

X線天文衛星搭載用CCD素子のスクリーニングシステムの構築

森秀樹, 上田周太郎, 中嶋大, 穴吹直久, 林田清, 常深博 (阪大理), 平賀純子 (東大理), 精松高志, 河野秀紀, 片倉勇人 (横国大)

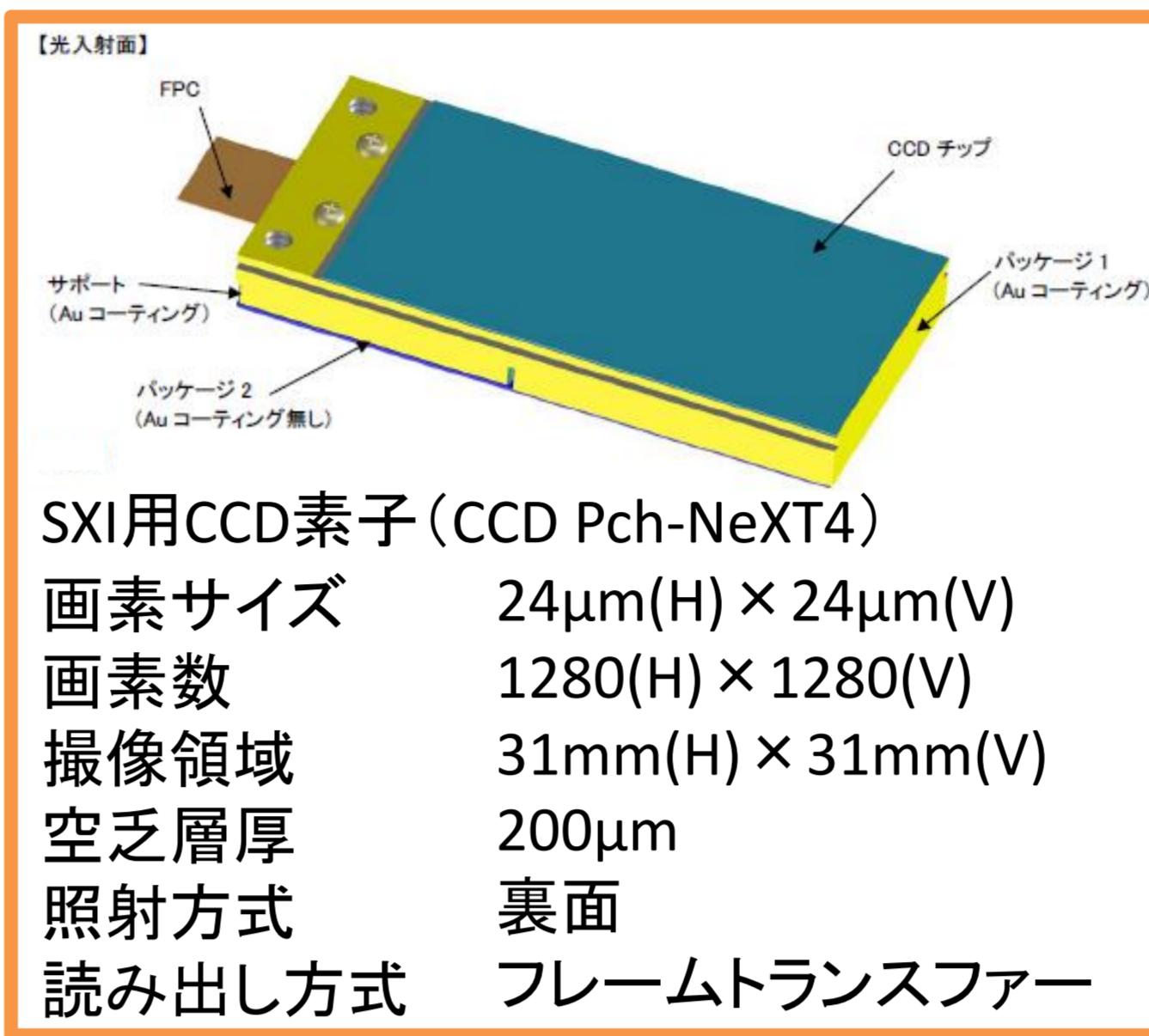
概要

我々はX線天文衛星搭載用CCD素子について、フライトモデル素子選定の為のスクリーニングシステムを構築している。個々の素子について読み出し雑音, エネルギー分解能, 検出効率等の項目に関する機能・性能の評価を効率よく行えることが目的である。

スクリーニングの重要項目の1つに電荷注入(CI: Charge Injection)機能の確認がある。CCDは軌道上で受ける放射線損傷により電荷転送効率が下がり分光性能が劣化していく。そこでCI機能により人工電荷をCCDに注入し、損傷で生じた電荷トラップを埋めることで転送効率を改善させる。我々はCCD素子に陽子ビームを照射することで人工的に放射線損傷を与え、CIによる分光性能回復を実証する実験を行ったのでその結果についても報告する。

