



超小型衛星の概要と 地表観測用裏面照射型CCD素子の開発状況

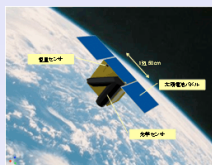


内田 裕之、常深 博、林田 清、中嶋 大、穴吹 直久、上田 周太郎

平成21年度に文科省は超小型衛星開発事業の公募を行った。我々は「放射線耐性の高い裏面照射型CCDとTDI動作を組み合わせた超小型高感度地表観測センサーシステムの開発研究」というタイトルで提案し採択された。目的は地表観測において撮像分解能5mを実現できる可視光カメラセンサーの開発研究である。検出器には放射線耐性が高く紫外線にも感度を持つ裏面照射型冷却CCD検出器を用いる。またTDI動作を組み合わせて実効的な露光時間を長く取り、日照面以外でも撮像可能なシステムの構築を目指す。我々はここまでにX線天文衛星搭載用の様々な検出装置を開発してきた。本研究ではこの応用として、質量20-50kg程度の超小型衛星システムに適用可能なCCDカメラ部分の開発を行う。以下では本衛星の概要および撮像に使用する裏面照射型CCD素子の概要、TDIの概要および動作実証試験の準備状況について説明する。

超小型衛星研究開発事業

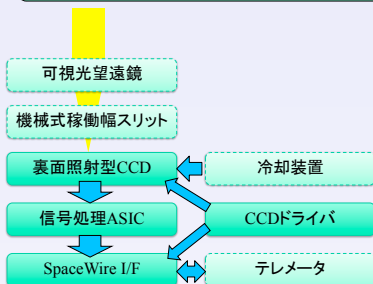
超小型衛星研究開発事業は平成21年度から文部科学省が取り組んでいる事業で、「最先端超小型衛星群の開発を通じた宇宙利用の裾野拡大」を目指している。ここで言う超小型衛星は、おおむね質量20kgから50kg以下、3辺がそれぞれ0.3mから0.5m以下の衛星を指す。光学センサの場合には、地上画像の分解能として単画像で約5mを目指すことが要請されている。



超小型衛星軌道上イメージ(文部科学省)

平成21年度の公募では、A:「最先端の超小型衛星システムの研究開発」B:「超小型衛星のための衛星バス、ミッション、サブシステム等の研究開発」の2つのプログラムが設定され、我々はBで採択された。採択されたタイトルは「放射線耐性の高い裏面照射型CCDとTDI動作を組み合わせた超小型高感度地表観測センサーシステムの研究開発」である。

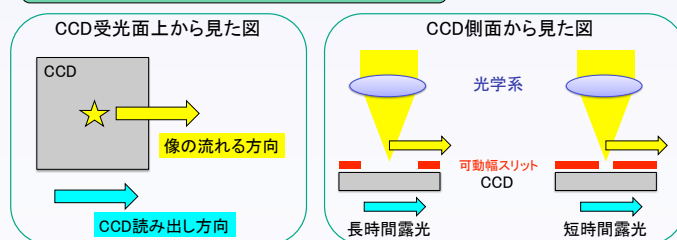
地表観測衛星の概要



反射防止膜(ARコート)を施し、TDI(Time Delay Integration)方式の読み出しを行うことで検出効率の向上をはかる。これによって、日照面以外の領域での撮像も可能になる。CCD信号処理にはASICを用い、デジタル処理系やテレメータなどのコンポーネント間のデータ通信にはSpaceWireを用いる。以上の撮像系で、衛星高度500kmから位置分解能5mの地表観測を目指す。

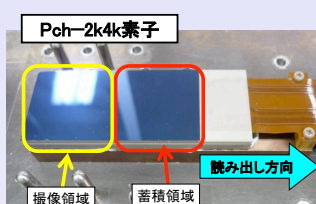
エレクトロニクス関連の詳細はポスターP7-034「超小型衛星搭載用超高感度地表観測センサーのエレクトロニクス開発」を参照のこと。

