

2006年11月24日(金) J-PARC FIFC @ KEK

J-PARC 実験申請課題技術評価委員会

## J-PARC E17 実験

“Precision spectroscopy of Kaonic Helium 3  $3d \rightarrow 2p$  X-rays”

J-PARC E17 collaboration

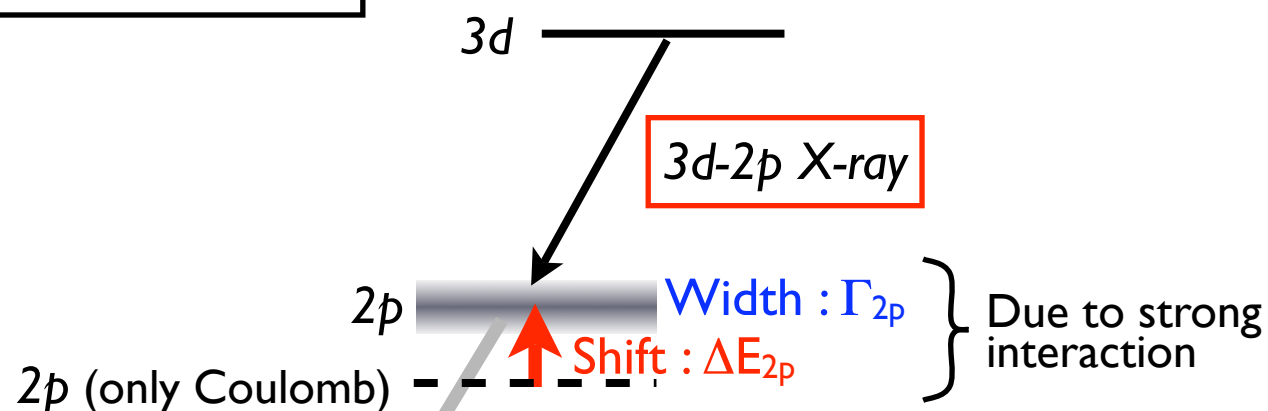
# 1. 実験概要

# 目的

K中間子ヘリウム3原子の最終軌道(2p)のシフトを  
~2eVの精度で決定すること

# 手法

Kaonic Helium atom



- ✓ 液体ヘリウム3を標的とした静止K-反応
- ✓ 脱励起過程から放出される3d->2p X線を高分解能X線検出器で精密分光

実験手法の本質的な部分は  
KEK-PS E570実験において確立されている

## 2. 標的の内静止事象の選択 (Fiducial Volume Cut)

円筒形ドリフト  
チェンバー(CDC)

