

K中間子ヘリウム4原子 3d→2p X線の精密測定 (III)

東京大学 竜野 秀行
for KEK-PS E570
collaboration

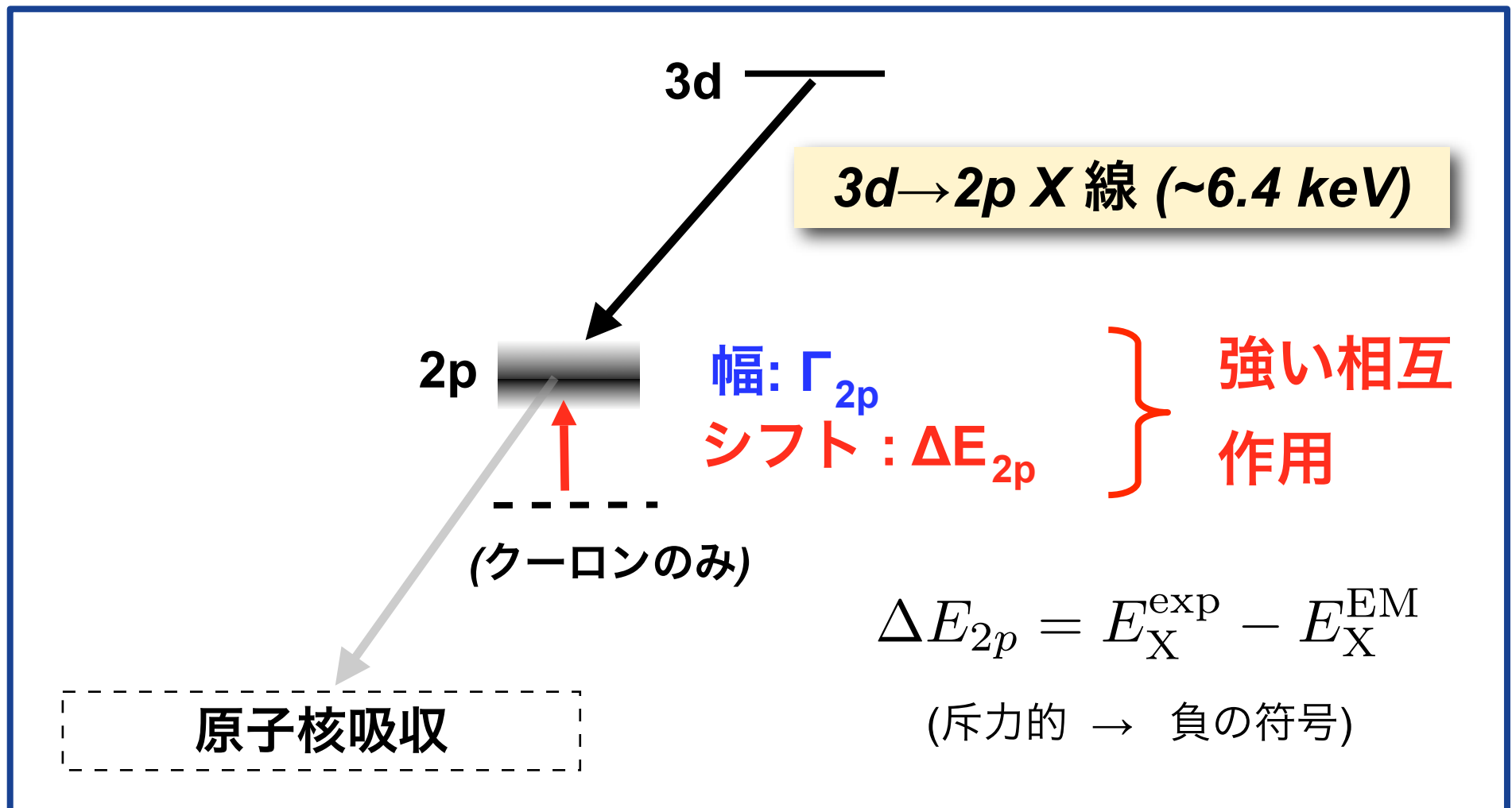




Introduction

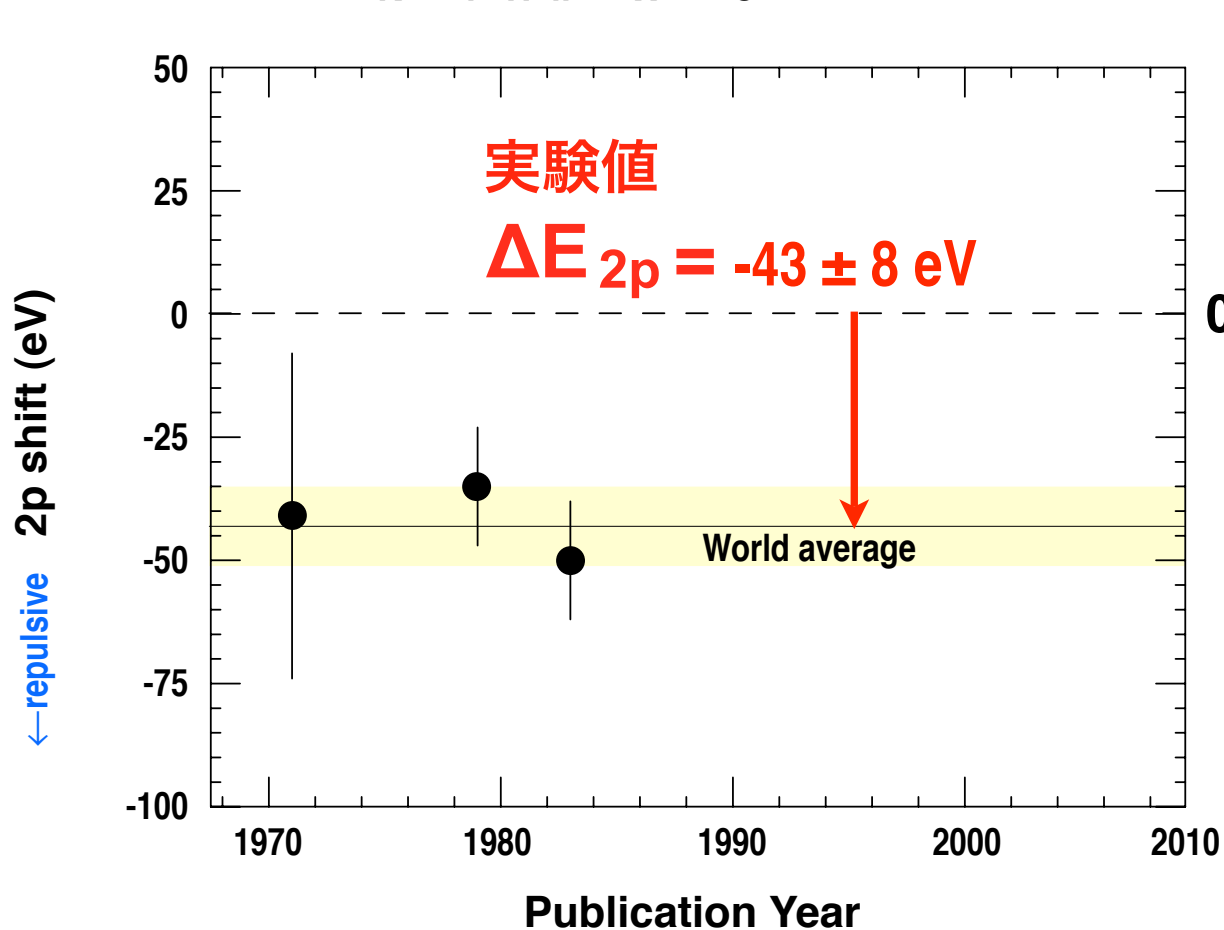
K^- - ^4He 原子 $3d \rightarrow 2p$ X線

強い相互作用によるエネルギーシフトと幅



実験の動機 1

■ K中間子ヘリウム原子パズル



理論値

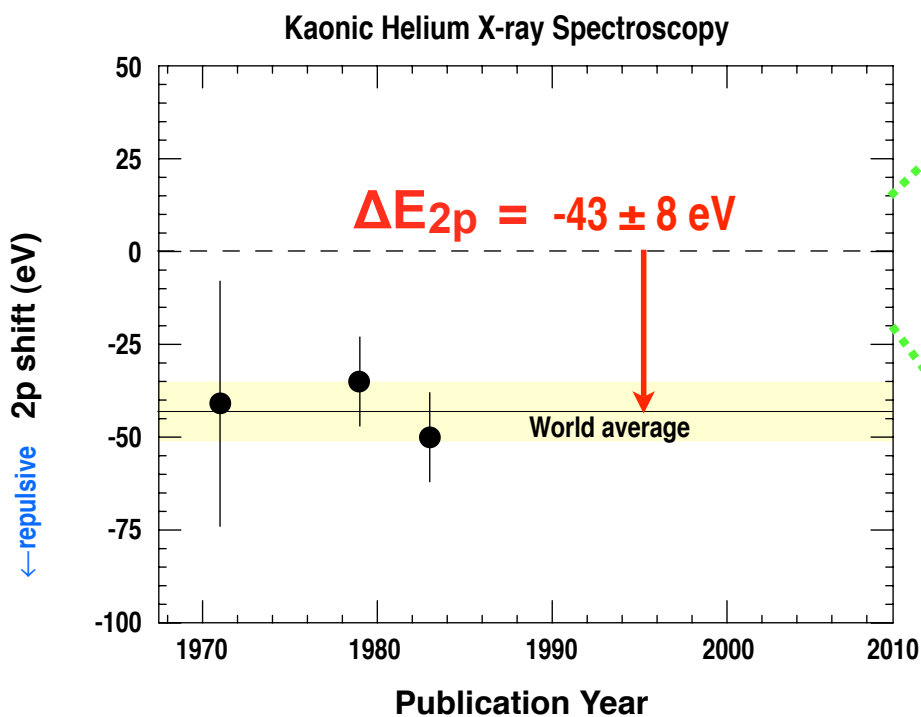
Optical model $\sim 0 \text{ eV}$

0

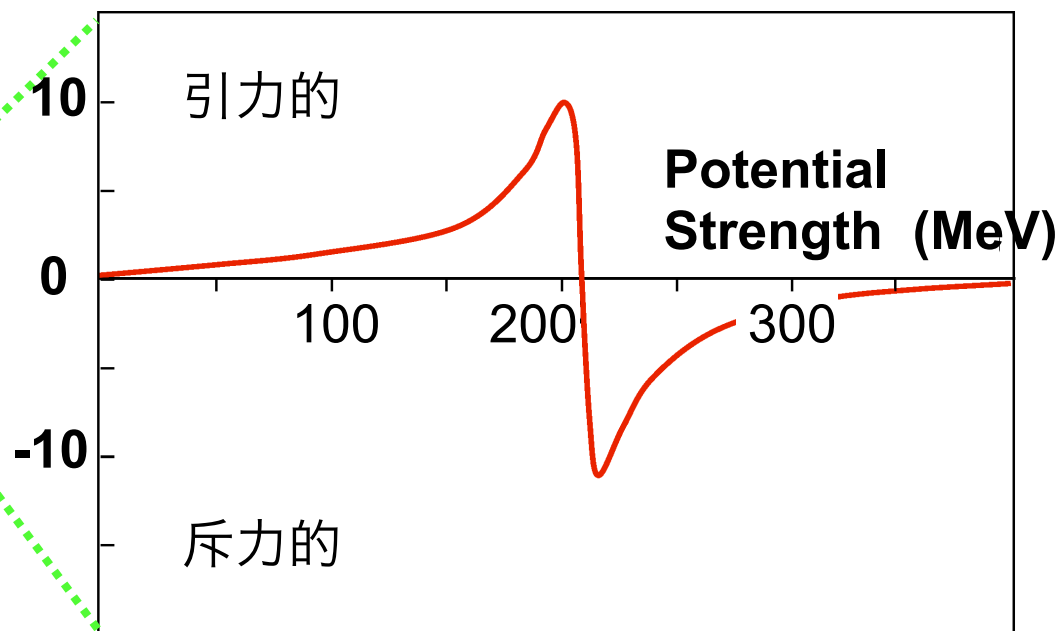
本当にシフトは説明
できないほど大きな
ものか？

実験の動機 2

■ K中間子原子核の存在