スクリーニング概要

ミッション要求を満たすX線CCDカメラを実現する為に最も重要な条件は、要求性能を全て満たすCCD素子を選別(スクリーニング)することである。そこで我々は共通のエレクトロニクスを用いて搭載候補素子全数の機能・性能を測定する。現在我々は次期X線天文衛星ASTRO-Hに搭載するX線CCDカメラシステムである軟X線撮像検出器(SXI: Soft X-ray Imager)を開発している。SXIIは4個のCCDで構成するので、CCD評価システムによって優劣を判断した上位4素子をフライトモデル素子として選定する。



測定項目	合格基準
読み出し雑音	10[e ⁻]以下
エネルギー分解能	150[eV]以下
検出効率	80[%]以上
空乏層厚	200[μm]以上
縦転送CTI	1 × 10 ⁻⁵ 以下
横転送CTI	1 × 10 ⁻⁶ 以下
電荷注入	正常に1列だけに電荷注入できる
ホットピクセル数	50個以下
ホットカラム数	10カラム以下
暗電流	1[e ⁻ /pixel/秒]以下
暗電流の温度依存性	N/A
読み出し雑音の温度依存性	N/A
可視光遮断層(OBL: Optical Blocking Layer)	LEDを用いてOBLがついているかどうか判定

測定項目と目標基準

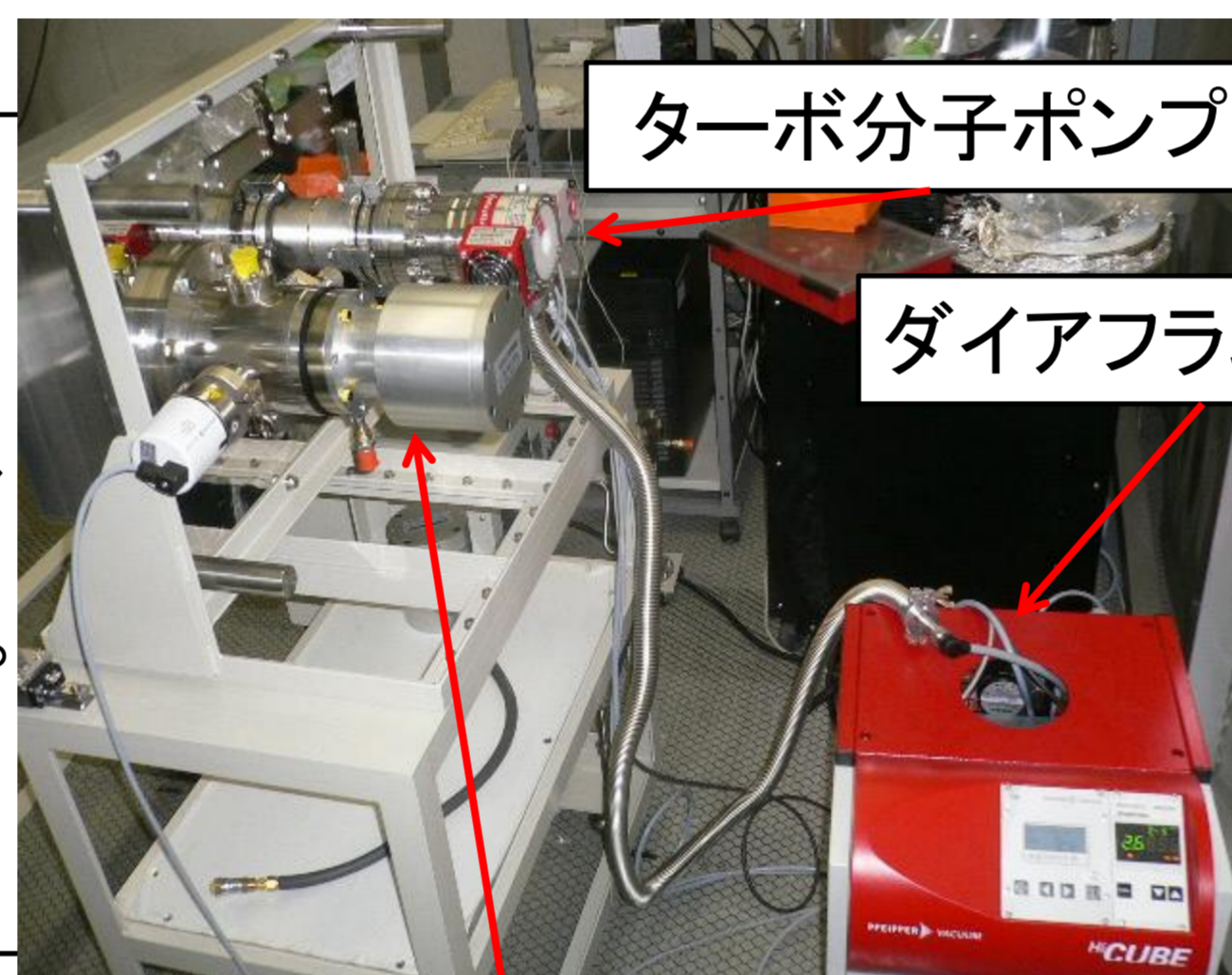
測定項目及びそれぞれの目標基準とする値を右の表に示す。合格基準は-120°Cでの値。エネルギー分解能、検出効率、電荷転送非効率(CTI: Charge Transfer Inefficiency)は5.9keVのX線に対する値。SXIIは有効エネルギー帯域が0.4~12[keV]、200μm完全空乏であるから、CCD評価システムに用いるX線源は密封線源の⁵⁵Fe(5.9keV)と、X線発生装置を用いて照射するO-K(0.54keV)である。

