

K中間子ヘリウム原子 X線測定実験のための検出器系 II

東京大学

竜野 秀行

for KEK-PS E570 collaboration

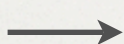
1. 導入

なぜ SDD ?

E570実験： X線精密測定 (統計誤差 ~ 2 eV)

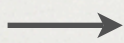
X線検出器に求められるもの

高統計



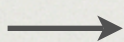
大きな有効面積 (100 mm²)

高精度



エネルギー分解能
(~ 160 eV @5.9 keV)

低バックグラウンド



薄さ (Si(Li)の1/10)
時間分解能 (Si(Li)と同じ ~ 120 ns)

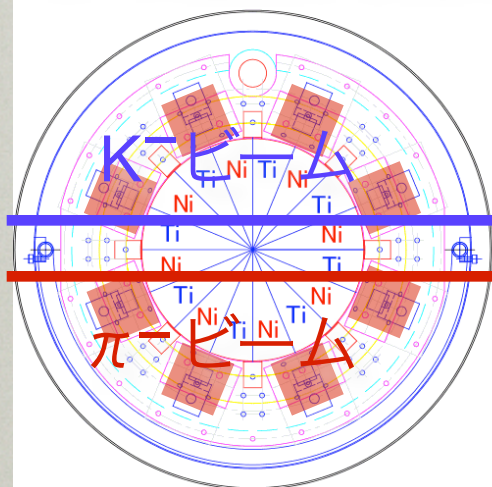
Si(Li) は同時に
満たし得ない



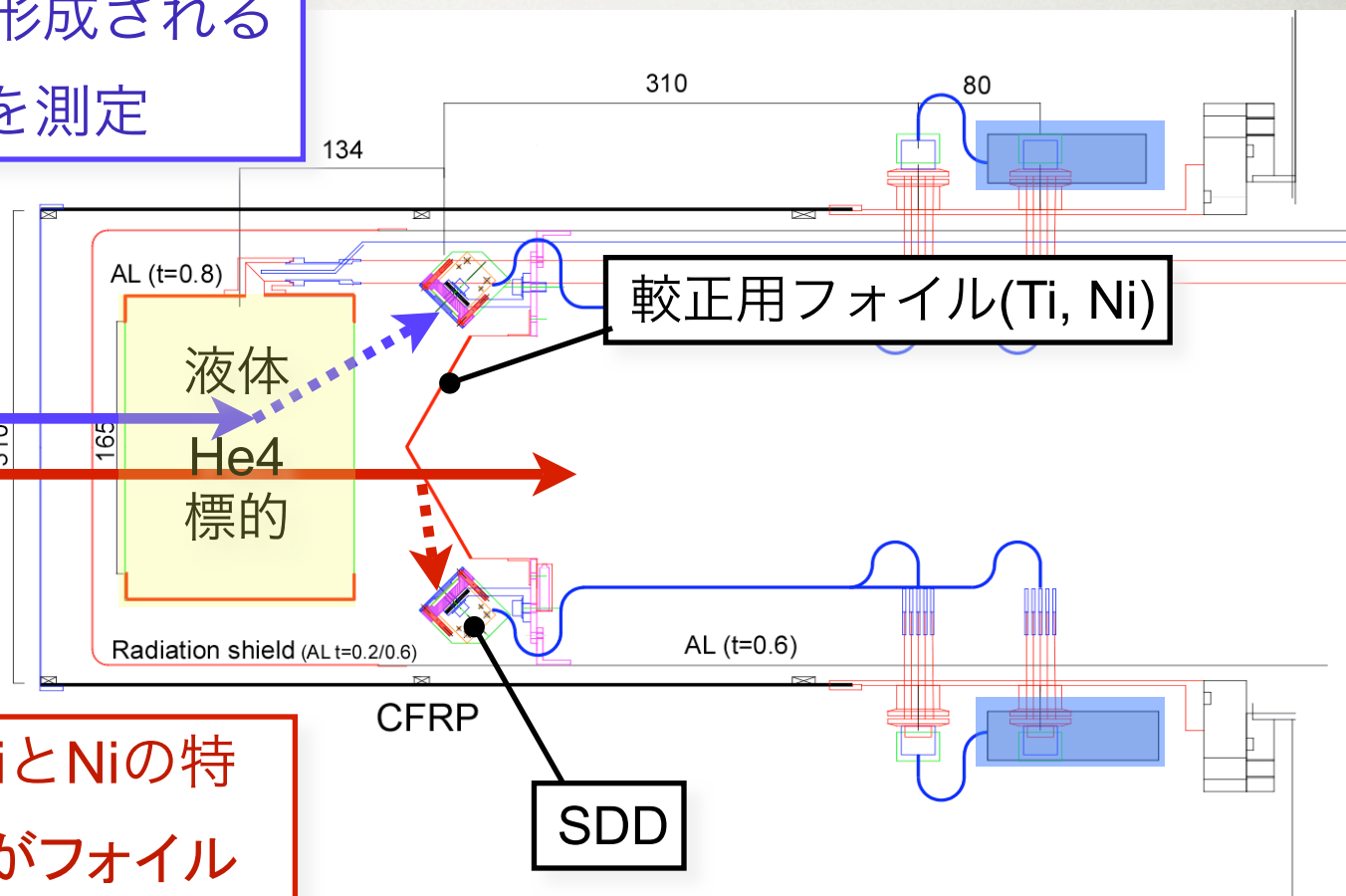
**Silicon Drift Detector
(SDD)**

E570 実験で何を測定したか？

液体ヘリウム4標的内で形成される
K中間子原子からのX線を測定



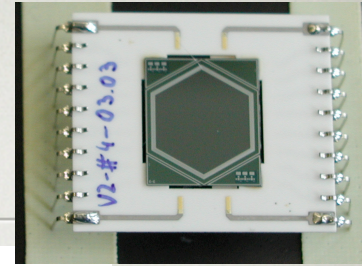
エネルギー較正としてTiとNiの特
性X線を測定 (主にπ-がフォイル
を励起)



2. X線検出器 SDD

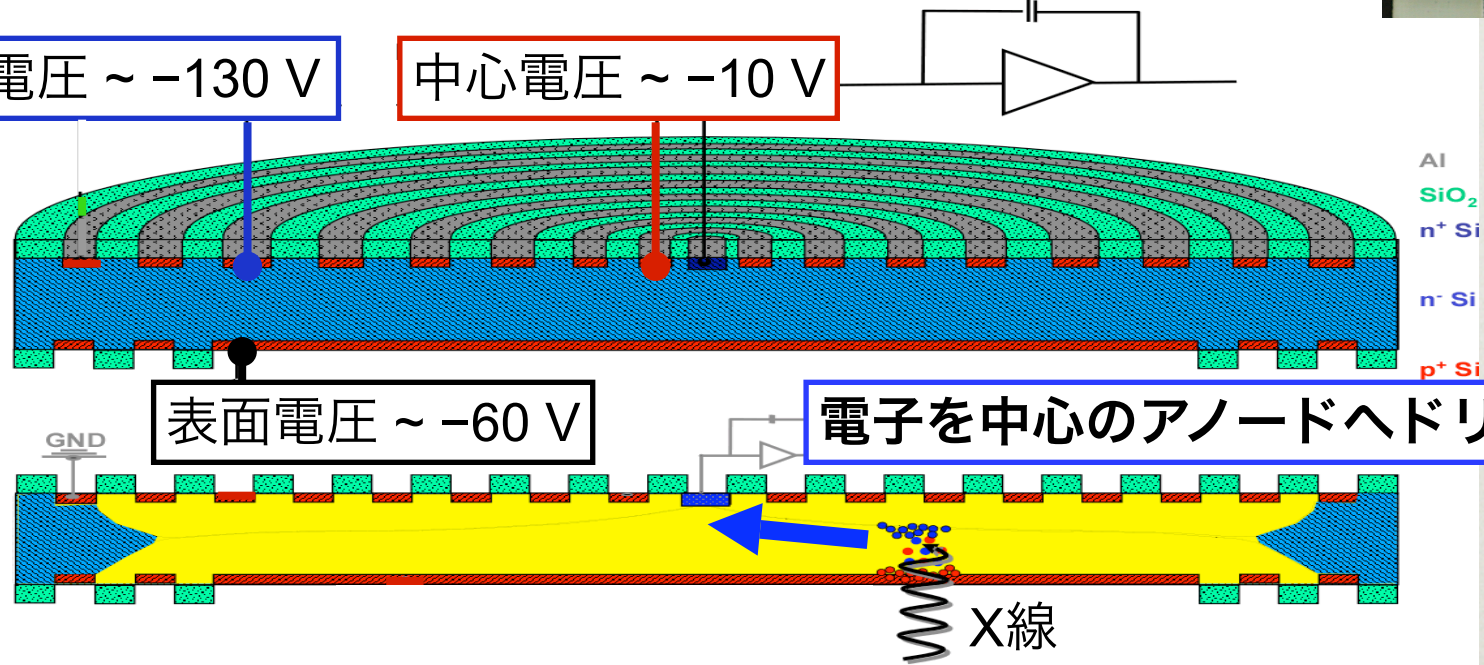
- ・ Silicon Drift Detector の原理
- ・ エネルギー分解能
- ・ 時間分解能

