



広帯域 X 線イメージセンサ SDCCDの硬 X 線分光性能評価

○今谷律子¹、中嶋大¹、薙野綾¹、穴吹直久¹、廣瀬真之介¹、井上翔太¹、正村 陸¹、岸本俊二²、林田清¹、常深博¹
1:大阪大学、2:KEK

SDCCD (Scintillator Deposited CCD)は軟X線から硬X線まで(~100keV)を単一素子でカバーする広帯域X線イメージセンサである。これは完全空乏化した従来型X線用CCD素子の入射面の裏側に柱状結晶構造のCsI(Tl)シンチレータを光学セメントで直接接着した構造である。これにより今までSi半導体のCCDを透過して検出できなかった硬X線をシンチレータで吸収し可視光に変換、その可視光をCCDで検出し、CCDの優れた位置分解能を保ったまま硬X線領域まで高い検出効率を持たせることが可能であるCsI(Tl)で発生したシンチレーション光は光学セメントを透過してCCDで検出されるまでに広がるため、硬X線イベントの電荷雲サイズは軟X線イベントのそれよりも大きくなる。そこでシンチレータイベント判定にはフィッティング法を採用した。これはイベントの波高分布を2次元ガウシアンでフィットし、その関数の体積を積分してイベントの波高値を得る方法である。波高値とイベントの広がり閾値を設け、CCDイベントと判定した場合は従来通りグレード法を適用した。

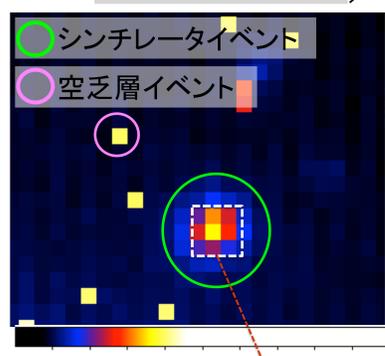
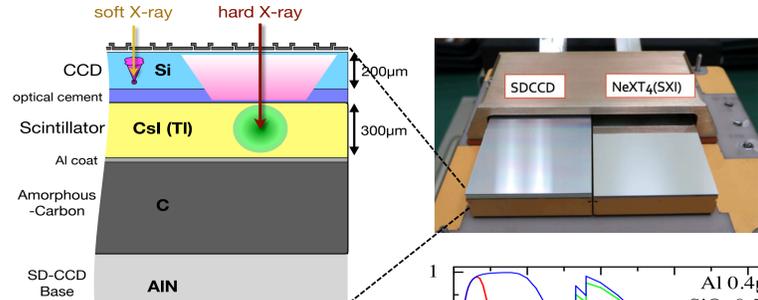
我々は高エネルギー加速器研究機構(KEK) Photon FactoryでSDCCD 素子に30-80keVの硬X線を照射した。CsIで検出されたイベントのパイルアップを防ぐためにX線強度を十分低減しつつ、撮像領域全体にわたり性能評価を行うために、90°散乱されたX線を照射させた。素子温度は、CCD-CsI間にある光学セメントの性能維持温度下限である約-70°Cに冷却している。またエネルギー較正の目的で、¹⁰⁹CdからのX線スペクトルも得ている。ここに線形性などの分光性能評価結果をまとめる。

SD-CCD (Scintillator Deposited CCD)

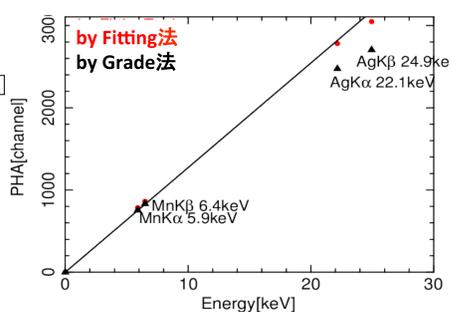
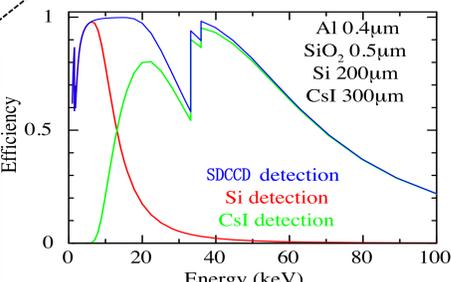
CCDの裏面にCsI(Tl)を直接接着させた上でCCD部分を完全空乏化させるため、軟X線から硬X線まで連続的に高い感度をもつ。さらにCCDの優れた位置分解能も両立した広帯域X線イメージセンサである。

