



Title	X線用CCDカメラの開発 : Axtro-Gをめざして
Author(s)	宮田, 恵美
Citation	大阪大学低温センターだより. 1996, 96, p. 19-23
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/9422">https://hdl.handle.net/11094/9422</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# X線用CCDカメラの開発—Astro-Gをめざして—

理学研究科 宮田 恵美（内線5475）

E-mail:miyata@ess.sci.osaka-u.ac.jp

## 1 はじめに

我々の研究室、宇宙地球科学科基礎宇宙学講座では、X線天文衛星搭載用のX線検出器、とくに、X線CCDカメラの開発をしている。CCDは既に、可視光領域の天文観測には、不可欠のものとなっている。我々はCCDを、直接撮像型のX線用の検出器として開発・転正している。現在は、2000年に打ち上げ予定のX線天文衛星Astro-E搭載予定のCCDカメラXIS(X-ray Imaging Spectrometer)の開発に取り組んでおり、さらに、そのさきの、Astro-Gを念頭においたCCDの開発を進めている。

ここでは、現在開発中の新しいCCDの駆動、およびデータ取得装置について述べる。CCDの詳細については、[1]などを参考のこと。

## 2 X線検出器としてのCCDの特徴

CCD(Charge Coupled Device；電荷結合素子)は、硅素の基板に参加硅素の絶縁層を通して電極が多数取り付けられた構造をしている。電極に正の電圧を印加すると、硅素の基板中に空乏層が形成される。ここに、電磁波が入射し、光電吸収をおこし、電子正孔対が形成される。このうち電子が電極に集められる。個々のピクセルに複数の電極があり、それぞれの電極に加える電圧を順番に変えることにより、電子をバケツリレー方式で隣接するピクセルに転送することができる。最終的に、それぞれのピクセルで集められた電荷は、プリアンプを通して電圧信号として取り出される。

X線検出器としてCCDは、位置分解能、エネルギー分解能、時間分解能、さらに偏光検出能、これらを同時に併せ持つ唯一の検出器である。位置分解能は、1ピクセルの大きさで決まり、我々が良く用いているCCDでは、 $12\mu\text{m}$ である。エネルギー分解能は、X線検出器として広く用いられている比例計数管に比べて10倍程度優れている。時間分解能は、ピクセルに溜った電荷量を読み出す速度で決まっており、現在我々が開発中のシステムでは、30-60秒程度となっている。また、光電吸収の際、光電子は、X線の電場ベクトルの方向に飛び出す。この光電子の飛跡を調べることにより、X線の偏光方向を調べることができる([2])。

既に、X線CCDカメラは、現在活躍中のX線天文衛星『あすか』に搭載されている。『あすか』に搭載されているX線CCDカメラは、SIS(Solid-state Imaging Spectrometer)と呼ばれ、マサチューセッツ工科大学、宇宙科学研究所、そして我々の研究室で開発を行った。SISは、0.4-12keVの広いエネルギー範囲で優れたエネルギー分解能と検出効率を誇る。X線反射望遠鏡(XRT)の焦点面検出器として、世界で初めて2keV以上の硬X線領域での撮像能力を持ち、既に多くの成果が挙げられている。

### 3 CCDの駆動システム

それでは、本題のCCDの駆動装置とデータ取得装置について述べる。現在のCCD駆動システムは、大きく分けて二系統ある。一つは、NEC-9801を用いたシステムで、もう一つは、SunワークステーションとVMEバスを用いたシステムである。NEC-9801を用いたシステムでは、CCD駆動用のクロックを発生させるためと、CCDのデータを取得するために、2つのNEC-9801を用いている。このシステムは、NEC-9801自身の速度が遅く、データ取得後の処理にも問題があるため、将来性はない。SunワークステーションとVMEバスを用いたシステムは、2年前から開発しており、現在軌道にのっている。詳細は、すでにまとめられた昨年の修論([3],[4])を参考にしていただくとして、このシステムの概要を図1に示す。