Silicon Drift Detector (SDD)



最外電圧 ~ -130 V

中心電圧 ~ -10 V



表面電圧 ~ -60 V

電子を中心のアノードへドリフト

▷ 高分解能

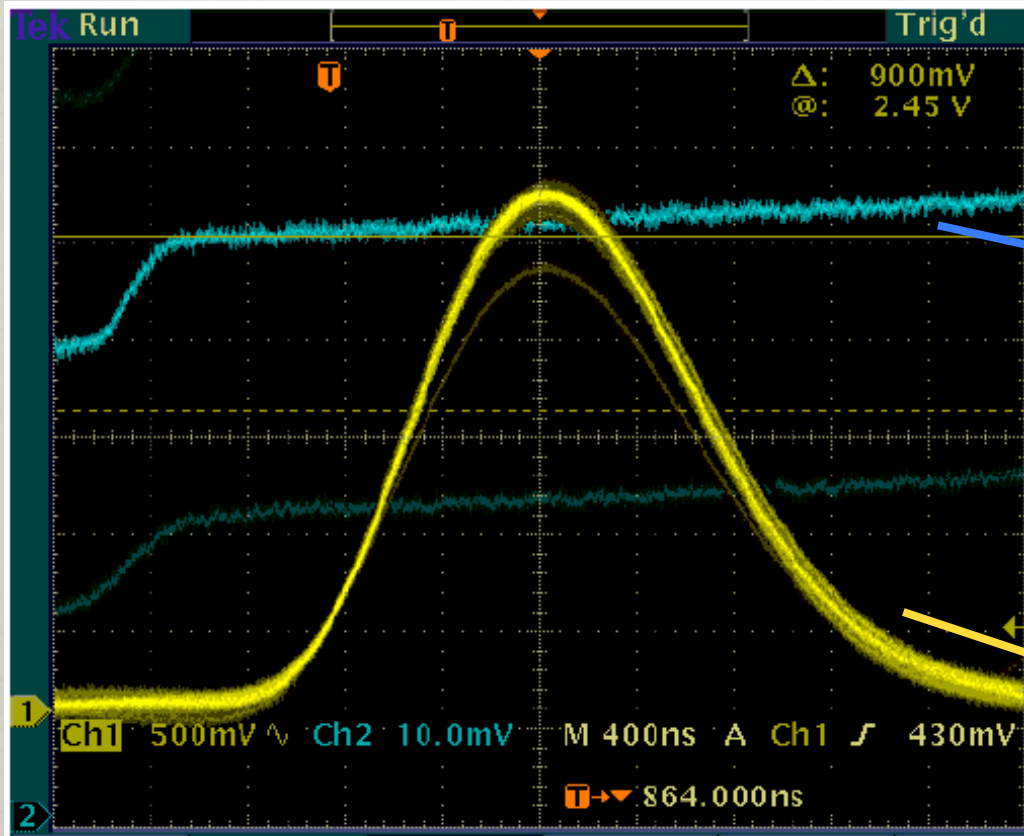
アノードを極小化 → 有効面積 100 mm² を維持しながら小キャパシタンスを実現し分解能がよい。

$$C = \epsilon S/d$$

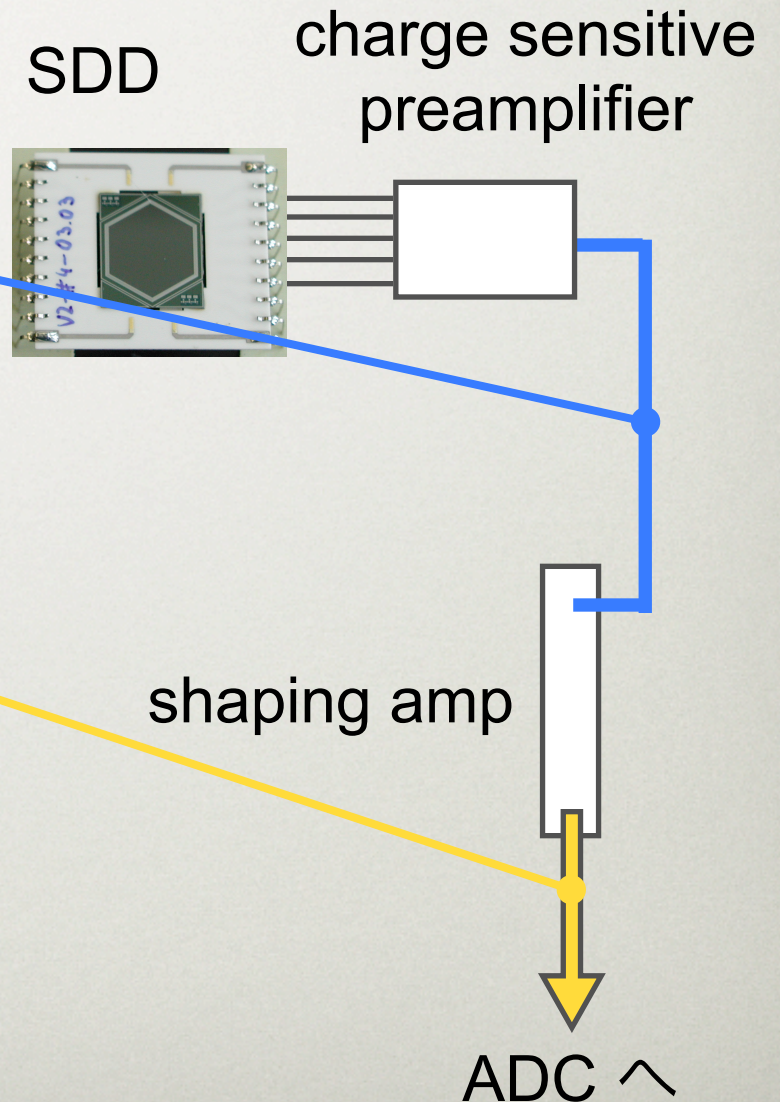
▷ 低バックグラウンド

小キャパシタンス → 検出器の厚さを Si(Li) の1/10 に (0.26 mm)。
γ線や他のX線が引き起こすソフトコンプトン散乱からなるバックグラウンドを抑制。

