

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

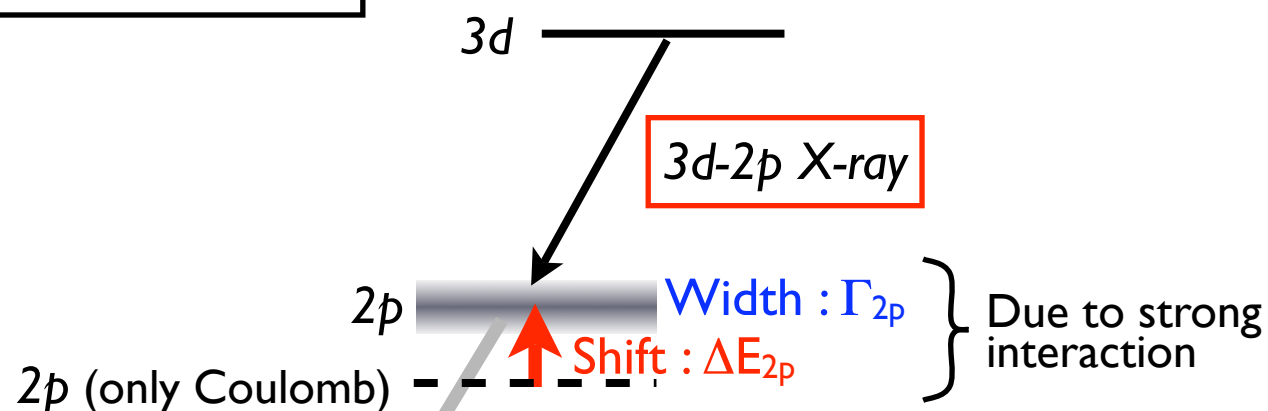
1. 実験概要

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

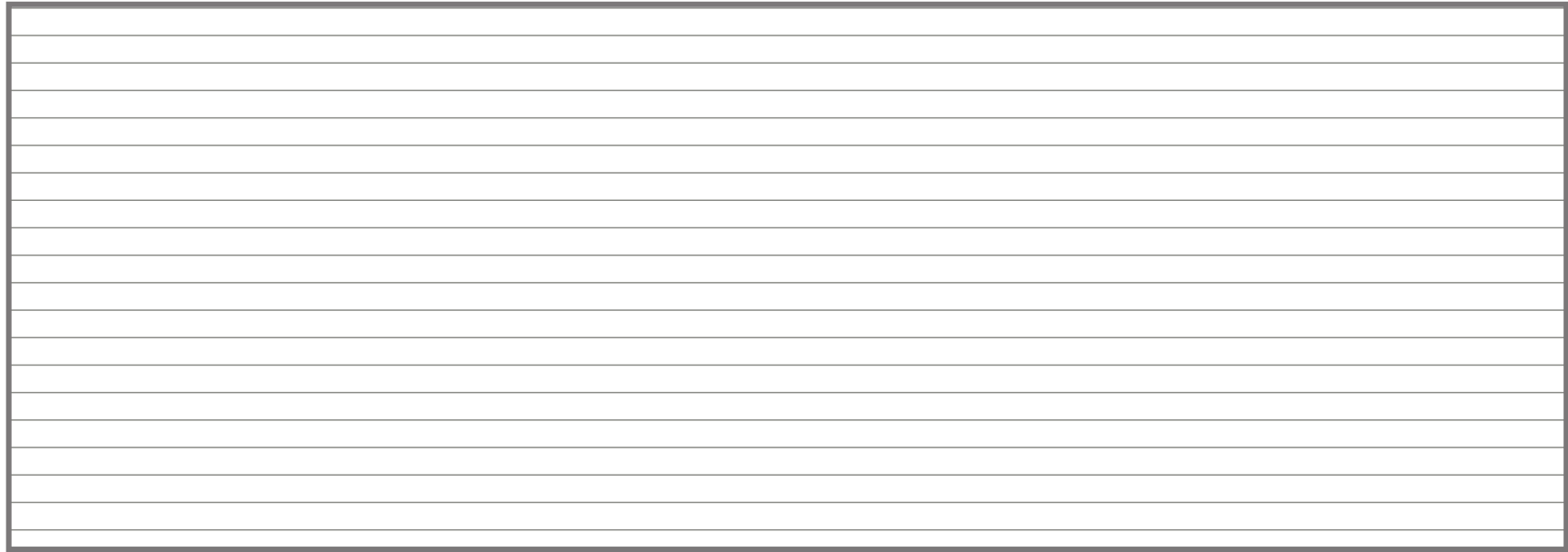
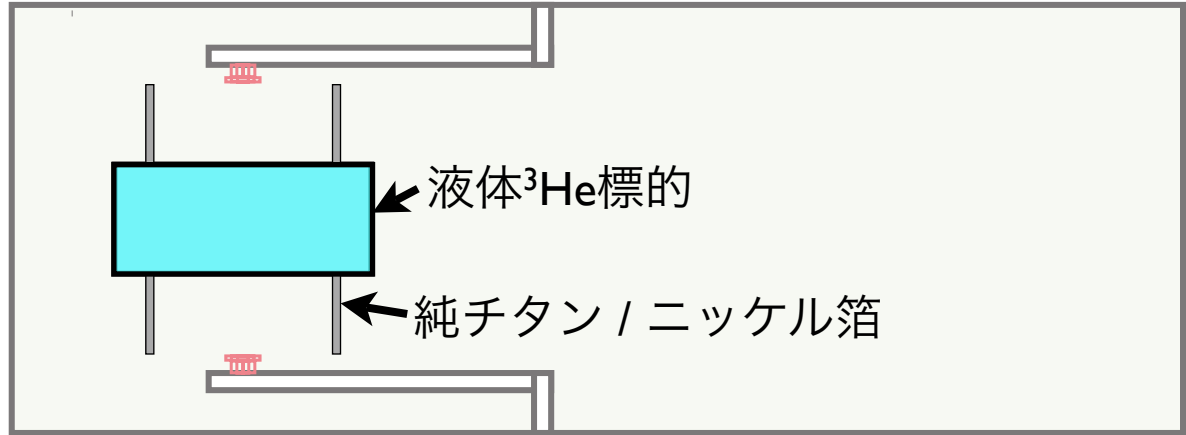
Kaonic Helium atom