TDI(Time Delay Integration)方式



上図にTDI方式の概略を示す。衛星の移動による像の流れとCCDの電荷転送のタイミングを同期させることで、像の流れを打ち消す。この方式では、読み出した転送行数に比例した長さの露光を行えるので、TDIを採用しない場合に比べて実効的な露光時間を大きく稼ぐことができる。さらに受光面上に可動幅スリットを設けることで、露光時間の調整(1/40秒から3秒程度まで)を行える。日照面ではスリット幅を絞り、それ以外ではスリット幅を広げることによって、日照/日陰に依らず地表の広い領域の走査観測を実現できる。

裏面照射型CCD素子



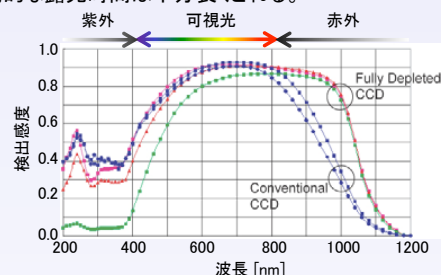
Pch-2k4k	CCD諸元
画素サイズ	15[μm] × 15[μm]
画素数	2048(H) × 4196(V)
撮像領域	31[mm] × 31[mm]
空乏層厚	218[μm](完全空乏化)
変換係数	5.5[eV/e ⁻]
照射方式	裏面
読み出し方式	フレームトランスファー
読み出しノード	4つ

TDI方式での撮像を行うためにはフレームトランスファー型の素子が必要である。上図に示したPch-2k4kは超小型衛星搭載用素子のプロトタイプで、阪大、京大、国立天文台が共同で開発したものである。4つの読み出しノードを持っており、2チャンネル同時読み出しと4チャンネル同時読み出しが可能。駆動時には、蓄積領域にAlカバーを取り付ける。

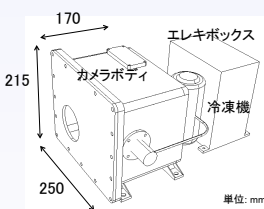
これまで広く使われてきた表面照射型の場合、電荷転送領域は入射面から数μmにある。このため宇宙環境では低エネルギー陽子による損傷を受けやすい。これに対して我々の素子は裏面照射型で、すでに空乏層厚~200μmを実現している。素子の深い所に電荷転送領域があるため、放射線劣化を大幅に防ぎ、軌道上で長期間高性能を維持できる。

衛星高度500kmで5mの分解能を達成するには、光学系の角度分解能2.5秒角、ドーズ限界から見積もってレンズ径5cm以上が必要である。一方フライトモデル素子は画素サイズ24μm × 24μmを想定しているため、必要な焦点距離は2.4m、光学系のF値は48となり明るいとは言えない。しかしTDIを想定しているので、実効的な露光時間は十分長くとれる。

右図に紫外から赤外にかけてのCCD素子の検出感度を示す(浜松ホトニクス資料による)。赤線が我々の素子の感度である。裏面照射型のため紫外線領域(200-400nm)でも感度があり、厚い空乏層のために赤外領域(800-1200nm)でも高い感度を持っている。



今後の展望



我々はフライト用CCD素子を用いて地上でのTDI実証試験を行う予定である。このための試験用カメラチェンバの開発を進めている。左図にその概形を示す。カメラボディは215 × 250 × 170mmとコンパクトである。雑音を低減するためCCD素子は-120degCまで冷却することが可能である。このためカメラ内部を真空中にして1段式スターリング冷凍機を用いて冷却する。

地上試験用の光学装置として、マクスツフ・カセグレン式可視光望遠鏡を用いる。有効口径は127mm、焦点距離はフライト用光学系に近い1270mmである。F値は10となり、TDI試験を行うには十分な明るさである。衛星は高度500kmの円軌道を約100分(6000秒)で一周する。そこでCCD受光面で同等の像の流れ速度が出るような撮像系を構築してTDI方式での可視光撮像を行うのが当面の目標である。また今後は、放射線耐性試験や熱真空試験を別途行い、衛星環境に耐えるカメラセンサーの開発を進める。