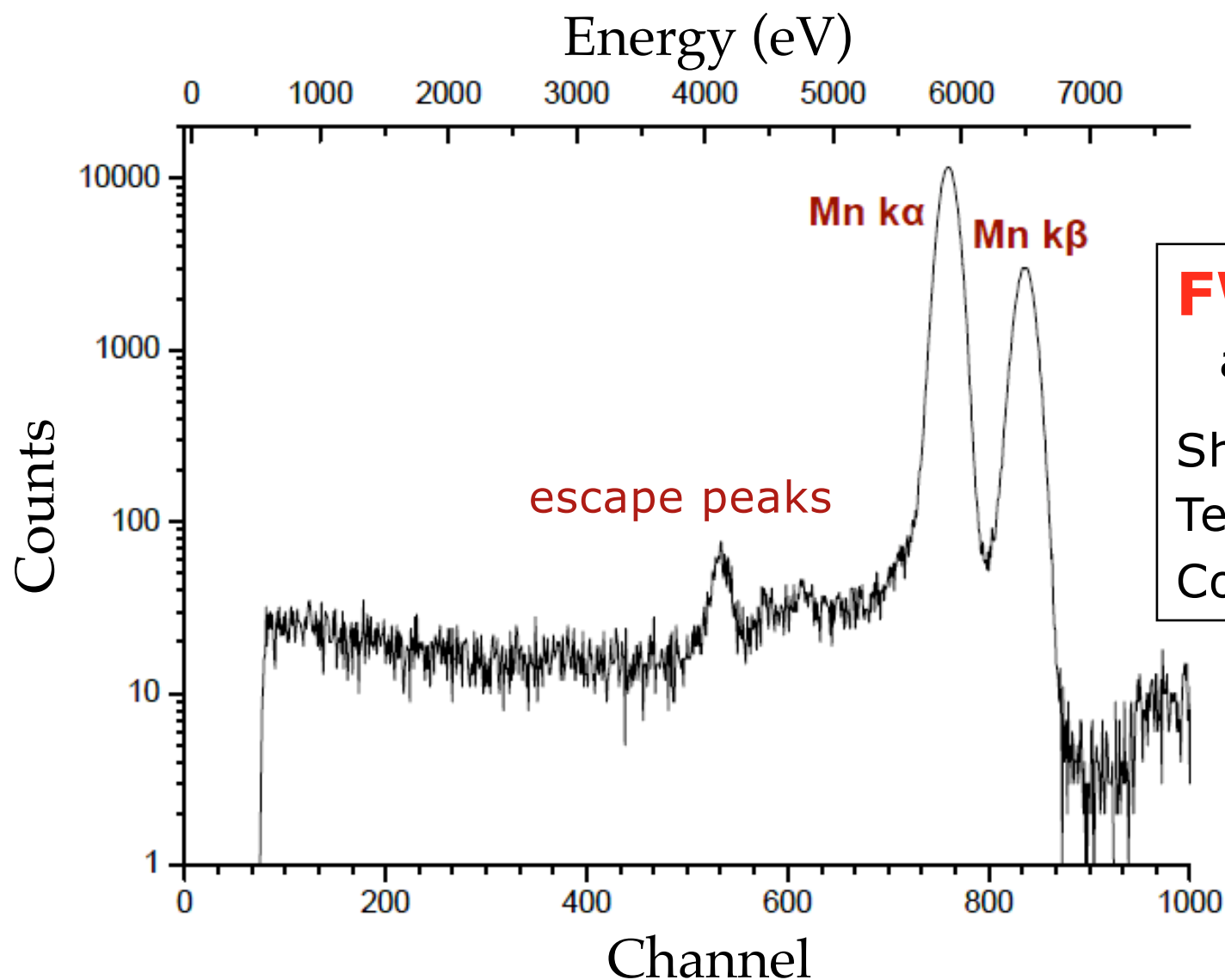
SDDのアナログシグナル



Mn K α : 5.9 keV photon



エネルギー分解能 (^{55}Fe 線源)