CCD評価システム

搭載候補素子を取り扱う際、空気中の塵がCCD表面に付着することを防ぐため、全ての実験はクリーンブース内で行う。CCDの性能を測定する際は、暗電流を低減させるためCCDを冷却して駆動する。冷却の際、空気中の水蒸気がCCD表面に付着することを防ぐため、実験チャンバーを真空にし、その後CCDを冷却する。今回のCCD評価システムでは、電気的干渉をチェックするため2素子同時に動作させる。CCDのデータ取得を行うために必要な電子回路は、駆動回路と読み出し回路の2つに分かれる。駆動回路は、電荷転送のために必要なクロックやバイアス電圧をCCDに供給する。読み出し回路は、CCD出力信号をデジタル処理し、コンピュータに取り込む。駆動系、読み出し系共に2010年度作成のエレクトロニクスを使用する。

真空装置

真空ポンプにはダイアフラムポンプとターボ分子ポンプを用いる。真空度は3 × 10⁻⁶[Torr]に達する。ダイアフラムポンプ、ターボ分子ポンプは共に油を用いない真空ポンプであり、真空ポンプからチャンバーに油が逆流する恐れがない。真空計にはPFEIFERのコンパクトフルレンジゲージを用いる。このゲージは低真空用ピラニーゲージと高真空用コールドカソードを内蔵し、真空度によって自動的に切り替わる。

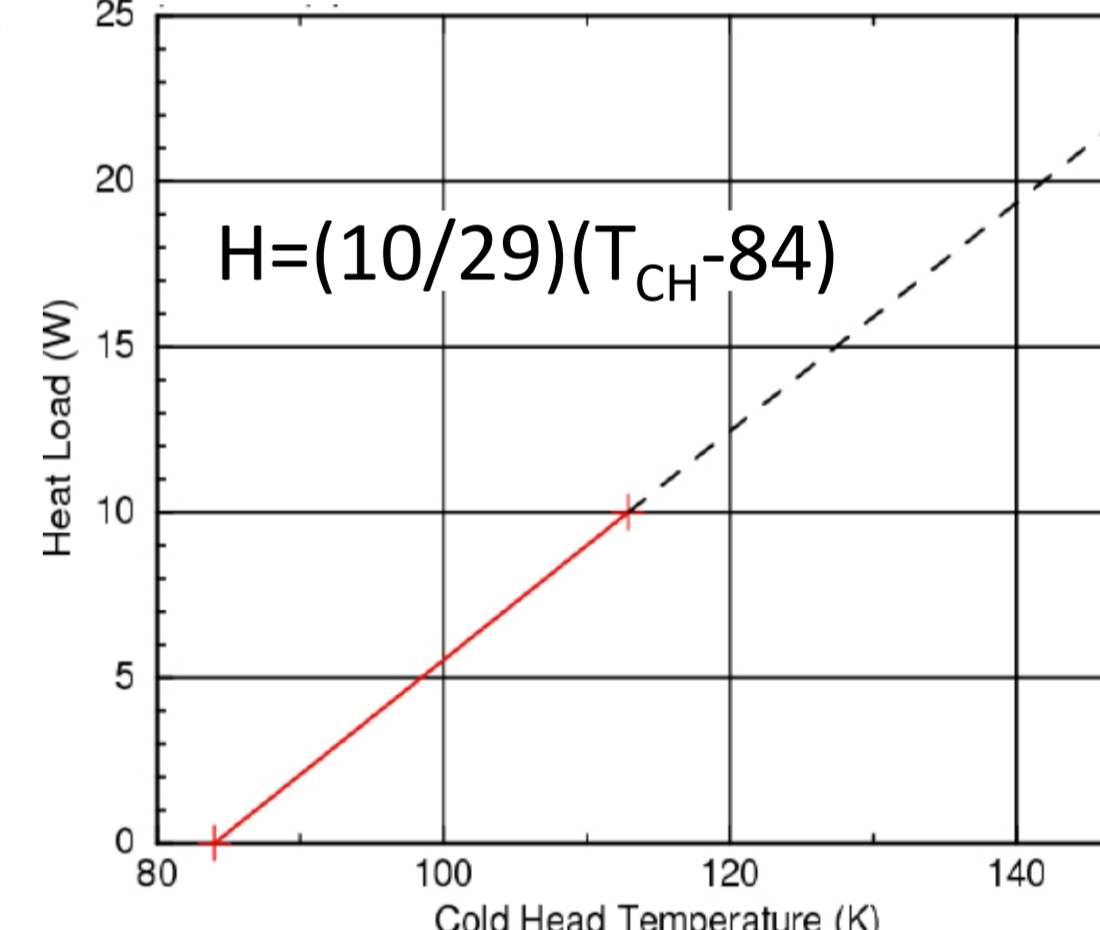


冷却治具

冷却板への熱流入はチャンバからの輻射熱、固定軸及びFPCからの熱伝導、CCD自体の発熱の合計4.3[W]であり、コールドヘッド(CH)とCCDの間の温度差は約3[K]と推定できる。CCDが-120°CのときCHに与えられる熱負荷はCHの冷却性能よりH=22.7[W]となり、十分CCDを冷却できる。