二次荷電粒子

小型ドリフトチェンバー

K中間子ビーム

$\pi$ 中間子

X線

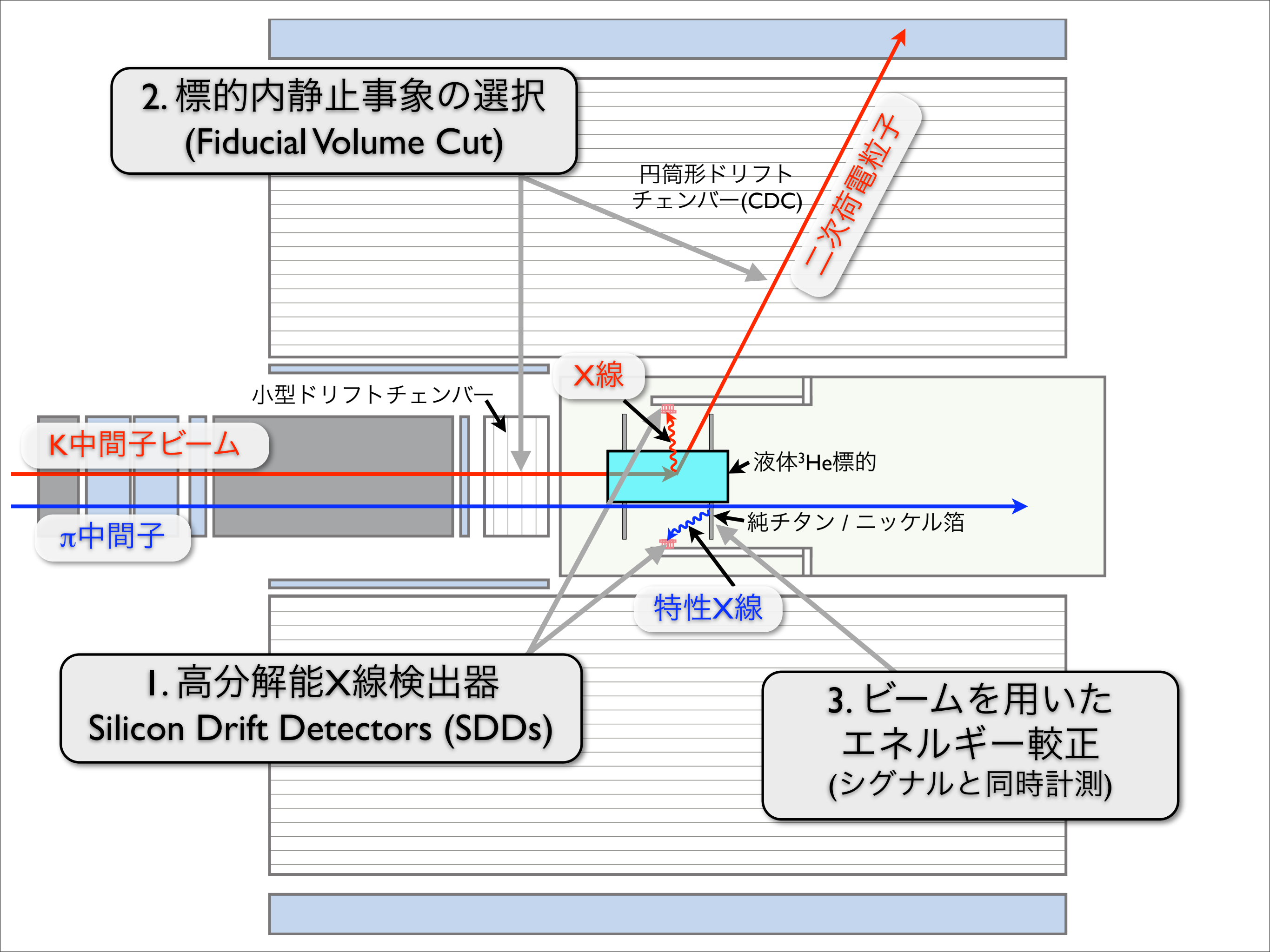
液体 $^3\text{He}$ 標的

純チタン/ニッケル箔

特性X線

## 1. 高分解能X線検出器 Silicon Drift Detectors (SDDs)

## 3. ビームを用いた エネルギー較正 (シグナルと同時計測)

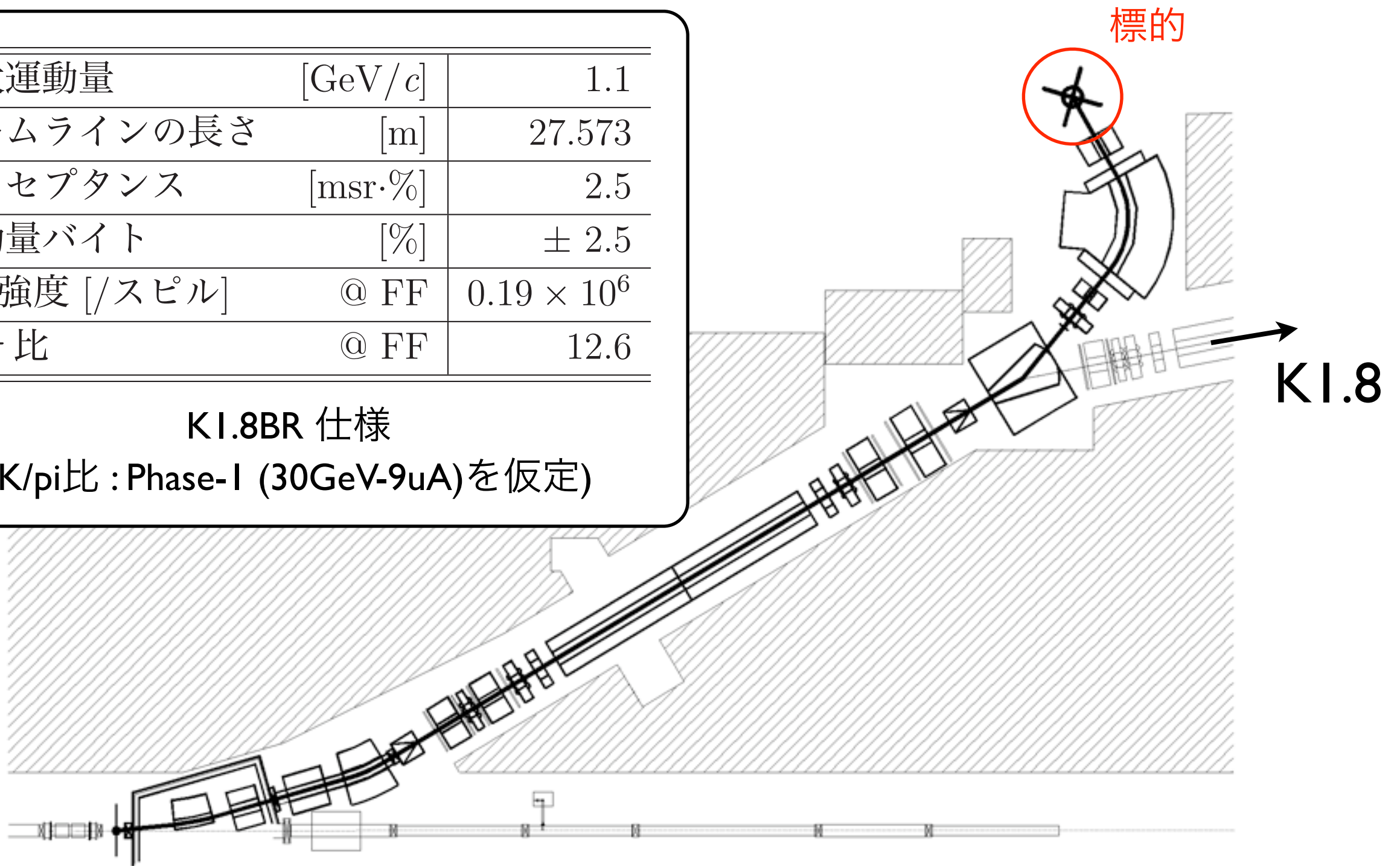


## 2. ビームライン

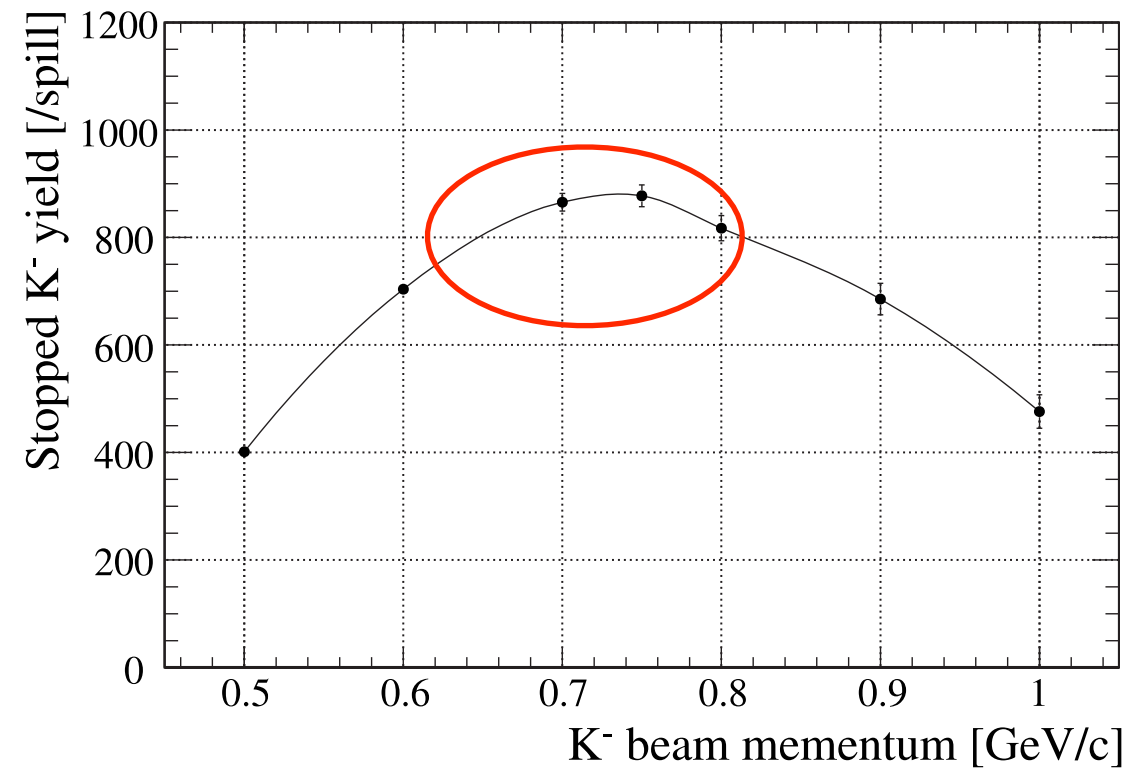
# KI.8BR ビームライン

最大運動量	[GeV/c]	1.1
ビームラインの長さ	[m]	27.573
アクセプタンス	[msr·%]	2.5
運動量バイト	[%]	± 2.5
$K^-$ 強度 [/スピル]	@ FF	$0.19 \times 10^6$
$K/\pi$ 比	@ FF	12.6

KI.8BR 仕様  
( $K/\pi$ 比 : Phase-I (30GeV-9uA)を仮定)



# ビーム中心運動量の選択



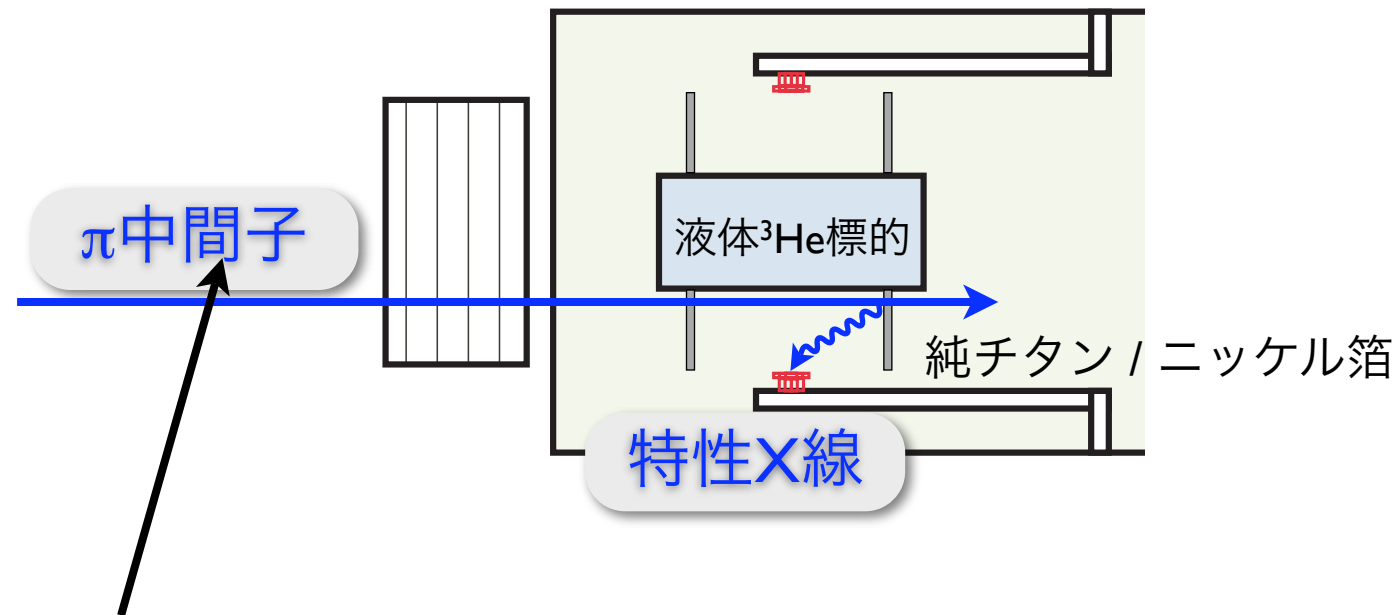
KI.8BRにおけるスピル当たりの  
の静止K<sup>-</sup>の収量の計算結果  
(TURTLE + Sanford-Wang)