FWHM = 163 eV

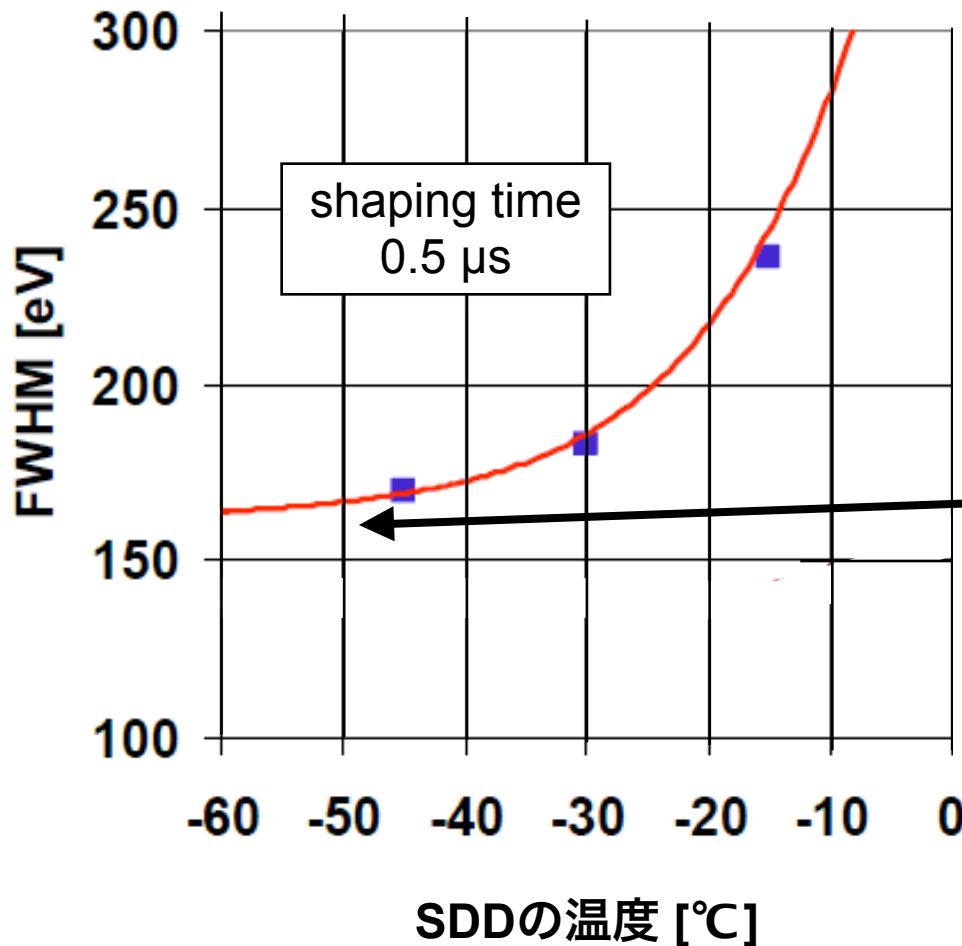
at $\text{MnK}\alpha_1$ 5.9 keV

Shaping time 1.0 μs

Temperature $-40\text{ }^\circ\text{C}$

Count rate 10 kHz

エネルギー分解能の温度依存性



■ 100 mm² SDD
— ノイズ フィット

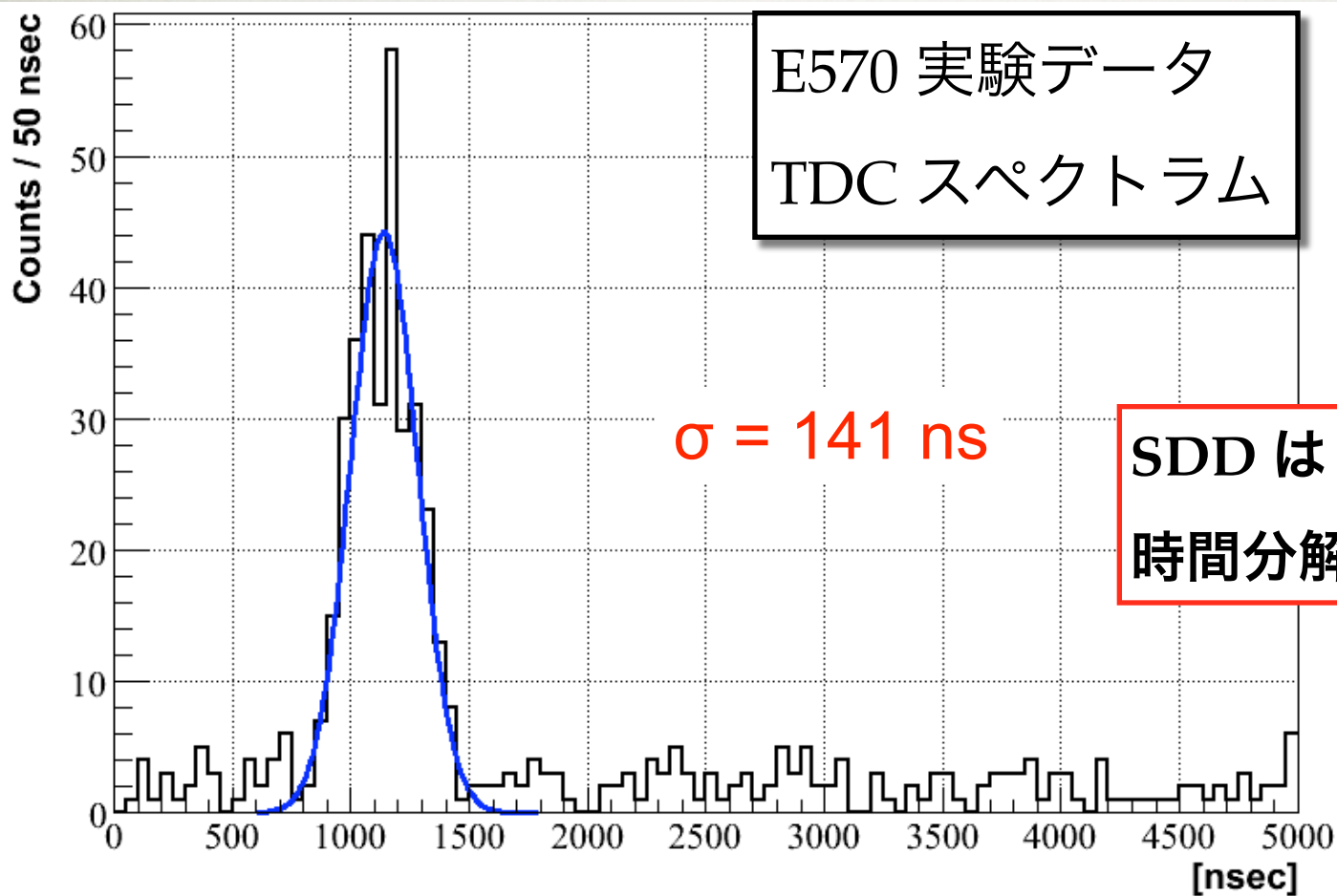
リーク電流のノイズへの寄与は -60 °C で最小値に到達

-50 - -60 °C の領域で
分解能 (FWHM) は
~160 eV @ 5.9 keV

J. Kemmer, Andreas Pahlke CET04 (KETEK)

-50°C 以下の温度領域で安定な分解能

時間分解能 (preliminary)



SDD は Si(Li) に劣らない
時間分解能をもつ

横軸：K中間子が標的内で止まった時点から、
SDDがシグナルを送り出すまでの時間差

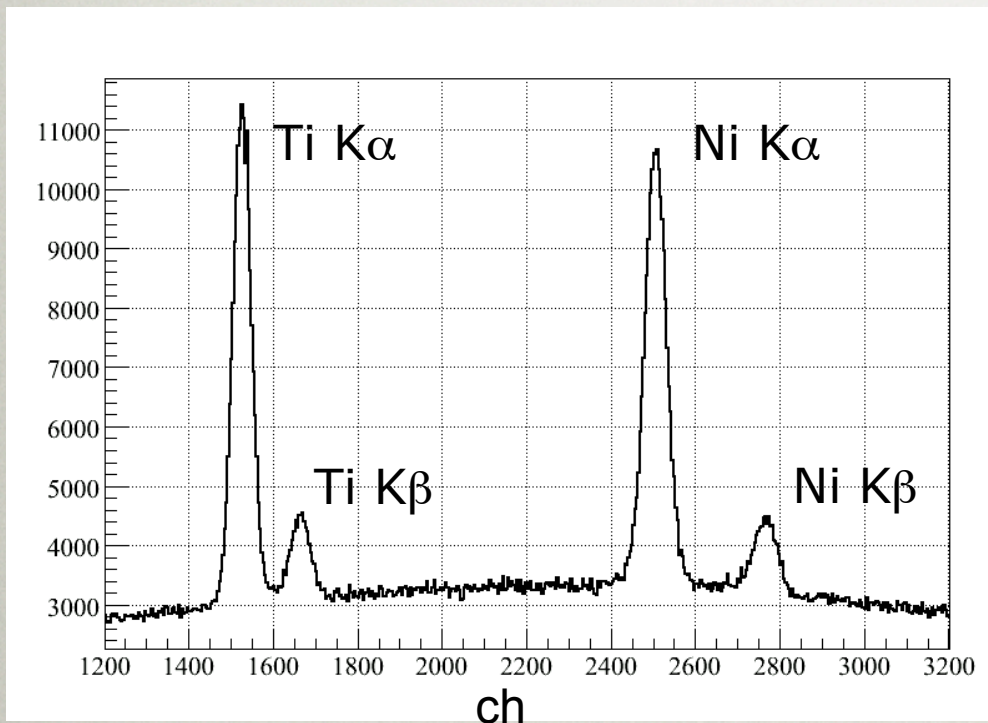
cf.) Si(Li) を使った実
験 (KEK-PS E228) で
は $\sigma = 123 \text{ ns}$
T.Ito, PRC58,2366

3. E570実験におけるSDDの安定性

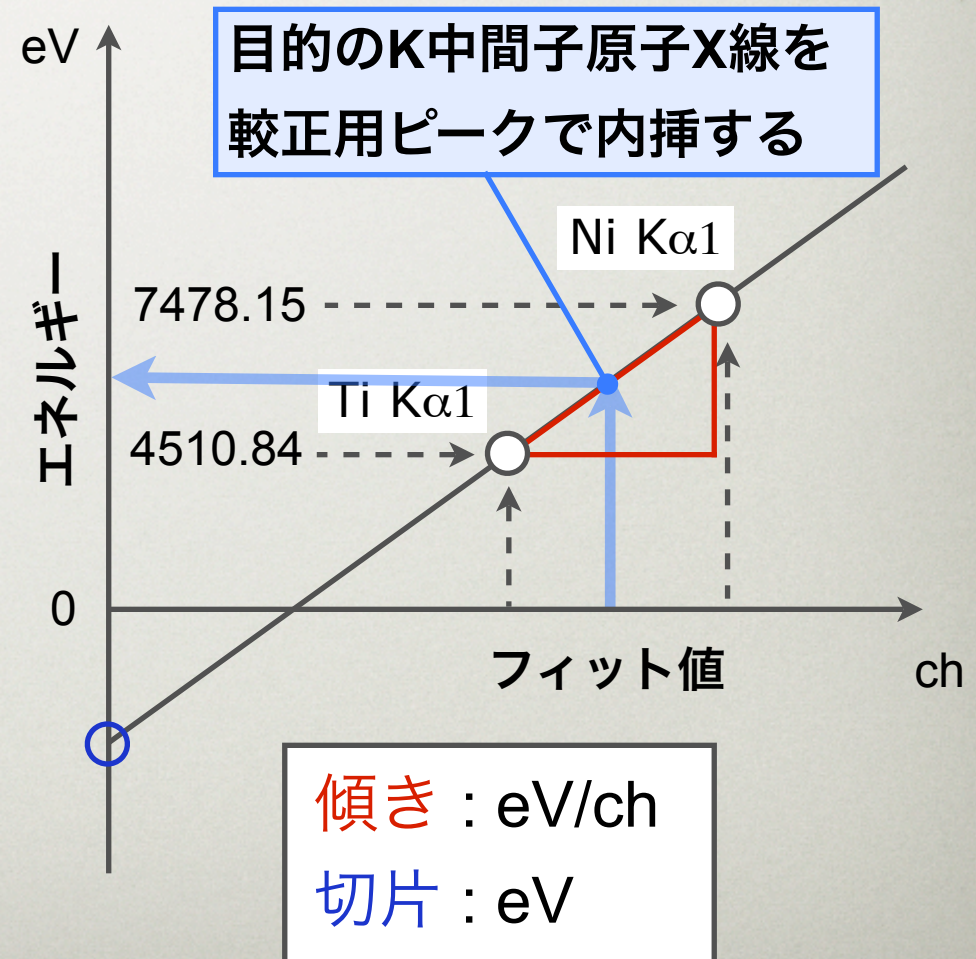
- Ti と Ni の特性X線による較正
- SDDの温度とエネルギー分解能
- ペDESTAL