赤石による Coupled-channel
 $|\Delta E_{2p}| < \sim 10 \text{ eV}$



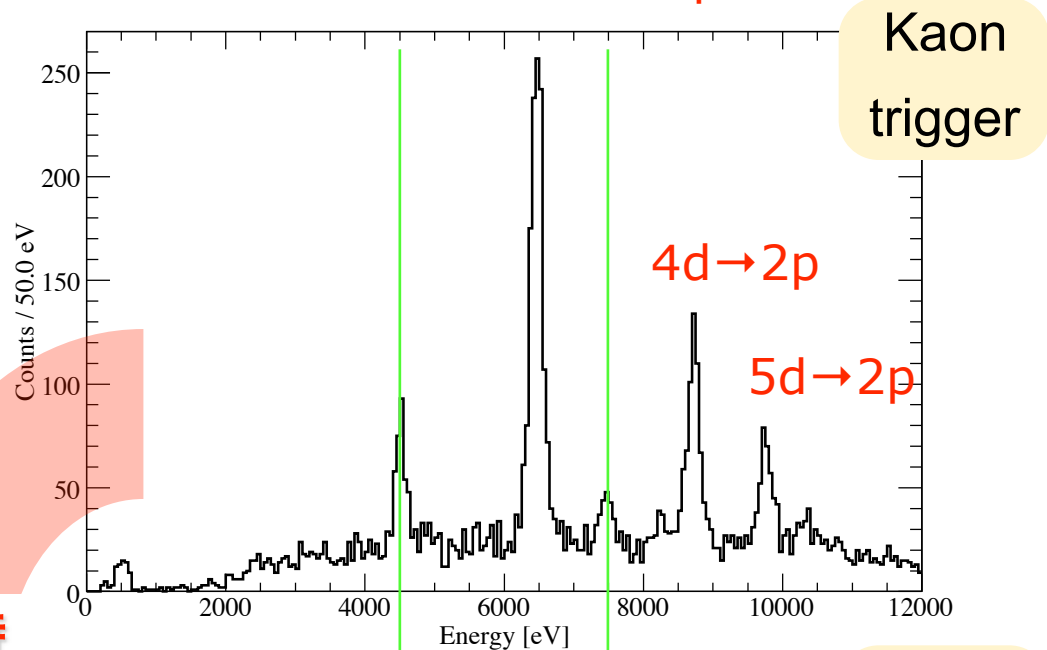
有限のシフトを観測できれば
K中間子原子核の存在を示唆



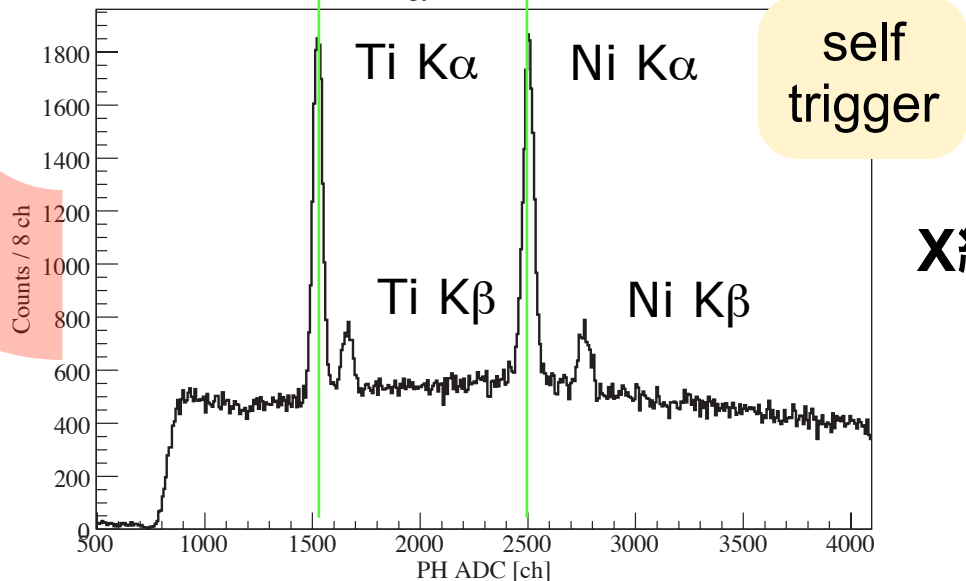
E570 実験

E570実験

K-HeX 3d→2p



同時
計測



イベント選別

Kaon ビームタイミング

Fiducial volume cut

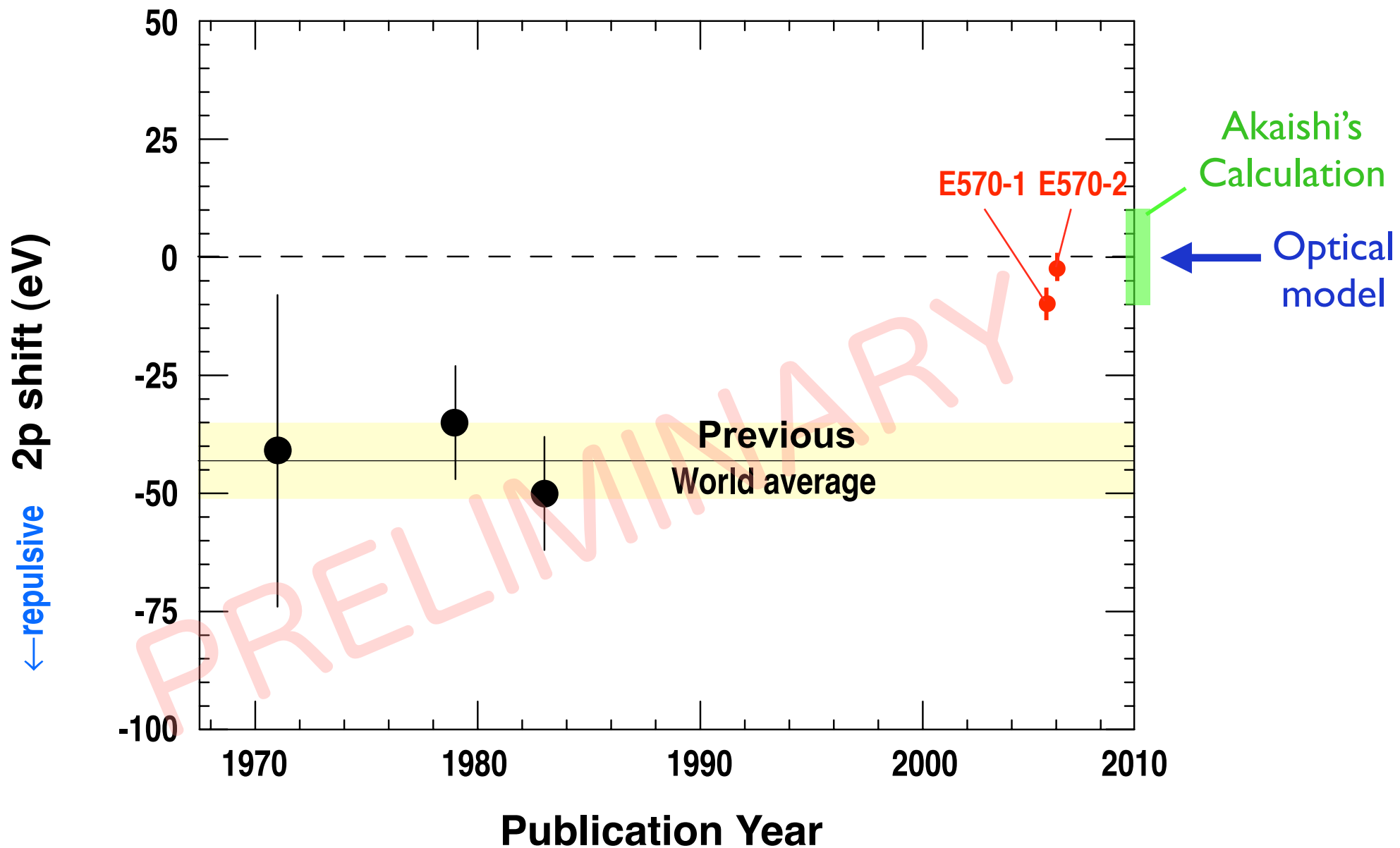
静止K事象

X線検出器 SDD の in-beam 分解能

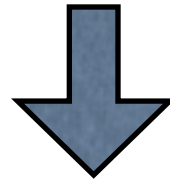
185 eV (FWHM)@6.5 keV

Kaonic Helium X-ray Spectroscopy

(only statistical error)