**750MeV/c付近を用いる**

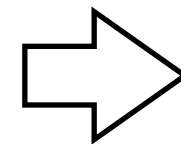
(E570で用いた650MeV/c入射からのK収量と大きな差はない)

# $\pi^-$ の絶対強度 $\sim 0.25 \times 10^6$ 必要

ビームを用いたエネルギー較正

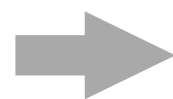


Kビームに混在するMIPS粒子  $\pi$  がTi・Ni箔を通過する際に生成する特性X線  
➡ 良いエネルギー指標



コントロールされた  $\pi$  混入が必要

## $\pi^-$ の絶対強度は、 $\sim 0.25 \times 10^6$ 必要



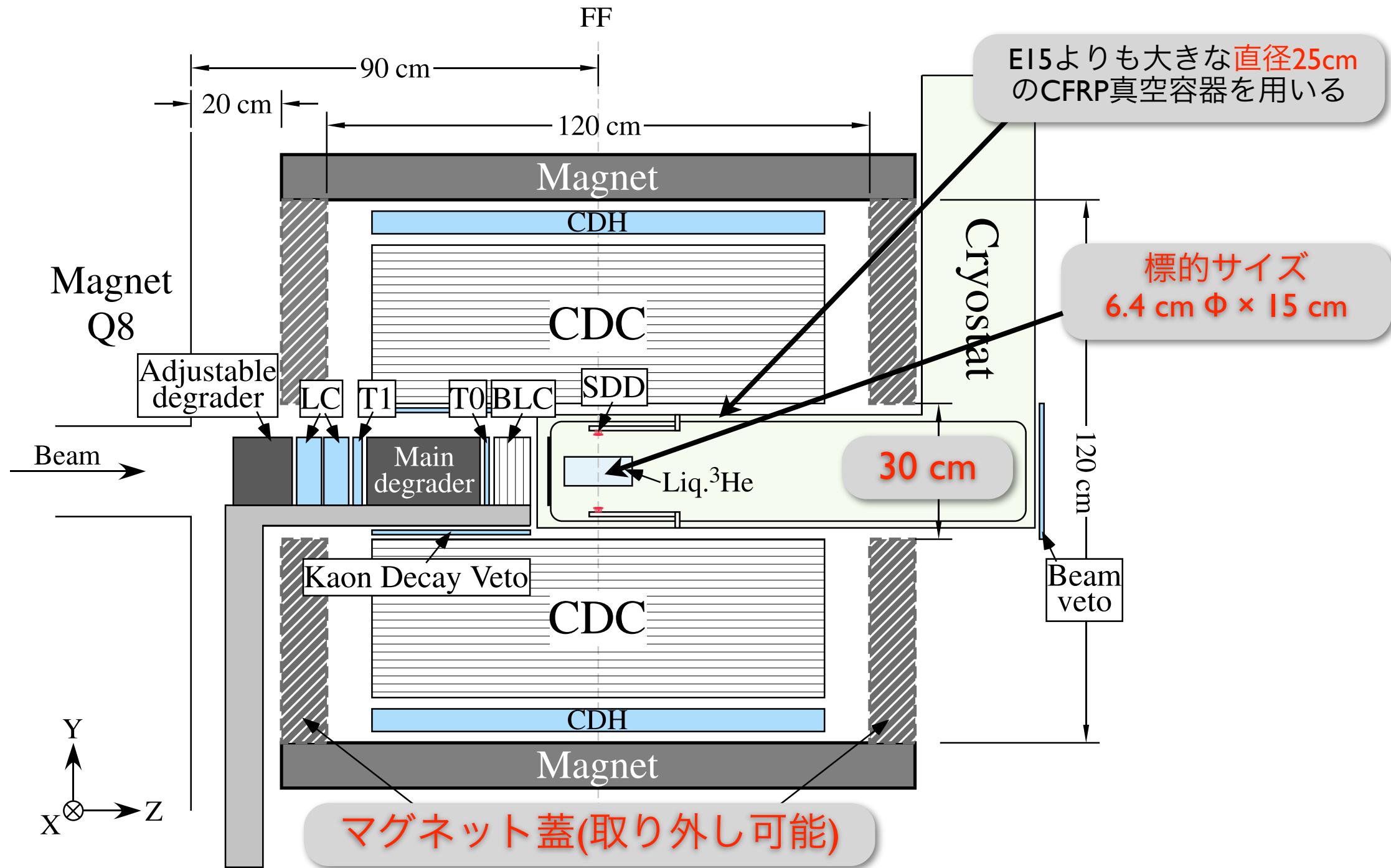
K/ $\pi$ 比 $\sim 0.75$ 程度が望ましい  
(K強度190k/spillを仮定)

TURTLEでは"クラウド $\pi$ "の見積もりは出来ない  
この比はセパレーター電圧等で調整可能



# 3. 実験装置

# セットアップ概略図



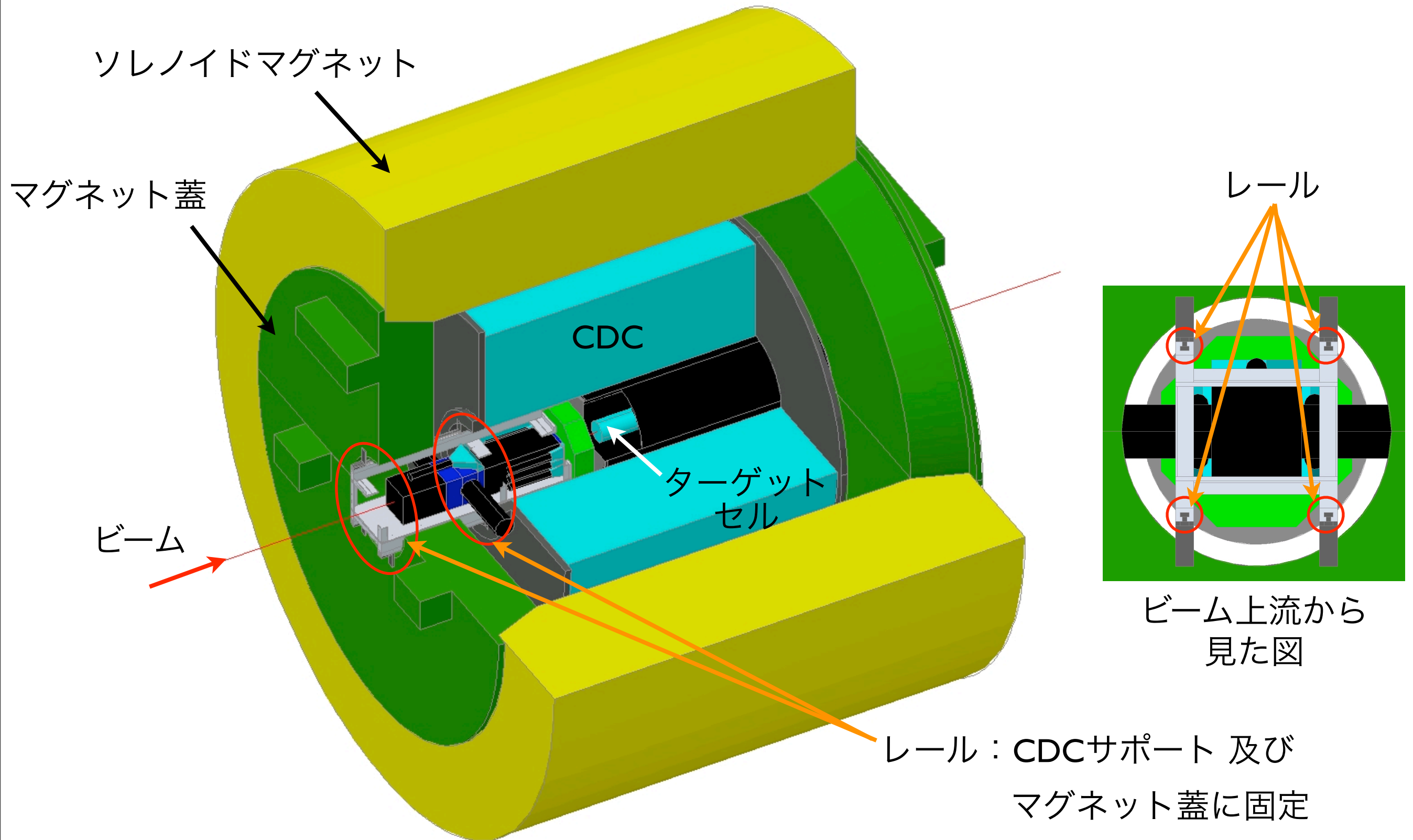
トリガーロジック：  $(K_{\text{STOP}} \otimes \text{CDH} \otimes \text{SDD}) \oplus (\text{SDD}_{\text{self trig.}})$