TiとNiの特性X線による較正

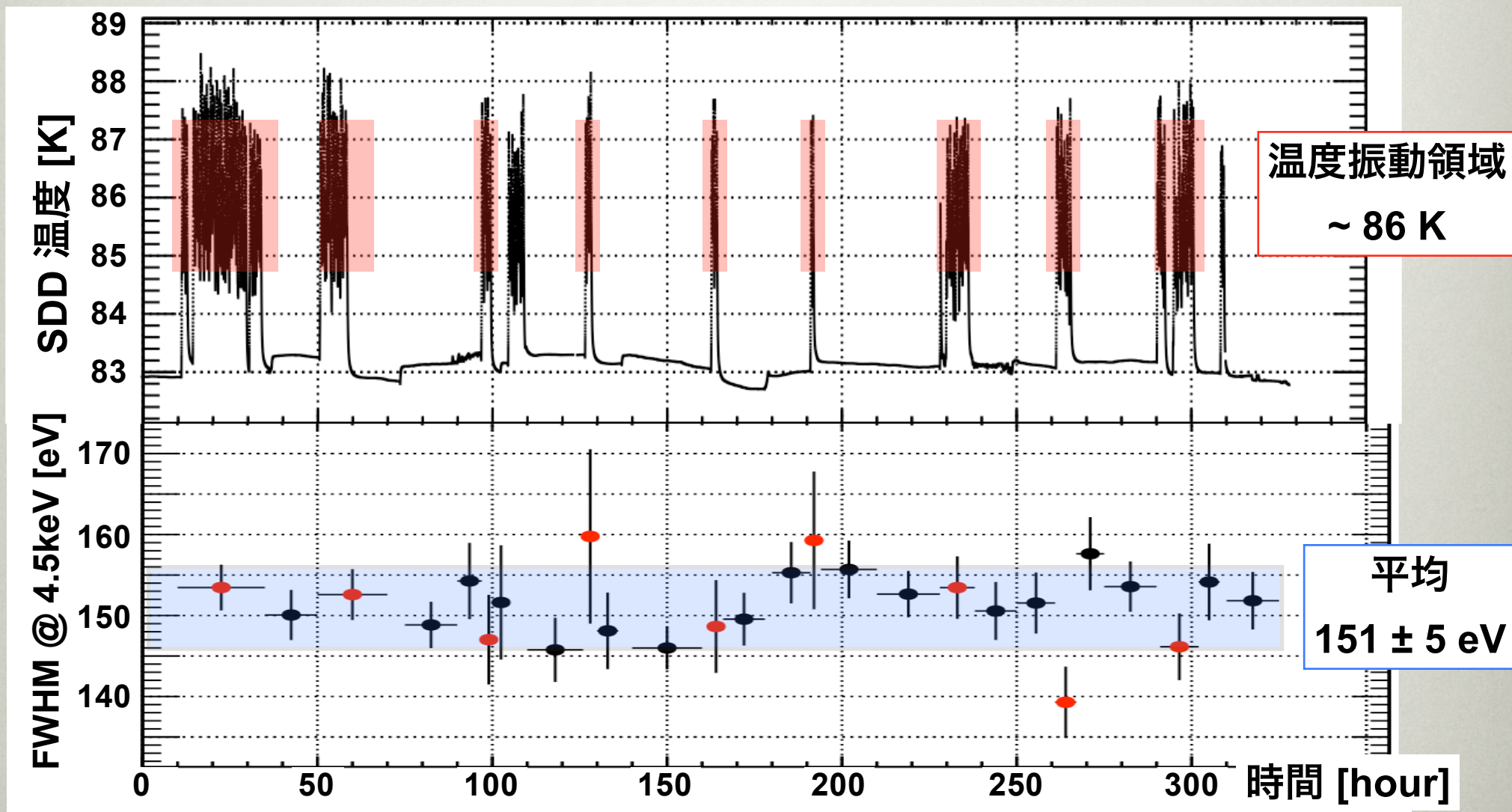
エネルギー較正用のTiとNiの特性X線により、シグナルを取りながら、分解能、ゲインを監視



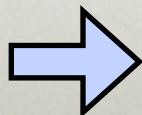
ガウス関数フィット → 中心値、幅



SDDの温度とエネルギー分解能



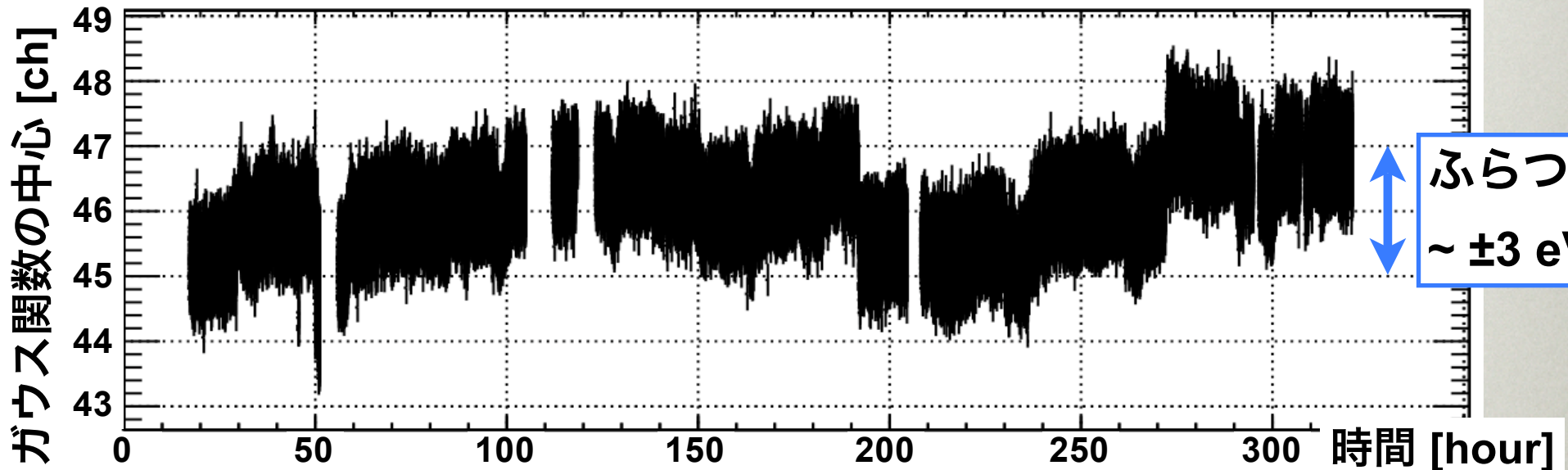
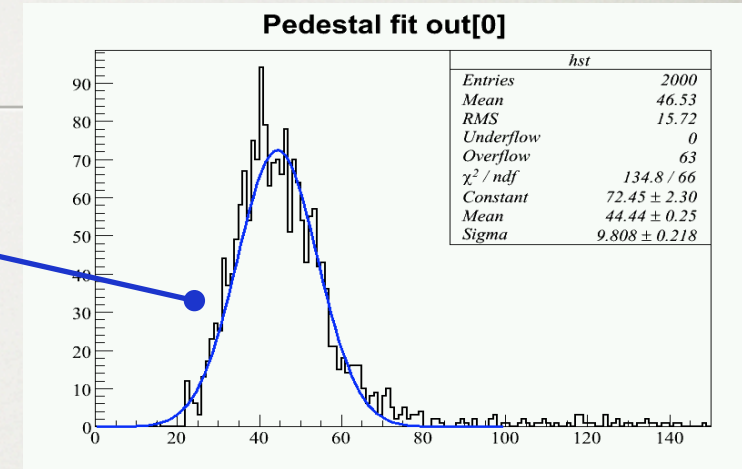
温度振動領域でも分解能は不変



