

K中間子 ^3He X線精密分光実験の準備状況

橋本 直 (東京大学)

for J-PARC E17 collaboration

J-PARC E17 collaboration

H. Bhang¹, M. Cargnelli², S. Choi¹, C. Curceanu³, S. Enomoto⁴,
H. Fujioka⁵, Y. Fujiwara⁶, C. Guaraldo³, T. Hashimoto⁶, R. S. Hayano⁶,
T. Hiraiwa⁵, M. Iio⁷, S. Ishimoto⁸, T. Ishiwatari², K. Itahashi⁷,
M. Iwasaki^{7,9}, H. Kou⁹, P. Kienle^{2,10}, J. Marton², Y. Matsuda⁶, H. Noumi⁴,
H. Ohnishi⁷, S. Okada³, H. Ota⁷, A. Romero Vidal³, F. Sakuma⁷,
Y. Sada⁵, M. Sato⁶, M. Sekimoto⁸, H. Shi⁶, D. Sirghi³, F. Sirghi³,
T. Suzuki⁶, K. Tanida¹, H. Tatsuno⁶, M. Tokuda⁹, D. Tomono⁷, A. Toyoda⁸,
K. Tsukada⁷, O. Vazquez Doce³, E. Widmann², B. Wunschek²,
T. Yamazaki^{6, 7}, J. Zmeskal²

SNU¹, SMI², LNF³, RCNP⁴, Kyoto Univ.⁵, Univ. of Tokyo⁶,
RIKEN⁷, KEK/J-PARC⁸, Tokyo Tech⁹, Tech. Munich Univ.¹⁰

内容

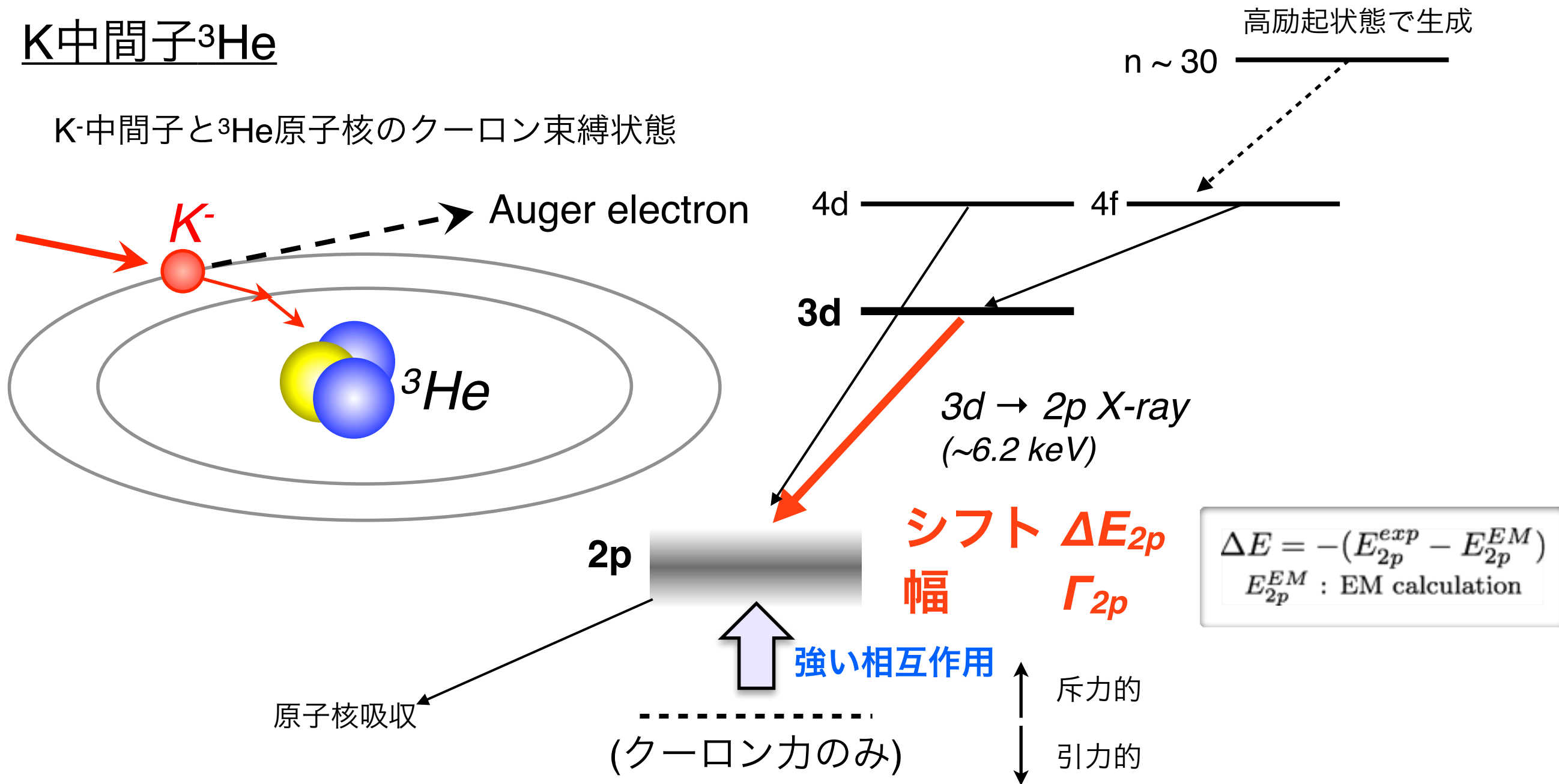
- ▶ 導入
 - E17実験、KHeX線測定の現状
- ▶ 実験手法
- ▶ 秋のビーム利用
 - Beam-tune, CDS commissioning, SDD commissioning
- ▶ その他準備状況
- ▶ まとめ

導入

J-PARC E17 -K1.8BR最初の実験-

K中間子 ^3He

K-中間子と ^3He 原子核のクーロン束縛状態

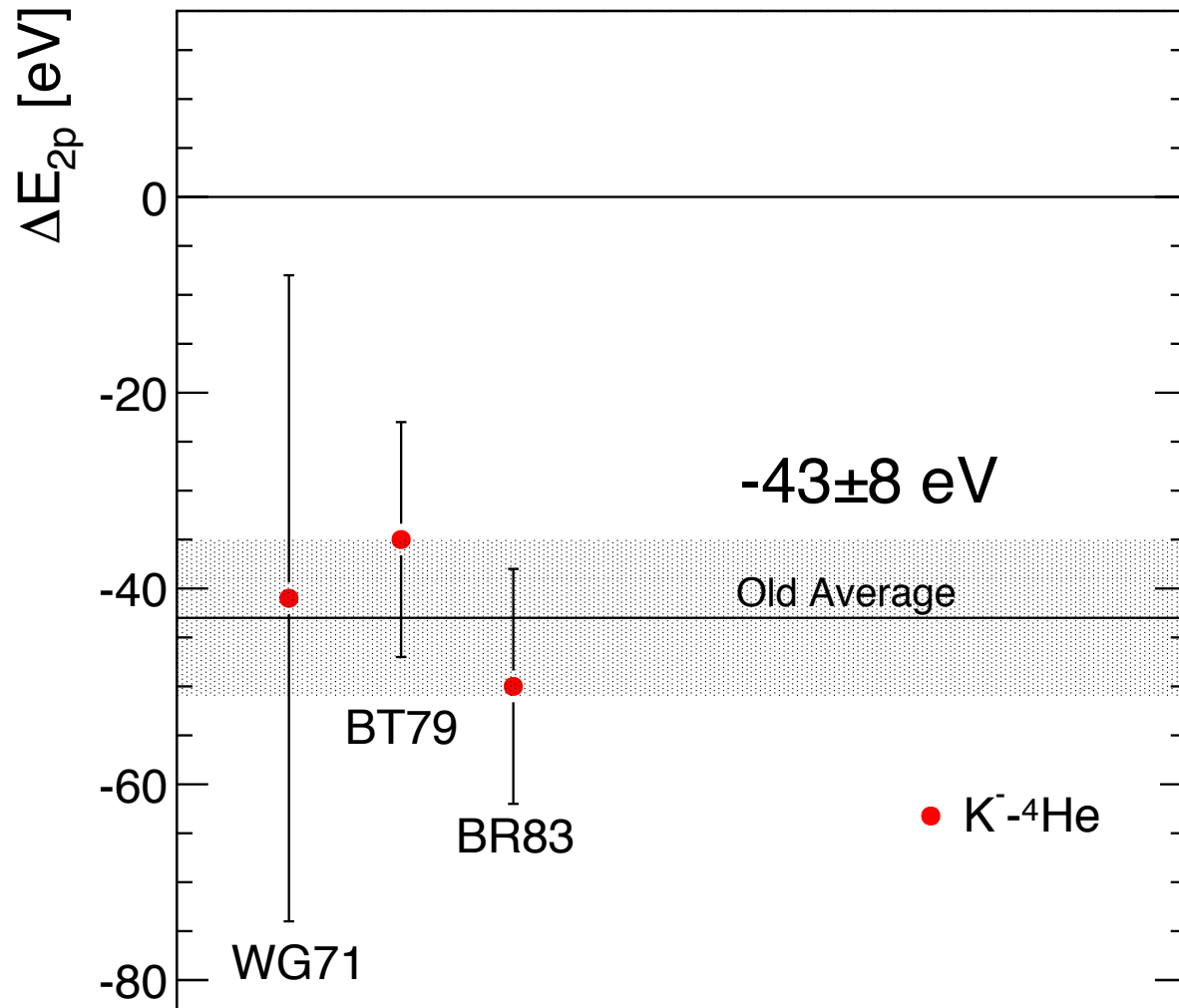


“最終軌道” (K^- -Heでは2p) のシフトと幅は低エネルギー極限での反K中間子-原子核間の強い相互作用の情報を持つ

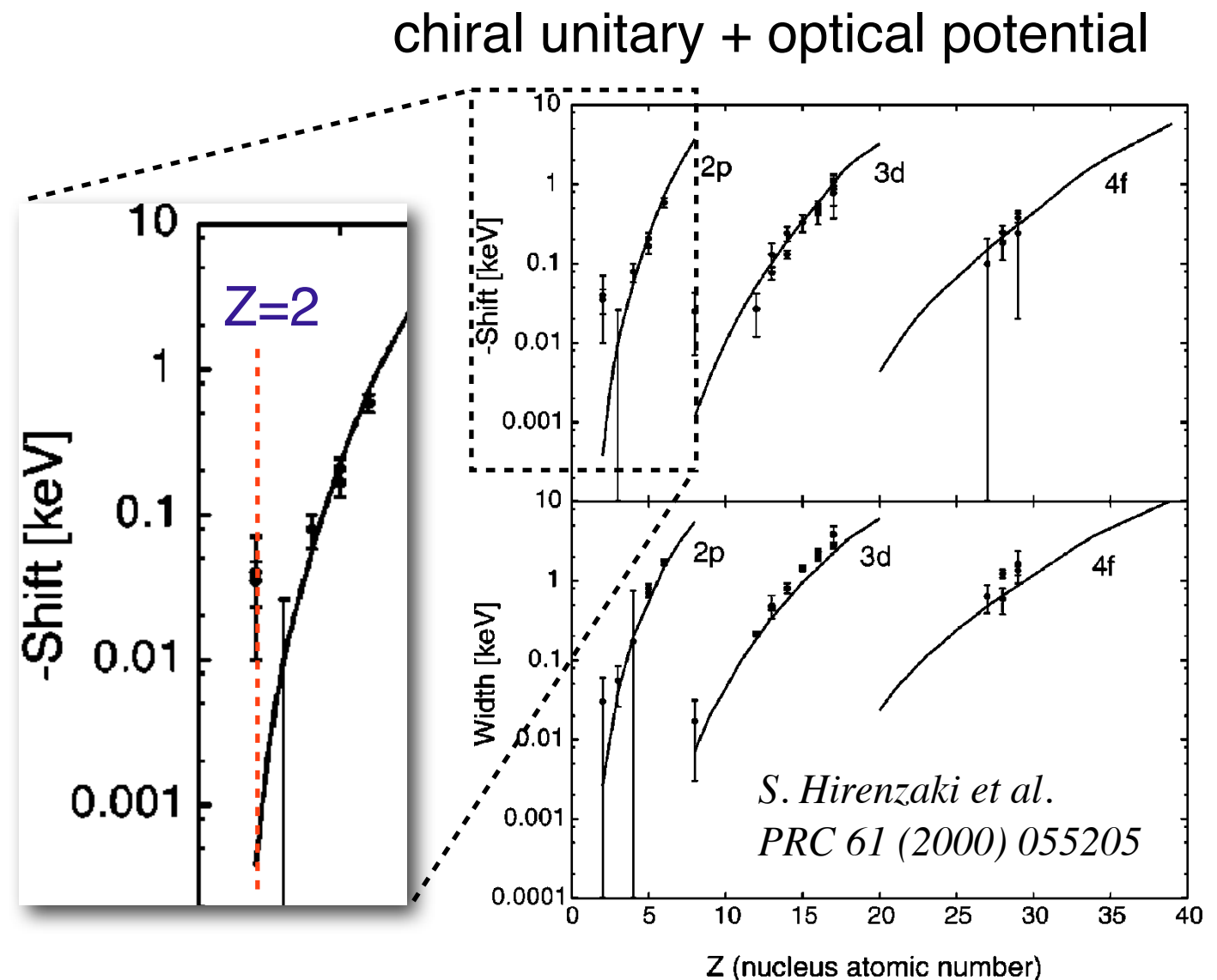
E17 では K^- - ^3He の $3d \rightarrow 2p$ X線を2 eV未満の精度で測定