$$(K_{\text{STOP}} = \overline{\text{LC}} \otimes \text{T1} \otimes \text{T0} \otimes \overline{K_{\text{DECAY VETO}}} \otimes \overline{\text{BEAMVETO}})$$

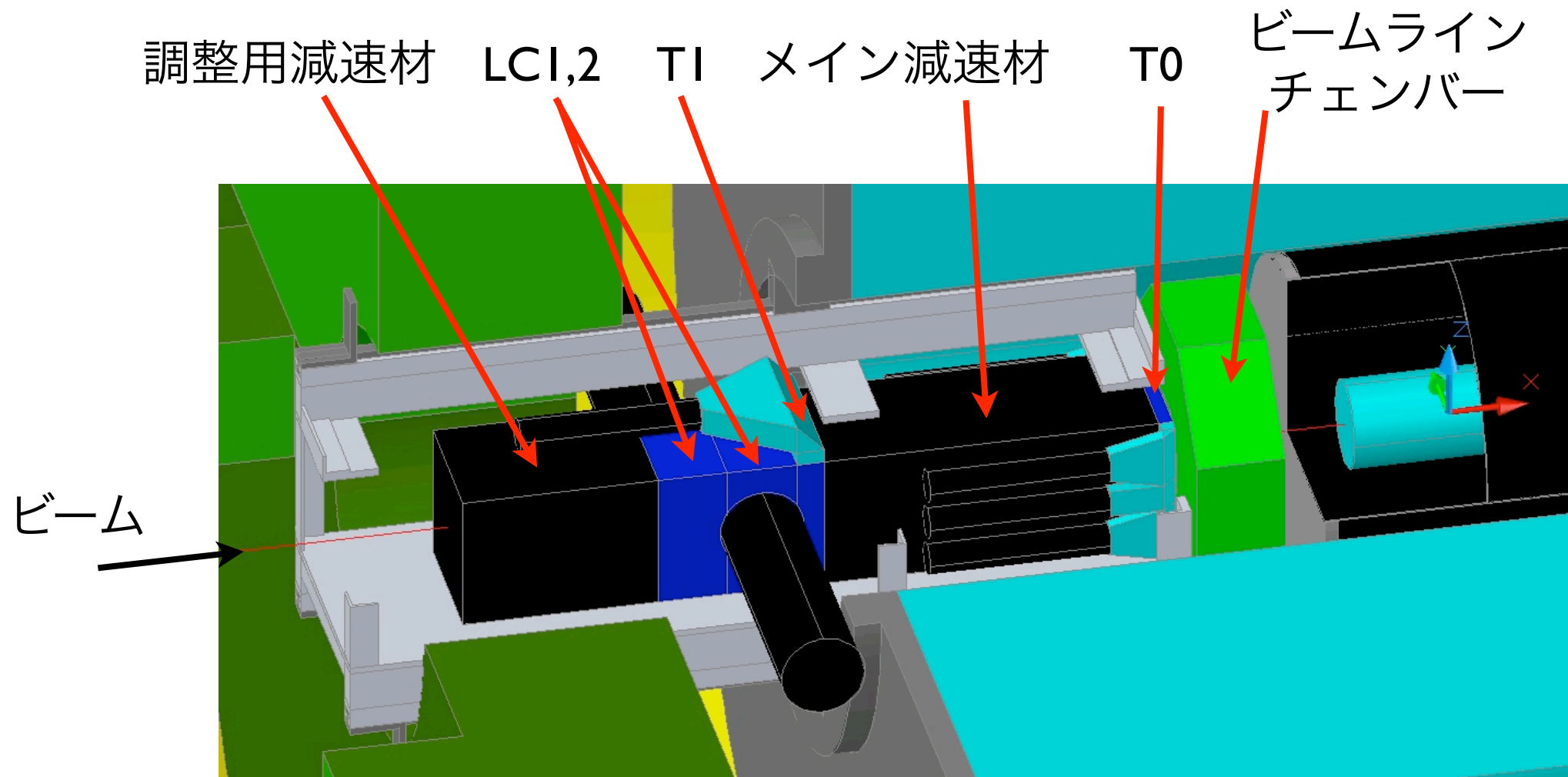
E570実験でのデータに基づき期待されるトリガーレートは、

- $K_{\text{STOP}} \otimes \text{CDH} \otimes \text{SDD} = \text{数/spill}$
- $\text{SDD}_{\text{self trig.}} = \text{数百/spill}$

# セットアップ鳥瞰図



# 静止Kのための検出器群

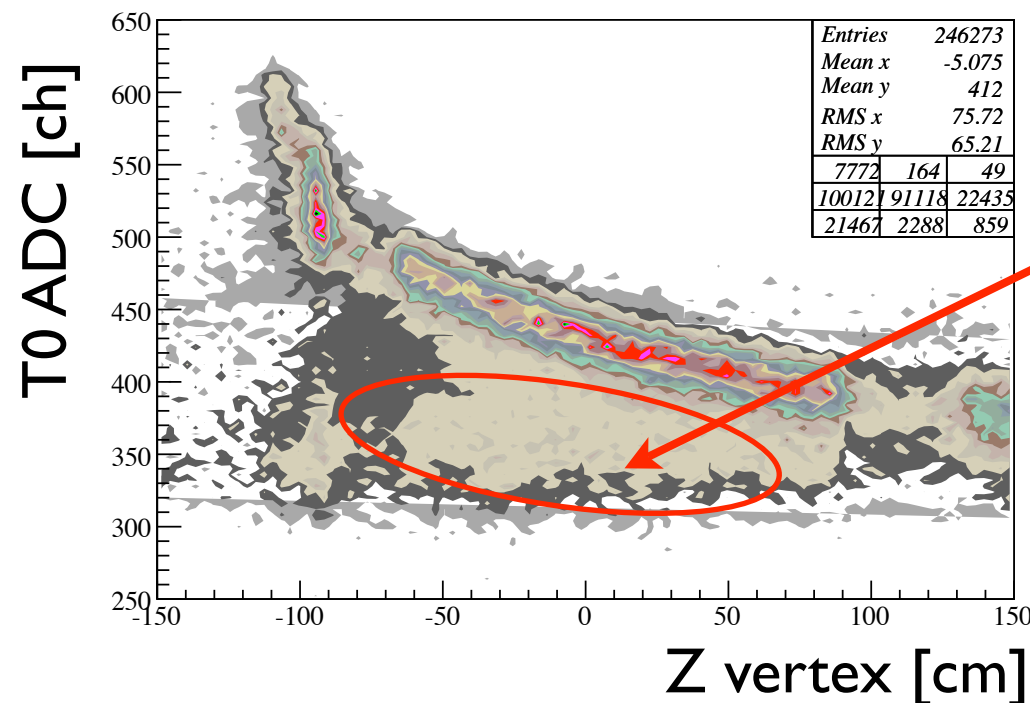


必要なカーボン減速材の厚さ：約 38 / 48 / 58 cm  
(入射ビーム運動量 650 / 700 / 750 MeV/cに対して)