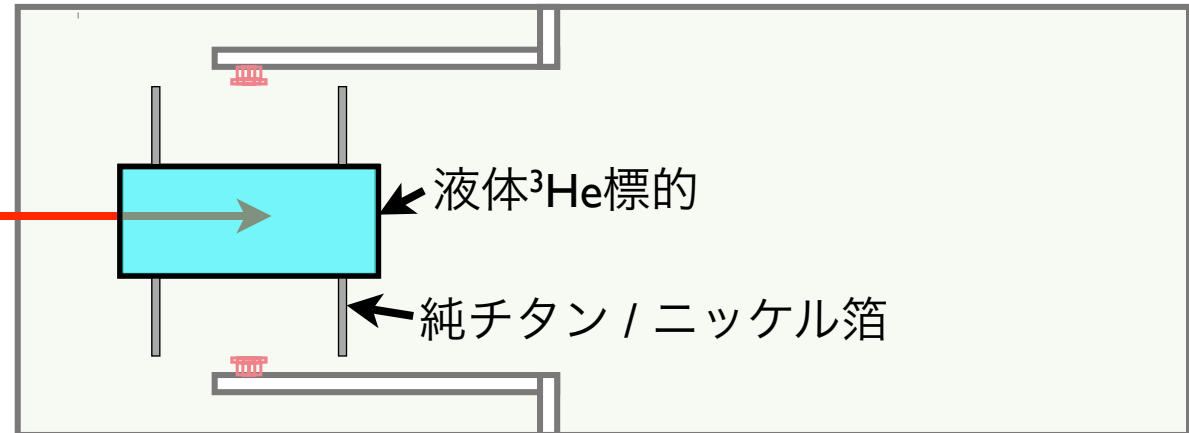
Nuclear absorption

- ✓ 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



K中間子ビーム



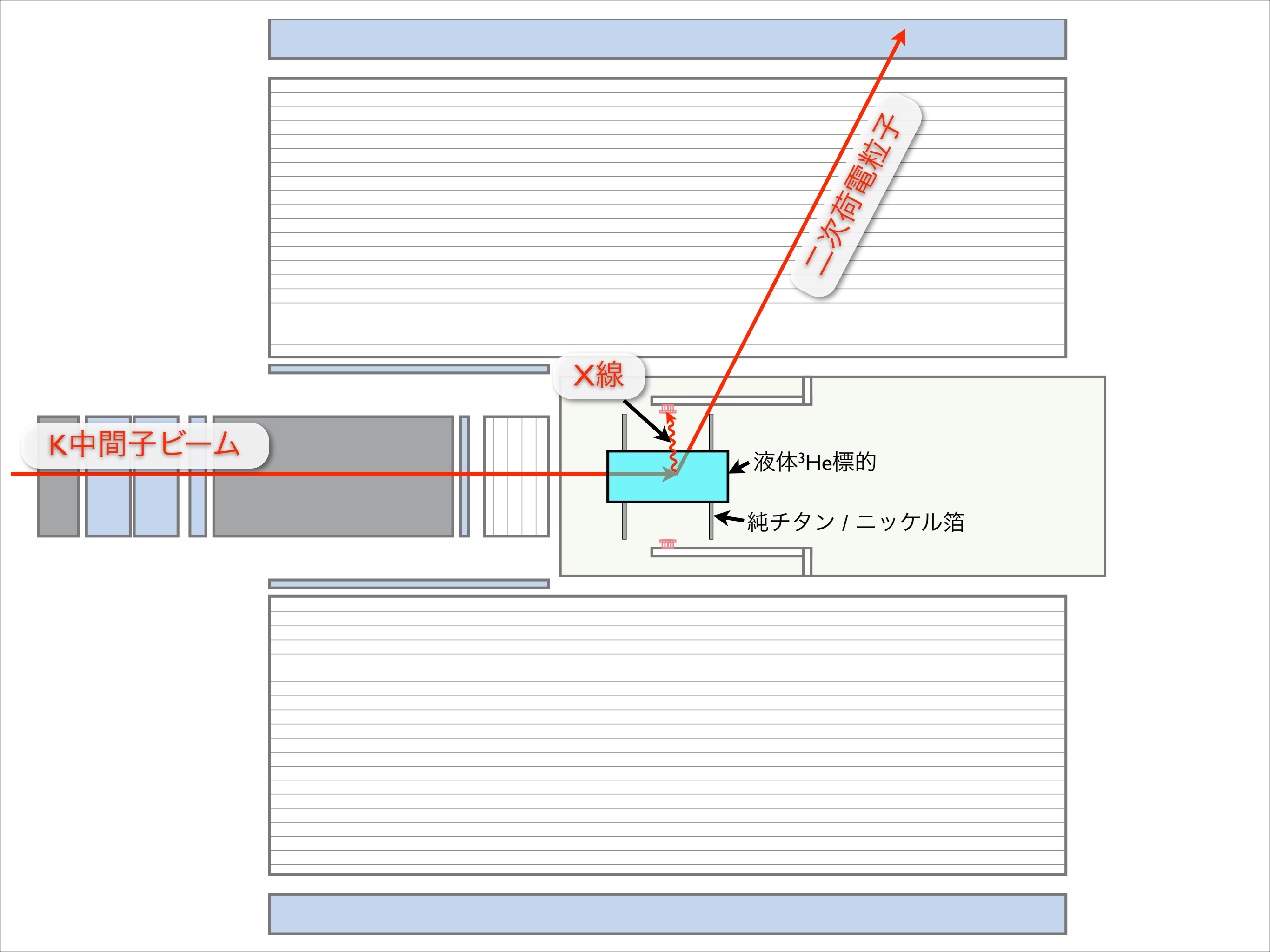
K中間子ビーム

X線