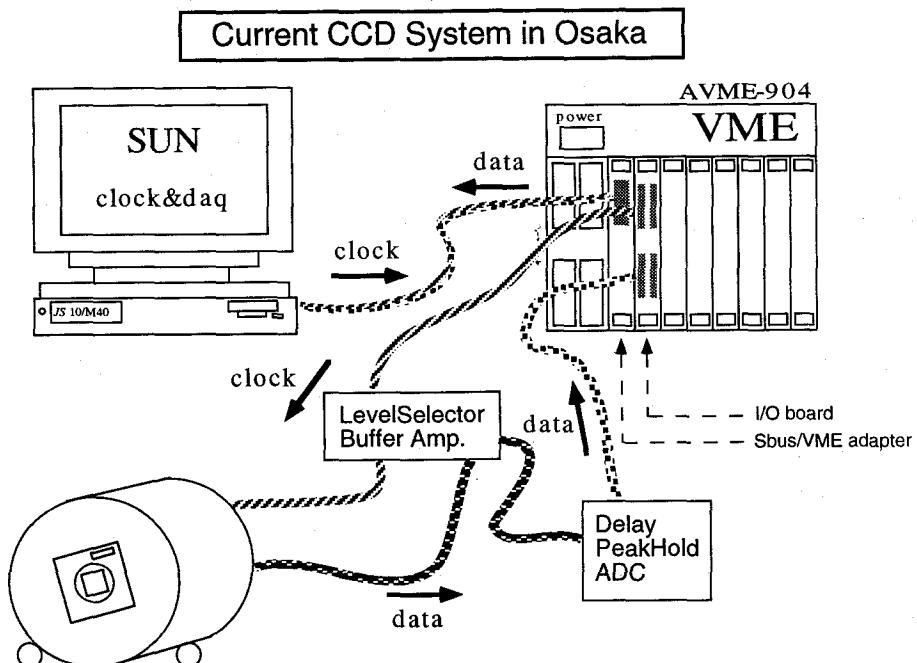


図1：現在稼動中のSun W. S.とVMEを用いたCCD駆動装置

CCD駆動用のクロックは、VMEのPIOボードを通してSun W. S.から出力している。そのクロックをLevel Selectorにより適正な電圧に設定し、CCDに送る。CCDから得られた信号は、12ビットADCを経た後同じくPIOボードから取り込まれ、Sun W. S.のメモリーに転送される。このシステムの特徴は、すべてをSun W. S.が支配しているということである。よって、タイミングなどは何も考えなくて済むし、とったデータをQuick lookするのも簡単にできる。しかも、速い。しかしながら、このシステムには大きな欠陥が1つある。それは、クロックが安定に供給されない。という点である。Sun OSでは、CPUの切替え時間が数百μ秒あり、クロックの1パルスに比べて数十倍大きく、無視することができない。さらに情けないことに、データ取得中は、マウスを動かしたり、余計なプロセスを起動させると、それだけでクロックの波形が乱れることになる。これらはすべて、エネルギー分解能の悪化につながる。

#### 4 新しいCCDシステム

そこで、われわれは現在、新しいシステムを開発している。一番の問題は、駆動用のクロックをどのようにして作るか、という点である。クロックを、電子回路で発生させる。という方法が最も簡単で、かつ安定したクロックを供給することができる。しかしながら、この方法では、多くの種類のCCDに対応したクロックを発生させることが難しい。我々は、DSP(Digital Signal Processor)を使うことにした。DSPは高速にデジタル信号を処理することができ、クロックの発生とCCDのデータ処理をするには最適である。また、OSが走っていないため、余計な割り込みを受けることもないため、安定したクロックを供給することができる。

現在開発中のシステムを図2に示す。このシステムでは、VMEバス上に、Sparcチップ(85MHz)が搭載されたSparcボードと、TI社の32ビットTMS320C31(40MHz)が搭載されたDSPボード(ADXP326)が存在する。このDSPは、レジスターの汎用性が高く、アセンブラーレベルでのプログラミングが容易になっている。DSPボード上には、2Kwordのデュアルメモリーが搭載されており、SparcとDSP間で通信することが可能となっている。クロック出力とデータ入力用に32ビットパラレルポートのついたPIOボードも装着し、VME空間にマッピングされている。

