレーム転送方式を採用した。X線の計測はフォトンカウンティング式で行う。

X線CCDは信号増幅能力をもたないため、S/Nの向上には冷却によって熱雑音を下げる。稼働温度が-40℃以下で良好なS/N、すなわちエネルギー分解能が得られることは既に調べた。探査機上では冷媒や消費電力の大きいクーラーの使用は困難なため、放射冷却に頼る。そのため放熱板を-50℃以下に保持し、X線CCDをコールドプレートを通して熱結合させる。放熱板およびCCDは断熱材を通して筐体に固定する。温度や機械的強度の成立性は、熱計算や構造計算によって確認した。

X線CCDとその周辺の熱構造設計や、CCDの駆動・読み出し・処理系の回路設計について仕様を検討したが、その実証試験のためにロケット実験（S310-28号機）を行った（白井他、本学会セッション：惑星）。ロケット搭載品の開発中に多くの工夫・改良を施し、XRSの目標に近い機能・性能を発揮できるモデルが完成した。ロケット実験では冷却機構上、稼働温度が-25℃までであったが、データ処理方法の開発によって良好なエネルギー分解能、約200eV（@6KeV）が得られた。この実験を通して得た情報はXRSの開発に活用される。

X線CCDの出力値から、バックグラウンドの除去、温度補正、画素間のむらの補正、複数の画素に漏れ出

た信号の処理方法等について、より一層の研究が必要である。現在までに得られた性能で、主要元素（Mg、Al、Si）のX線ピークは何とか分離可能であり、約10%の誤差で元素組成比が求まるだろう。アポロは30~50%近い誤差があったので進歩はしたが、さらに高いエネルギー分解能を目標としている。そのためXRS校正装置の開発にも着手している（山本他、本学会セッション：惑星）。