軟X線: CCD空乏層部で直接検出

硬X線: シンチレータでの吸収時の発光をCCDで検出



3x3pixより広がるので従来の波高値計算法(Grade法)では広がりをカバーできず正確な波高値を得ることができない → **Fitting法**を採用

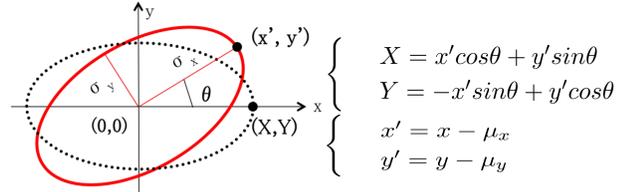


Fitting法

イベントの波高分布を2次元ガウシアンでフィットし、その関数の体積を積分してイベントの波高値PHA_{fit}を得る方法。フィットして得られるパラメータからイベントの広がりや扁平率を求め、CsI(Tl)イベントの波高値を評価することができる。今回、ある閾値を越えたイベントを抽出し、そのイベント中心5x5pixの波高値分布の情報を用い、フィッティング法で解析する方法を採用した。

<フィット関数; 2次元Gaussian>

$$f(x,y) = \frac{PHA_{fit}}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{X^2}{\sigma_x^2} + \frac{Y^2}{\sigma_y^2}\right)\right]$$

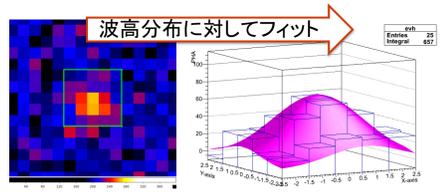


ほとんどの広がったイベントは、軸が回転しているので回転行列を使って最終的にx軸y軸上の座標としてそれぞれσ_x, σ_yを得る。これらを楕円の長径短径に対応させイベントの扁平率を、σ_x, σ_yの二乗平均よりイベントの広がりσを求める。

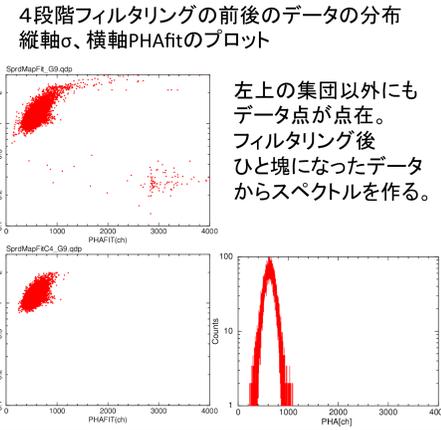
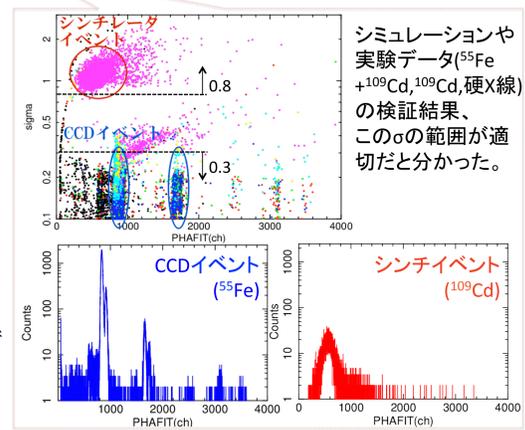
<フィット結果パラメータによるフィルタリング>