ソフトウェアの流れを図3に示す。Sparcボードは、クロックを出力するためのプログラムをDSPにロードする。プログラムは、速度を最適化するためにアセンブラーで書かれている。クロスコンバイラーを用いてC言語で開発した時と比べて、約10倍程度の高速化が実現されている。さらに、Sparcから、DSPのデュアルポートメモリーに駆動用のクロックパターンを書き込み、DSPのプログラムを実行させる。DSPは、クロックパターンをよんで、それに応じたパルスをPIOボードを通して、パラレル

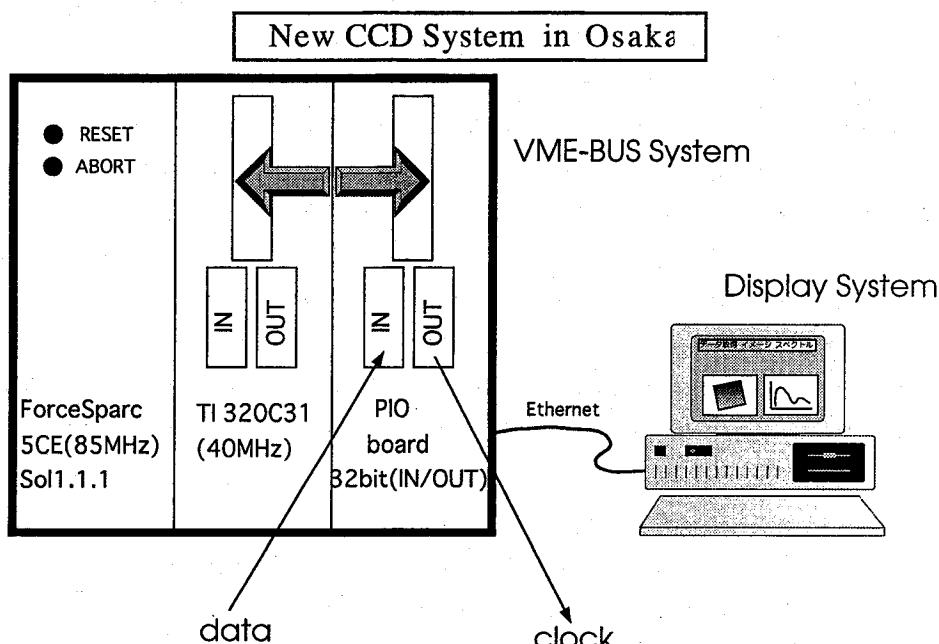


図2：現在開発中のDSPとSparcボードを用いたCCD駆動装置

## Softwares on DSP / SparcBoard

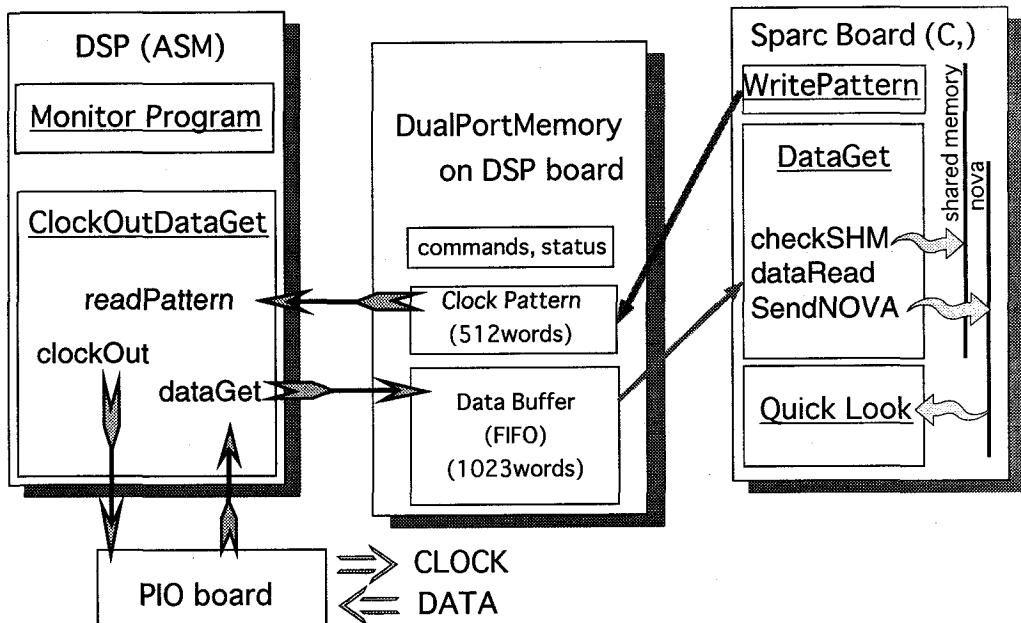


図3：DSP、Sparcボード間の通信

ポートに出力する。PIOボードから出力されたクロックは、以前のシステム同様適正な電圧に変換され、CCDに送られる。得られたCCDのデータは、PIOボードの入力ポートから取り込まれ、デュアルポートメモリーを介してSparcのメモリーに格納される。デュアルポートメモリーには、クロックパターンの他、CCDのデータが2列分はある余地がある。このデータ領域は、FIFO(Fast-in-fast-out)となっており、DSPが2列分読み込む間に、Sparcはメモリーにアクセスしなければならない。アクセスできなかった場合、データ欠損とはならないが、そこでDSPのデータ取得が一定間隔とならない。

実際に、ファンクションジェネレーターを用いてテストした結果、SparcはADCの変換速度（ $3\ \mu\text{秒}$ ）に比べて十分速度にデュアルポートメモリーにアクセスする事がわかった。つまり、SparcはDSPが2列分のデータを読まないうちに、自身のメモリーに展開できたわけである。得られたデータのQuick lookや、ハードディスクにセーブするのは、Sparcである。現在、データを取得後（つまり、Sparcのメモリーに展開後）リアルタイムで、スペクトル表示、イメージ表示、データのセーブなどができるようになっており、GUIをベースにしたインターフェースを用いて使いやすいシステムを構築中である。