(カーボン減速材 総重量：~10 kg)

# ビームラインカウンター

- LC : ルサイトチェレンコフカウンター (2台)  
 $\pi / K$  分離のため
- TI : シンチレーションカウンター (1台、片読み)  
トリガーにおけるビーム決定のため (defining counter)
- T0 : シンチレーションカウンター (3台、両読み) ...減速材の直後に設置  
減速されたK-のエネルギー損失  $\Rightarrow$  in-flight K- 事象との選別



in-flight K-事象の除去

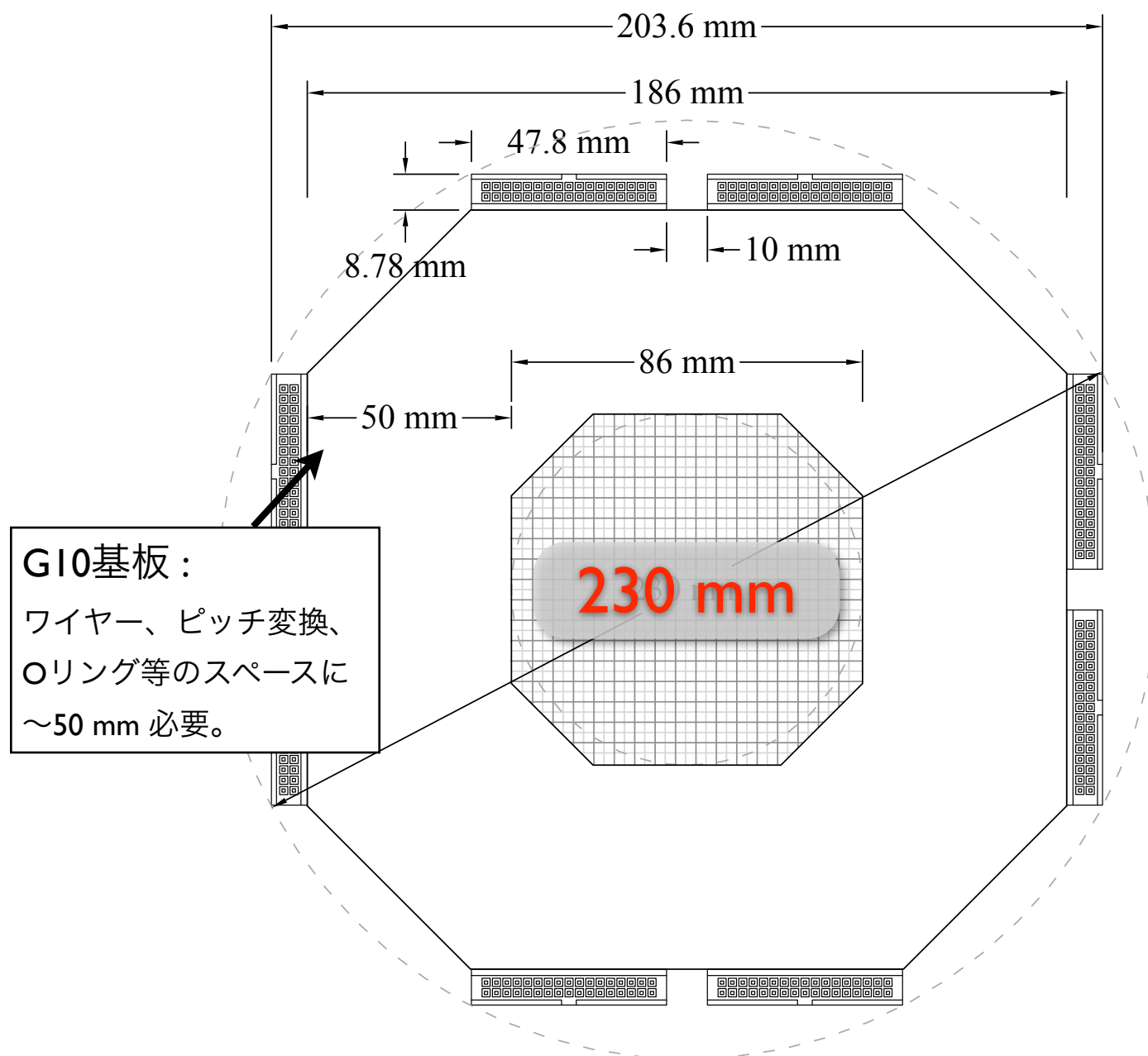
(E570データ)

# ビームラインチェンバー

CDC及びマグネットエンドキャップの穴：300 mmΦ

円筒型荷電粒子VETOカウンタとCDSケーブル引き出し用スペース：200 ~ 300 mmΦ

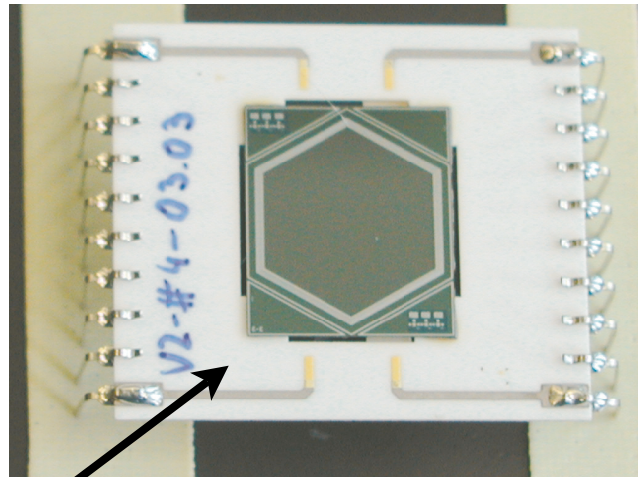
➡ 250 mmΦ以内に収める



- 2.5 mm ピッチ
- 16センスワイヤー / 1面
- 有効面：8 角形 ... 86 x 86 [cm<sup>2</sup>]
- 8面 ( XX'YY' XX'YY' )

➡ 230 mmΦ に十分収まる

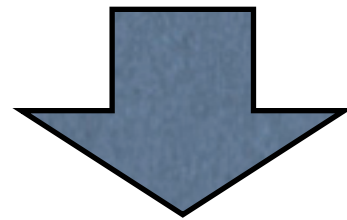
# X線検出器 (SDD)



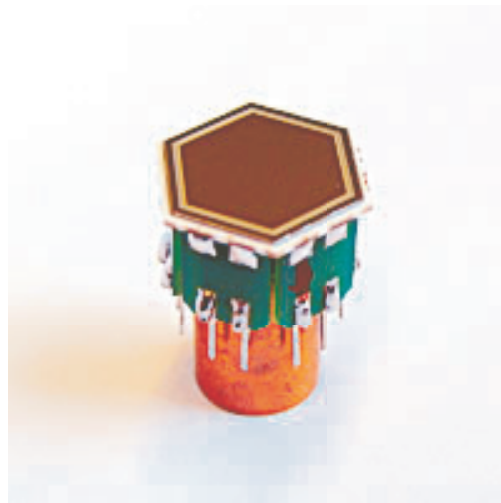
KETEK SDD プロトタイプ (100mm<sup>2</sup>):  
E570で使用

(現在12台所有)