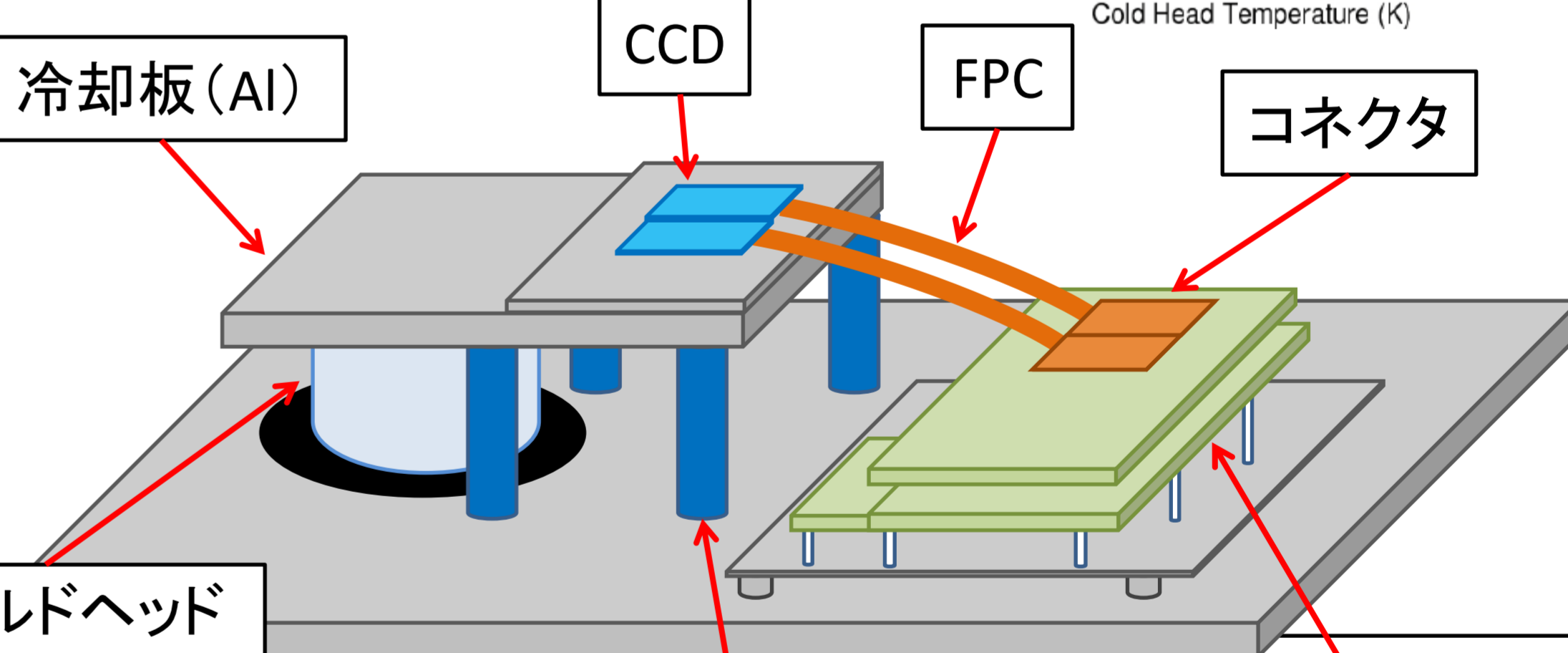
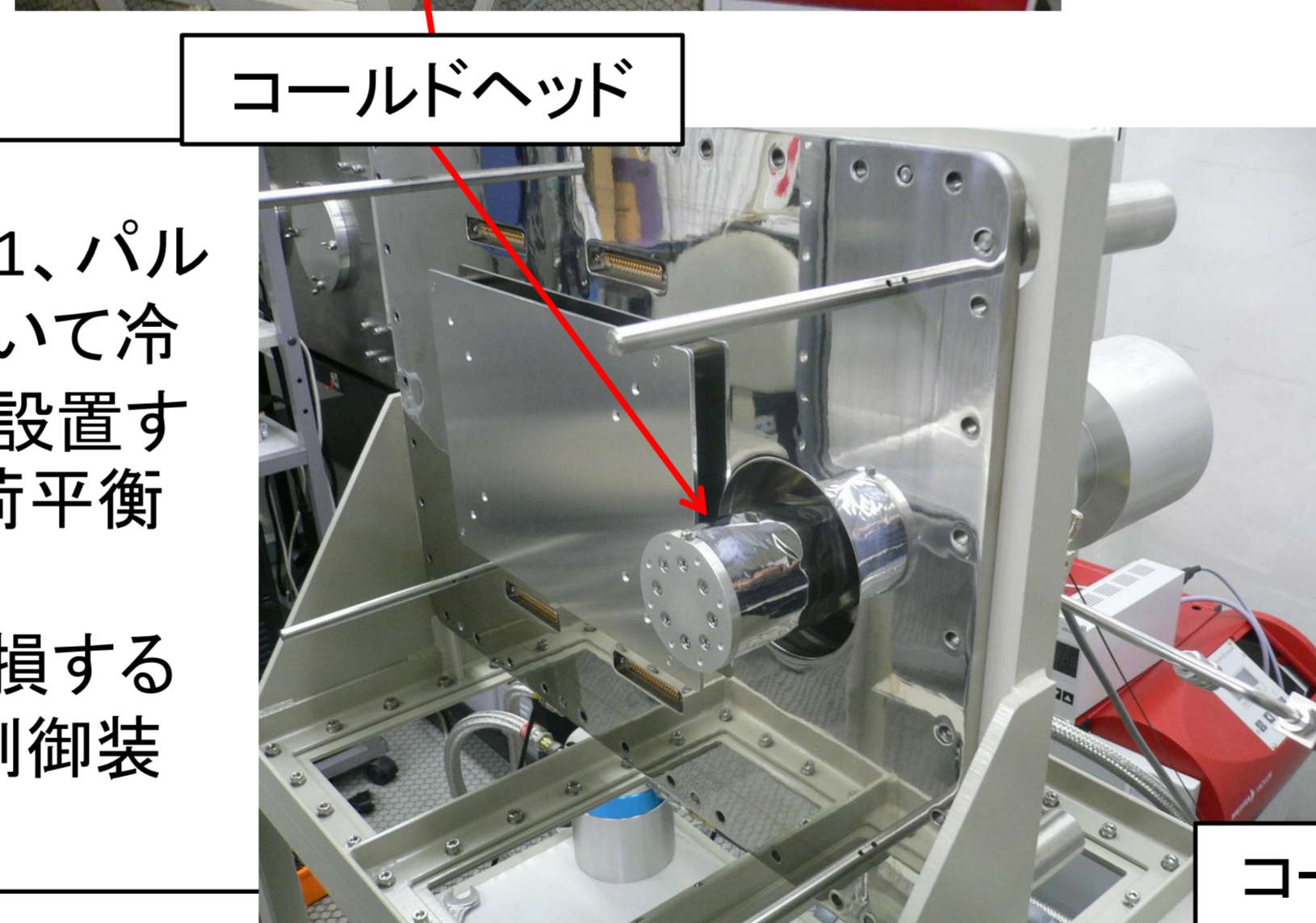
コールドヘッドの冷却性能