二次荷電粒子

液体 ^3He 標的

純チタン/ニッケル箔



K中間子ビーム

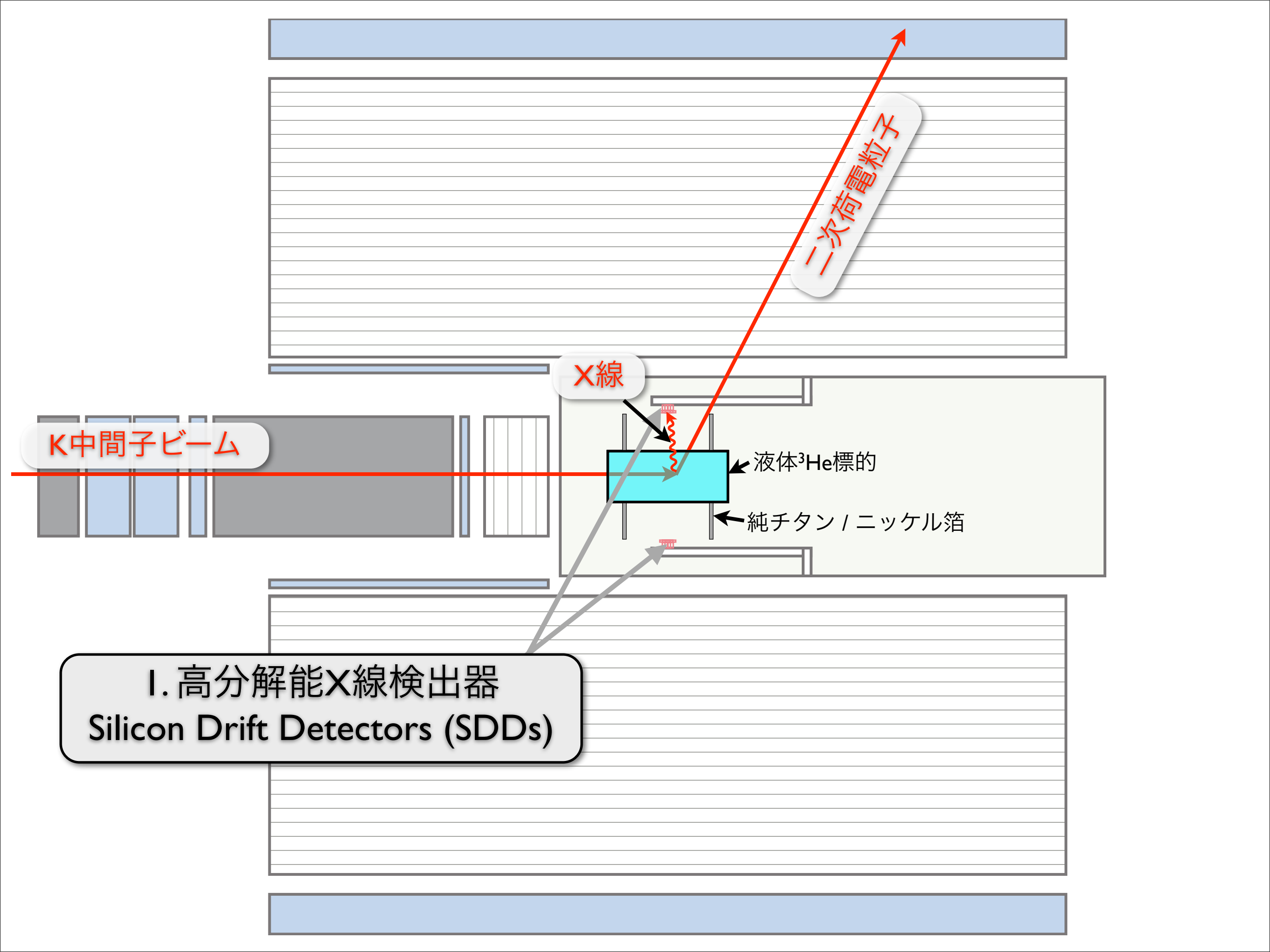
X線

二次荷電粒子

液体 ^3He 標的

純チタン/ニッケル箔

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