K-He X線測定の実況

- ▶ 古い ^4He 測定データは大きな2pシフト
→ 光学模型による計算 ~ 0 eVシフトと矛盾
“Kaonic Helium puzzle”

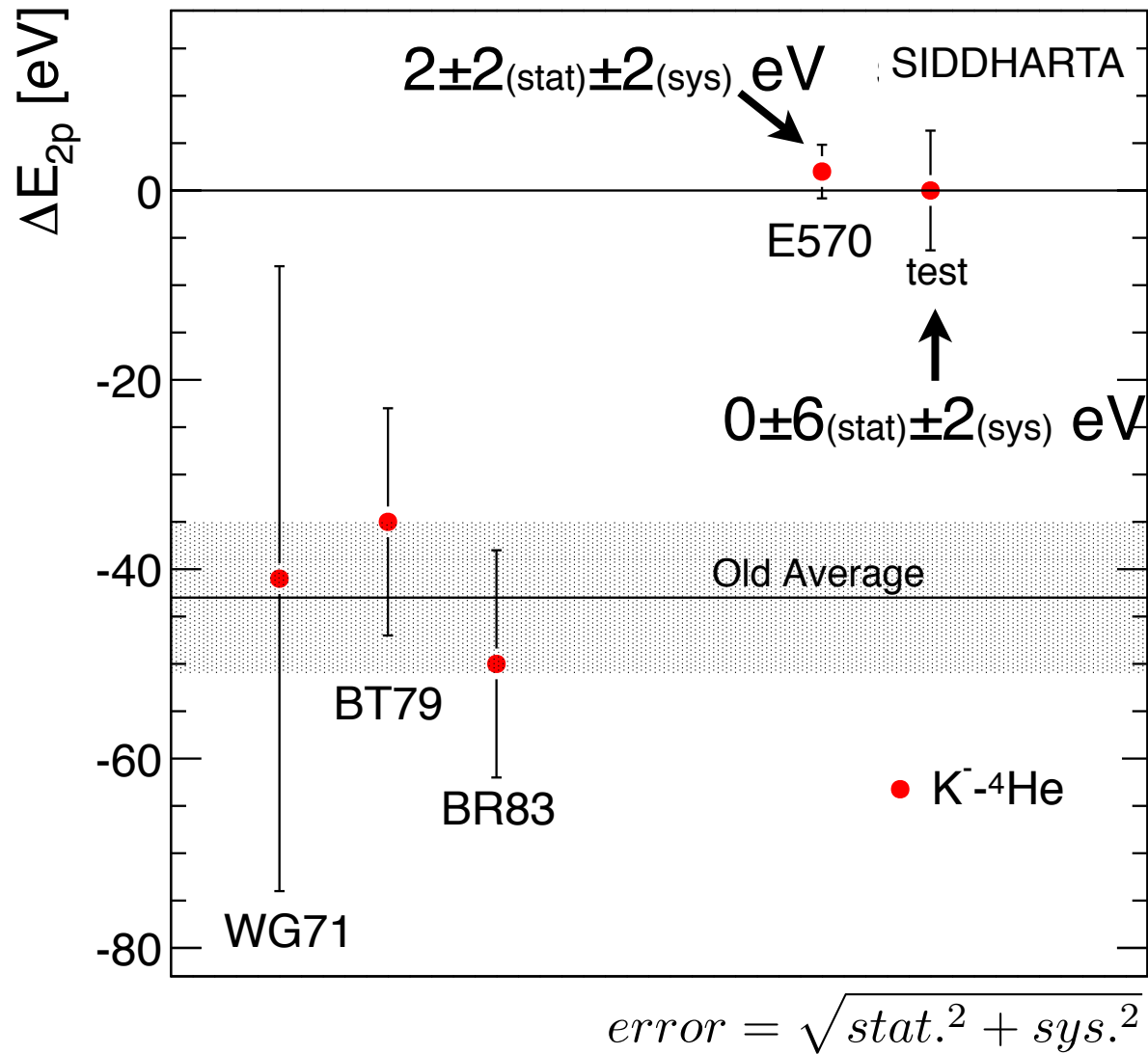


WG71: C.E. Wiegand, R. Pehl, PRL 27 (1971) 1410.
BT79 : C.J. Batty, et al., NPA 326 (1979) 455.
BR83 : S. Baird, et al., NPA 392 (1983) 297

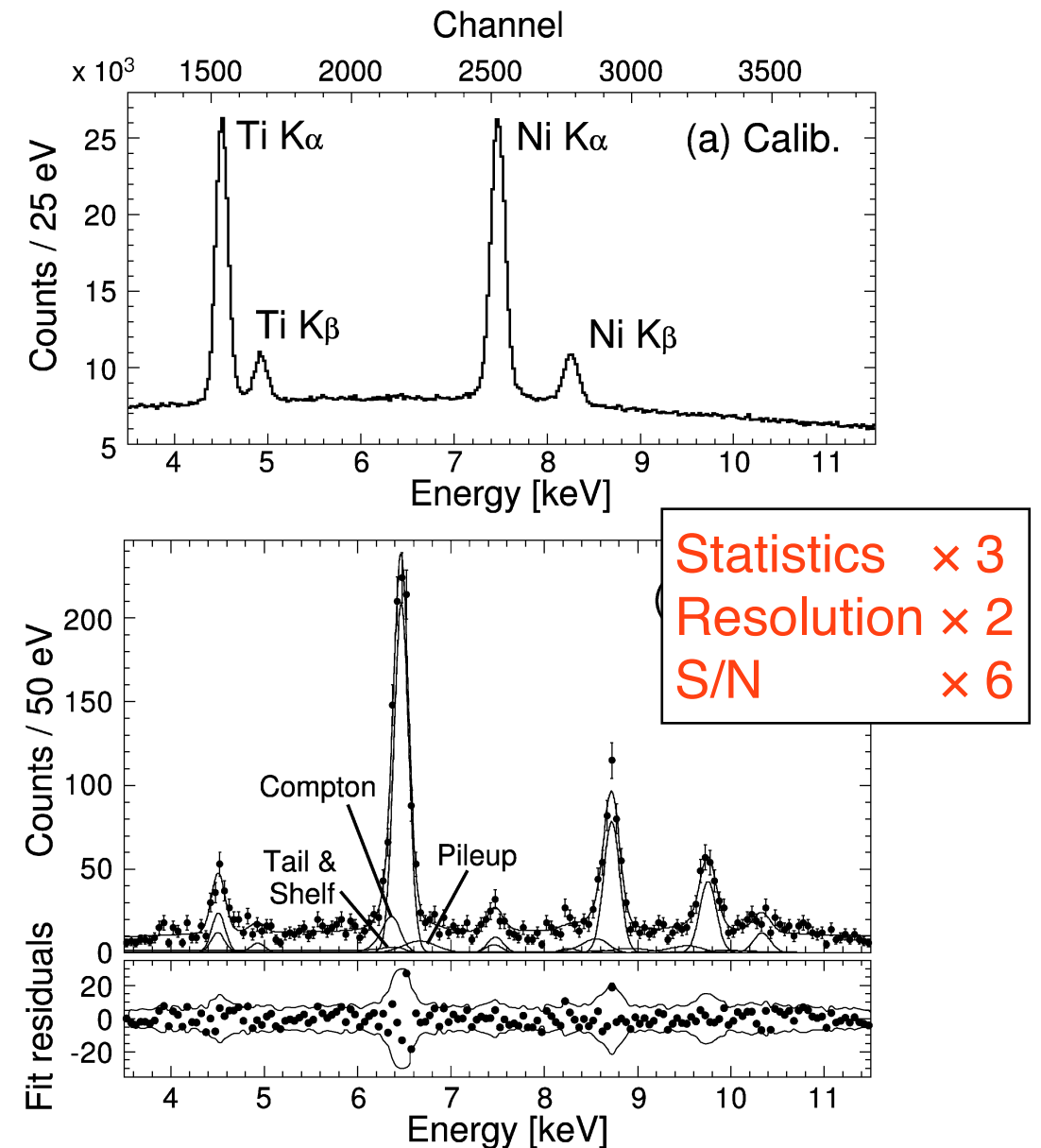


K-He X線測定の実況

- ▶ KEK E570が高精度でK-⁴He再測定
→”Kaonic Helium puzzle” 解決
- ▶ その後SIDDHARTAが確認

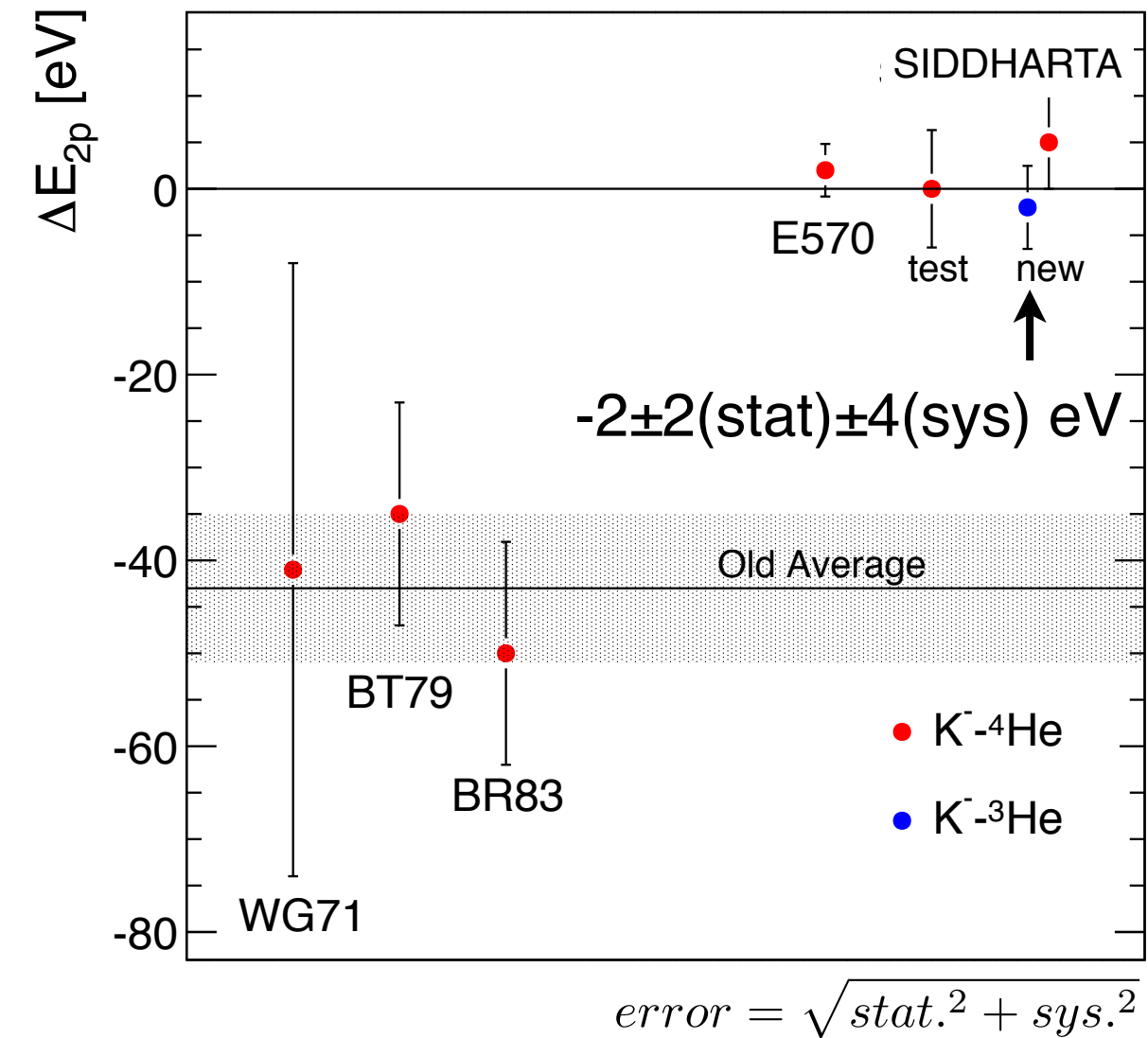


KEK-E570: S.Okada et al. PLB 653 (2007) 387
SIDDHARTA : B. Bazzi et al. PLB 681 (2009) 310