統計誤差を ~ 2 eV で決められたが、
実験値付近で理論が区別できない

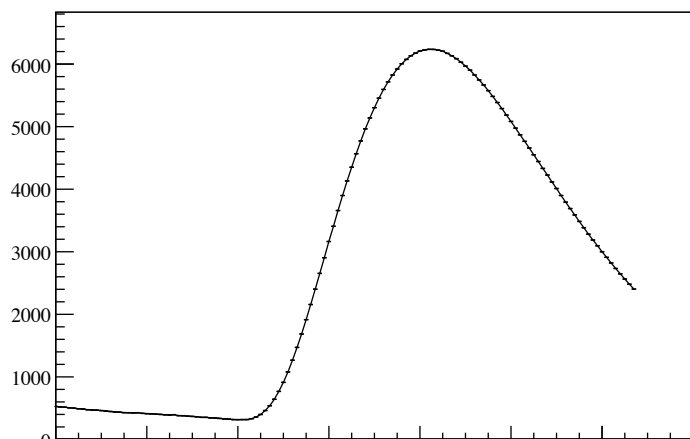


系統誤差の正確な見積もりが重要

- ▶ **応答関数などを考慮した非対称関数
によるフィット**

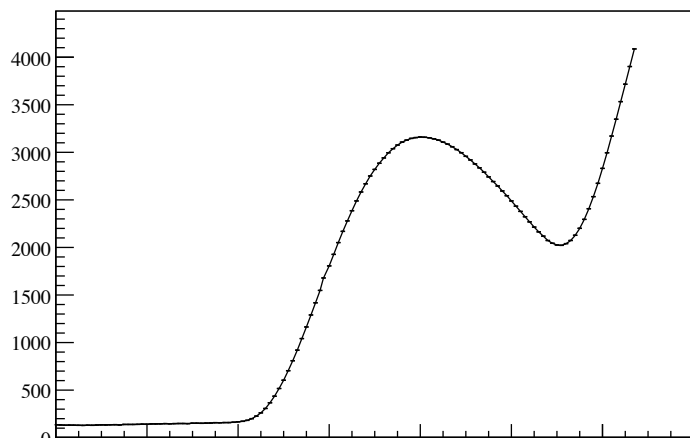
フラッシュADCによるパイルアップ除去

プレ・パイルアップ



80 nsec/data point

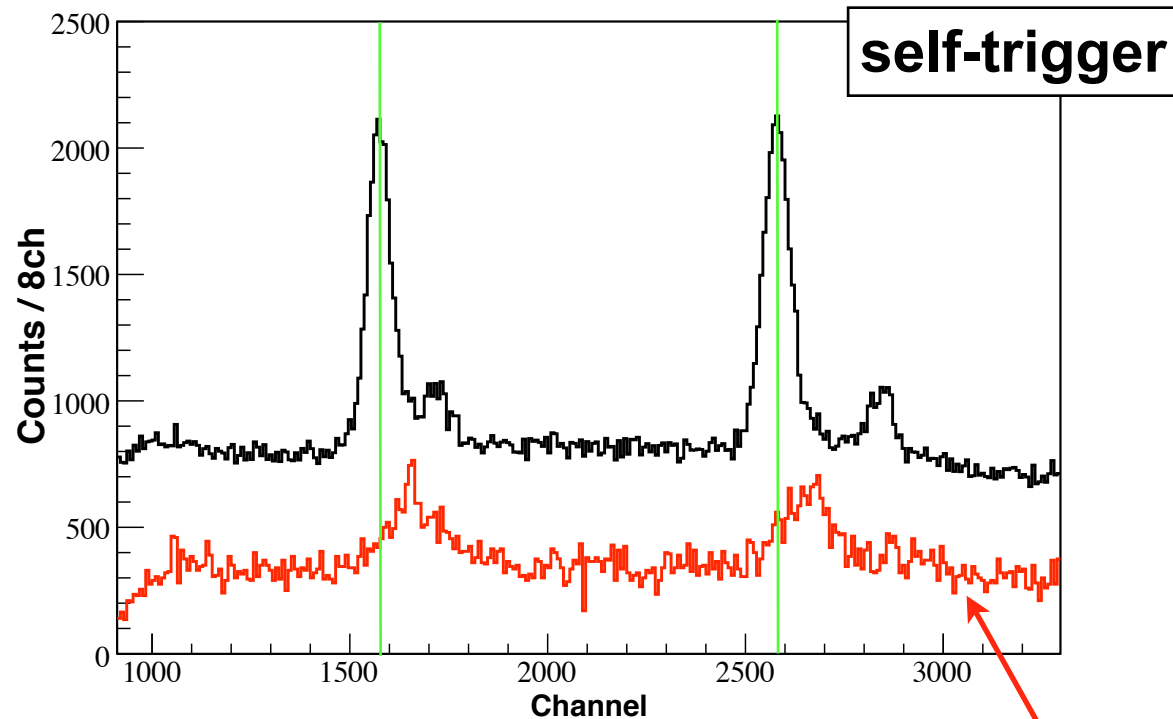
ポスト・パイルアップ



80 nsec/data point

Ti $K\alpha$

Ni $K\alpha$

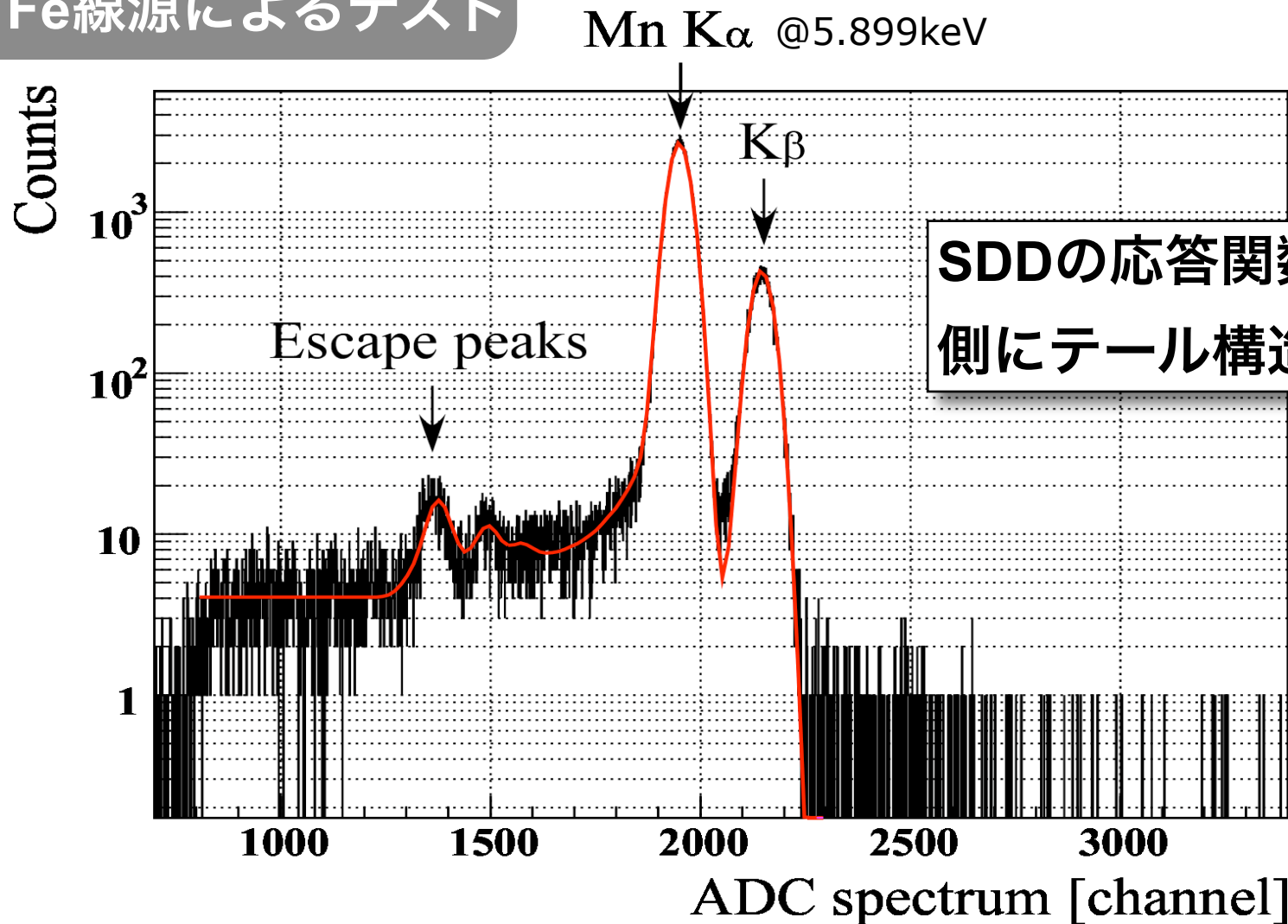


×5 pileup events

~10%のパイルアップによる
high-energy tail を考慮

応答関数 low-energy テールの考慮

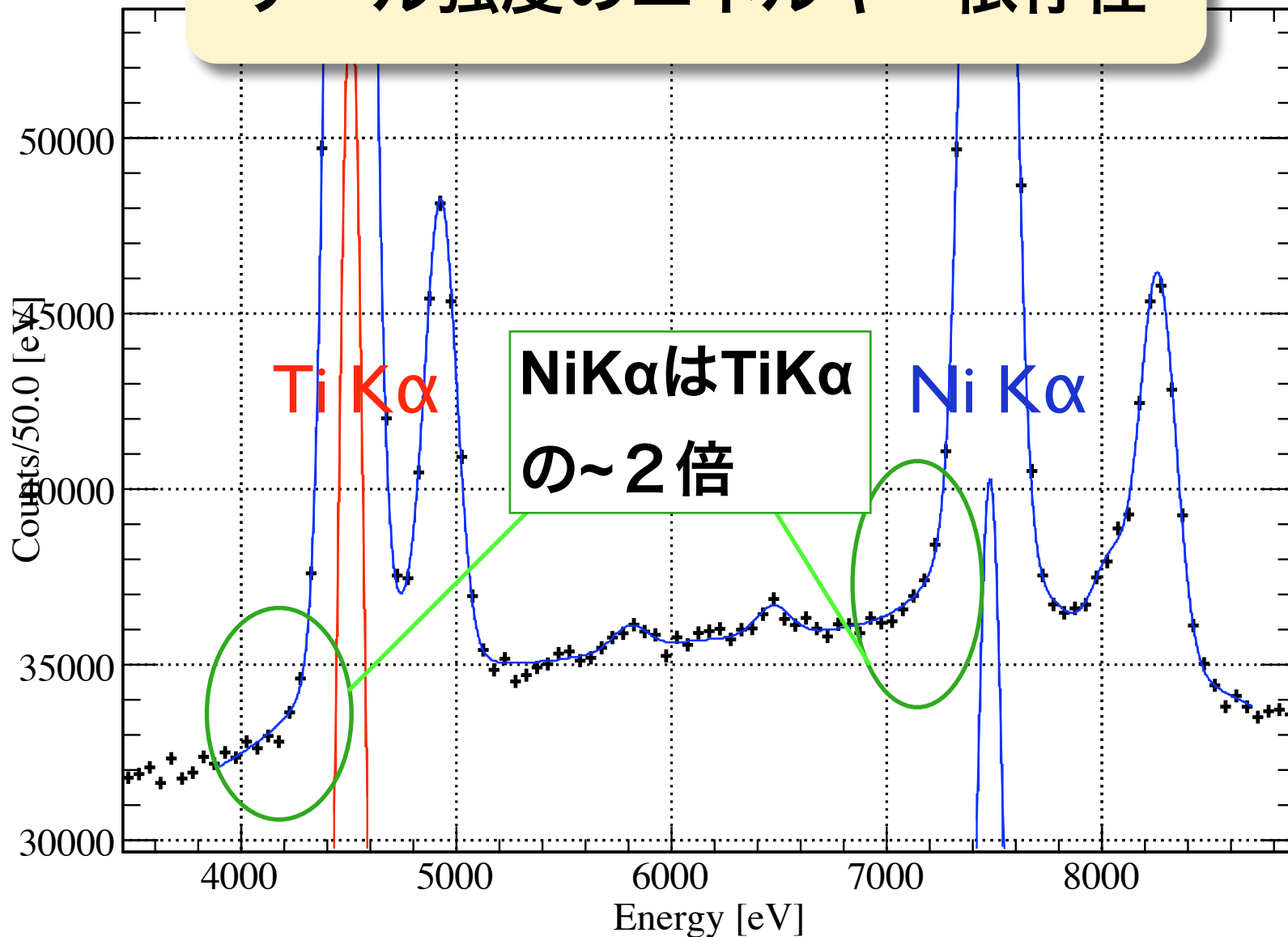
^{55}Fe 線源によるテスト



SDDの応答関数は low-energy 側にテール構造をもつ

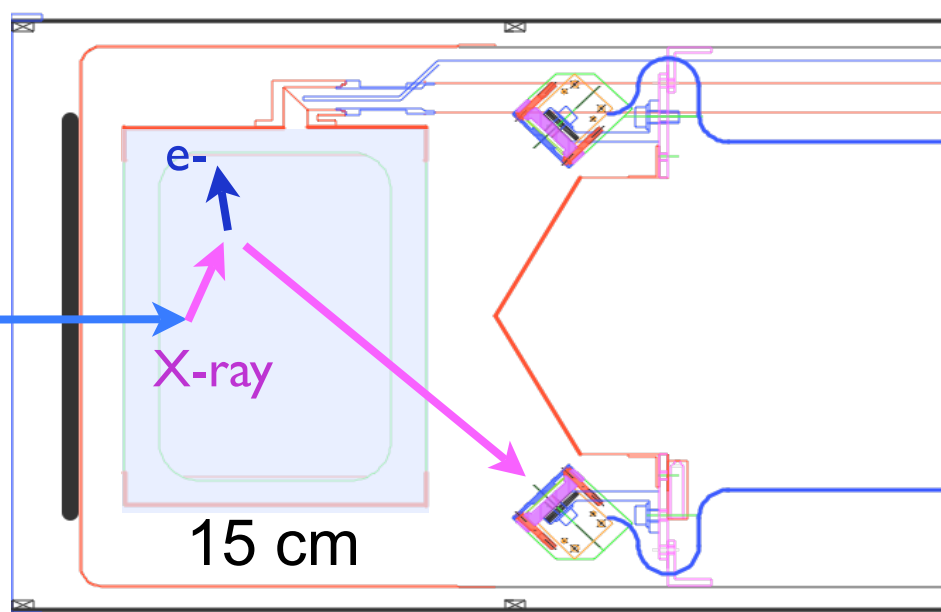
応答関数 low-energy テールの考慮

テール強度のエネルギー依存性

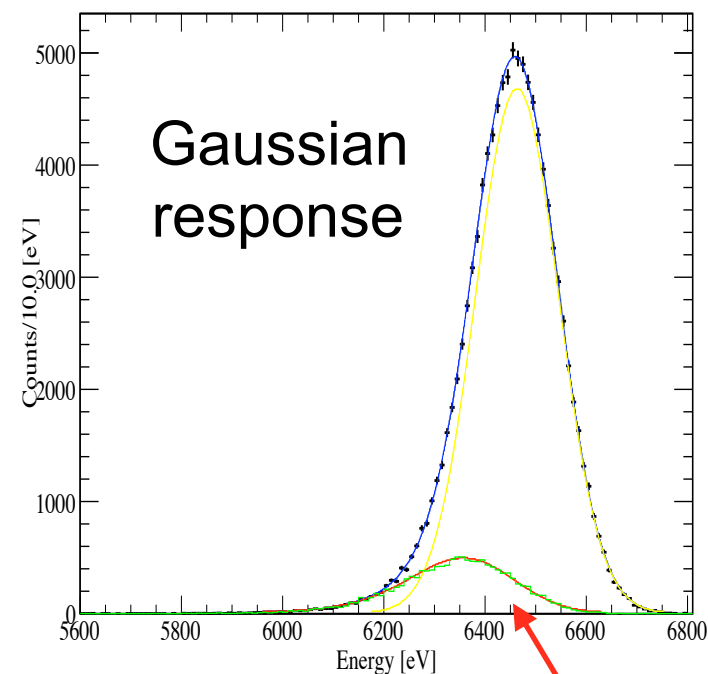


液体超流動ヘリウム4 標的内でのコンプトン散乱 (密度 0.145g/cm³)

K⁻ beam



Simulation (3d→2p)



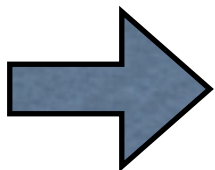
散乱されたX線による ~50 eV 小さいピーク

Compton tail

▶ 再構成した vertex 情報 → 静止Kの位置分布

シフトに対する補正值と系統誤差

	Pileup	Low-energy tail	Compton tail	Total
補正值	-3 eV	+4 eV	+9 eV	+10 eV
系統誤差	$\pm ?$ eV	$\pm ?$ eV	$\pm ?$ eV	$\pm ?$ eV