負荷	到達温度	平均温度	Cooling Power Q [W]@77K
正立	-90	42.0	80.9
	-80	54.4	90.4
	0	84.0	112.9
倒立	45	128.1	156.1
	90	95.0	125.9



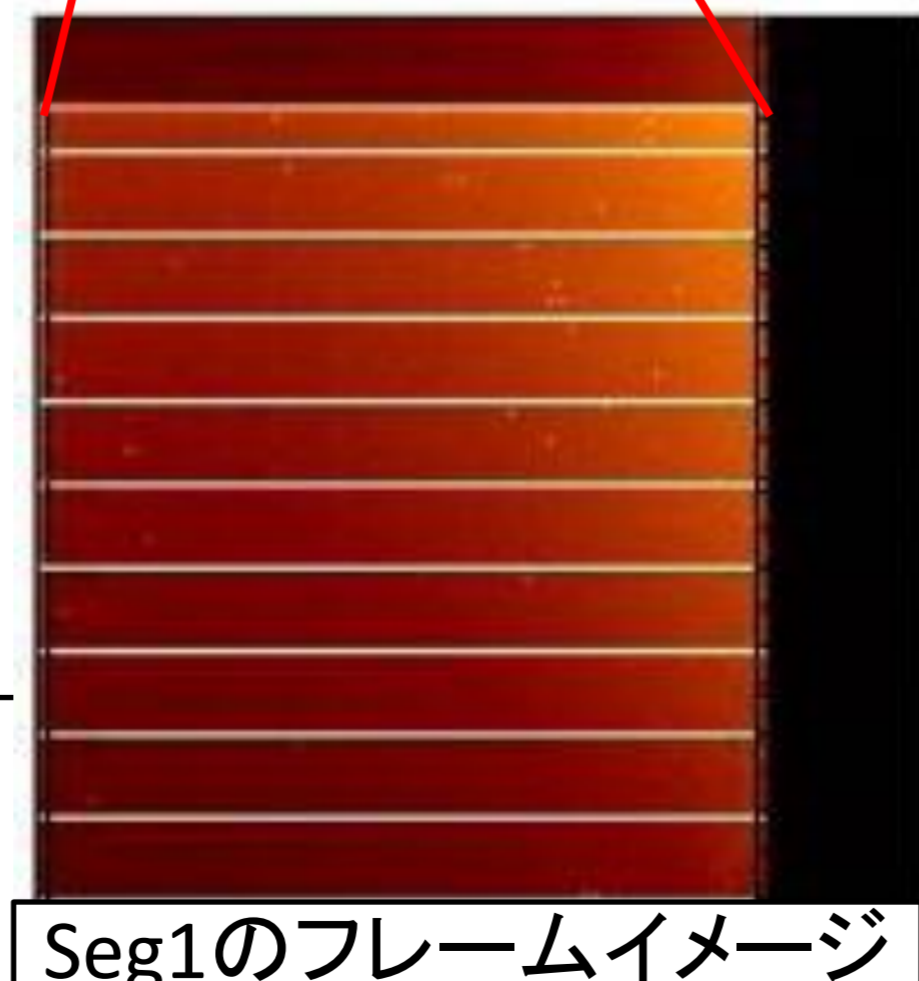
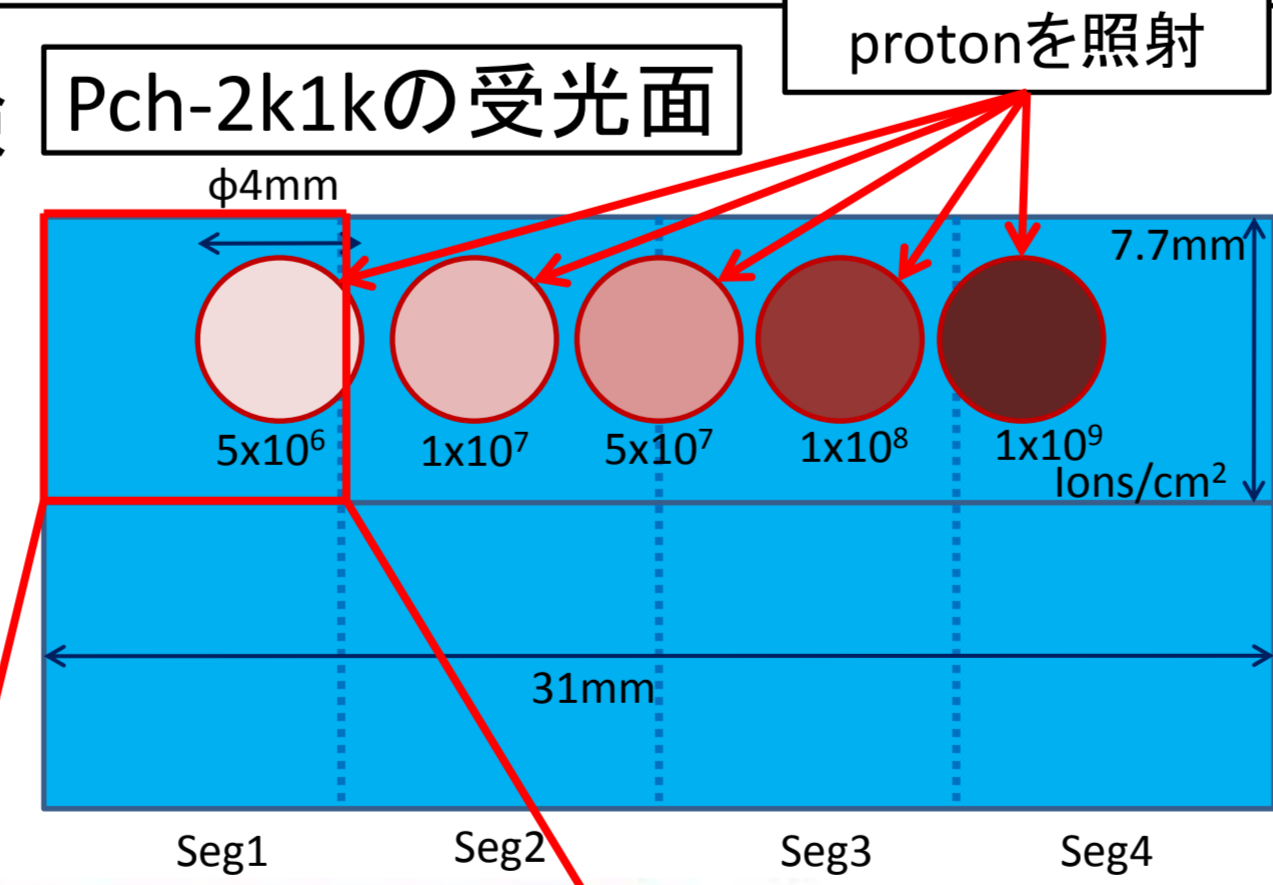
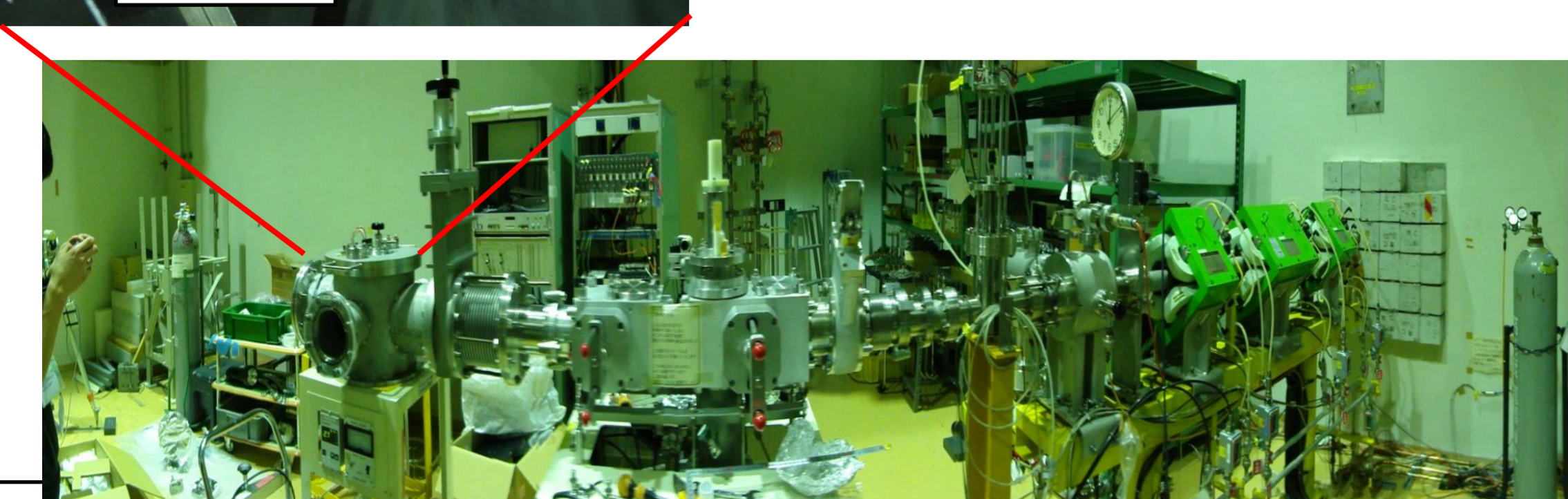
冷却装置