解析に使う(=スペクトルを作成する)イベント候補を絞るために4段階のフィルタを設けた。

- ① イベント中心周囲 5x5 pix内に他のイベント中心がある → CUT
- ② イベント中心周囲 11x11pix内に他のイベント中心がある → CUT
- ③ 扁平率(0の場合は真円、1は直線)が0.6以上 → CUT
- ④ σが 0.8 ≤ σ ≤ 2.0の場合シンチレータイベント、σ ≤ 0.3の場合CCDイベント

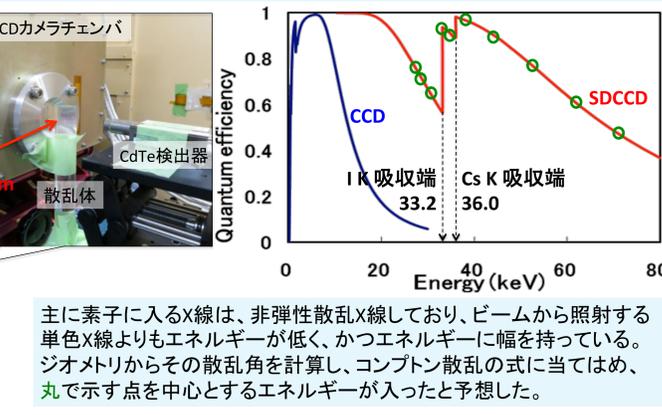
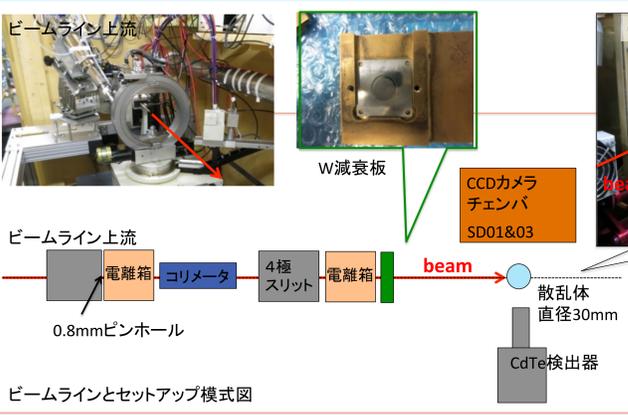


109Cdイベントの波高値計算をGrade法▲とFitting法●で比較。Grade法の方が波高値が低くなる。実線は⁵⁵Feイベントの波高値を使ったCCDのlinearity関係。Fitting法は硬X線までの延長線におおよそ一致する。

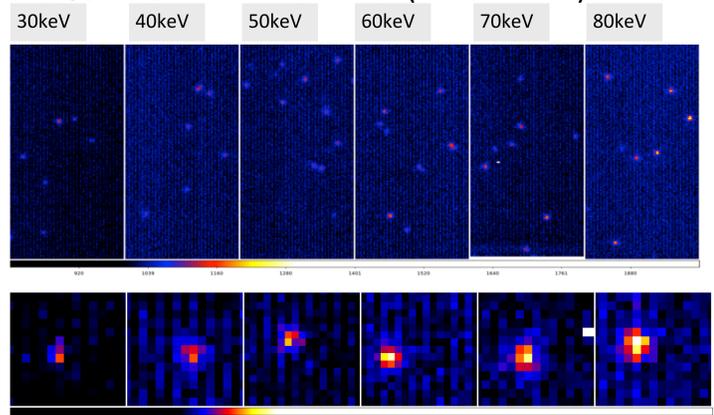


Performance Evaluation

KEK-PFにてSDCCD 素子(SD01,SD03)に硬X線を照射、素子は-70°Cに冷却してデータを取得
照射X線エネルギーポイントは30~80keV間10keV毎6点、CsIの吸収端前後 33.0,34.2,35.8,36.2keVの4点
強度軽減のためにタングステン(W)減衰板を入れ、撮像領域全体を評価するためアクリル円柱を散乱体として非弾性散乱X線をSDCCD素子へ照射