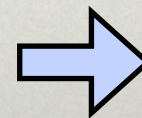
温度変化によるゲイン変動は無視可能

ペDESTAL

ペDESTALを数千イベントごとに
ガウス関数でフィット



ペDESTALは2週間という長い実験期間で ± 3 eV 程度しかふらついていない



ゲイン変動は小さく無視できる

まとめ

▷ Silicon Drift Detector (100 mm²)

- エネルギー分解能 ~160 eV @ 5.9 keV
- -60°C 近傍の温度領域で安定
- 低バックグラウンド ← 薄い (0.26 mm)
- 時間分解能 ~140 ns (Si(Li) に劣らず)

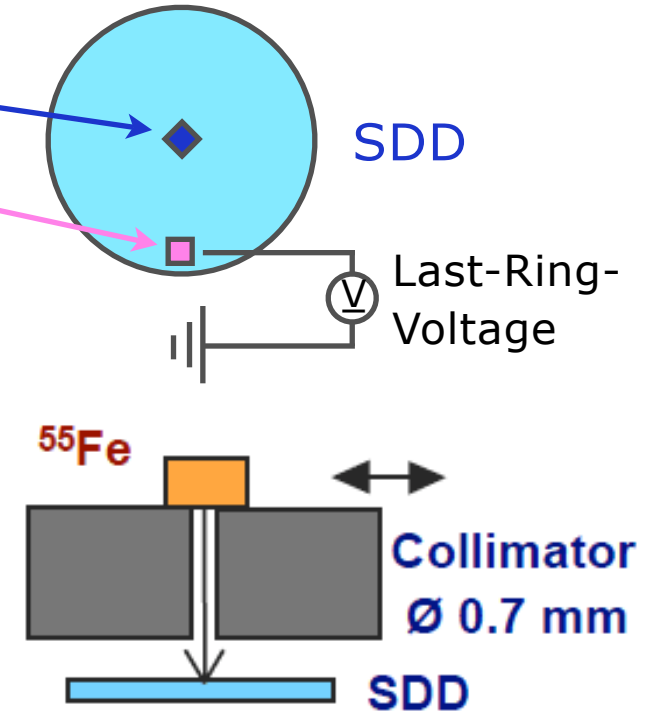
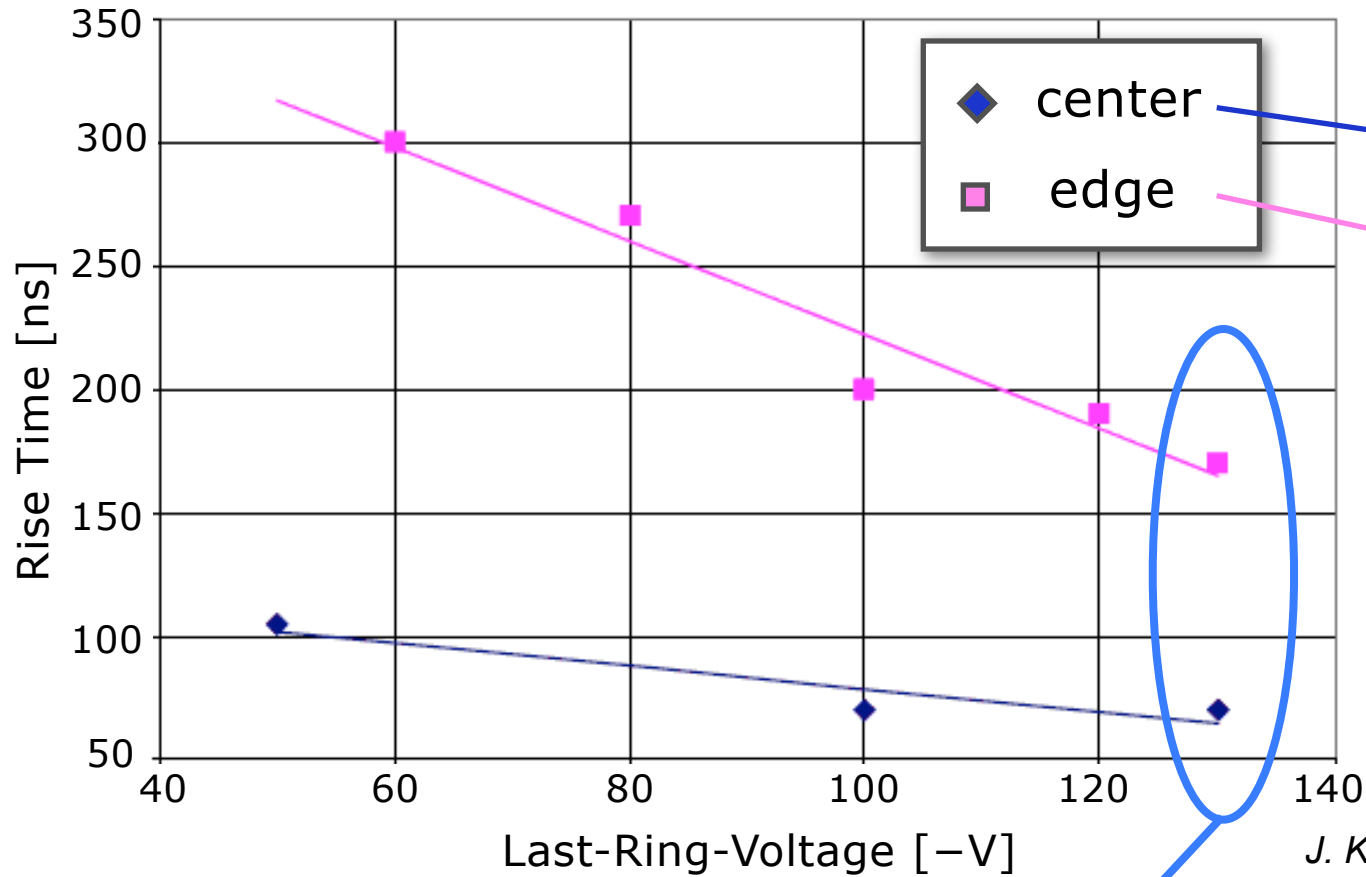
▷ E570実験におけるSDDの安定性

- エネルギー分解能は温度 (@ 83 K) に対して安定
 - 温度変化によるゲイン変動は無視できる
- ペDESTALは実験期間中で ±3 eV 程度しかふらつかない
 - ペDESTALによるゲイン変動は小さい