現在、CCDの全面にメッシュをおいて、LEDを前方から照射して、メッシュパターンが出るかどうかのテストを終了して、システム自体は、動き出したところである。いよいよこれからX線を用いて実験をする所である。現状のシステム、またNEC-9801を用いたシステムのエネルギー分解能を越えるのもそう遠くないであろう。

## 5 今後の開発目標

現在開発中のシステムでは、VMEバスを用いている。現在使用しているVMEクレート（ラック）には、計7枚のカードをさすことができる。そこでVMEバス用のフレームバッファーを用いて、DSPから直接メモリーにアクセスし、RGB出力してモニターにつなげば、取得したデータを高速に表示することが可能である。

また、現在使用しているDSPの上位シリーズでTMS320C4XというDSPがある。これは、複数のDSP間でメモリーを介さずに直接通信ができる機能を持っている。よって、C4Xが複数のったDSPカードを使えば、X線イベントの検出などのデジタル処理が、Sparcを使わずに済む事ができ、速度の大幅な改善が期待できる。

### 参考文献

- [1] 塚本哲男「CCDの基礎」, 1980, オーム社
- [2] Tsunemi, H. et al. 1992, Nucl. Inst. and Meth. A, 321, 629.
- [3] 橋本谷磨志「Astro-E搭載用X線CCDカメラ校正システムの構築」, 1996. 大阪大学修論
- [4] 鶴見裕一郎, 「スペクトロメーターを用いたX線用CCDの検出効率」, 1996, 大阪大学修論

### 保 安 組 織 表

低温センターで寒剤液化・供給業務を行なっていくにあたっては、高圧ガス取締法により、以下の保安管理のための組織を設けることが義務づけられています。

吹田分室		豊中分室	
保安総括者	鈴木 肥 (工学部長)	櫛田 孝司 (理学部長)	
〃代理	濱口智尋 (センター長)	都 福仁 (副センター長)	
保安技術管理者	百瀬英毅	徂徠道夫	
〃代理	岡田東一	松尾隆祐	
保安係員	脇坂義美	鷹岡貞夫	
代理	牧山博美	石塚 守	

(平成8年10月現在)