CCDの冷却装置には、岩谷瓦斯社製のコンプレッサーSA101、パルス管冷凍機P007を用いる。このコンプレッサーではHeガスを用いて冷却を行う。冷却部分はコールドヘッドと呼び、チャンバ内部に設置する。横向きに設置し、無負荷到達温度が-180°C、26.7[W]負荷平衡温度が-120°Cである。冷却、加温時にCCDに急激な温度変化を与えるとCCDが破損することがあるので、温度変化は毎分3°C以下となるように温度制御装置(CHINO社製DB1000)を用いてヒーターを制御する。



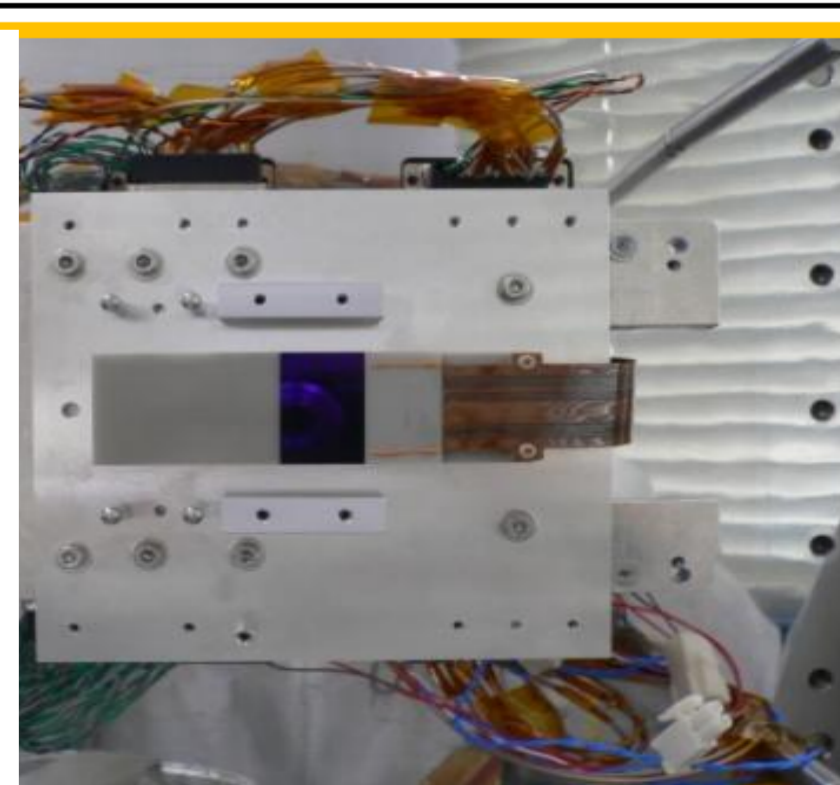
電荷注入(CI)実験

CIによる分光性能回復を実証する実験を行うため、放射線医学総合研究所 HIMAC棟にてCCD(Pch-2k1k)にprotonのビームを当て放射線損傷を与えた。厚み2mmのAl板にφ4mmの穴を開けたコリメータに84μmのAl膜を取付け、protonのビームをSiの深さ200μmでブラッグピークをもつ4.8MeVに調整した。