S.Okada et al. PLB 653 (2007) 387

K-He X線測定の実況

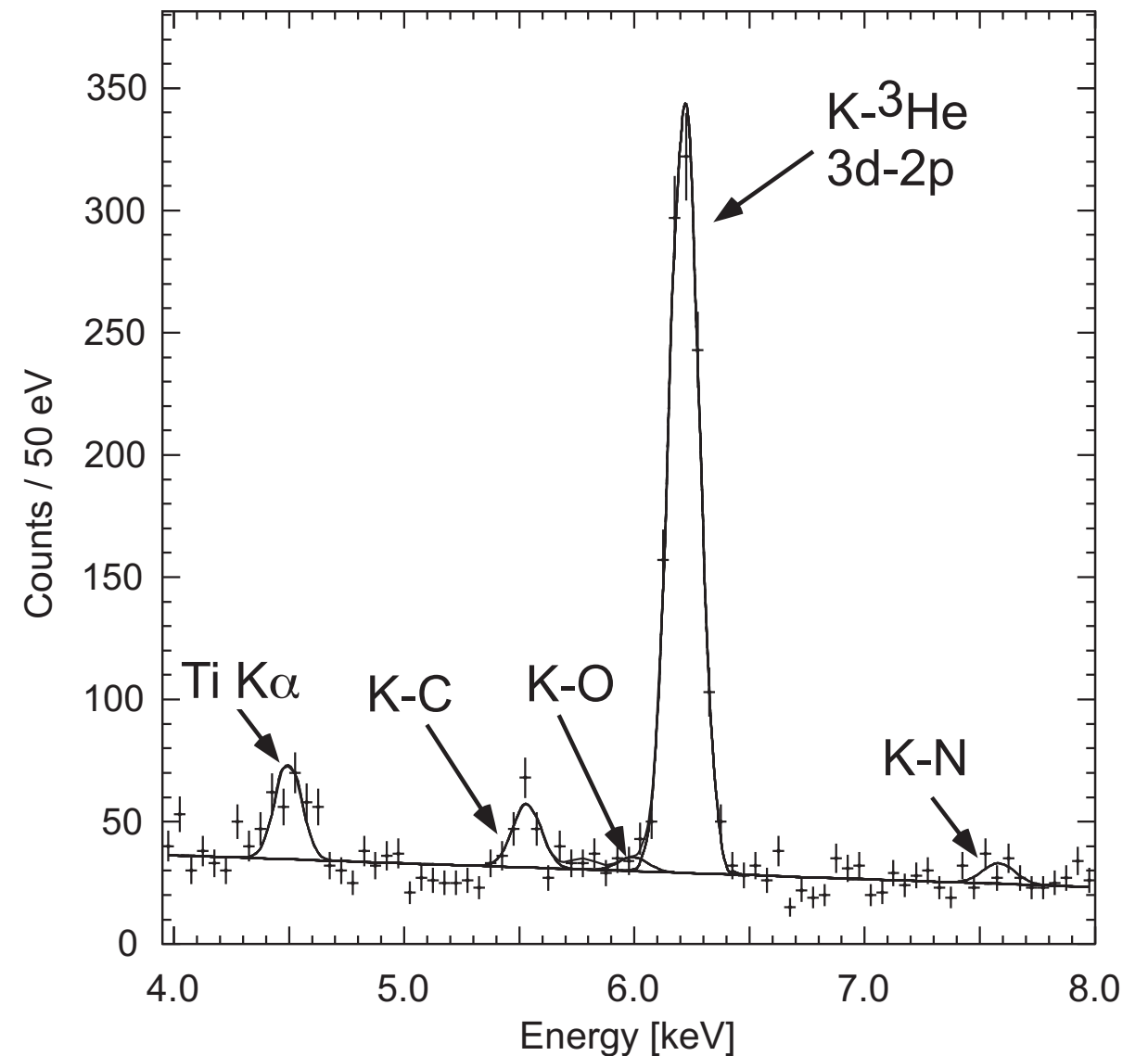


SIDDHARTA new
arXiv 1010.4631

SIDDHARTAが $K^{-3}\text{He}$ を初めて測定

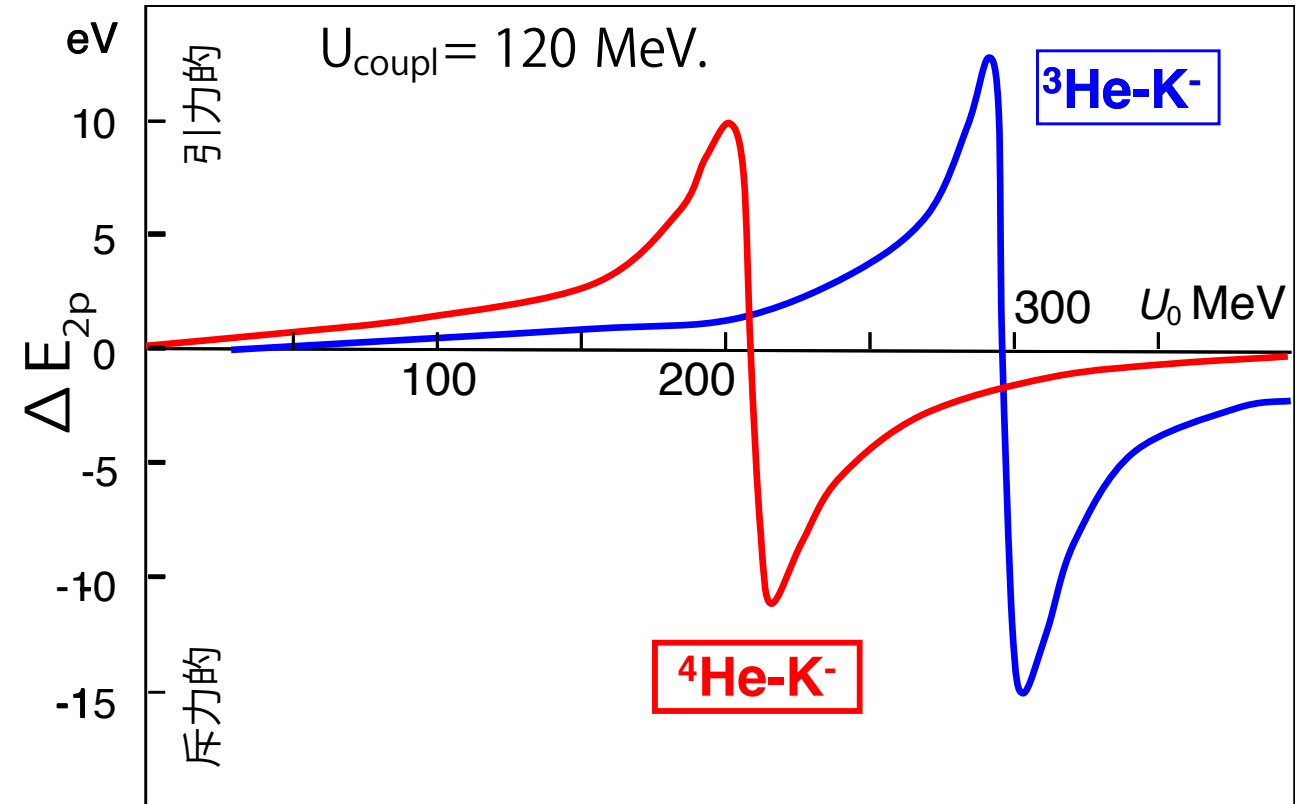
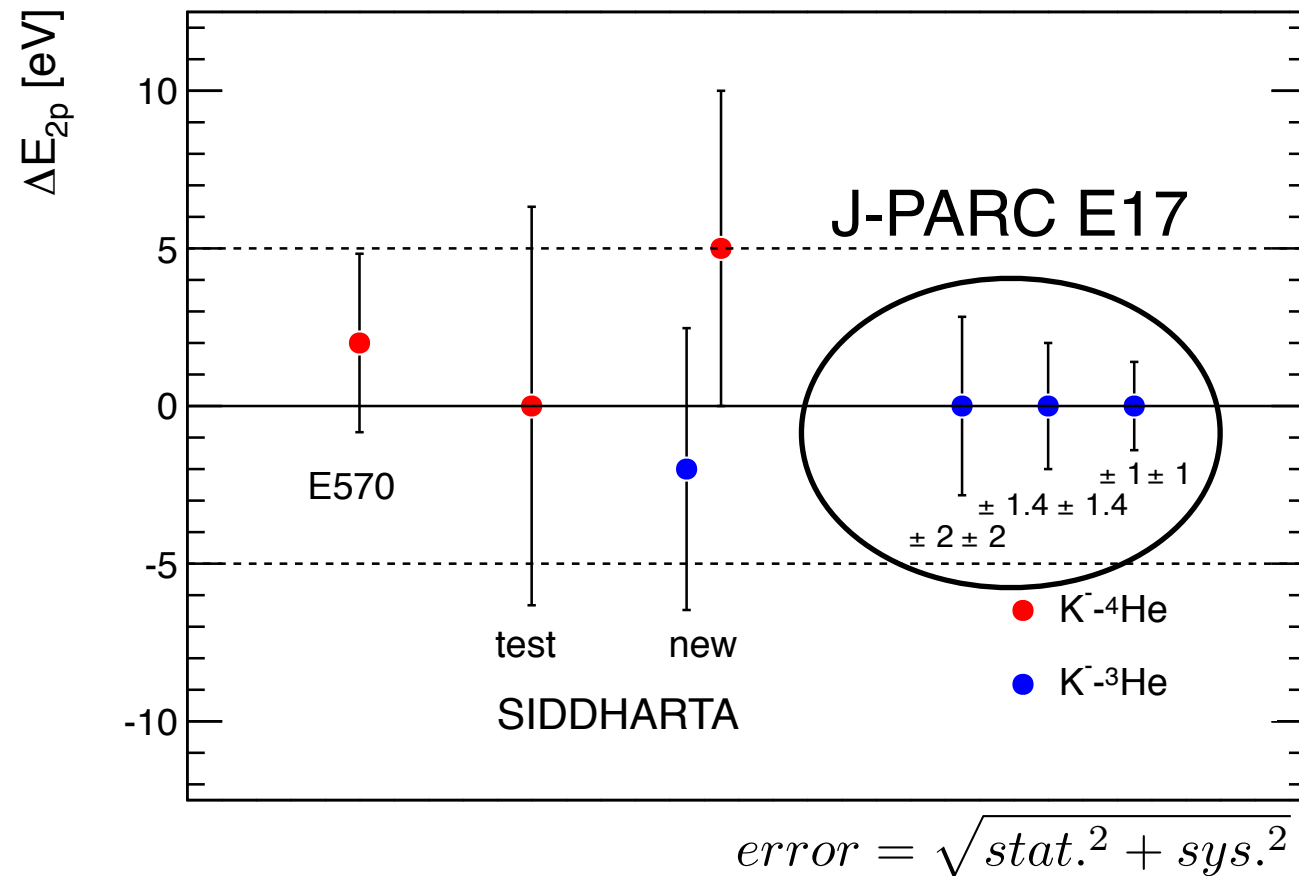
$K^{-3}\text{He}$ でも巨大な2pシフトは無い

arXiv 1010.4631



K-He X線測定の実況

Y. Akaishi EXA05 proceedings

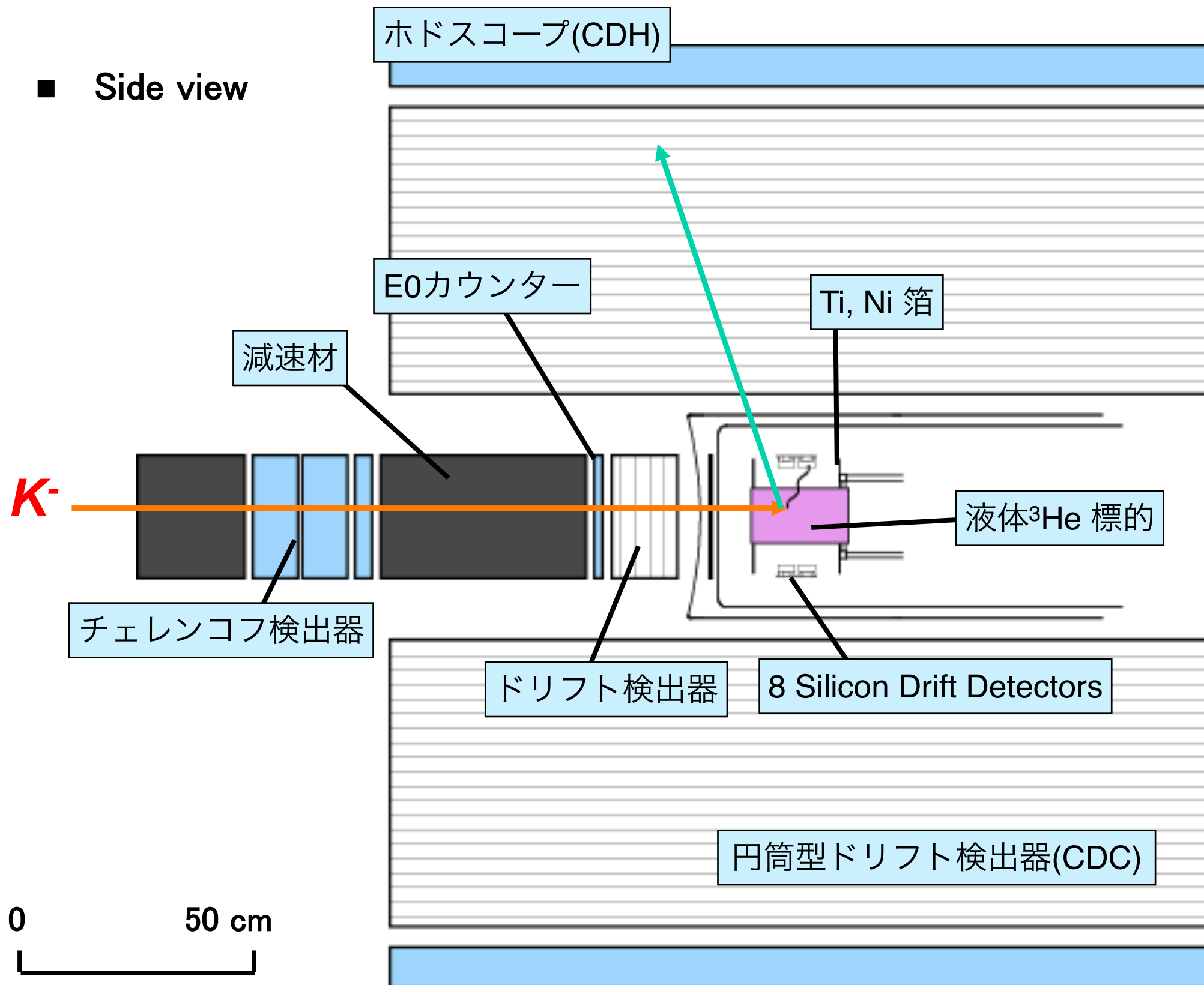


- ▶ しかし現状の測定精度では大きなシフト (>5 eV)があるのか、シフトが引力的か斥力的か判別不能
- ▶ $K^- - {}^3\text{He}$ についてもE570以上の精度のデータが必要→J-PARC E17
 - 赤石山崎モデルの検証、大きなシフトがあるか？ポテンシャルの深さは？
 - 斥力的シフト → P波原子核状態が存在