プラス側 (attractive) に補正される
系統誤差から zero は棄却できない

まとめ

K中間子ヘリウム原子のX線を測定

- ▶ 高分解能X線検出器 (SDD)
- ▶ 高統計・高S/N比 → 統計誤差 ~ 2 eV
- ▶ *In-situ* エネルギー較正 (Ti, Ni特性X線)

2p準位のシフト $|\Delta E_{2p}| < \sim 10$ eV (PRELIMINARY)

- ▶ K中間子ヘリウム原子パズルを解決

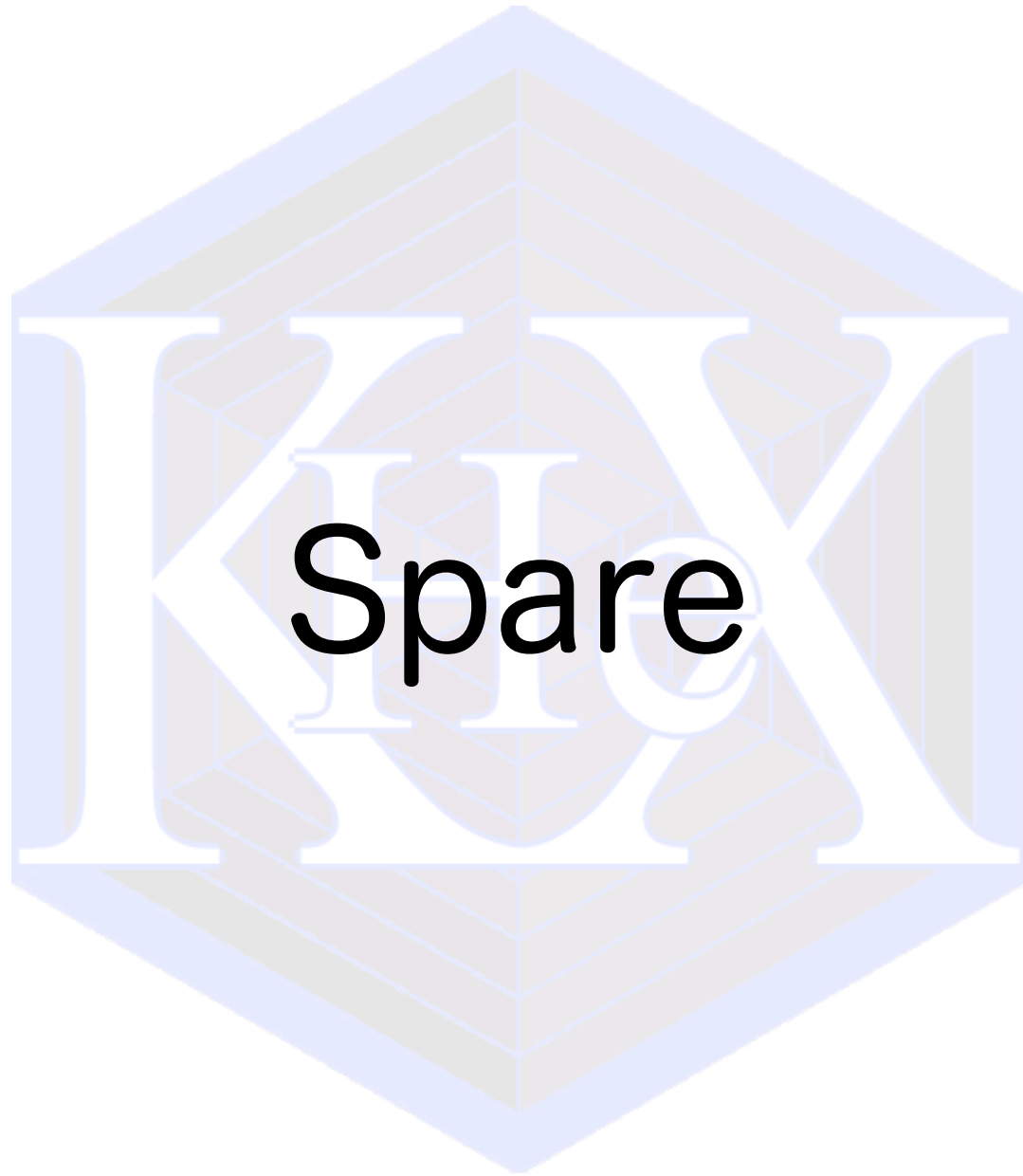
系統誤差のため $\Delta E_{2p} = 0$ eV を棄却することは不可能

- ▶ Pileup, low-energy tail, Compton tail

KEK-PS E570 collaboration list

G. Beer¹, H. Bhang², M. Cargnelli³, J. Chiba⁴, S. Choi²,
C. Curceanu⁵, Y. Fukuda⁶, T. Hanaki⁴, R. S. Hayano⁷, M. Iio⁸,
T. Ishikawa⁷, S. Ishimoto⁹, T. Ishiwatari³, K. Itahashi⁸, M. Iwai⁹,
M. Iwasaki⁸, B. Juhasz³, P. Kienle³, J. Marton³, Y. Matsuda⁸,
H. Ohnishi⁸, S. Okada⁸, H. Outa⁸, M. Sato⁶, P. Schmid³,
S. Suzuki⁹, T. Suzuki⁸, H. Tatsuno⁷, D. Tomono⁸,
E. Widmann³, T. Yamazaki⁸, H. Yim², J. Zmeskal³

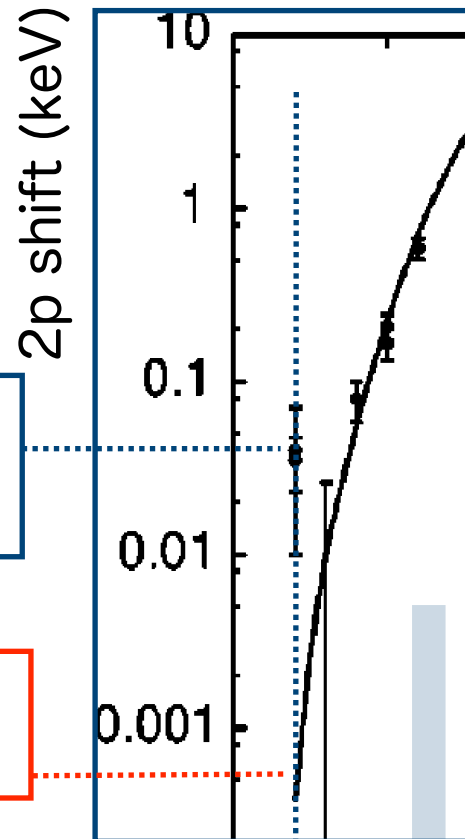
Victoria Univ.¹, SNU², SMI³, TUS⁴, INFN(LNF)⁵,
Tokyo Tech⁶, Univ. of Tokyo⁷, RIKEN⁸, KEK⁹



Spare

K⁻ 中間子ヘリウム原子パズル

K⁻中間子原子の最終軌道のシフトと幅



巨大なシフト

過去の実験値

~40eV

理論計算値

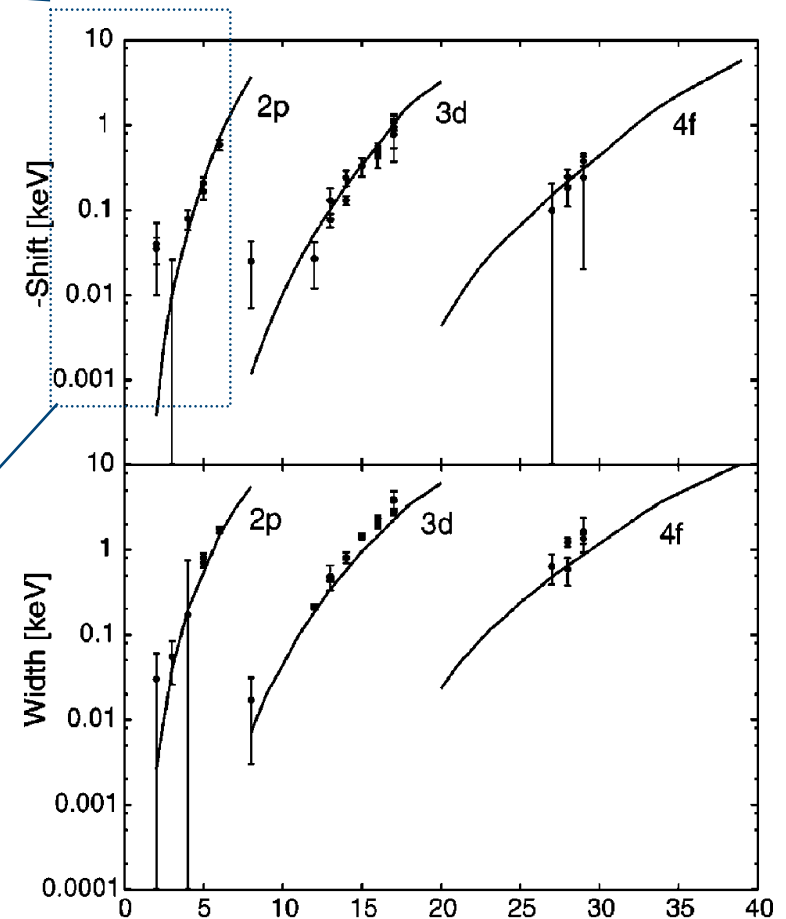
→ **ほぼゼロ**

ex) chiral unitary+

optical model : **~0.2eV**

Z=2

過去の実験値を再現
できない (~40 eV)

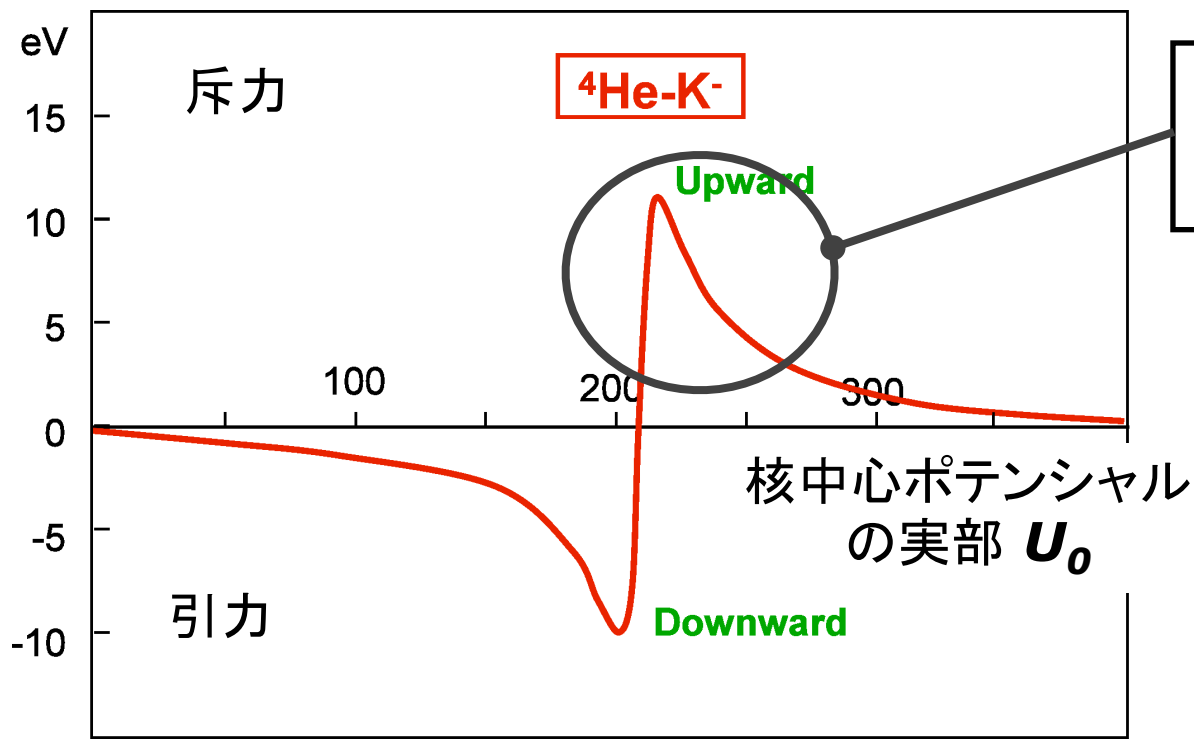


Z (nucleus atomic number)

S.Hirenzaki, Y.Okumura,
H.Toki, E.Oset, and A.Ramos
Phys. Rev. C 61 055205 (2000)