2. 標的内静止事象の選択 (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

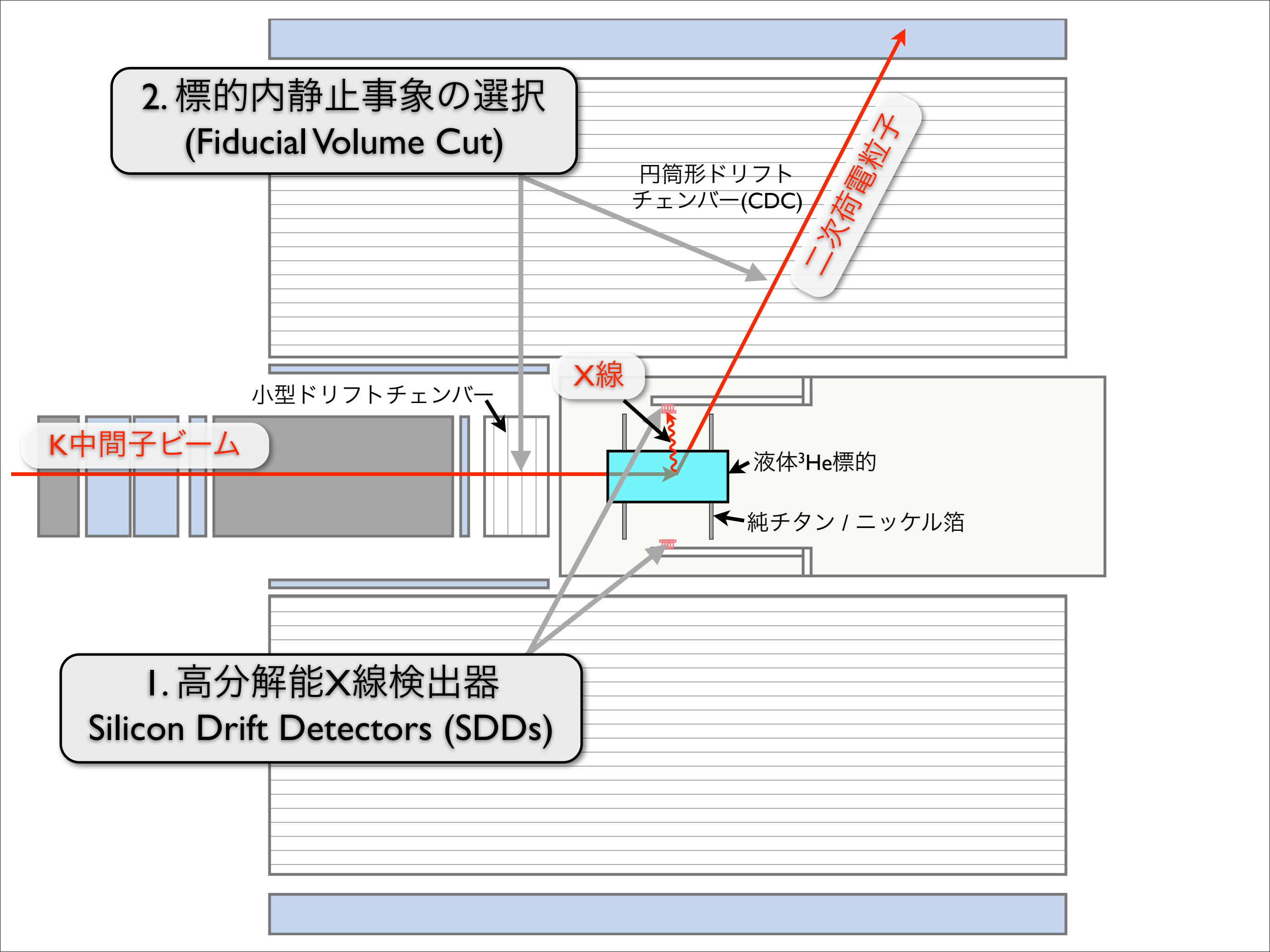
K中間子ビーム

X線

液体 ^3He 標的

純チタン/ニッケル箱

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