実験手法

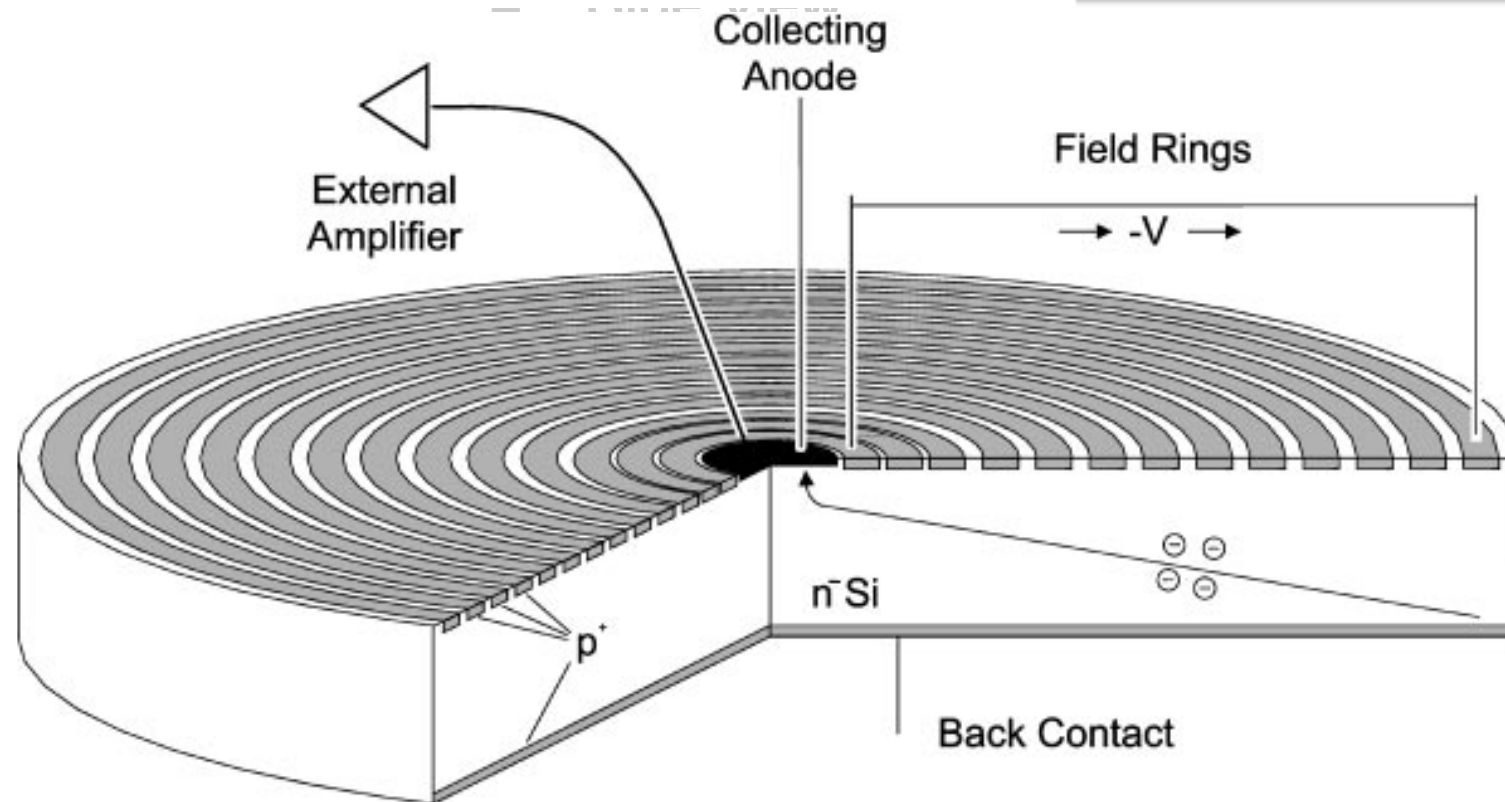
セットアップ

■ Side view



Silicon Drift Detector (SDD)

A novel silicon detector by KETEK
NIMA 225(1984)608

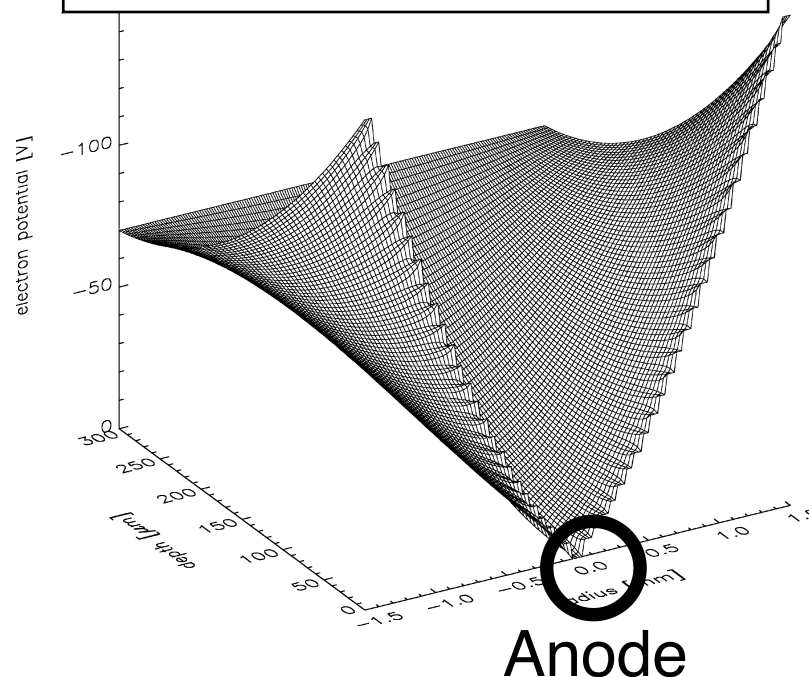


8 Silicon Drift Detectors

E17

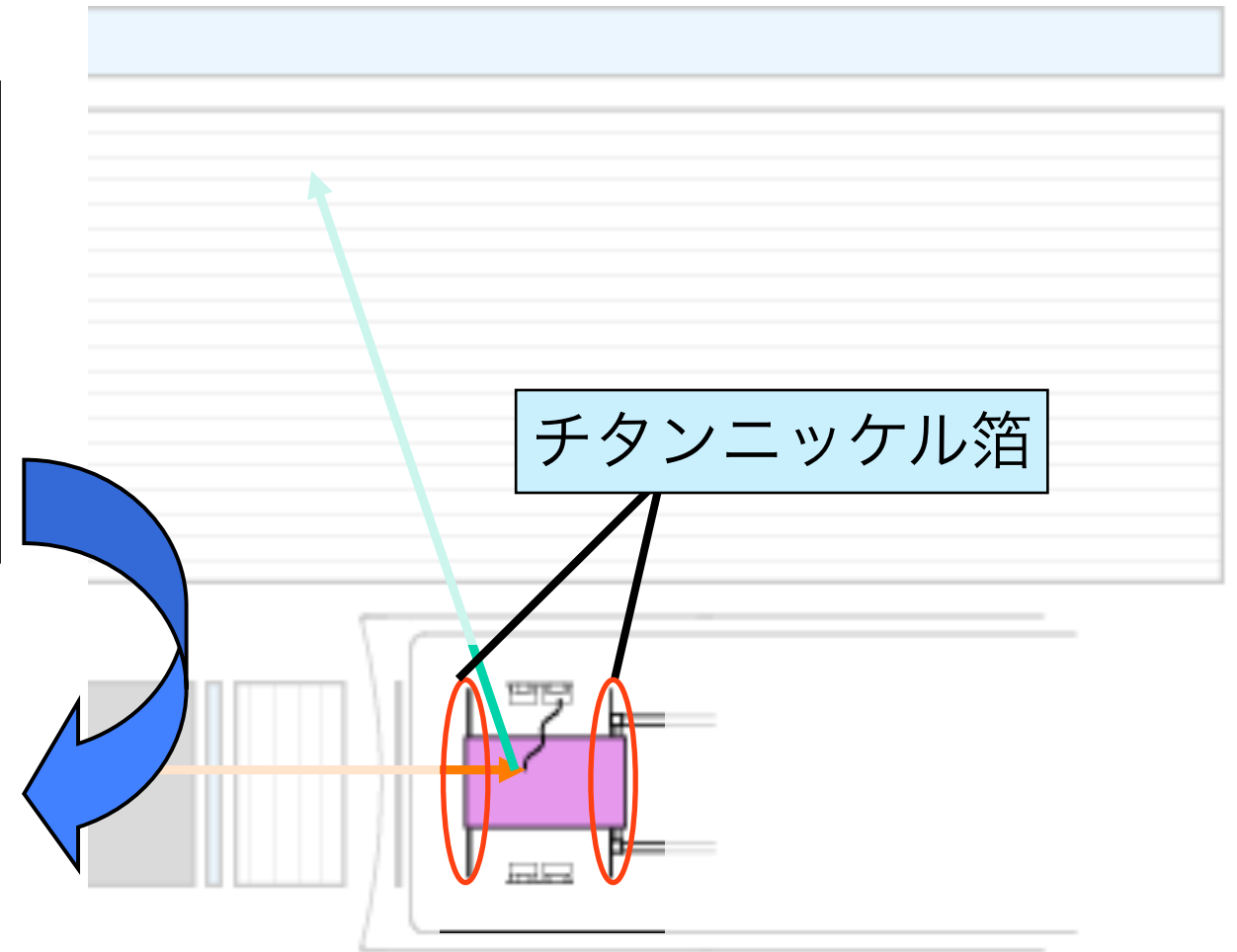
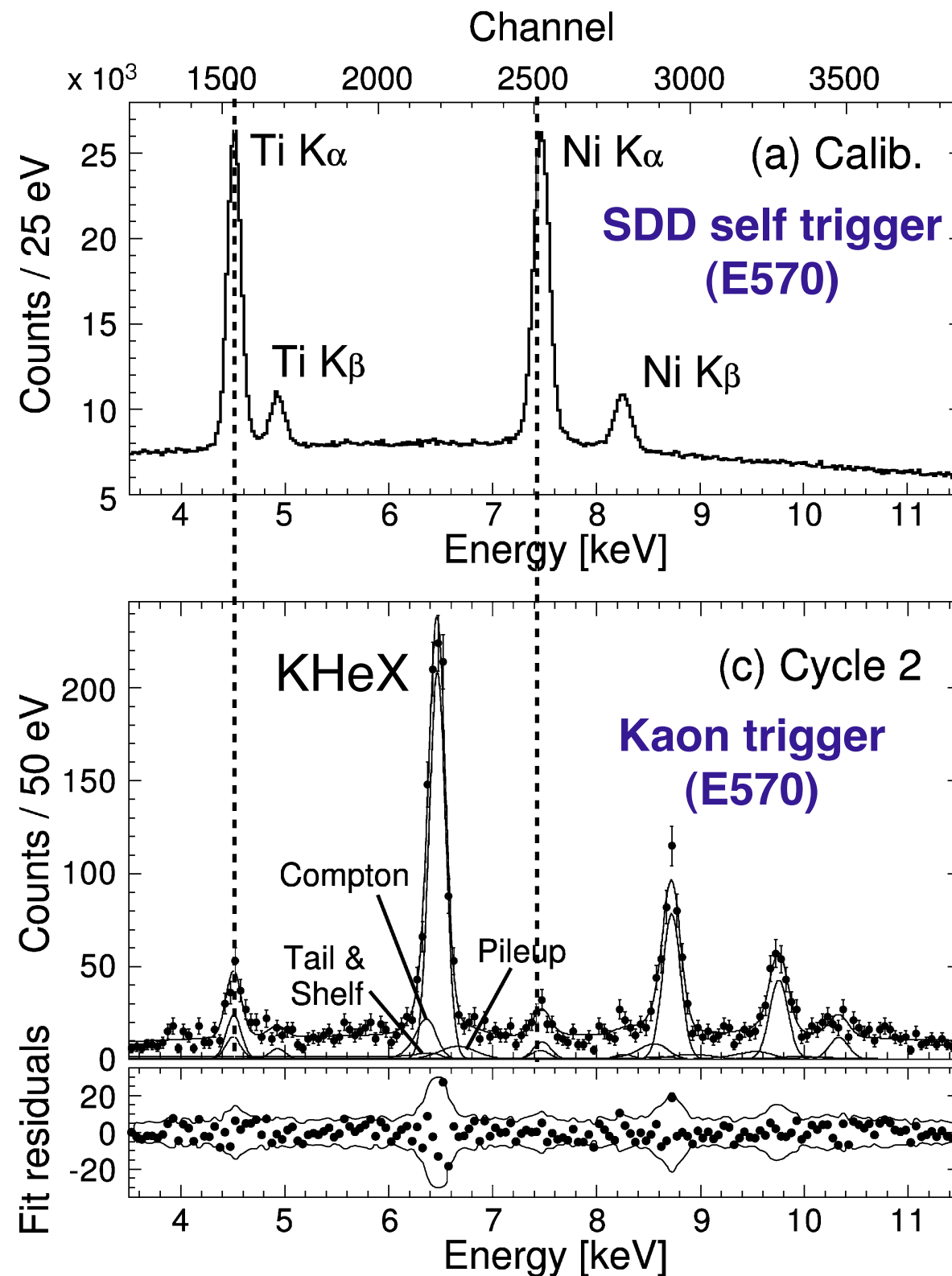
低温(~ 130 K)で運用
プリアンプも真空槽中