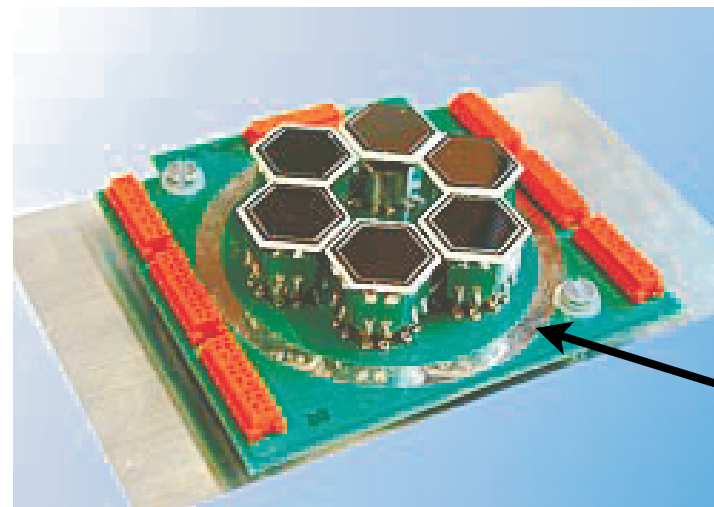
セラミック  
(SDDサポートの熱収縮等  
により、破壊されやすい)



パッケージ化



スリムライン  
コンポーネント



KETEK VITUS SDD アレー

モジュール化  
➡ 集積可能

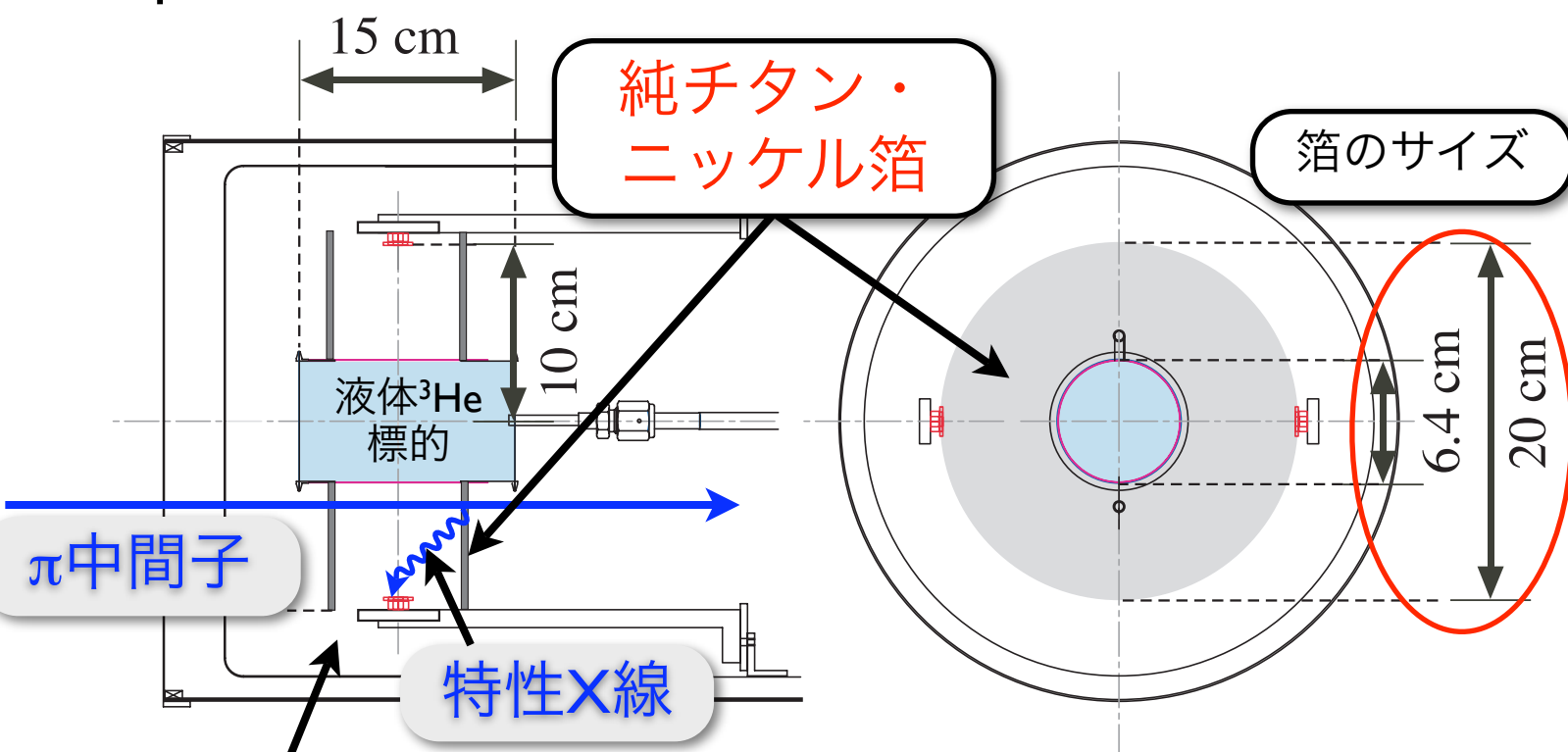
読み出し部分も完全に  
パッケージ化され、扱  
いやすい



# ビームを用いたエネルギー較正

Top View

Side View



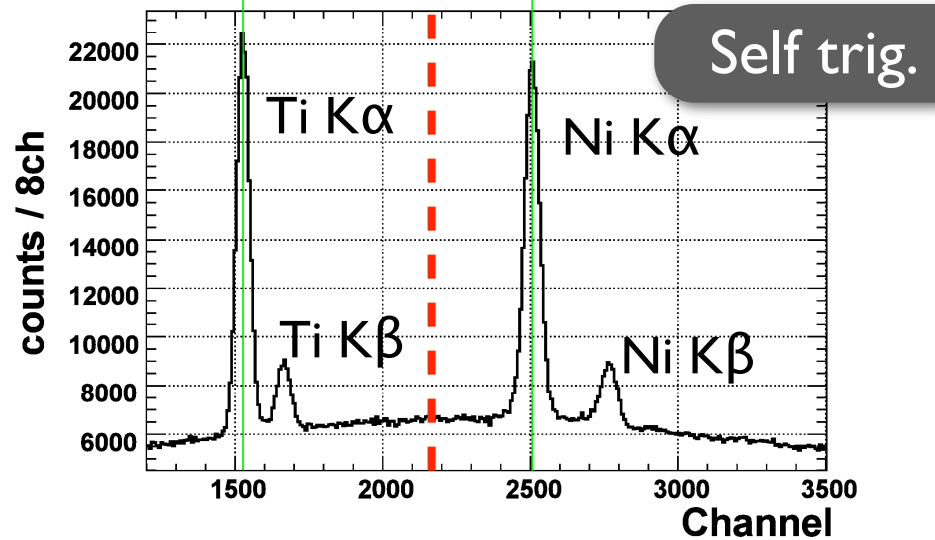
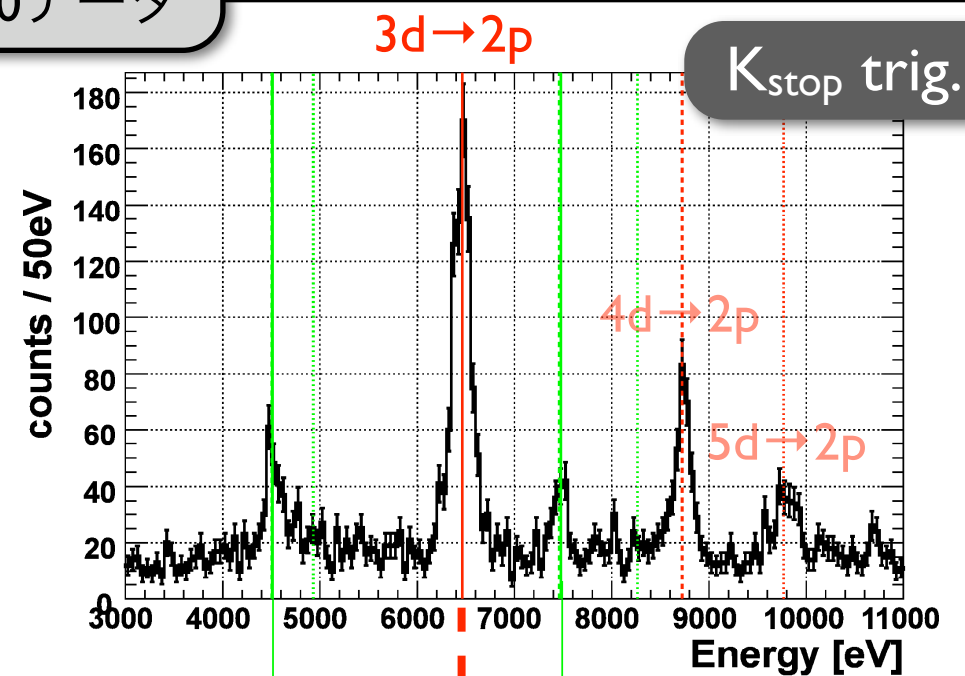
Ti・Ni箔を通過するMIPS粒子  $\pi$  が生成する特性X線  
 ➡ 良いエネルギー指標