安定な条件で良質なデータを取得、精度の良い較正が可能

3. スペア

Signal Rise Time



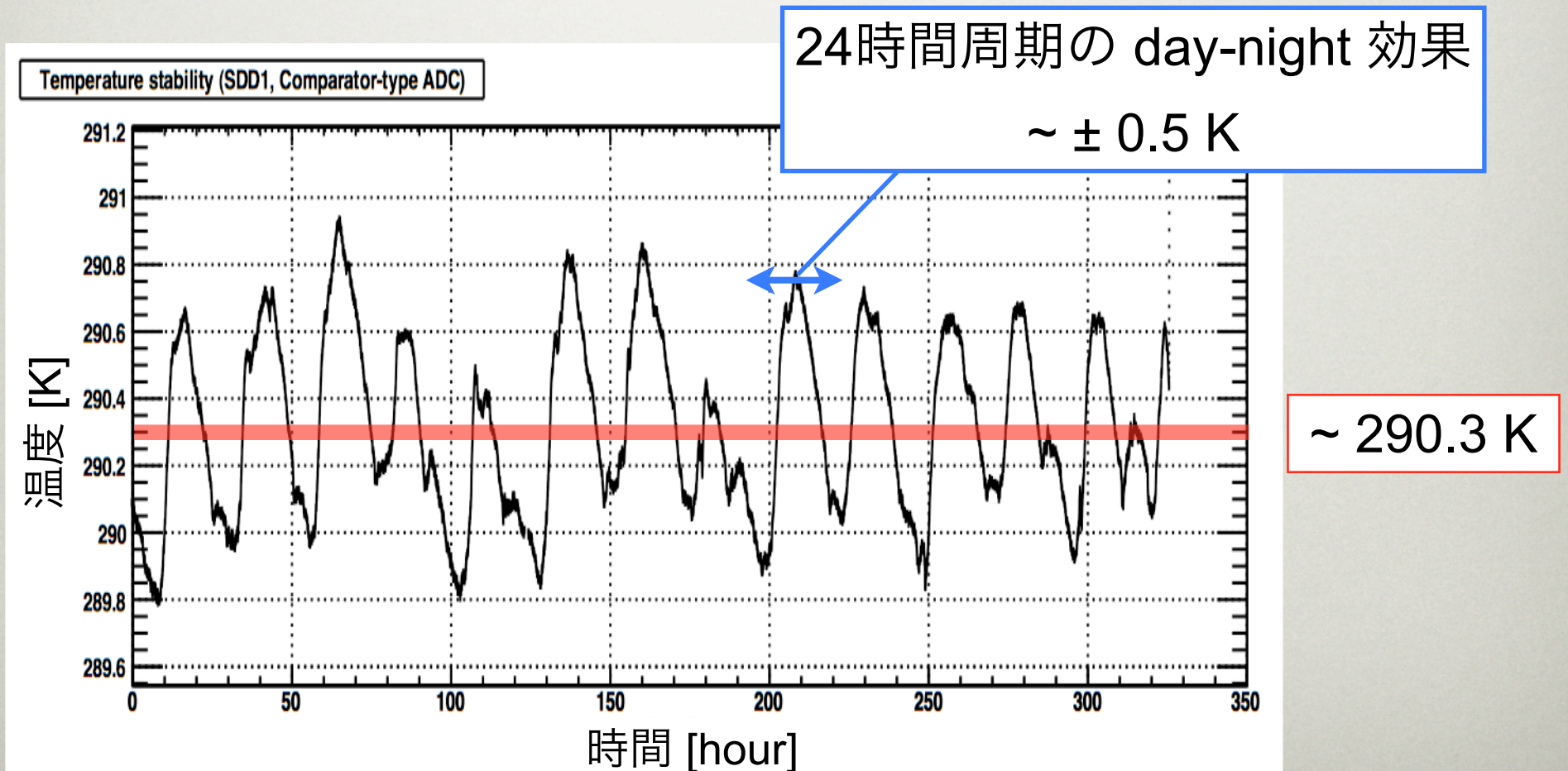
J. Kemmer, Andreas Pahlke CET04 (KETEK)

最外リング電圧-130Vのとき、中心における rise time と端からドリフトさせたときの rise time では、およそ 100 ns 異なる

温度安定性 (プリアンプ)