SDD中のポテンシャル分布



- 小さなアノード → 高エネルギー分解能
(~ 150 eV FWHM @ 6 keV)
- 大きな有効面積 : 100 mm^2
- 薄い有効層 : $450 \mu\text{m}$ → コンプトンBGを抑制
- 時間分解能 $< 500 \text{ ns}$ FWHM @ 110~130 K

In-beamの絶対エネルギー校正

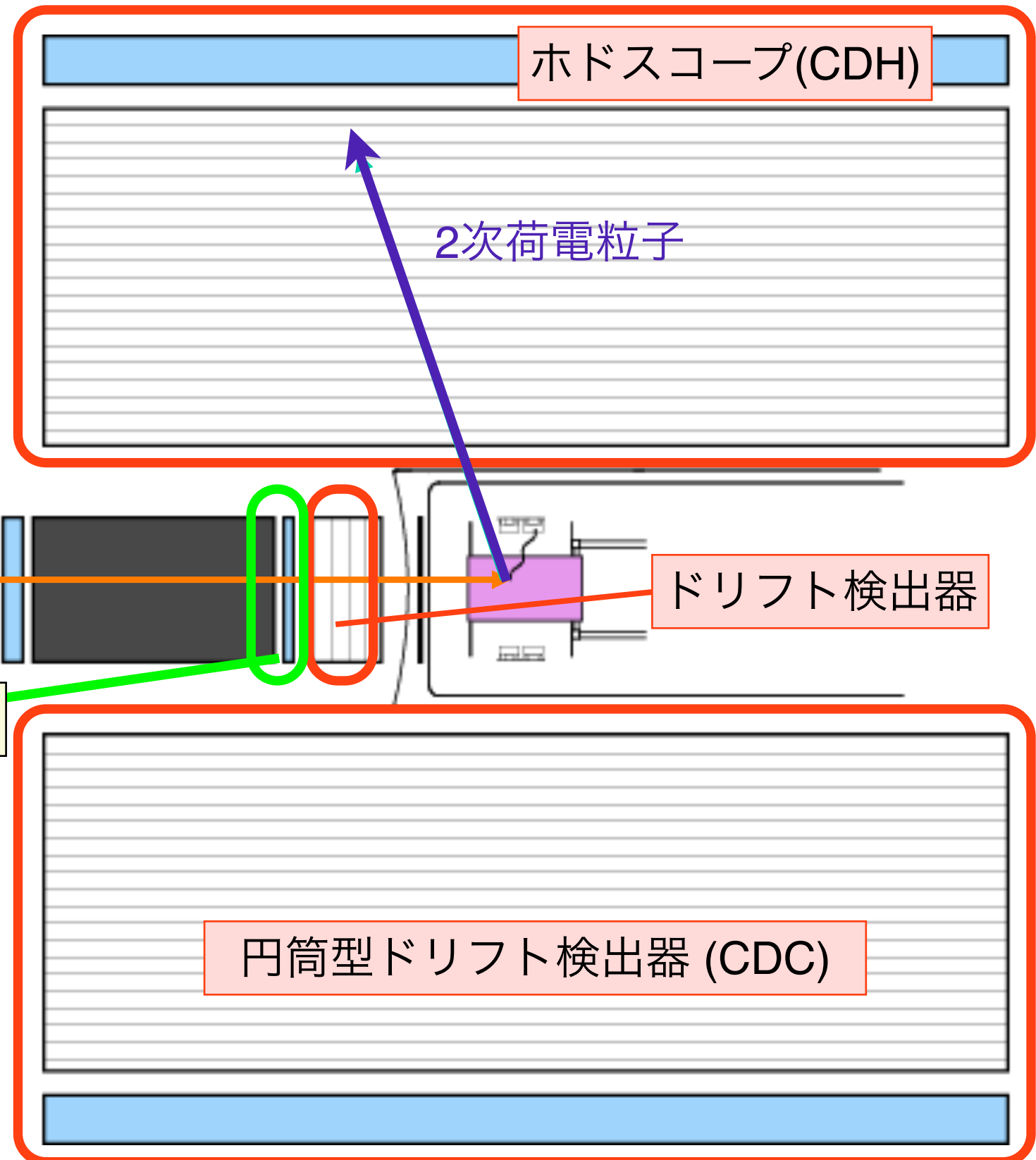
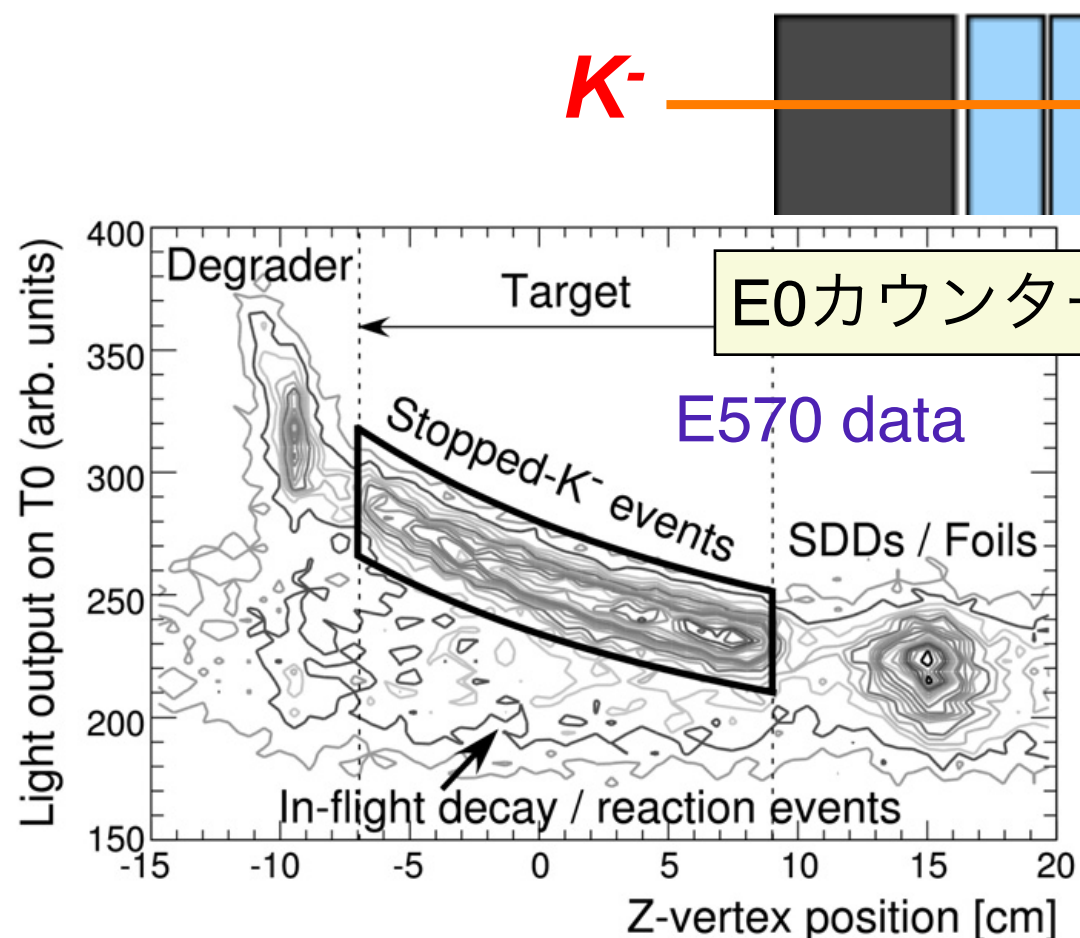


NiとTi の特性X線をK中間子ビーム中に含まれる π 中間子で誘起しKHe X線と平行して検出

多くの系統誤差を相殺可能

標的内静止K事象の選択

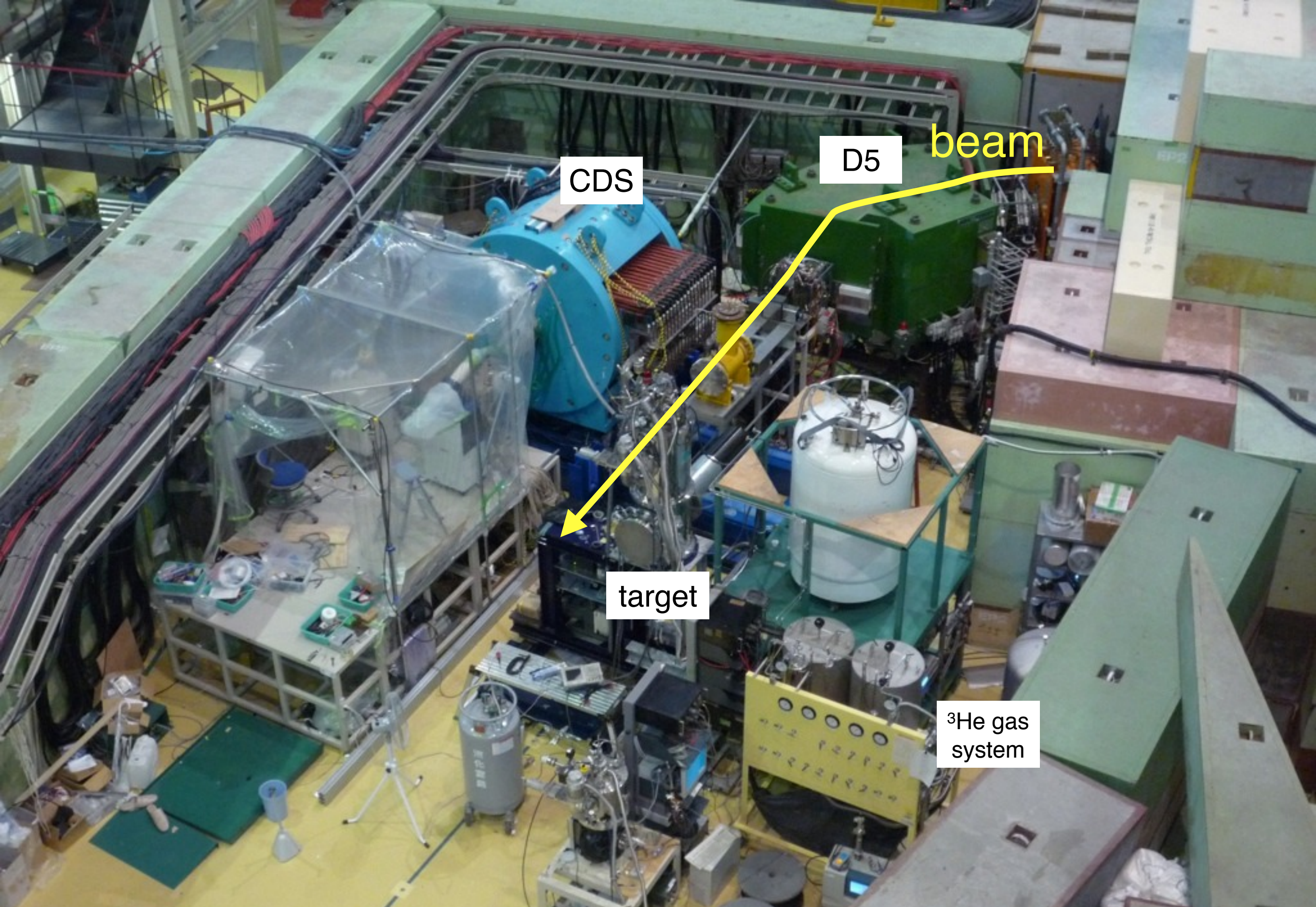
- 反応点を再構成し標的内事象を選択
(標的: 1g/cm^2 , $R=3.2\text{ cm}$)
- 標的直前でのエネルギー損失と
反応点の位置との相関でin-flight
decay/reaction 事象を除去



SIDDHARTAとの比較

J-PARC E17 (E570の実験手法を踏襲)		SIDDHARTA
Silicon Drift Detector (SDD) 100 mm ² × 8, ~1.0%	X線検出器 acceptance	Silicon Drift Detector (SDD) 100 mm ² × 144, ~10%
~130 K 時間分解能 ~ 500 ns FWHM	SDD温度	~170 K 時間分解能 ~ 700 ns FWHM
πに誘起されたTi&Ni X線 in-beam	エネルギー校正	X線管でTi&Cu X線を誘起 高統計, 低BG, rate依存性
入射ビーム&2次粒子飛跡検出 標的直前でのdEdX測定	標的内事象選択	×
液体/Be容器 他のKaonic atom X線のなし	標的／標的容器	気体／Kapton容器 コンプトン散乱少、KC/KN/KO
FADCによる波形解析等パイルアップ除去 応答関数の詳細なstudy	その他	複数の既知のX線ピーク 水素、重水素標的のデータ

秋のビームタイムの利用



K1.8BR experimental area @ Oct, 2010

Run35(2010年10月)