## シミュレーション

- E570実験からの求めたK殻電離断面積を使用
- TURTLEで求めた $\pi$ の広がり・E17セットアップを考慮

$\pi^-$  の絶対強度  $\sim 0.25 \times 10^6$  の場合：1シフト  
 ISDD当たり $\sim 4000$ イベントの特性X線強度

E570データ



➡ in-situ キャリブレーション

- ➡ ゲイン等の長期ドリフトに強い
- ➡ 数eVの精度



# プリアンプを真空容器内部へ

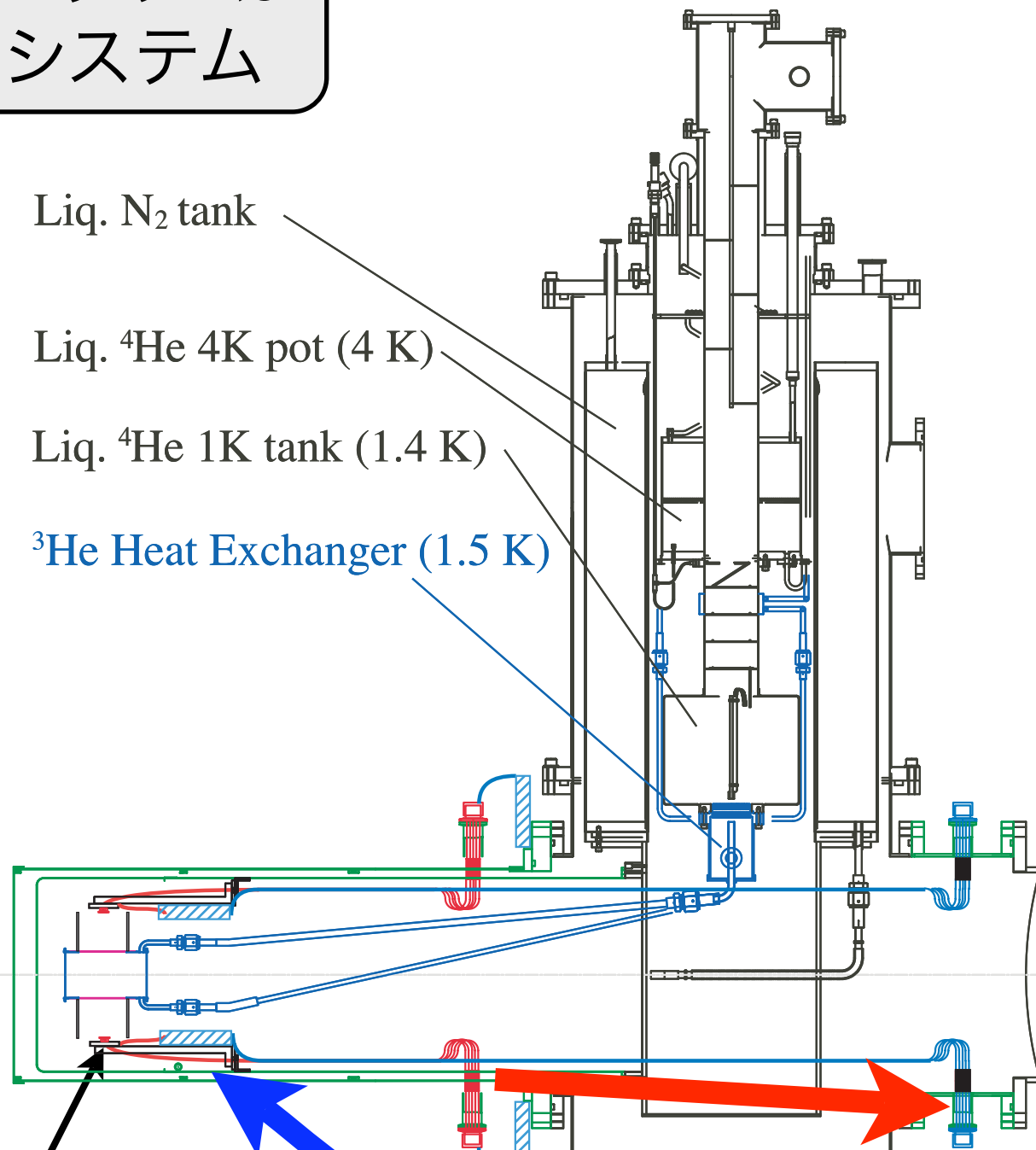
液体ヘリウム3  
標的システム

Liq. N<sub>2</sub> tank

Liq. <sup>4</sup>He 4K pot (4 K)

Liq. <sup>4</sup>He 1K tank (1.4 K)

<sup>3</sup>He Heat Exchanger (1.5 K)



SDDs

プリアンプ  
真空中へ

ハーメチック  
ポート  
遠ざける

低ノイズ

✓ 微弱なシグナルの引き回し距離が減る  
( ~50 cm (E570) → ~数 cm (E17) )  
⇒ 低ノイズ ⇒ 安定した良い分解能

ポートからの熱流入減

✓ SDDシグナルの取出口を標的から遠ざけることが可能 ⇒ 標的への熱流入減

プリアンプの真空内における動作  
は既に確認済み

今後行う R & D

- ▶ プリアンプの外部制御について
- ▶ プリアンプから発熱はどの程度か

# 4. データ収集系

(DAQシステム)

# DAQシステム

E15実験のシステムに対して必要なチャンネルを追加した形で構成

## COPPERシステム + TKOシステム

### ● X線検出器：COPPERシステム

✓ ピークホールドADC：ウィルキンソン型及び逐次近似型ADC

✓ フラッシュADC：パイルアップ事象の棄却

✓ TDC：フルレンジ数 $\mu$ 程度TDC

(⇒ E570で用いたTKO/VMEシステムのものもは既存)

### ● ビームラインチェンバー：COPPERシステム

E15における最下流チェンバーと同じ読み出しシステム

### ● ビームラインカウンタ群：TKOシステム

既存のTKOシステムを使用

# チャンネル数

		システム	チャンネル	実験
CDC システム	TDC	TKO	1842 ch	E15 / E17
CDH システム	ADC	TKO	100 ch	
	TDC	TKO	100 ch	
ビームライン チェンバー	TDC	COPPER	128 ch	E17
ビームライン カウンター	ADC	TKO	10 ch	
	TDC	TKO	10 ch	
SDD	PH-ADC	COPPER (/TKO)	16 ch	
	FADC	COPPER (/VME)	16 ch	
	TDC	COPPER (/TKO)	8 ch	
Total			2230 ch	

# 5. 予算状況

# 現状

- E15と共通セットアップに関して：  
特定領域研究計画「マルチストレンジネス多体系の分光」  
⇒ 「K中間子が拓く超高密度クォーク物質の研究」
- E17に特化した予算について： 申請中

(E15共有部分を除いた) 実験装置概算見積

品目	概算金額 (千円)
X線検出システム	9,700
標的システム	3,000
ビームライン飛跡検出器システム	4,700
DAQシステム	6,000
データサーバー	3,600
計	27,000