原子軌道のシフトとK中間子原子核

K中間子が強い相互作用によって**原子核に束縛**されることで原子軌道に大きなシフトと幅ができる



<~10 eVの
エネルギーシフトを許容

シフトが有限だとしても最大10 eVであり、過去の実験値を説明できない

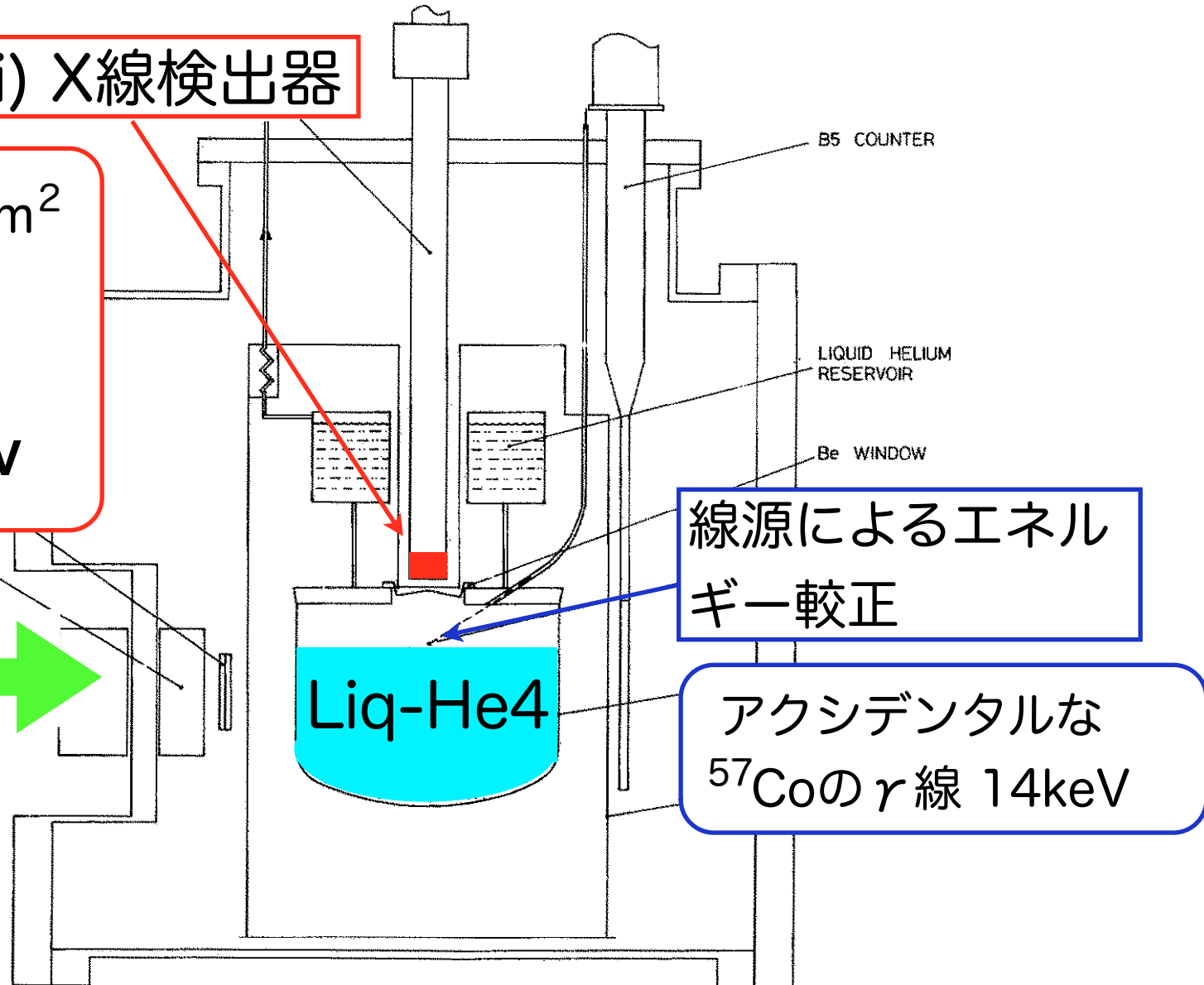
過去の実験 (1983)

S.Baird et al.,
Nucl.Phys.A392
(1983) 297.

Si(Li) X線検出器

有効面積 300mm^2
厚さ 5mm
分解能 360 eV
(FWHM)@6.4 keV

Kビーム

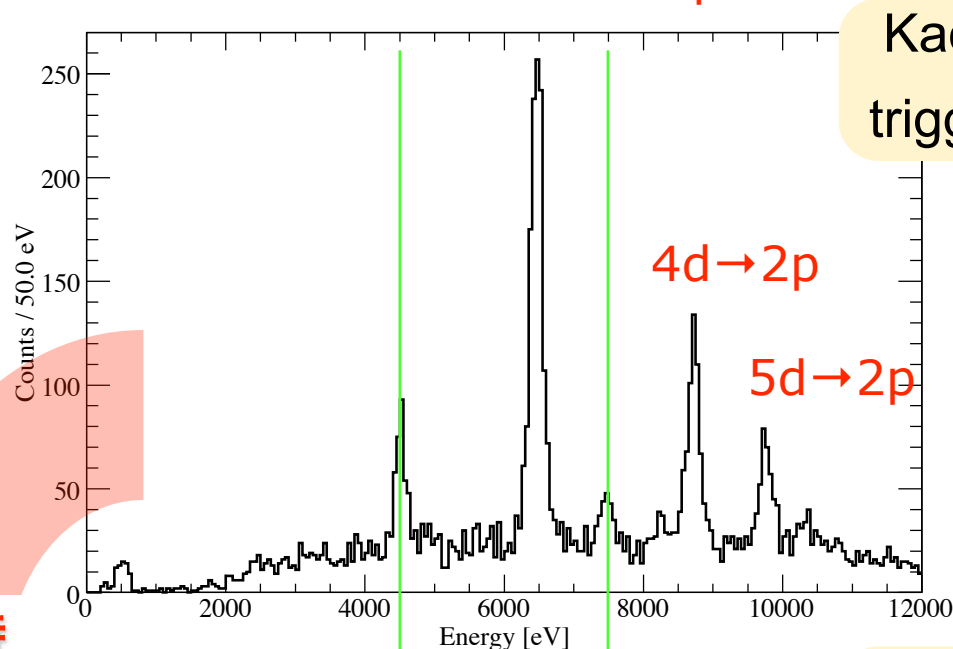


線源によるエネルギー較正

アクシデンタルな
 ^{57}Co の γ 線 14keV

E570実験

K-HeX 3d→2p

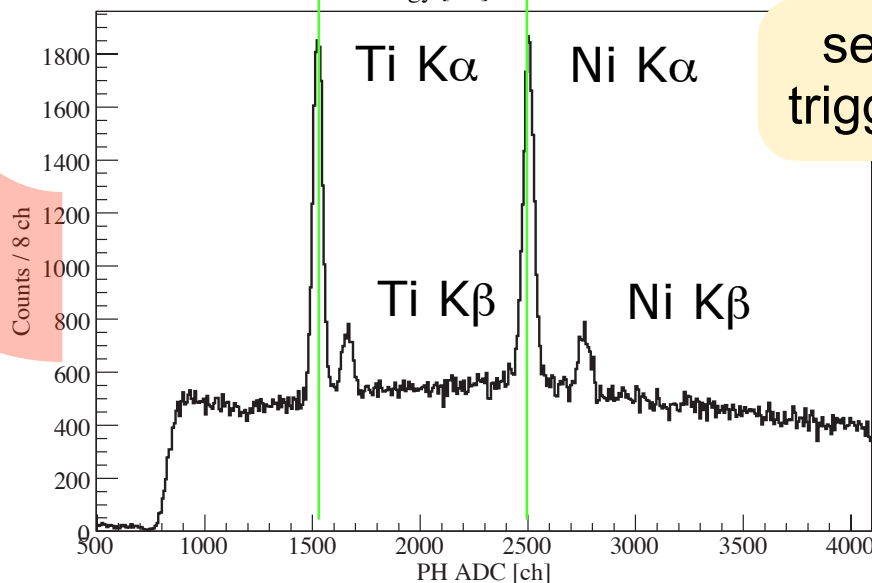


Kaon
trigger

4d→2p

5d→2p

同時
計測



self
trigger

Ti K α

Ni K α

Ti K β

Ni K β

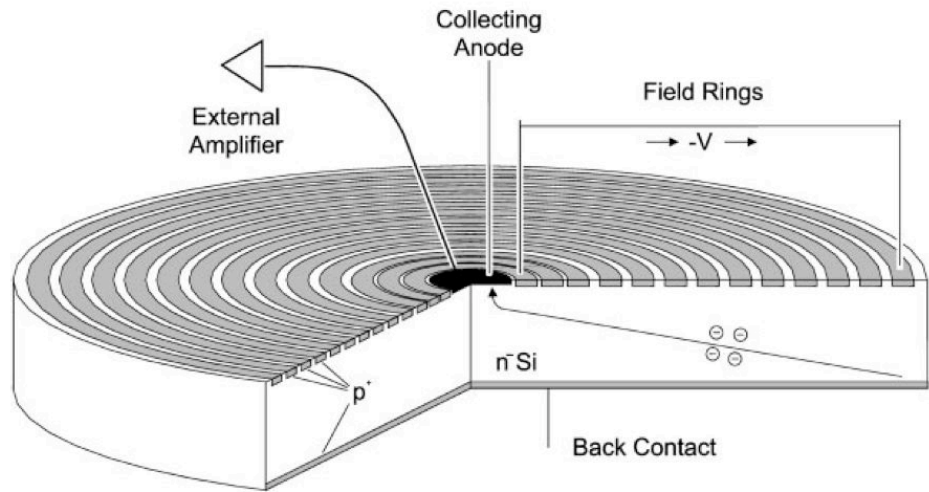
1st cycle: 75シフト
2nd cycle: 40シフト

Kビーム 650MeV/c
@KEK K5 ~5k/spill (4 sec)