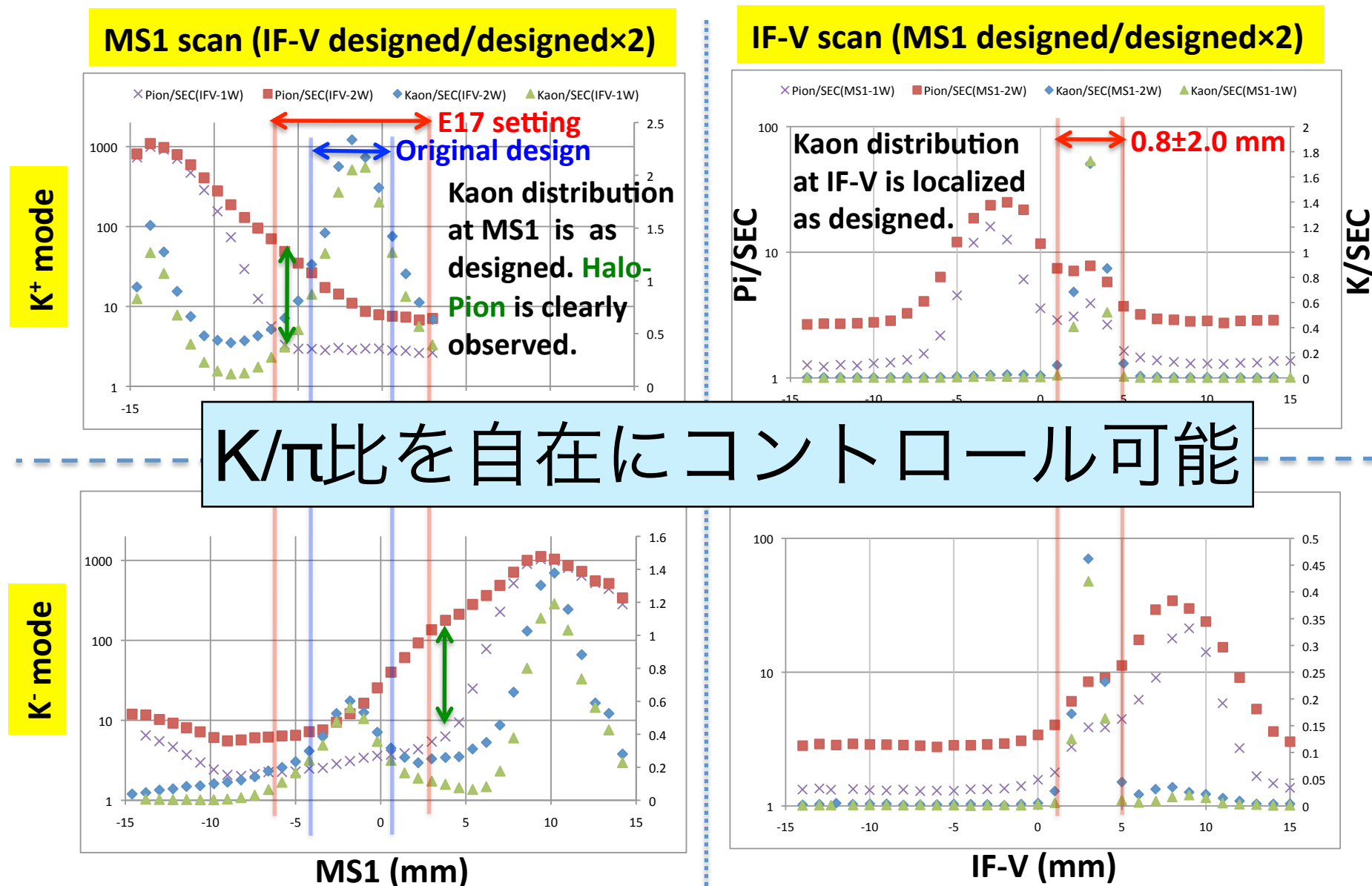
Date	Time (Executed)	Beam Intensity*	target	Momentum(GeV/c) /polarity/ES1(±kV)	Study (Note)
Oct. 17 ~ Oct. 18	22:12~10:12 (11.9 hours)	1.20×10^{12} ppp (0.95 kW)	Pt	+0.8 Unseparated->200 -> Unseparated->200	Trigger tuning -> D tuning (K^+ ,p) -> IF-V/MS1 offset study -> Q7,Q8 study for beam focus ("T0 coin off for K/pi trg.")
Oct.18 ~ Oct.19	21:38~5:05 (7.5 hours)	1.20×10^{12} ppp (0.95 kW)	Pt	+0.9 -> -0.9 200	D tuning (+) -> trigger tuning-> Q7,Q8 study -> slit acc./dep (K^+) -> D tuning (K^- ,pbar) ("T0 coin off for K/pi trg.")
Oct. 20	01:27~01:35 (0.1 hours)	1.27×10^{12} ppp (1.0 kW)	Pt	-0.9 200	Acc. Trouble. No beam.
Oct. 20 ~ Oct. 21	20:02~09:50 (13.8 hours)	1.27×10^{12} ppp (1.0 kW)	Pt	-0.9 200->scan	Trigger study -> kick-angle acc. (K^-) -> slit acc./dep. (K^-) -> D tuning (pbar) -> slit acc./dep. (nbar) -> kick-angle acc. (nbar)
Oct. 21 ~ Oct. 22	23:05~01:45 (2.7 hours)	0.12×10^{12} ppp (95 W)	Pt	+0.9 200	(CDS study)
Oct. 22	2:12~6:37 (4.4 hours)	1.27×10^{12} ppp (1.0 kW)	Pt	+0.9 200	(CDS study)
Oct. 22 ~ Oct. 24	22:16~9:20 (35.0 hours)	3.70×10^{12} ppp (2.92 kW)	Pt	-0.9 200	(CDS study)
Oct. 25 ~ Oct. 26	21:06~0:44 (3.6 hours)	3.68×10^{12} ppp (2.90 kW)	Pt	+0.9 200	Slit acc./dep. (K^+ , retry) -> K^+ profile measurement (MS1)
Oct. 26 ~ Oct. 27	21:42~09:45 (10.5 hours)	3.68×10^{12} ppp (2.90 kW)	Pt	+0.9->-0.9 200 ->scan	K^+ profile measurement (IF-V) -> Q7,Q8,O1,S3 study -> kick-angle acc. (K^+) -> K^- /pbar yield study -> K^- profile measurement (IF-V, MS1) -> TOF (pbar)

* Intensity at MR Flat Top (3.16 kW = 4.01 Tp pp)

beam-tune
CDS
comissioning

ビームライン調整

- ▶ E17 で使用予定の 0.9 GeV を中心に調整
 - 光学(D,Q,S,O)、Acceptance、Slit、Yield, 中心運動量
- ▶ K1.1BRの建設等で昨年度と状況が変化
 - SlitのOffset、Pionのハロー等
 - 毎サイクル、中心運動量の測定やSlit位置の確認が必要

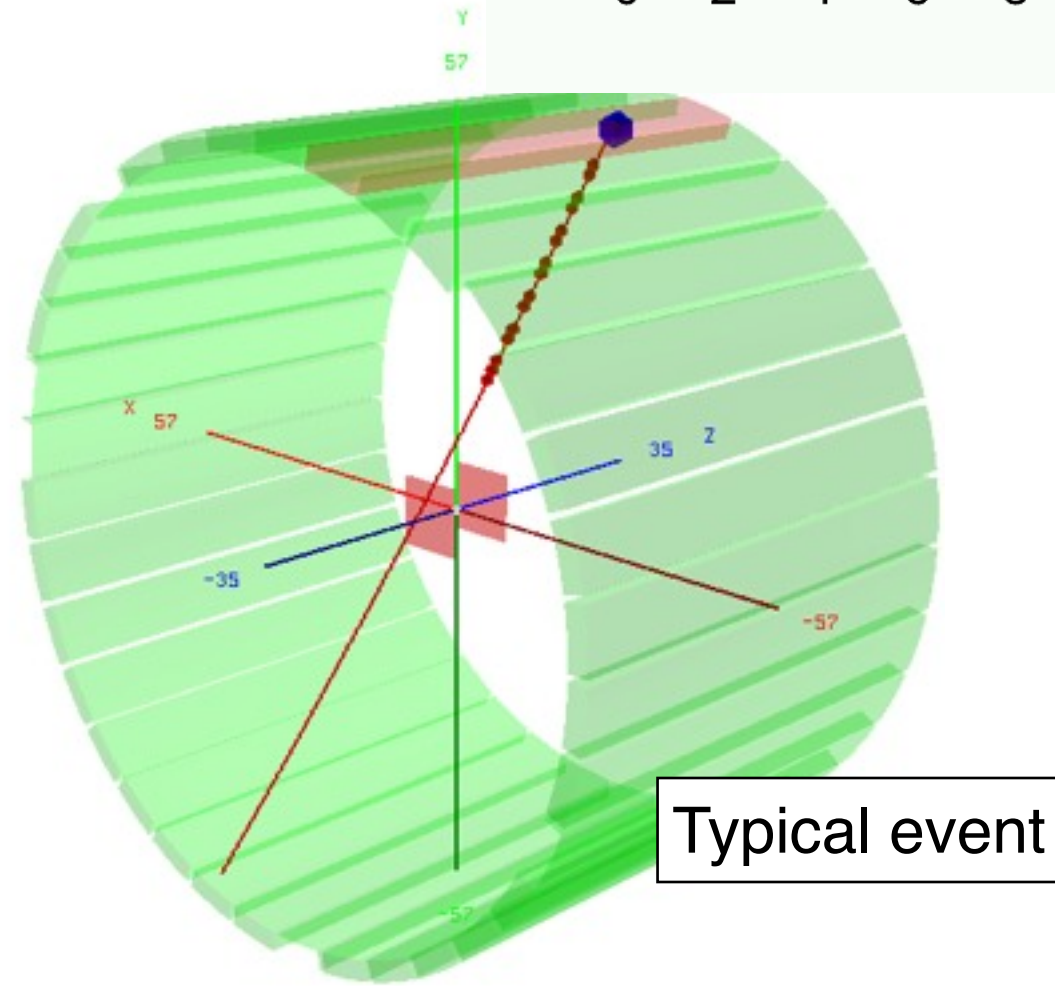
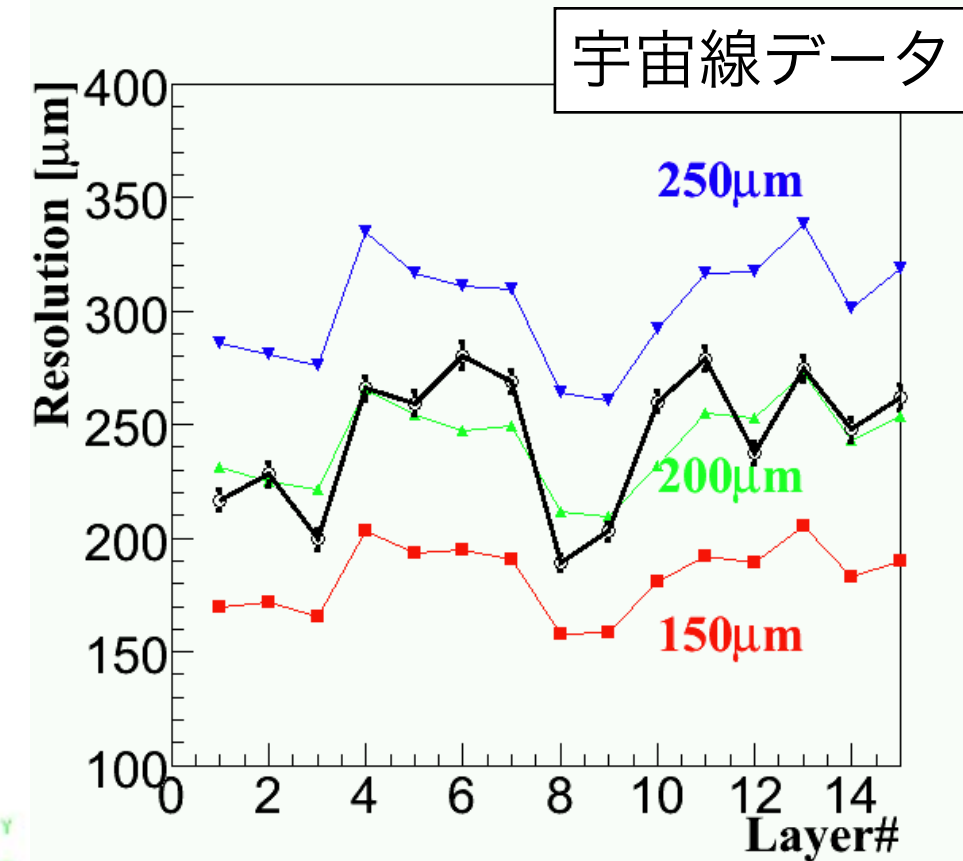
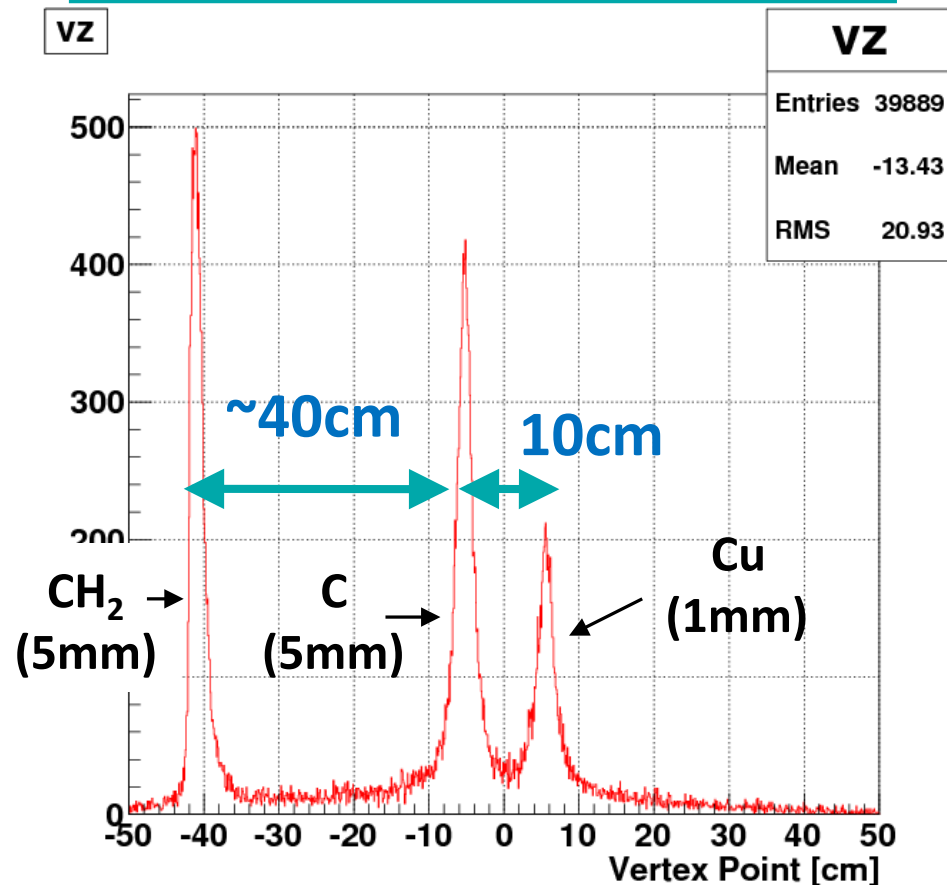