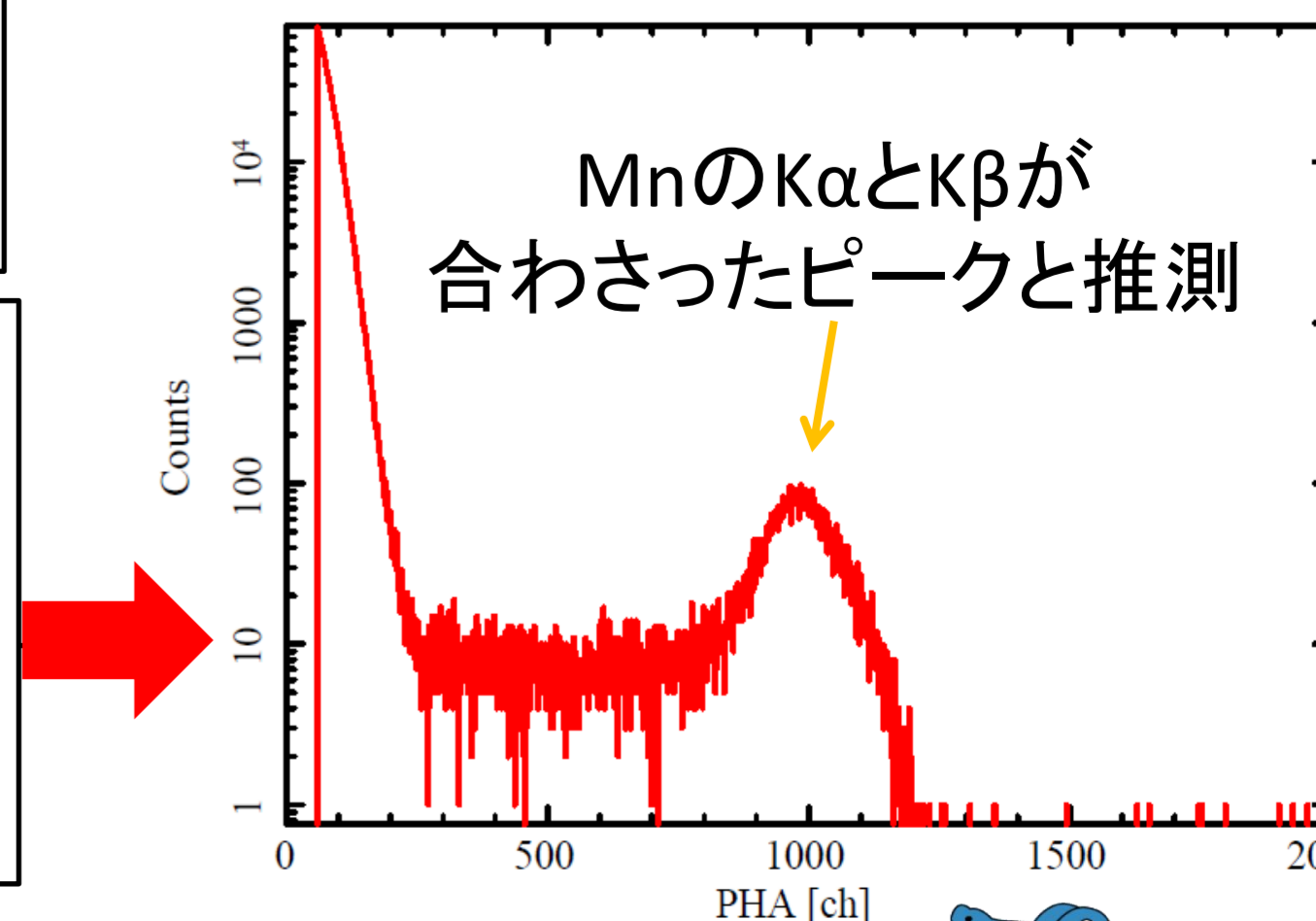
強度を変えてprotonを照射

Pch-2k1k
 画素サイズ 15μm × 15μm
 画素数 2080(H) × 1152(V)
 撮像領域 31mm(H) × 7.7mm(V)
 空乏層厚 200μm
 照射方式 裏面
 読み出し方式 フレームトランスファ



4 × 4 binningで1列ずつ電荷注入できることを確認した。

線源⁵⁵Fe、駆動温度-115°C、4 × 4 binning、CI無しでデータを取得した。左図はセグメント1全体のgrade0についてのスペクトル。
GAIN: 6.02[eV/ch]
FWHM: 951.5[eV]



今後の活動

- 冷却治具の作成を行い、CCDデータ取得システムと組み合わせCCD評価システムを完成させる。搭載候補素子の性能評価を行いフライトモデル素子を選定する。
- protonを照射した領域とそうでない領域があるので領域毎にスペクトルを取得し、CIの有無によるエネルギー分解能やCTIの値を比較する。