合計 4G のK中間子を利用し、イベント選別の後1.5k
カウントのK中間子原子
3d→2p X線を計測

**X線検出器 SDD の in-beam 分解能
185 eV (FWHM)@6.5 keV**

1. high resolution

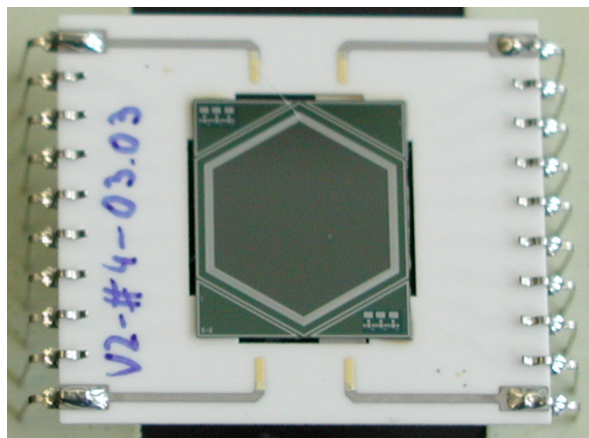


**Silicon Drift Detectors (SDDs)
produced by KETEK GmbH**

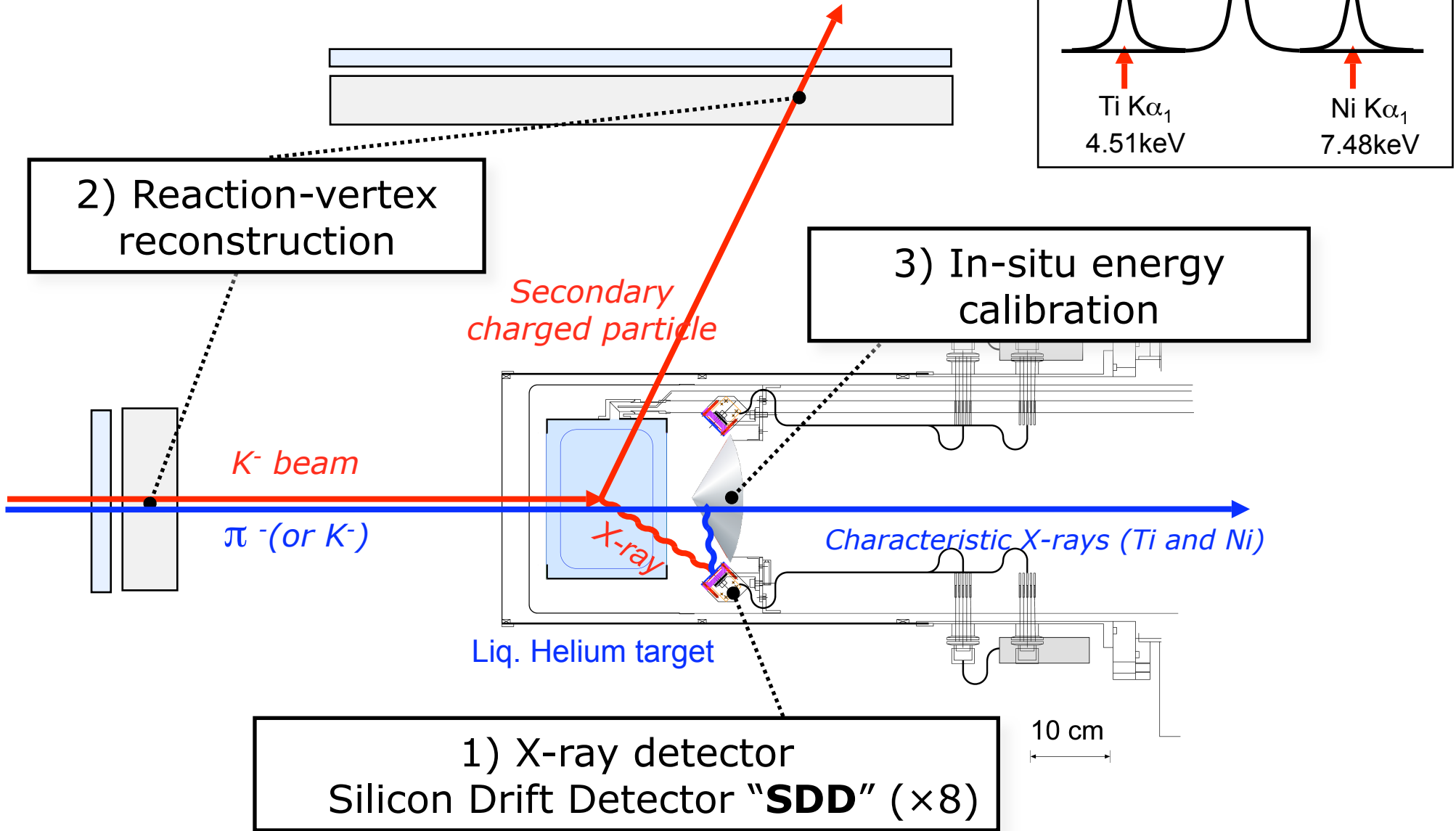
**small anode
(small detector capacitance)**

**high resolution
(185 eV FWHM @ 6.4 keV)**

**large effective area (100 mm²)
small detector thickness (0.26 mm)**



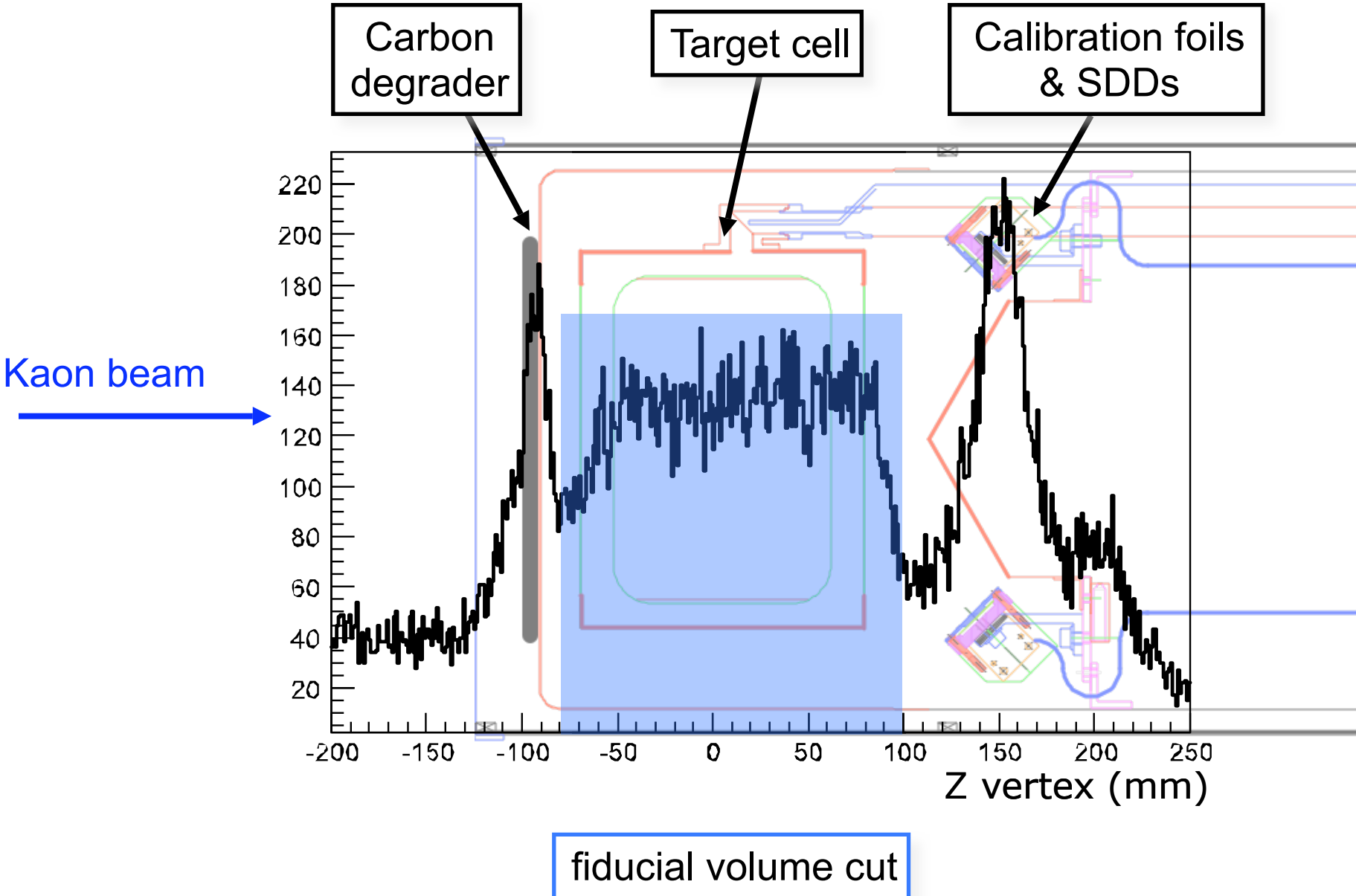
2. background suppression and 3. good energy calibration



過去の実験条件との比較

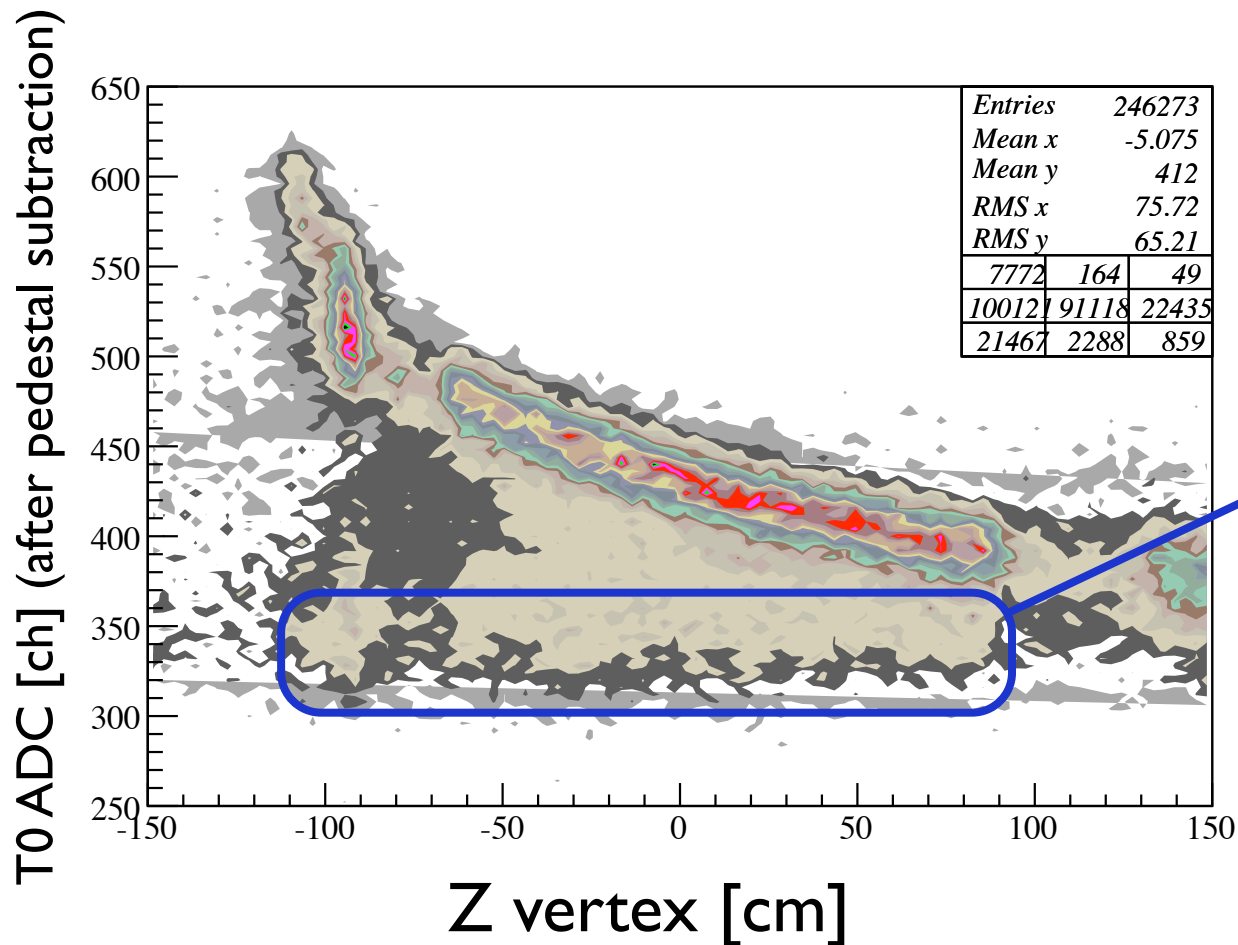
	E570	過去の実験
X線検出器	"SDD" (Silicon Drift Detector)	Si(Li) detector
分解能 (FHWM) @6.5keV	~185eV	~300eV
有効領域	100mm ² * 8 SDDs	300 mm ²
検出器の厚さ	0.26mm	~4mm
エネルギー較正	In-situ calib.	No in-situ calib.
反応点再構成による イベント選択	Yes	No