CDS校正

-詳細は金曜朝の佐田氏の講演-

- ▶ 0.9 GeV/c π^+ ビーム : πp 弾性散乱
- ▶ 磁場なしで直線飛跡測定 of データ取得
- ▶ Efficiency > 99%, CDH 分解能 $\sigma = 71$ ns (宇宙線データ)

Vertex Point Z

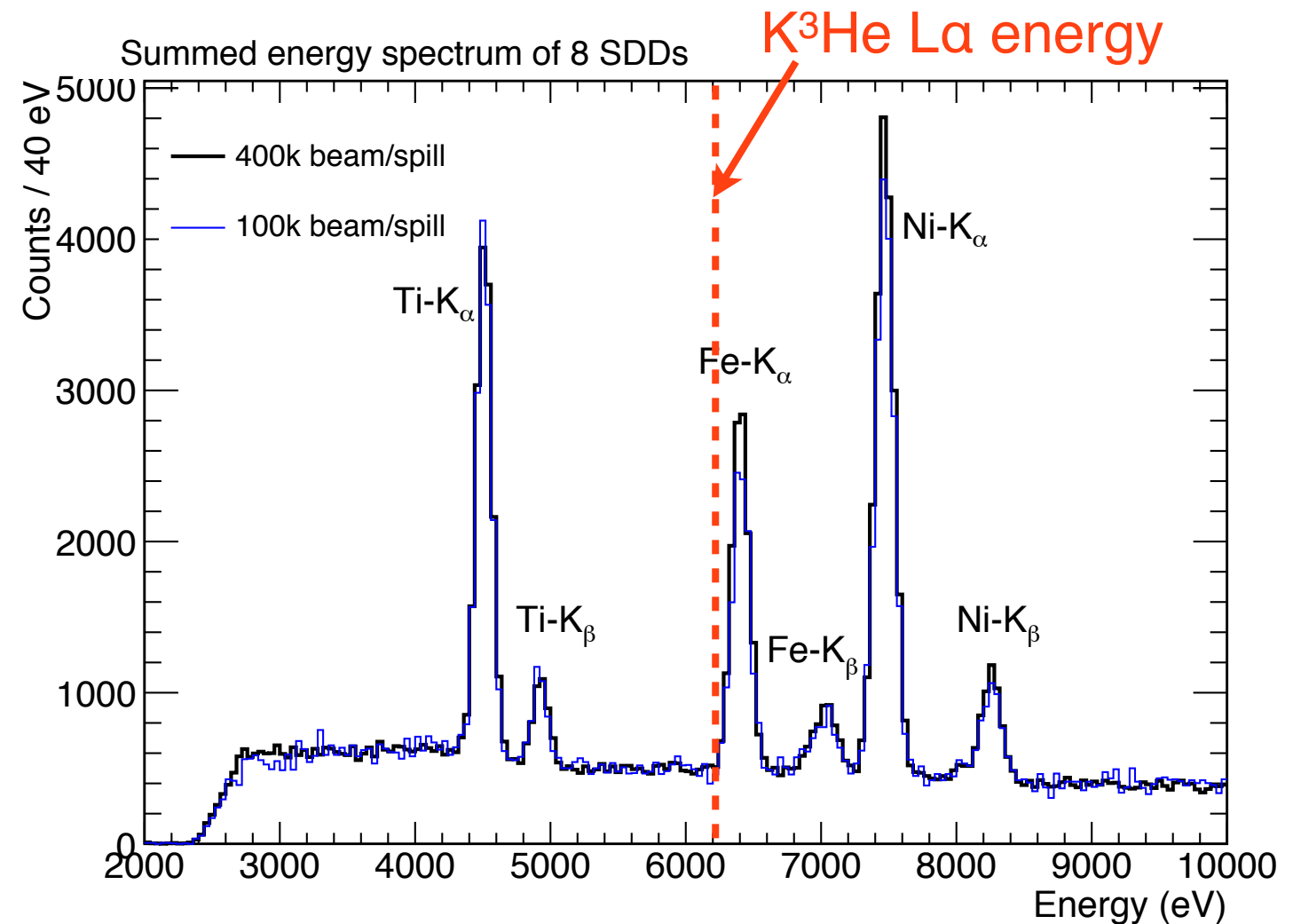
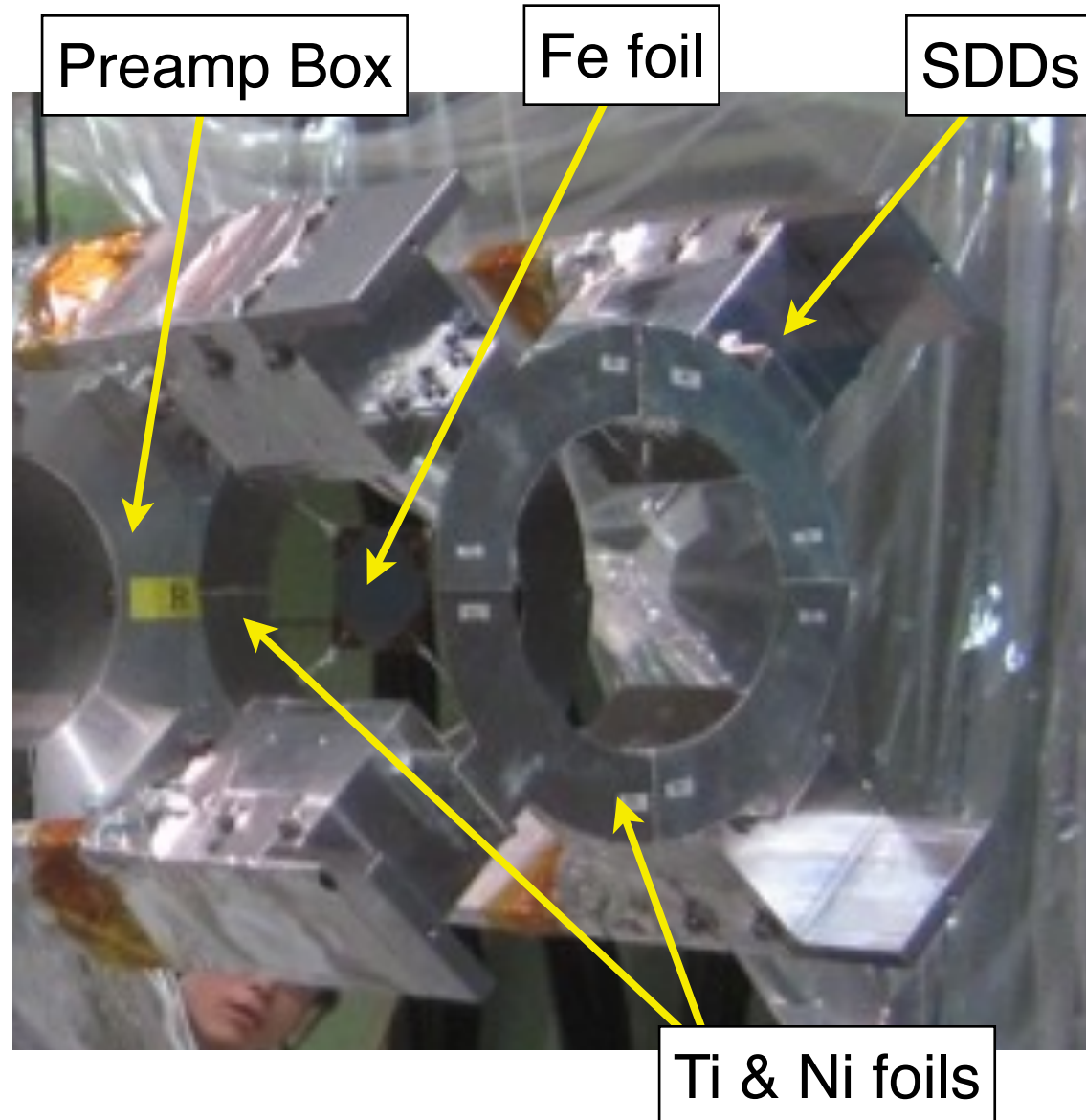


Run 36 -SDD commissioning -0.9 GeV/c K-tune beam-

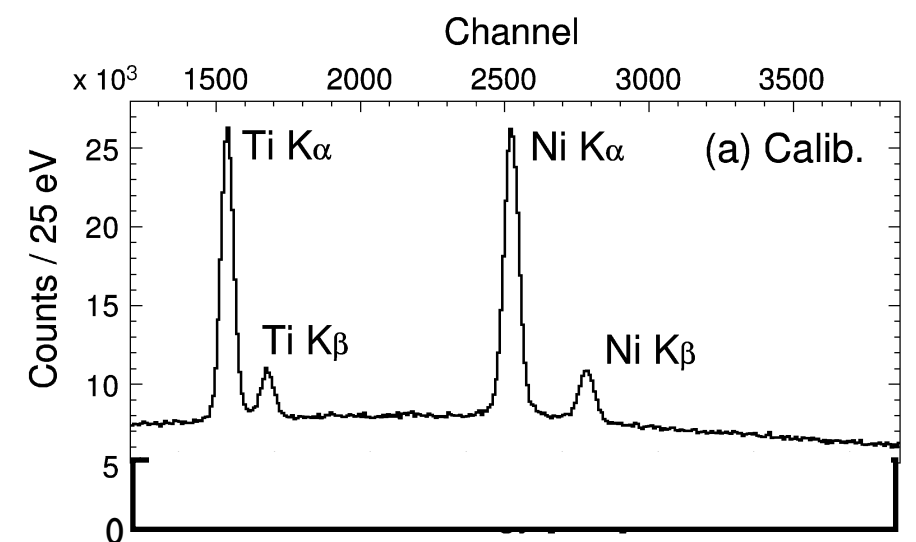
date		run#	time	rate on “Defining”	meta run#	remark
Nov 8 2.9 kW	High rate	0~4	3 h	~400 k/spill	1	
	Middle rate	5~7	3 h	100 k	2	
Nov 8~9 3.15 kW	High rate	8~9	2.5 h	400 k	3	
	Middle rate	10~12	3.5 h	100 k	4	
	Self	13	45 min	1 M	5	
	Direct Hit	15/19	45/35 min	50 k	6, 7	D5=-1540/-1435
	Beam profile	16, 18, 21	40 min			
Nov 9~10 3.55 kW	High rate	23, 26	1.5 h	400 k	8	
	pileup run	24~25	1 h	400 k	9	highTh VETO 0.1
	low rate	27	2 h	40 k	10	
	High rate	28~31	3.5 h	400 k	11	
	beam profile	32~34	20 min			
	Self pileup	35~36	1 h	1.4 M	12, 13	highTh VETO 0.1 / 0.01
	beam profile	37	20 min			