2. 標的内静止事象の選択 (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

π 中間子

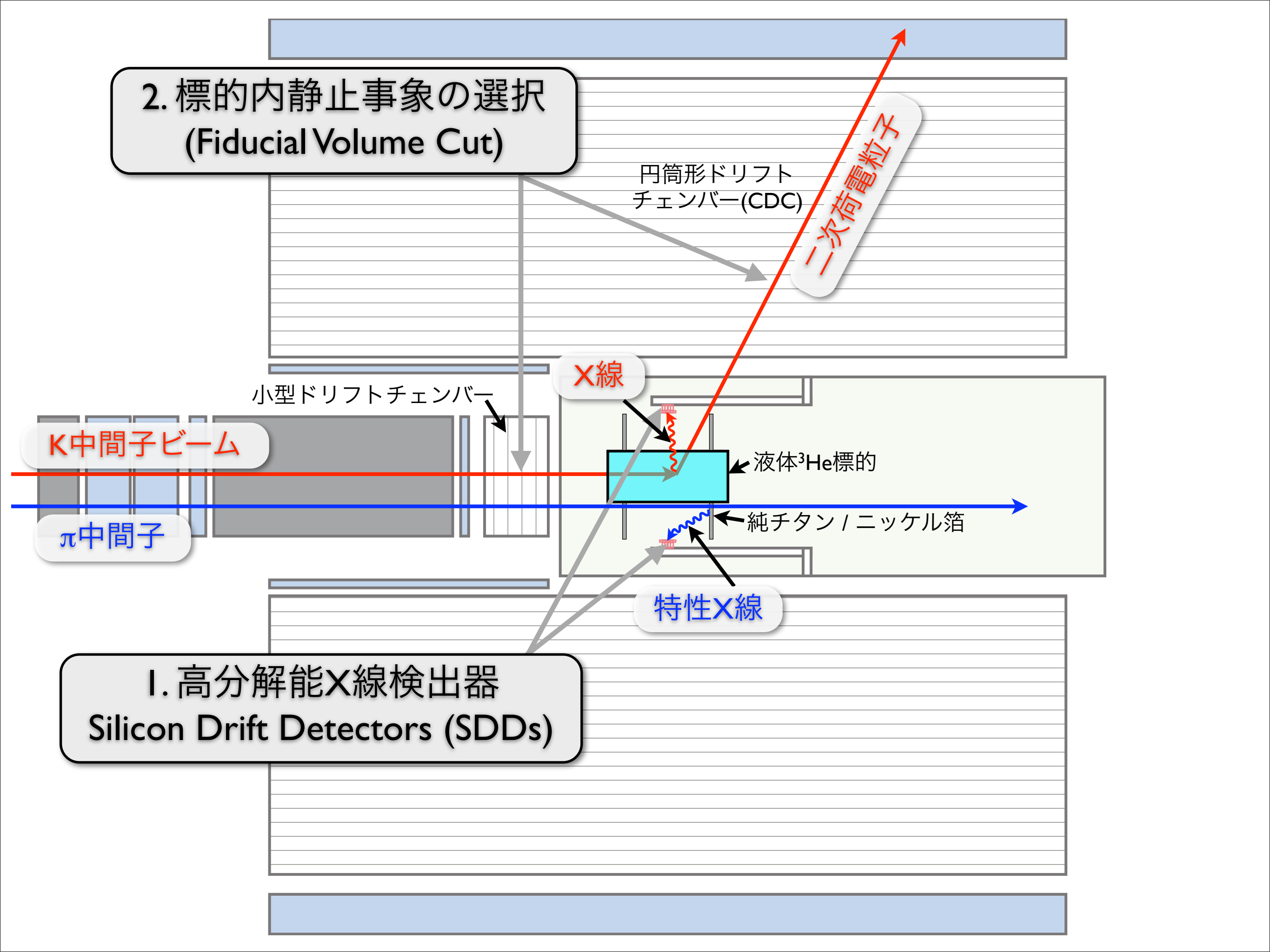
X線

液体 ^3He 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)