# 6. 装置開発プラン



# E15との関連

- 必要となる実験装置でも共通する部分が多い
- 多くの実験協力者がオーバーラップ

	本実験 E17	E15
反応	静止 $K^-$	In-flight $K^-$
二次ビームライン	K1.8BR	
二次ビーム運動量	0.75 GeV/c $K^-$	1.0 GeV/c $K^-$
入射ビーム検出	(静止 K) ビームライン検出器群	ビームラインスペクトロメーター
標的	液体ヘリウム 3 ( $\sim 500 \text{ cm}^3$ )	
崩壊荷電粒子検出	円筒型検出器システム (CDS)	
磁場	無し	有り (ソレノイド電磁石)
X線検出	シリコンドリフト検出器 (SDD)	-
(前方) 中性子検出	-	中性子カウンター

効率的な実験実施の為、共通する部分を共同開発する

# タイムスケジュール

KI.8BRビームライン  
完成予定

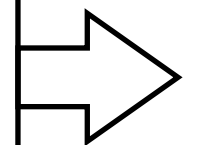
E15共通部分の実験装置製作 (含 標的)

X線検出器系のR & D  
(SDDプリアンプ真空内部設置  
に伴う読み出し系のR & D等)

ビームライン検出器の  
設計・製作・テスト

実機のインストール  
及び動作チェック

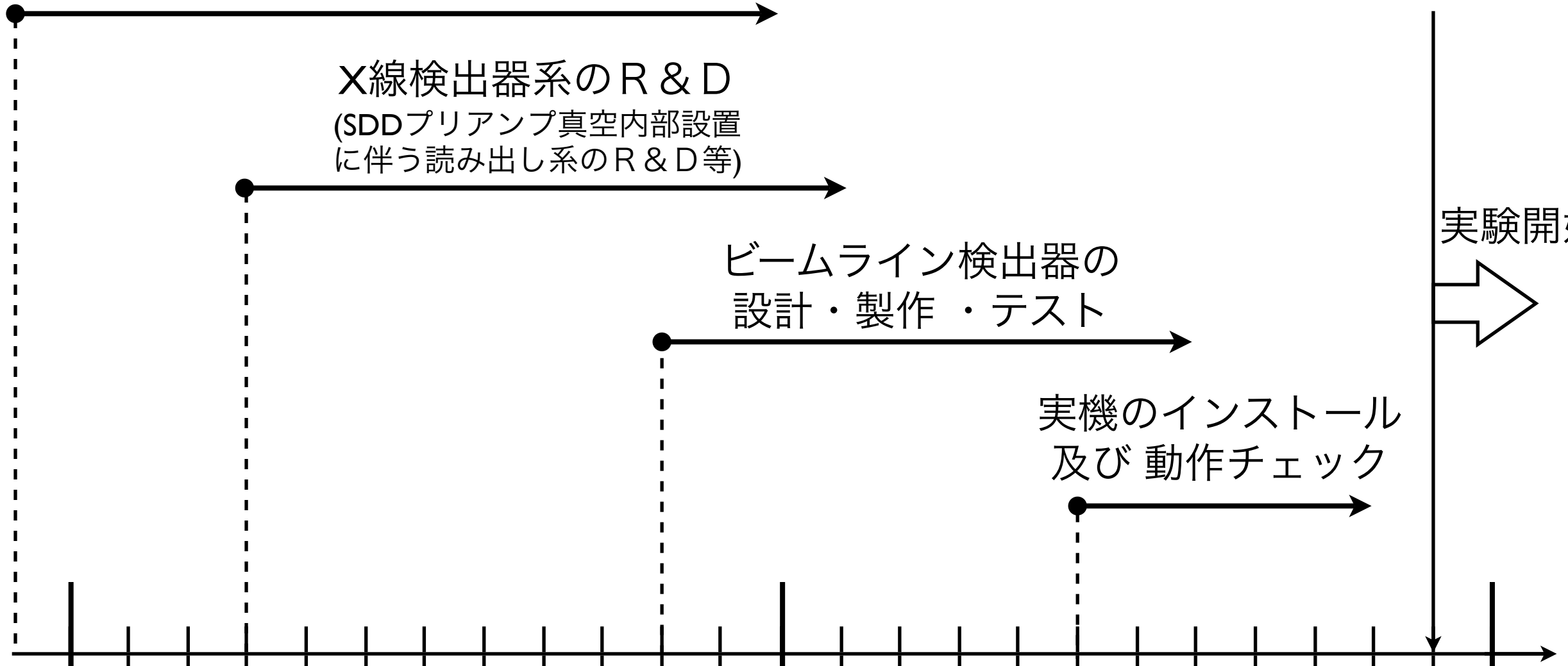
実験開始



2007年1月

2008年1月

2009年1月



# コラボレーションリスト

世界の9つの大学・研究機関から38名の研究者によって構成

G. Beer<sup>a</sup>, H. Bhang<sup>b</sup>, P. Buehler<sup>c</sup>, M. Cargnelli<sup>c</sup>, 千葉順成<sup>d</sup>, S. Choi<sup>b</sup>, C. Curceanu<sup>e</sup>, 福田芳之<sup>f</sup>, C. Guaraldo<sup>e</sup>, 花木俊生<sup>d</sup>, 早野龍五<sup>g,4</sup>, A. Hirtl<sup>c</sup>, 飯尾雅実<sup>h</sup>, M. Iliescu<sup>e</sup>, 石川隆<sup>g</sup>, 石元茂<sup>i</sup>, 石渡智一<sup>c</sup>, 板橋健太<sup>h</sup>, 岩崎雅彦<sup>f,h</sup>, P. Kienle<sup>c</sup>, J. Marton<sup>c</sup>, 松田恭幸<sup>h</sup>, 大西宏明<sup>h</sup>, 岡田信二<sup>h,5</sup>, 應田治彦<sup>h,6</sup>, D. Pietreanu<sup>e</sup>, 佐久間史典<sup>h</sup>, 佐藤将春<sup>f</sup>, D. Sirghi<sup>e</sup>, F. Sirghi<sup>e</sup>, 鈴木祥仁<sup>i</sup>, 鈴木隆敏<sup>h</sup>, 竜野秀行<sup>g</sup>, 友野大<sup>h</sup>, E. Widmann<sup>c</sup>, 山崎敏光<sup>g,h</sup>, H. Yim<sup>b</sup>, J. Zmeskal<sup>c</sup>

<sup>a</sup> ヴィクトリア大学 (カナダ)

<sup>b</sup> ソウル大学 (韓国)

<sup>c</sup> ステファンマイヤー研究所 (オーストリア)

<sup>d</sup> 東京理科大学

<sup>e</sup> LNF-INFN (イタリア)

<sup>f</sup> 東京工業大学

<sup>g</sup> 東京大学

<sup>h</sup> 理化学研究所

<sup>i</sup> 高エネルギー加速器研究機構

# 参加機関別責任分担

**X線検出器**：理化学研究所 - 東京大学 - ステファンマイヤー研究所 - LNF-INFN

**円筒型検出器システム (CDS)**：E15 実験 FIFC 資料 (実験組織の章) を参照

**ヘリウム3 標的**：理化学研究所 - 高エネルギー加速器研究機構

**(静止 K のための) 入射ビーム検出器群**：理化学研究所

**データ収集系**：理化学研究所

# DAY-1 実験としての適性

ビームタイムの見積もり (E570と同等( $\sim 2\text{eV(stat.)}$ ))の統計を得るには...

	K1.8BR の場合	
プロダクション (最大強度: $30\text{GeV}-9\mu\text{A}$ )	3.5 日	(検出器に対する コミッショニング)
コミッショニング	10 日	

ビーム強度が一桁弱い場合においても、一ヶ月程度(35日)でデータ収集が可能

- ➡ “DAY-1”実験として申請
- ➡ E15実験より前に同ビームラインで行うことを提案

---

但し、

全く新規の最初のビームラインチューニングとなる場合、

ビームライン調整期間は別途必要である

- 入射ビーム中心運動量の測定
- エミッタンスの測定
- K/pi 比の最適化