Fiducial volume cut



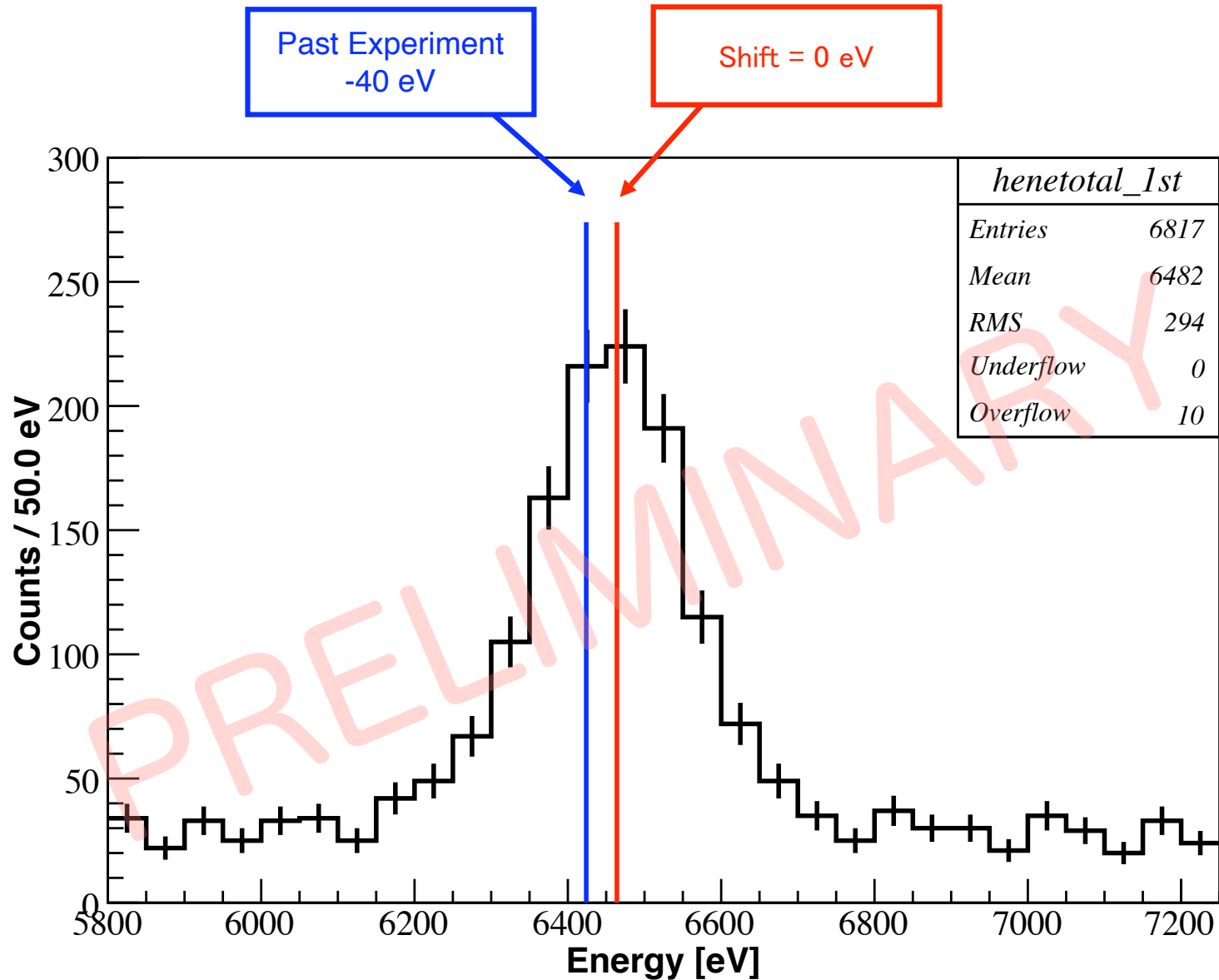
静止Kイベントの選択

Typical “T0 ADC vs. Z vertex” correlation
-- T0 ID=4 (Run419 (typical I run))--

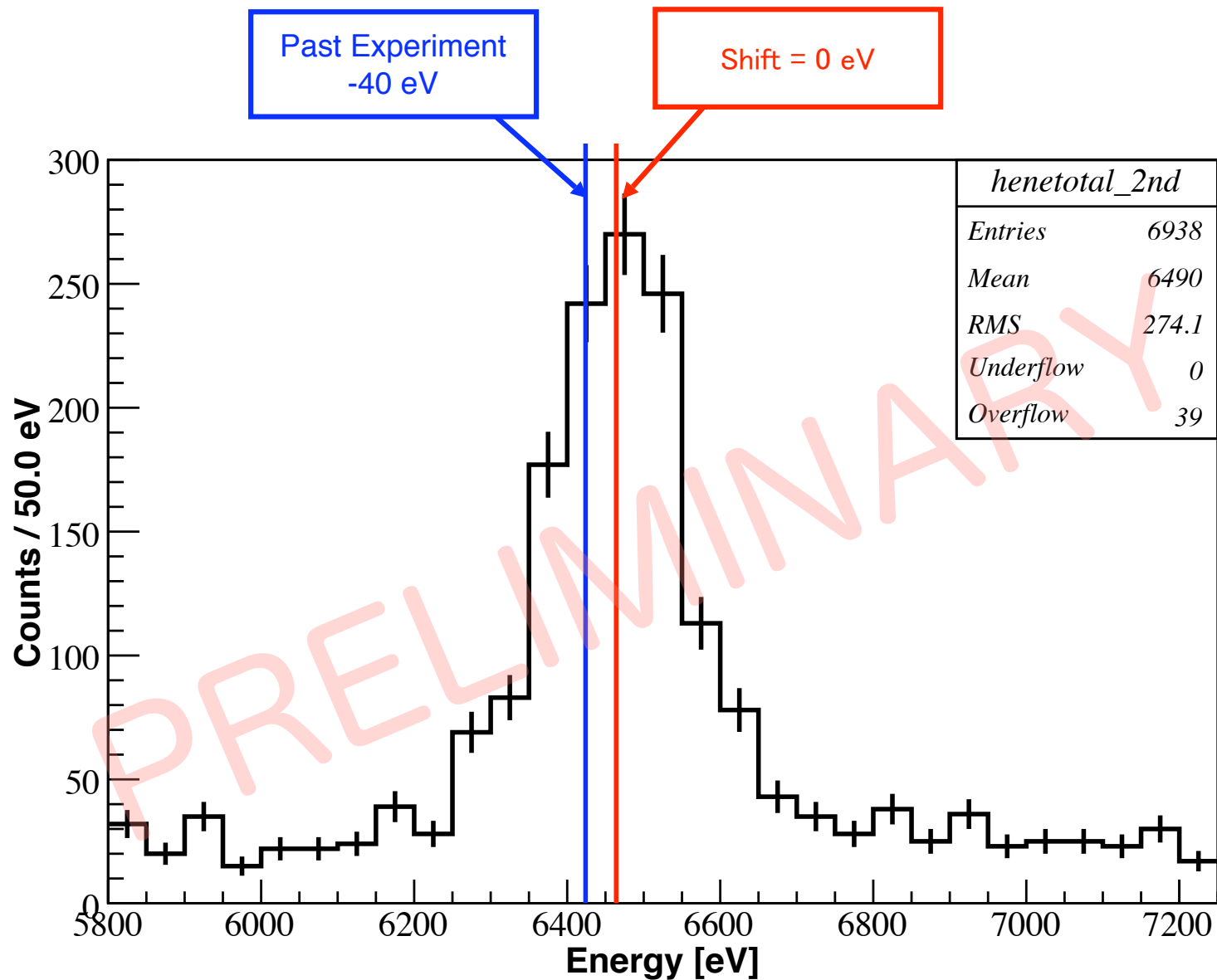


in-flight 崩壊/反応
のイベントをできる
だけ除去し
S/N 改善

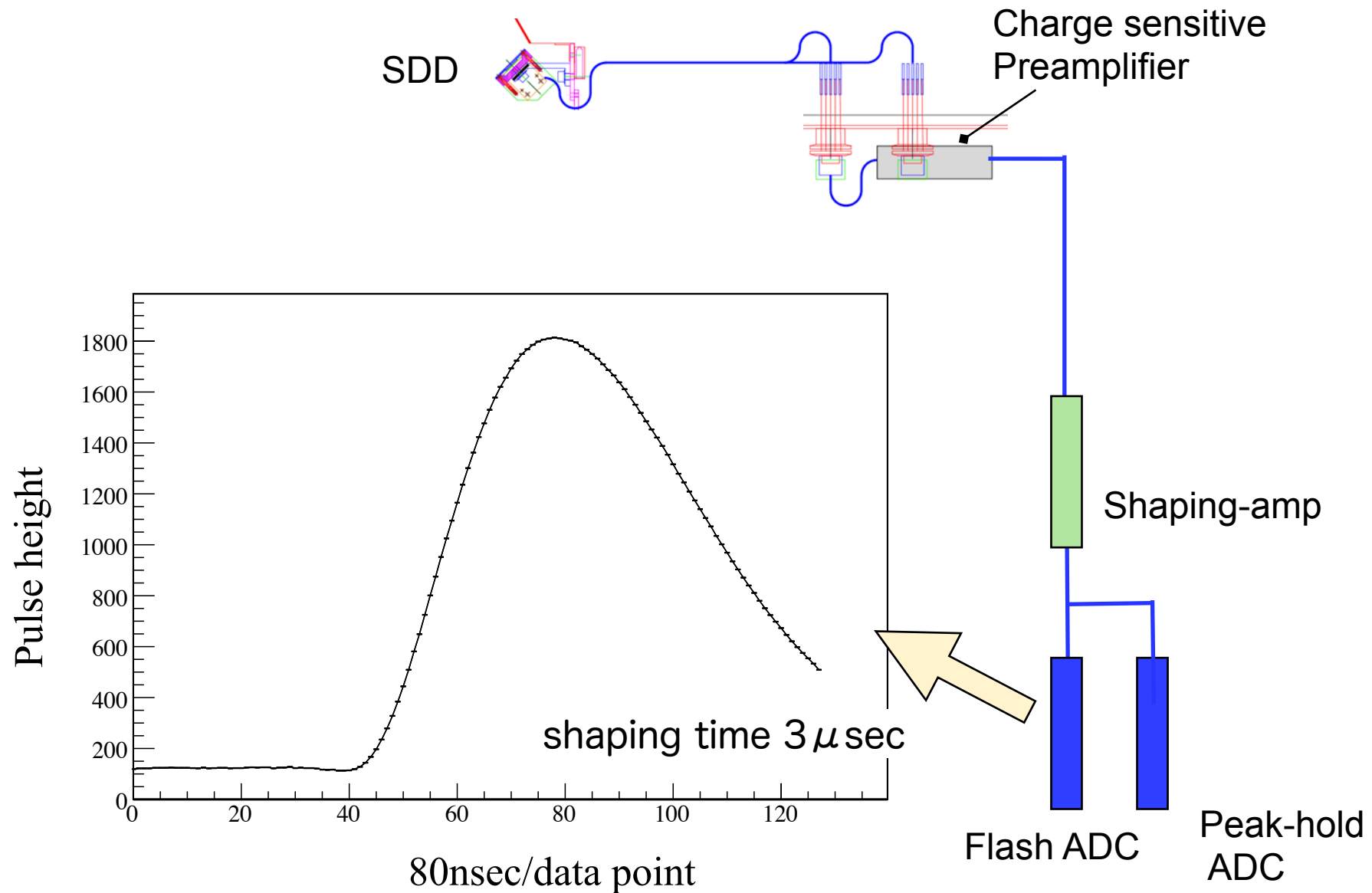
E570 1st cycle (2005.Oct)



E570 2nd cycle (2005.Dec)



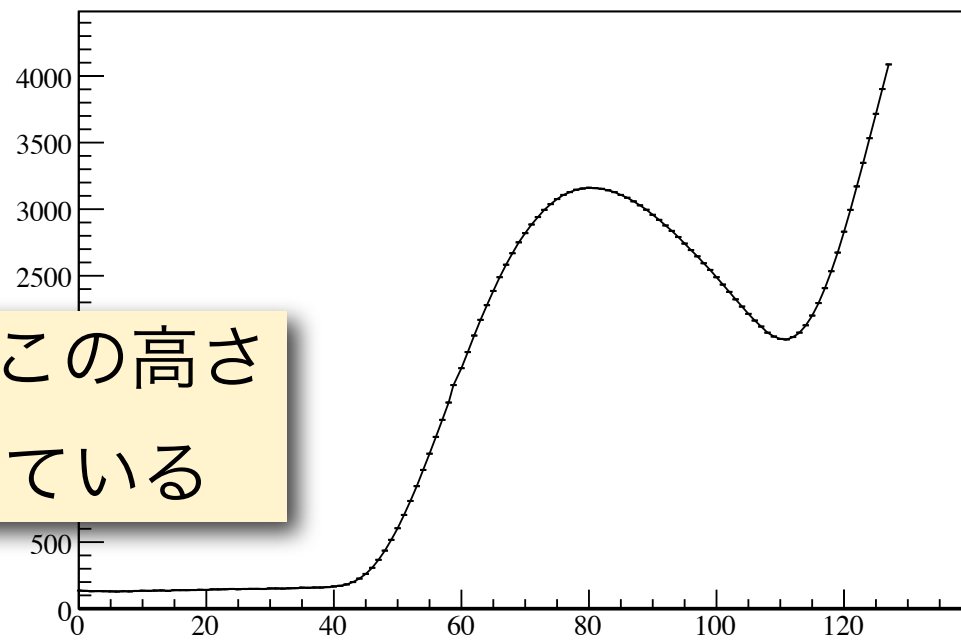
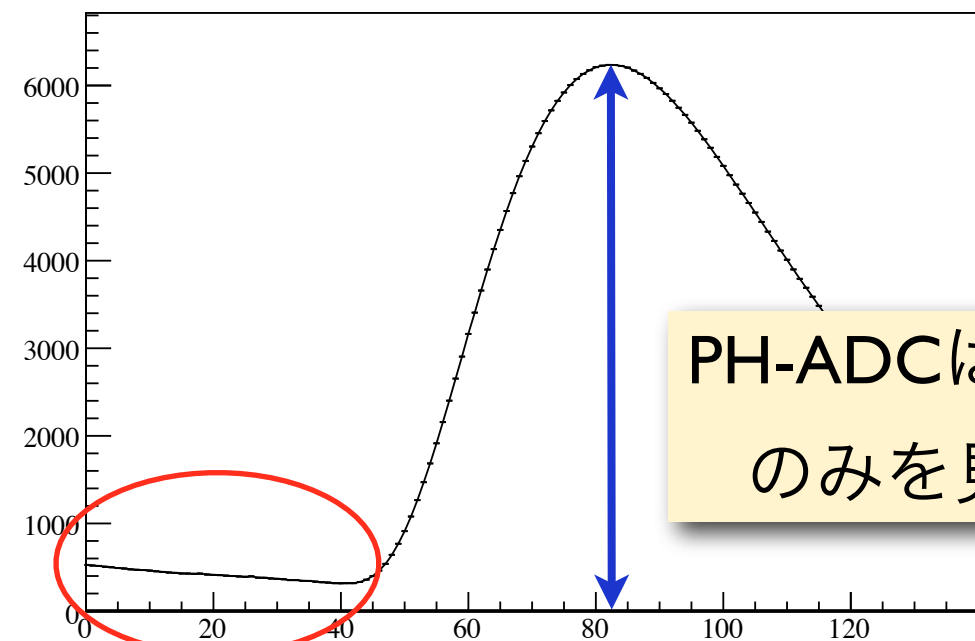
フラッシュADCでみたSDDの波形データ