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

π 中間子

X線

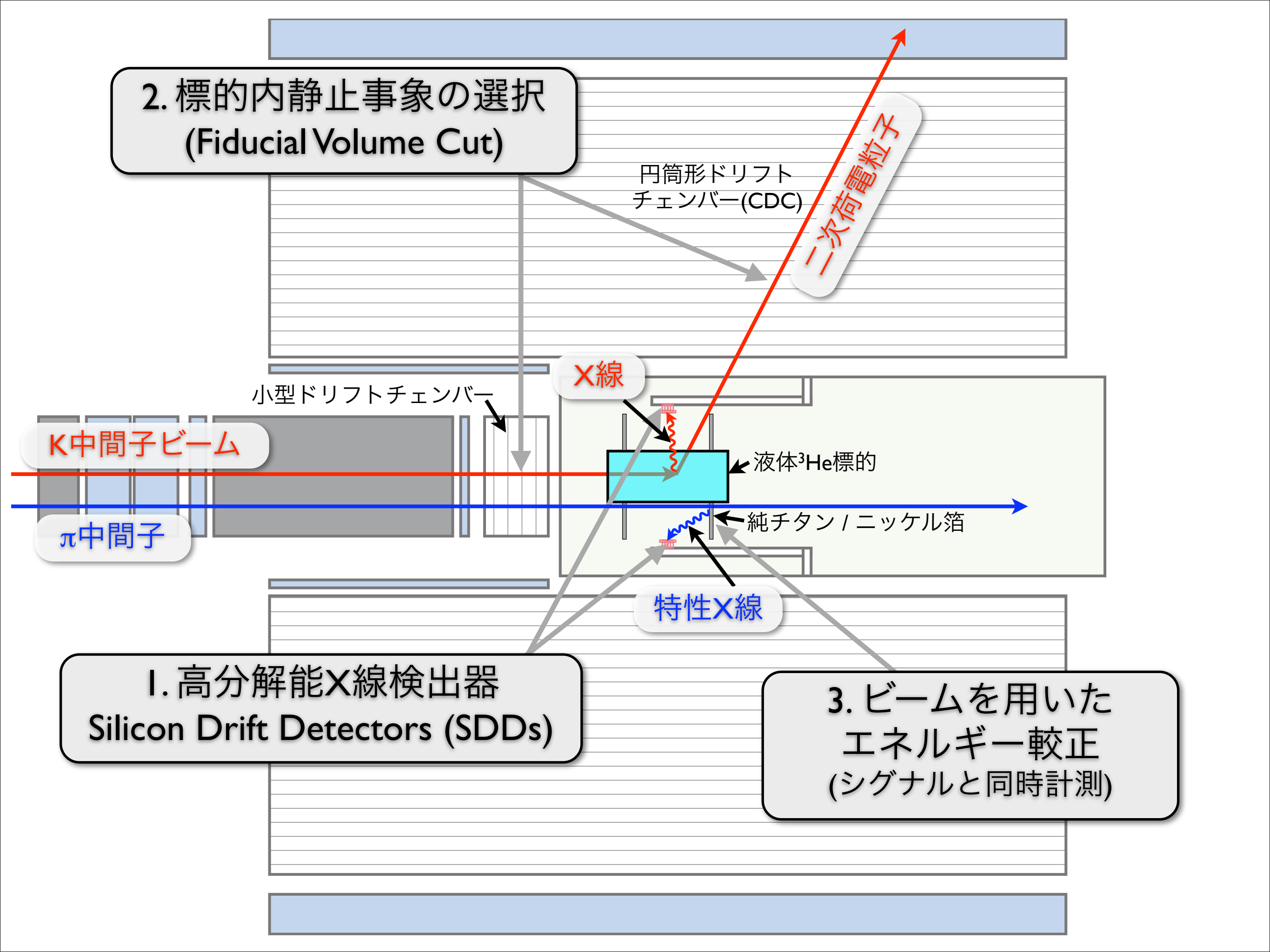
液体 ^3He 標的

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)