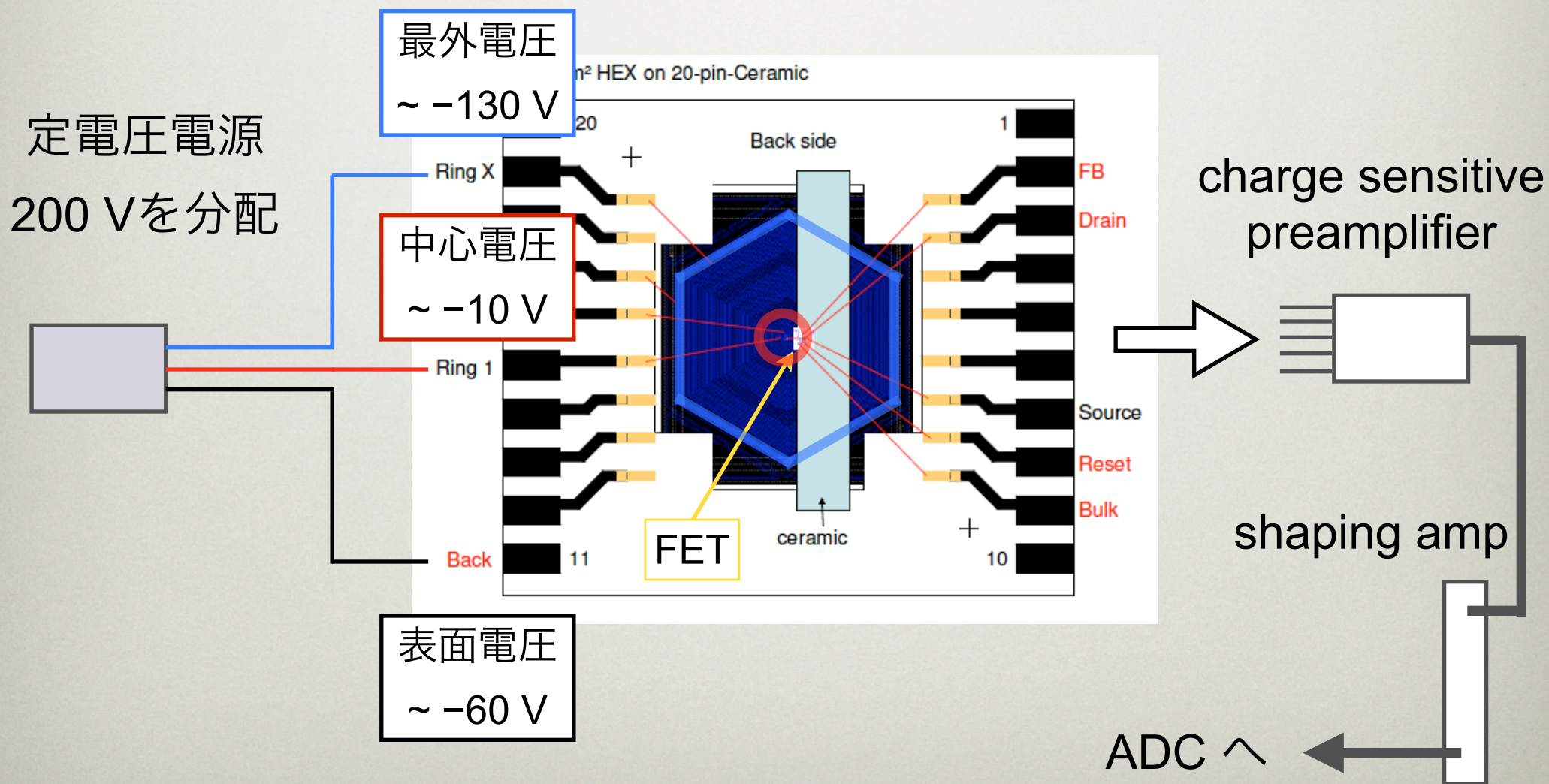
水を用いた循環冷却：～ 290 - 291 K

→ プリアンプのゲイン変動を抑制

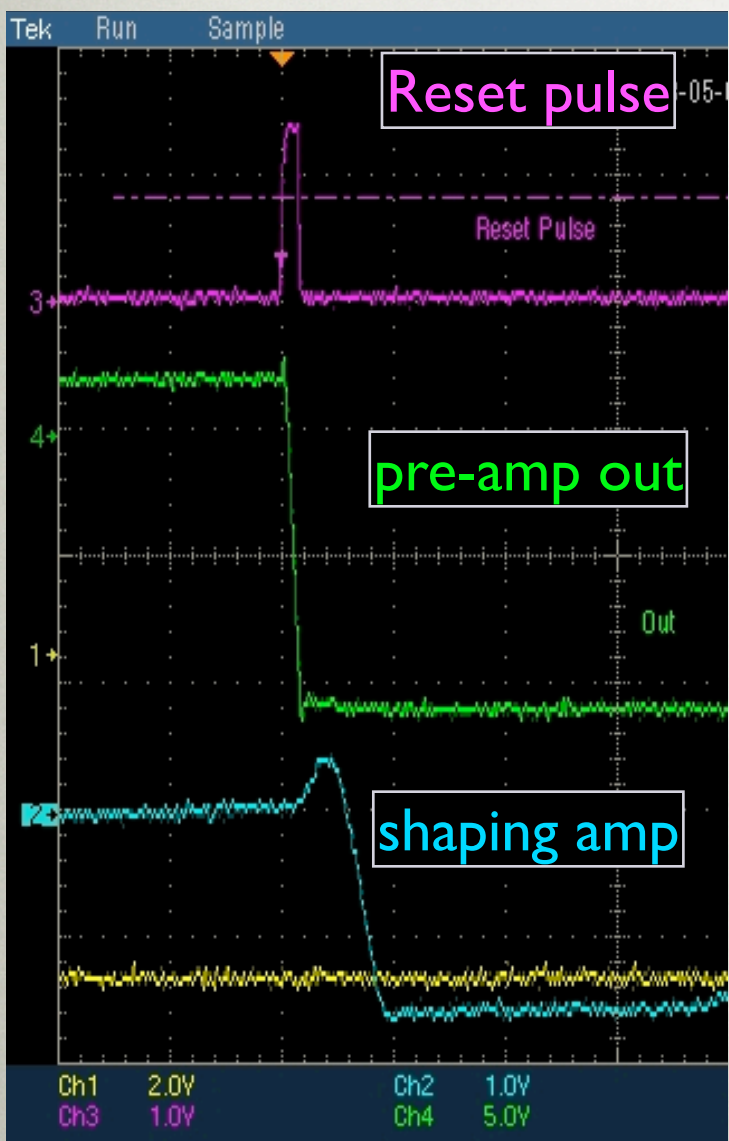


読み出し

SDDの裏側

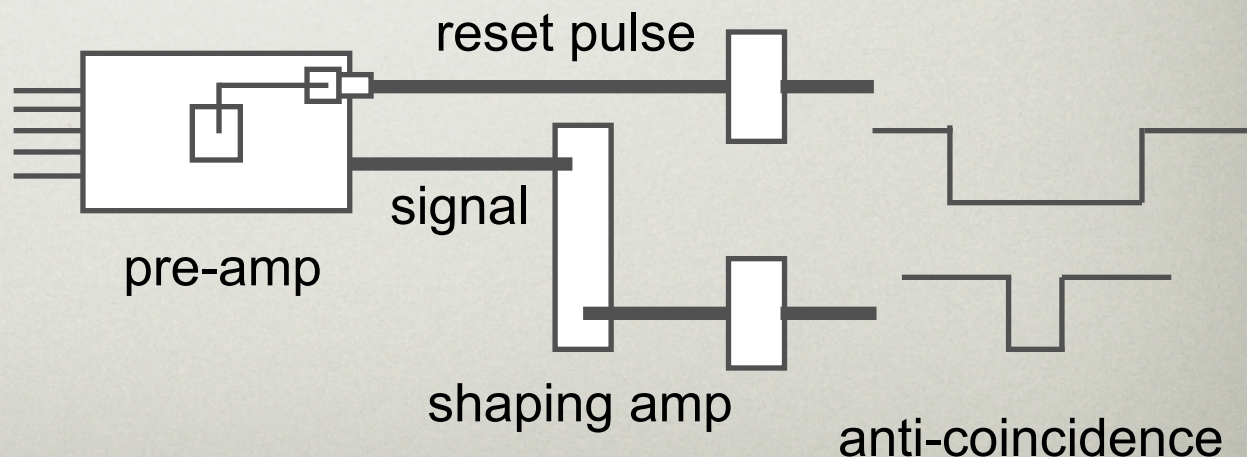


FETのリセット



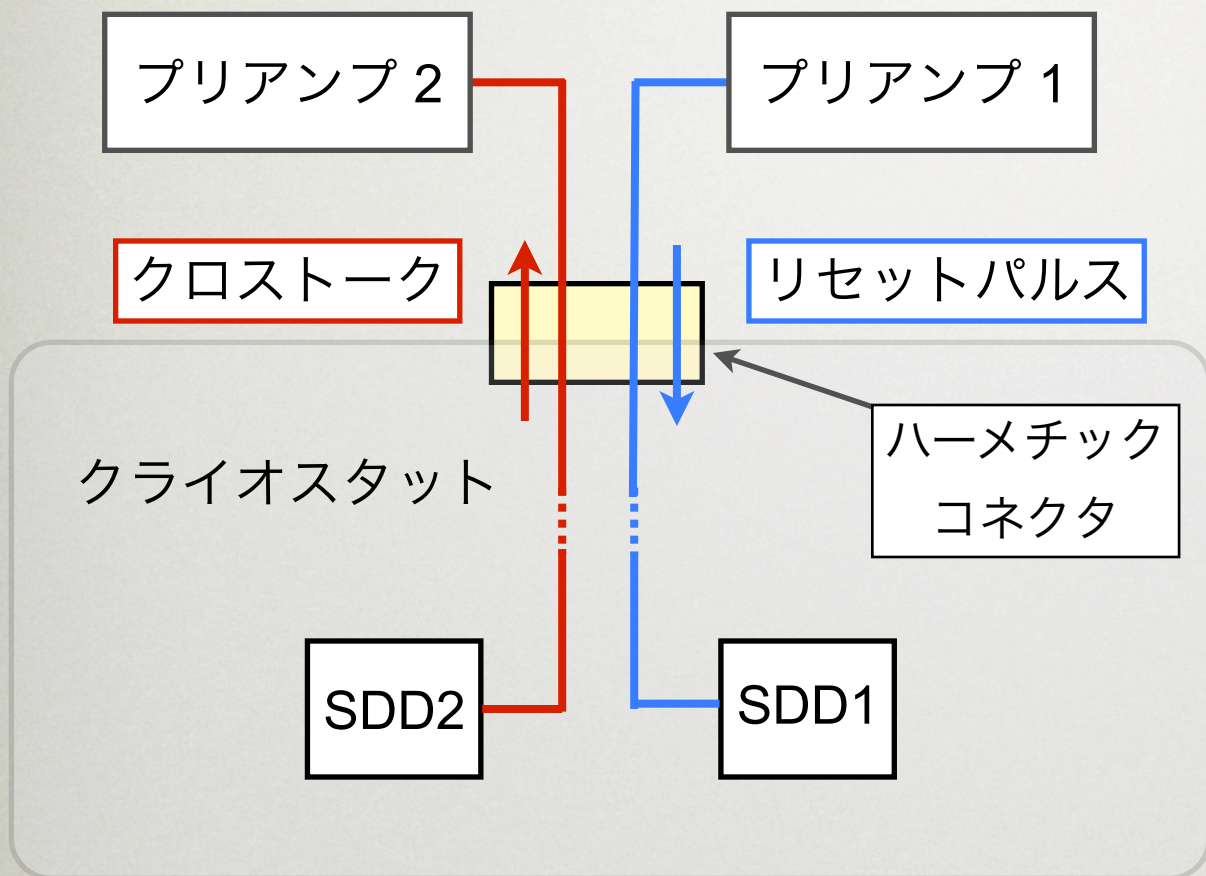
- ▷ 電荷積分型プリアンプのFETを discharge するには、巨大な逆電圧パルスが必要
- ▷ リセット直後はベースラインが乱れるため、この間 VETO が必須 (dead time ~ 1%)

プリアンプから反転したリセットパルスを取り出し、VETOをかけた



Scale : 4 μs

クロストーク



▷ 片方がリセットするたびに、もう片方に一定の大きさのパルスが発生してしまう



同じコネクタを通る片方のリセットによって、もう一方のシグナルをVETOした (dead time ~ 1 %)

根本的な回避にはコネクタ部分でのシールド
or チャンネル毎にコネクタを分けることが必要