PH-ADC ではわからない パイルアップを見ることができる

プレ・パイルアップ

ポスト・パイルアップ



PH-ADCはこの高さのみを見ている

80 nsec/data point

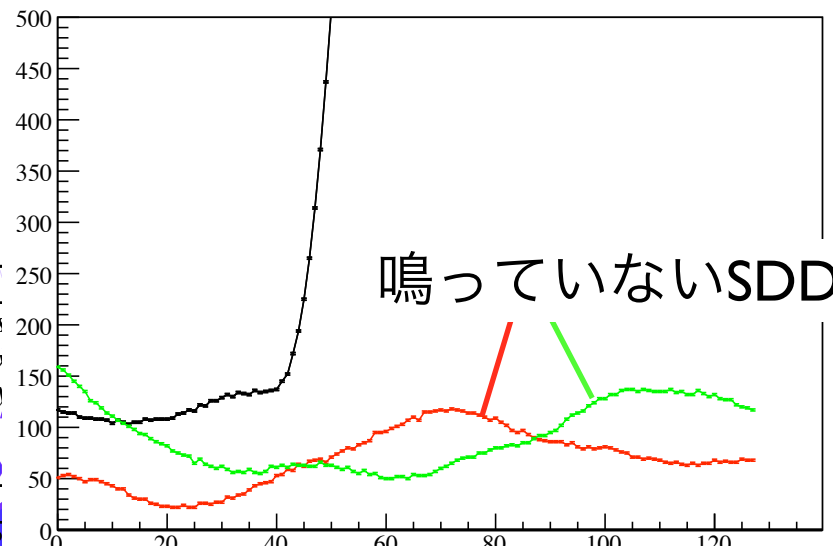
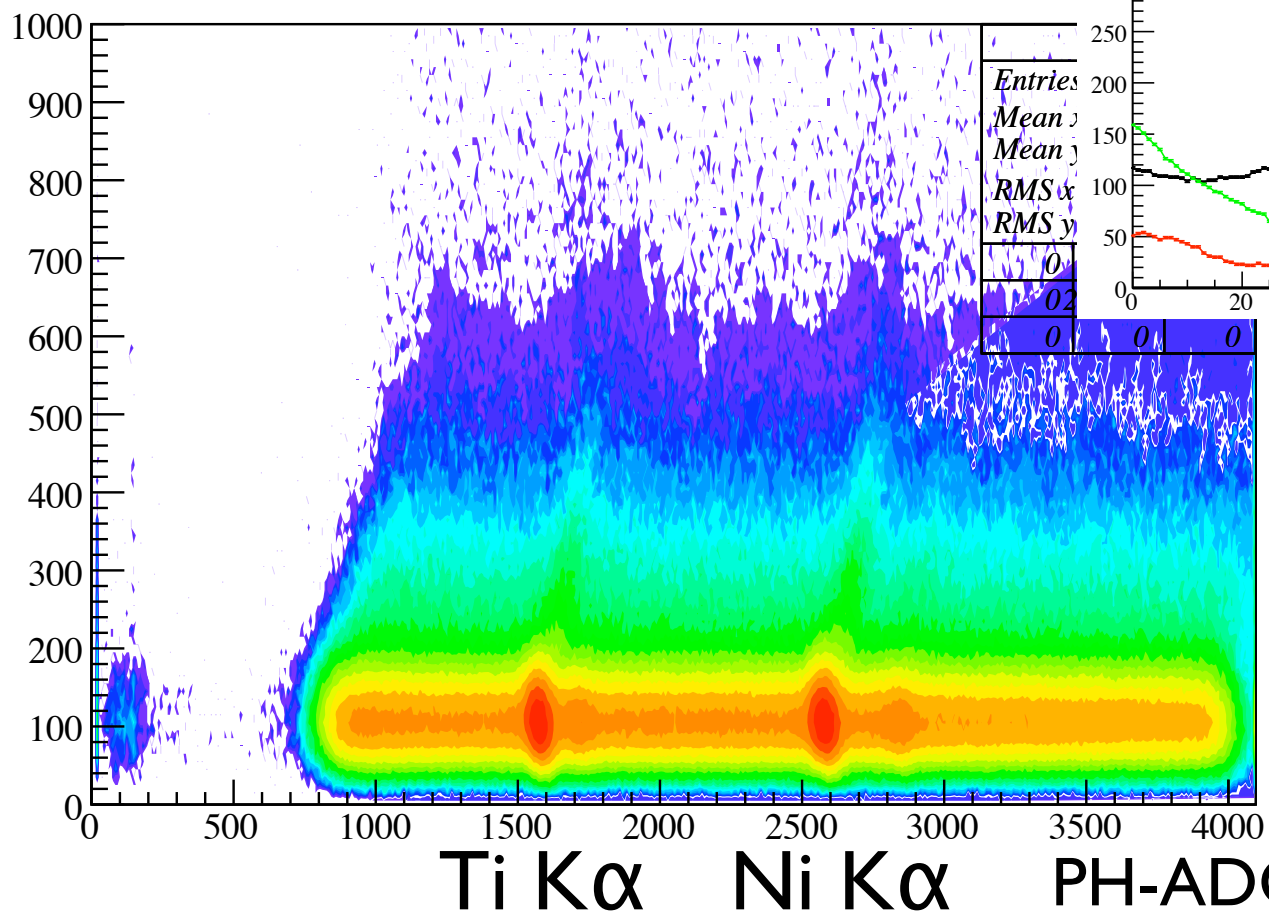
80 nsec/data point

ベースラインに注目して
PH-ADC との相関を見てみると...

プレ・パイルアップイベントの除去

FADC ベースライン [ch]

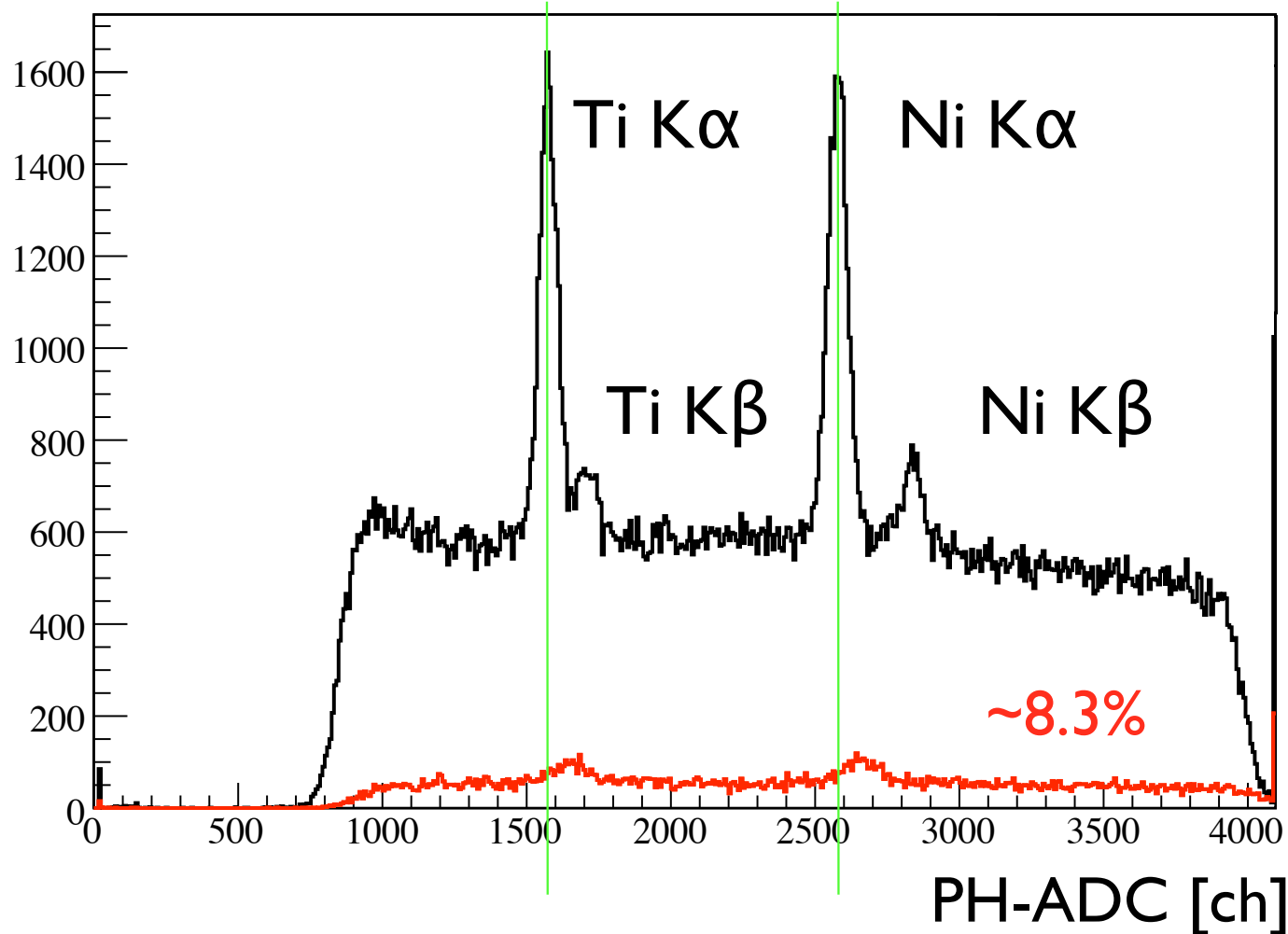
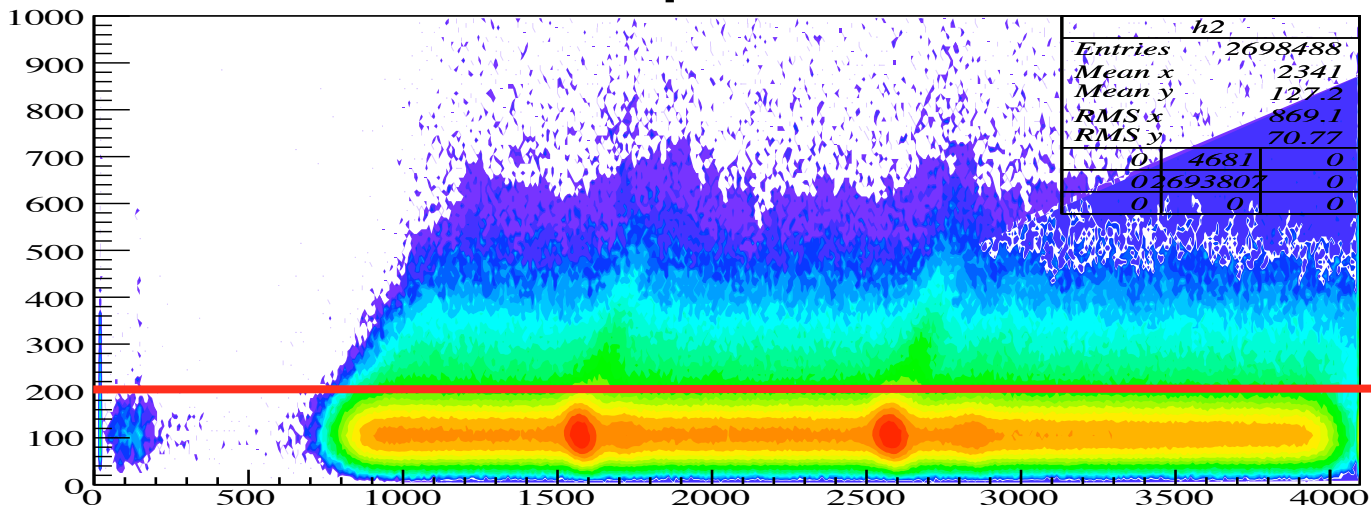
エネルギー較正用データ



鳴っていないSDD

周期 $\sim 6 \mu\text{sec}$

FADC ベースライン [ch]



フラッシュADC
のベースラインか
らカットをかける
ことで、PH-ADC
では除けないイベ
ントを除去可能