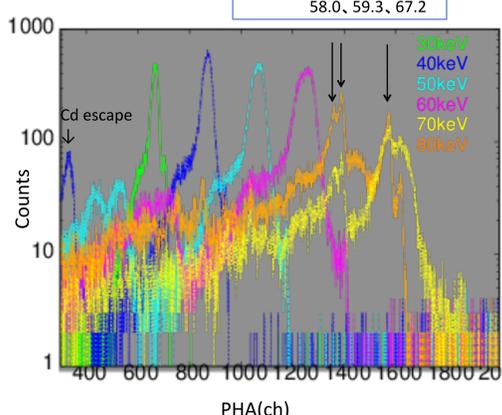


<取得したフレームイメージ(30~80keV)>



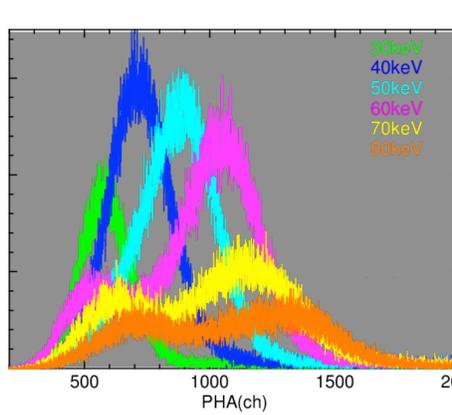
<CdTeスペクトル>

同時に測定していたCdTe検出器では、各エネルギーで非弾性散乱X線のピークと、すぐ右に弾性散乱X線のピークを検出。しかし主に非弾性散乱X線が占める。40keVからはCdescapeが見え、70keV~は減衰板のW K輝線が見える。



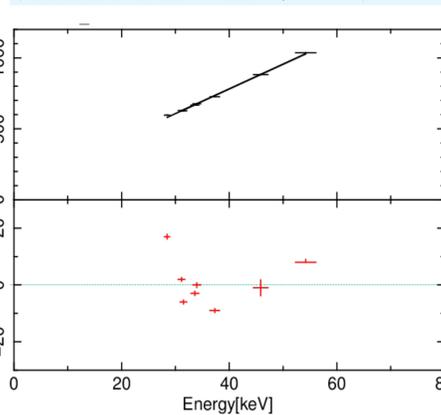
<SDCCDスペクトル>

Fitting法によって得たSDCCDのスペクトル、入射エネルギーによるピークのシフトが見られる。60keV~はCsとIのEscapeによるピークがはっきり見える。70,80keVではW K輝線と入射X線のピークが混ざり、大きく広がったピークになっている。



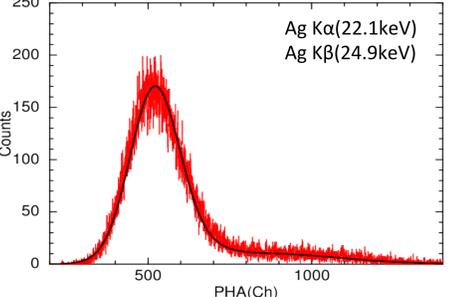
<SDCCD PHA vs Energy の関係>

30~60keVの解析結果を用いたピーク波高値と入射エネルギーの関係から y = 17.4 x + 85 の関係を得た。(y: PHA, x: Energy) (原点を通ると仮定した場合はy = 19.7 x)



<109Cdのスペクトル(阪大で取得)>

AgKαとKβ輝線が1つのピークを作っている。AgKαフィット結果とlinearity関係より(ピーク波高値 518.1ch : Gauss分布のσ 74.28ch) エネルギー分解能ΔE(FWHM)@Ag Kαは 74.28(ch) x 2√2ln2 / 19.71(ch/keV) ~ 8.9keV (40.1%)



~今後の展望~
このデータから、エネルギー分解能や検出効率の評価もおこなう。