Additionally, Sr90 data were taken during day-time

SDD校正



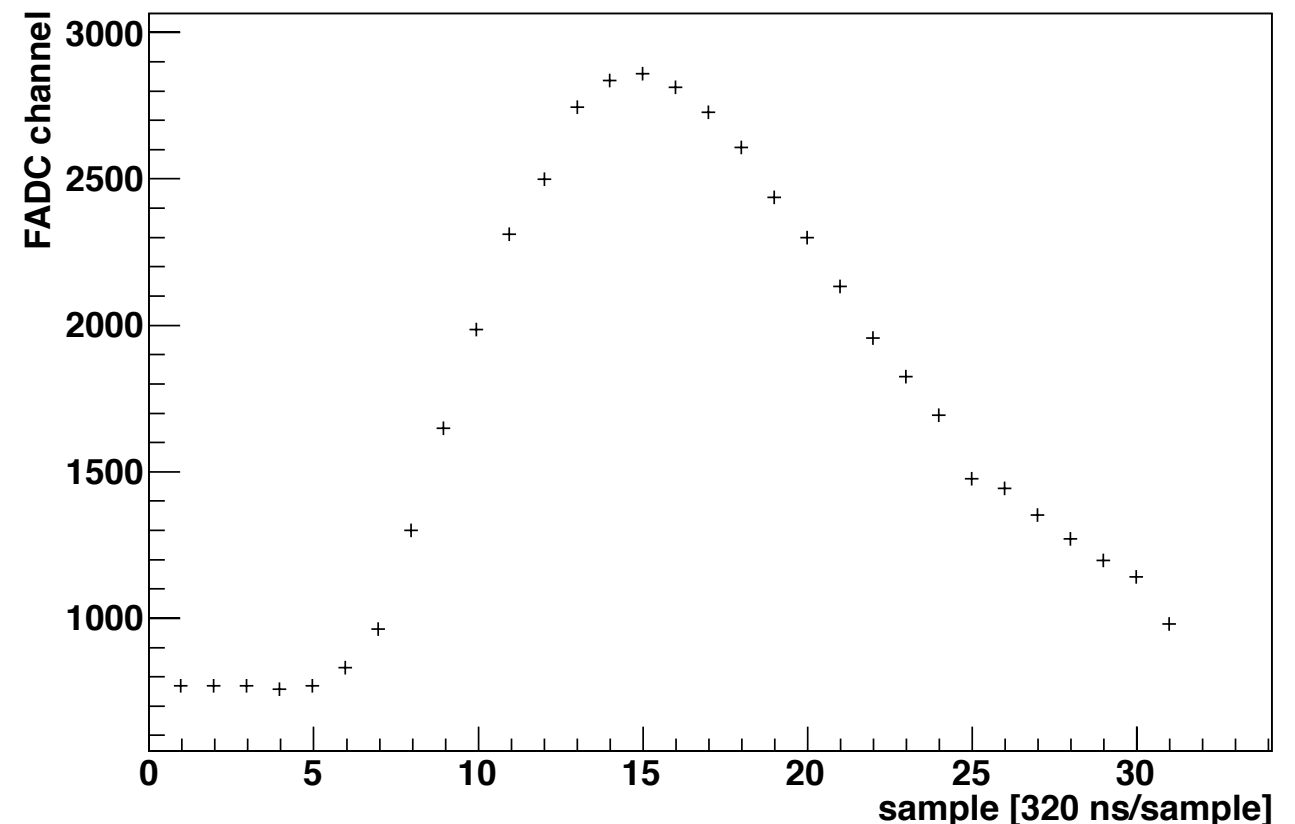
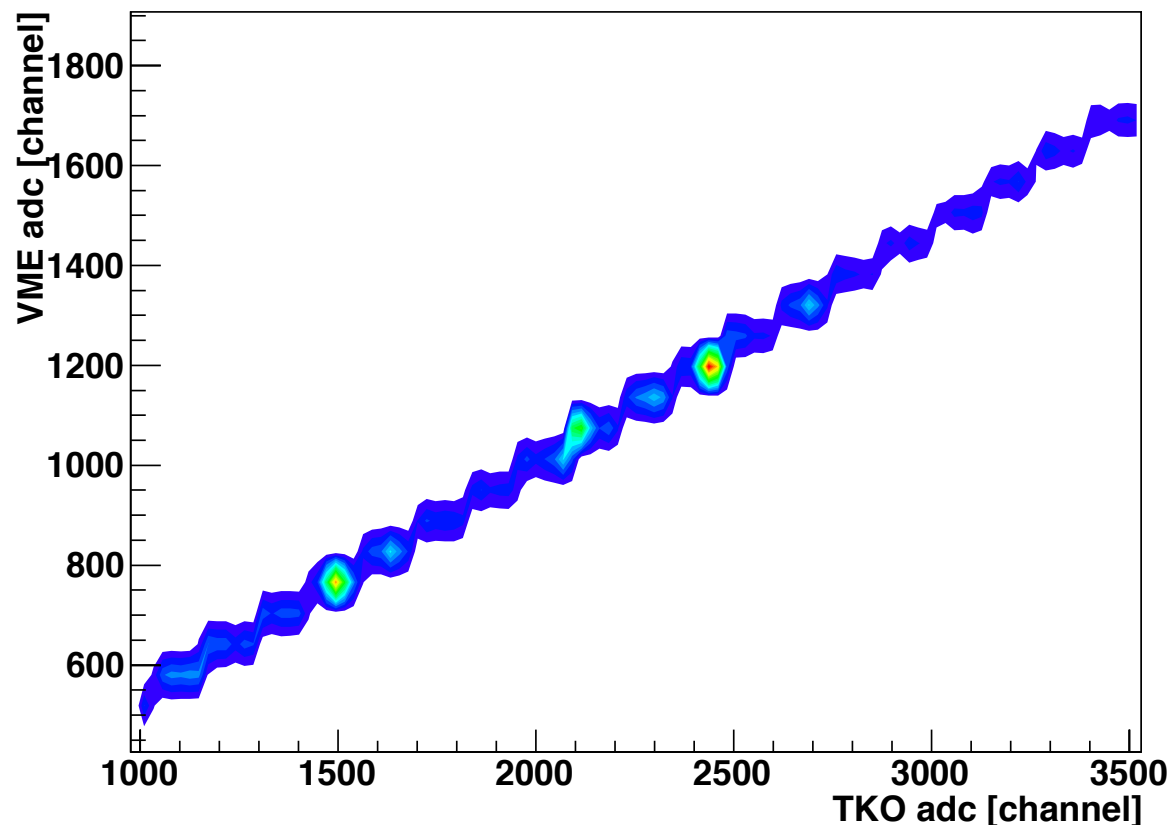
- ▶ 8台のSDD全てビーム中で正常に動作
 - エネルギー分解能 ~ 150 eV @ 6.2 keV
- ▶ “calibration spectrum”のS/NはE570より改善
 - rate依存性はほぼない
- ▶ 特性X線のYieldはMCと一致



E570 SDD self trigger data

FADC & ビームラインデータ

- ▶ 2nd level triggerの構築によってBeam-lineのdataも取得
 - チェンバートラッキングでフォイル位置を選択
 - TOFによる粒子識別などの解析も可能
- ▶ TKO DAQに平行してVME DAQで波形データ等を取得
 - offlineでTKO-VMEのイベント照合に成功
 - パイルアップ事象の解析等

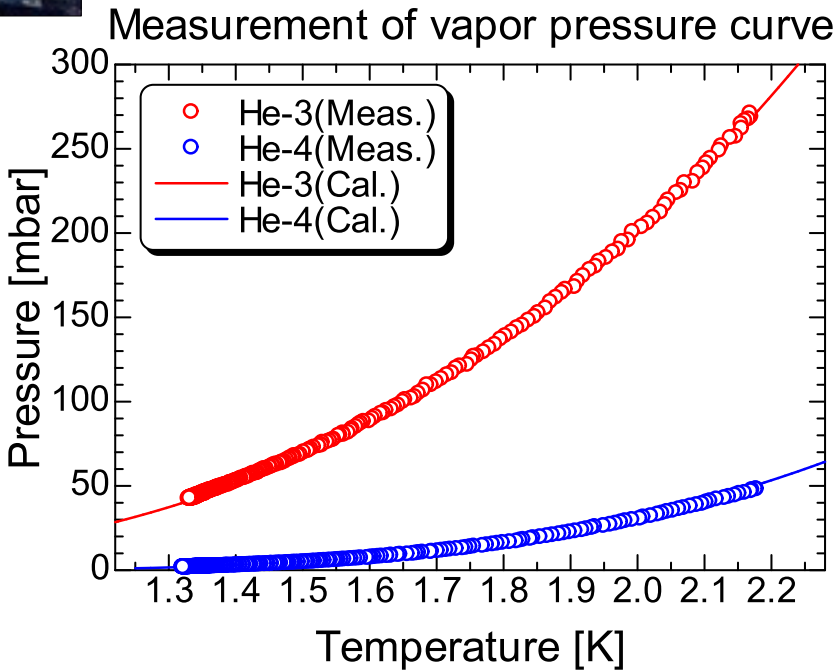
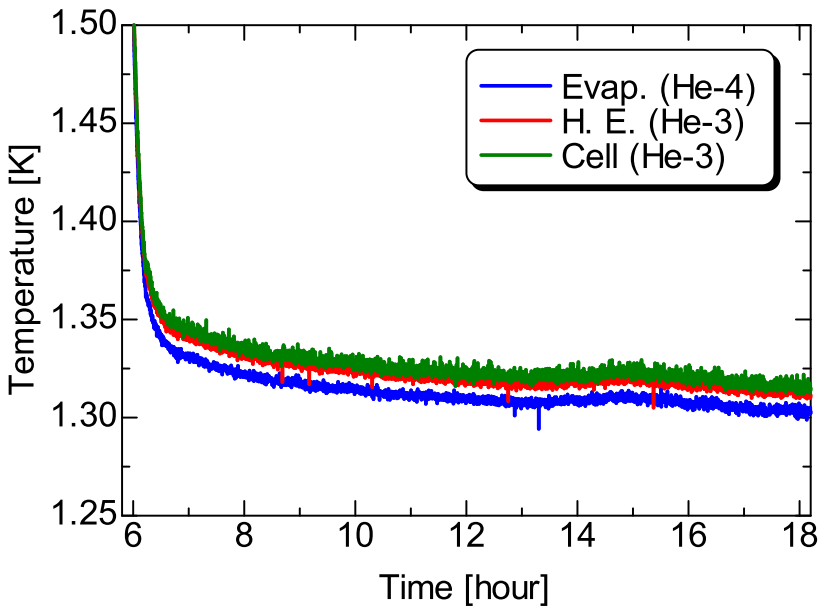
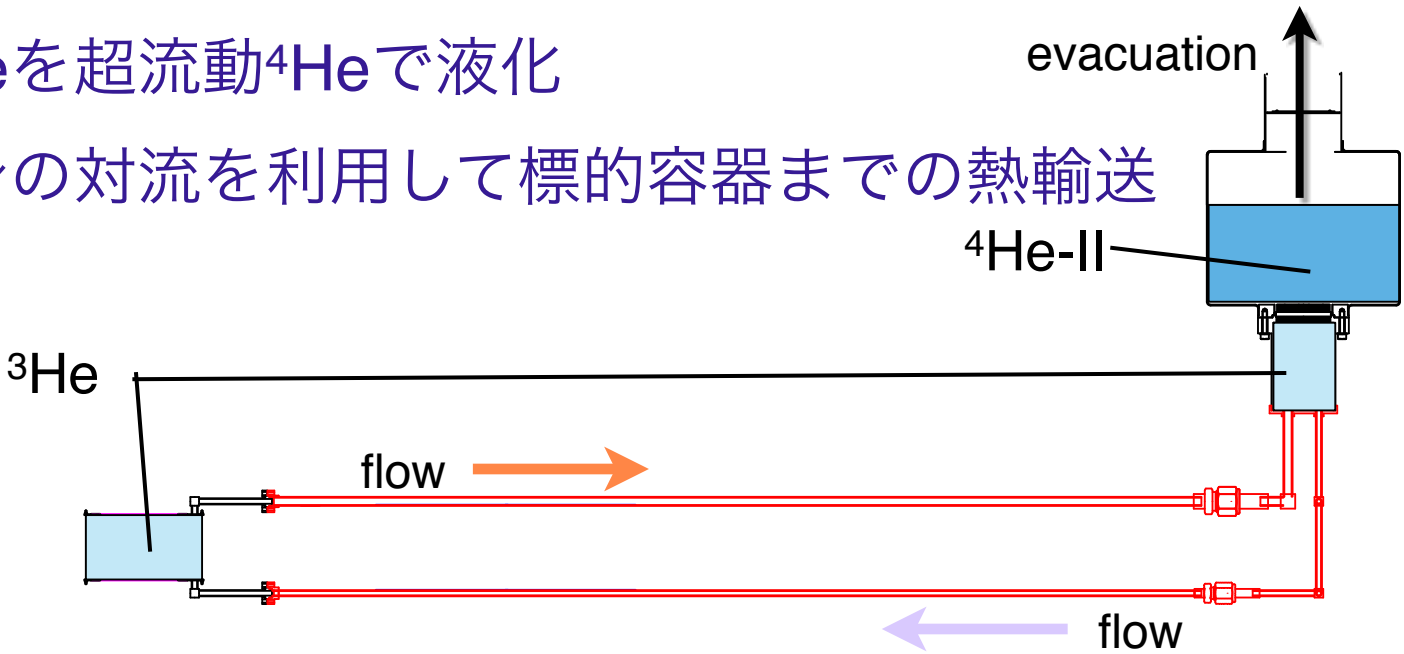


その他の準備状況

液体 ^3He 標的



気体 ^3He を超流動 ^4He で液化
 ^3He 自身の対流を利用して標的容器までの熱輸送



KEKで ^3He の液化、
熱負荷の抑制に成功

	w/o SDD (E15)	w/ 4SDD	w/ 8 SDD (est.)
Temp. in Target Cell	1.3 K	1.4 K	< 1.5 K
L ⁴ He Consumption	45 L/day	65 L/day	85 L/day
Heat load to 1K part	0.19 W	0.26 W	0.33 W

cf. 0.48 W @E570

先週からJ-PARCでの
Heテストを開始

まとめ

- ▶ K1.8BR最初の実験であるJ-PARC E17は
K中間子 ^3He の $3d \rightarrow 2p$ X線を2 eV未満の精度で測定する。
 - ~ 0 eVシフト or > 5 eV シフト? シフトの符号?
- ▶ 今秋のビームタイムでビーム調整
CDS及びSDDの校正データ取得を行った。
- ▶ ^3He 標的等他の準備も完了しつつある。
- ▶ 2011年中に物理データの取得完了を目指す。