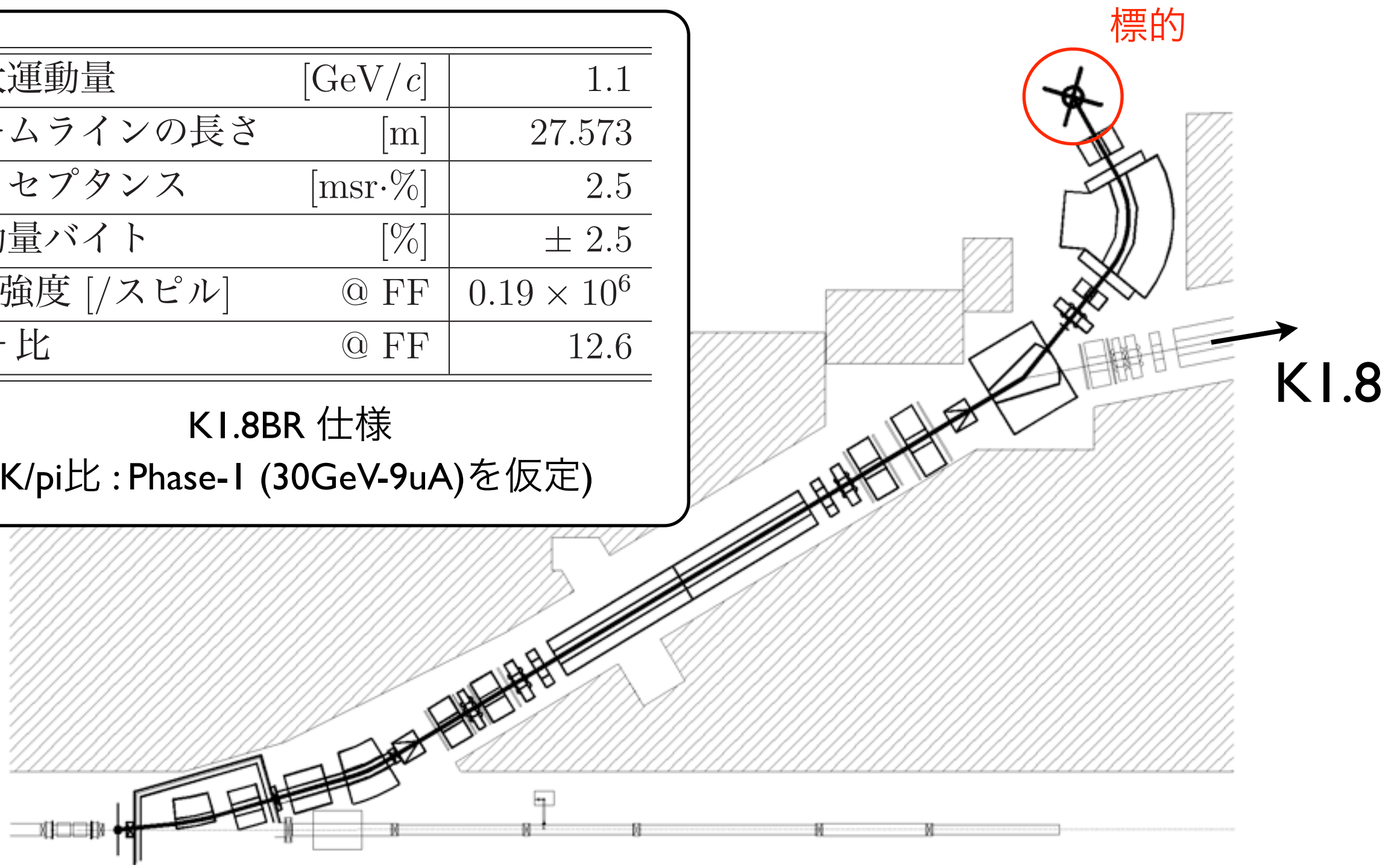


2. ビームライン

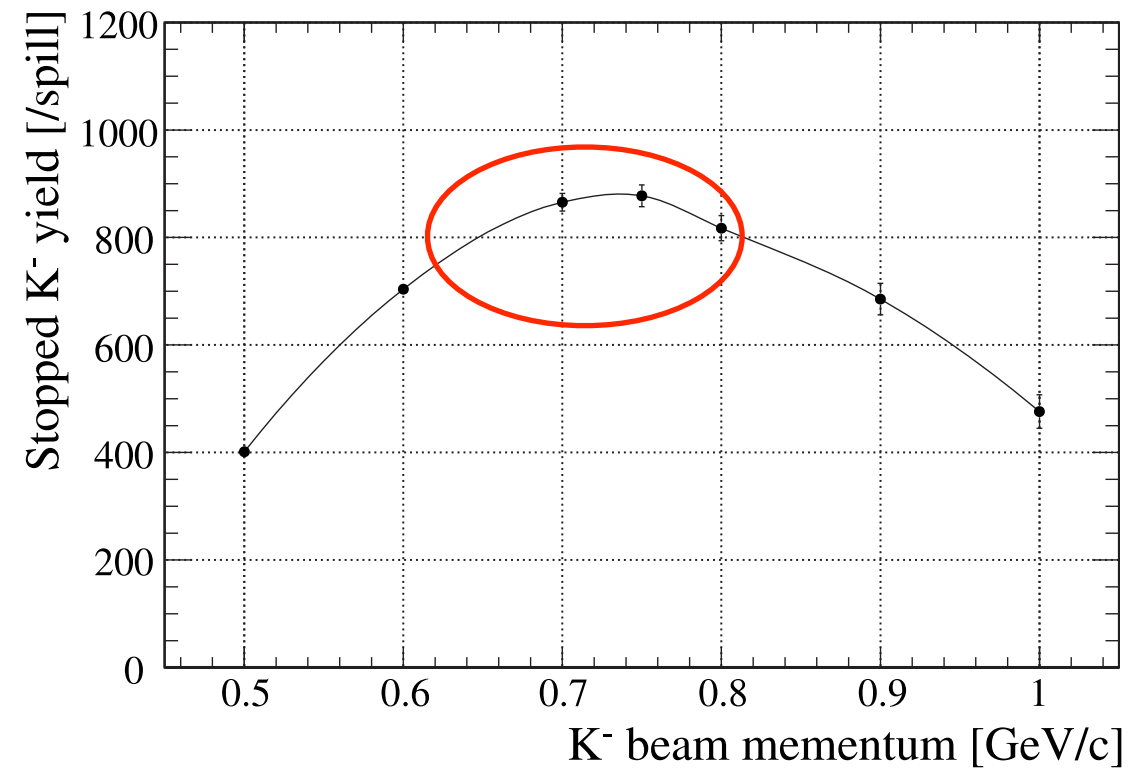
KI.8BR ビームライン

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	0.19×10^6
K/π 比	@ FF	12.6

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



ビーム中心運動量の選択



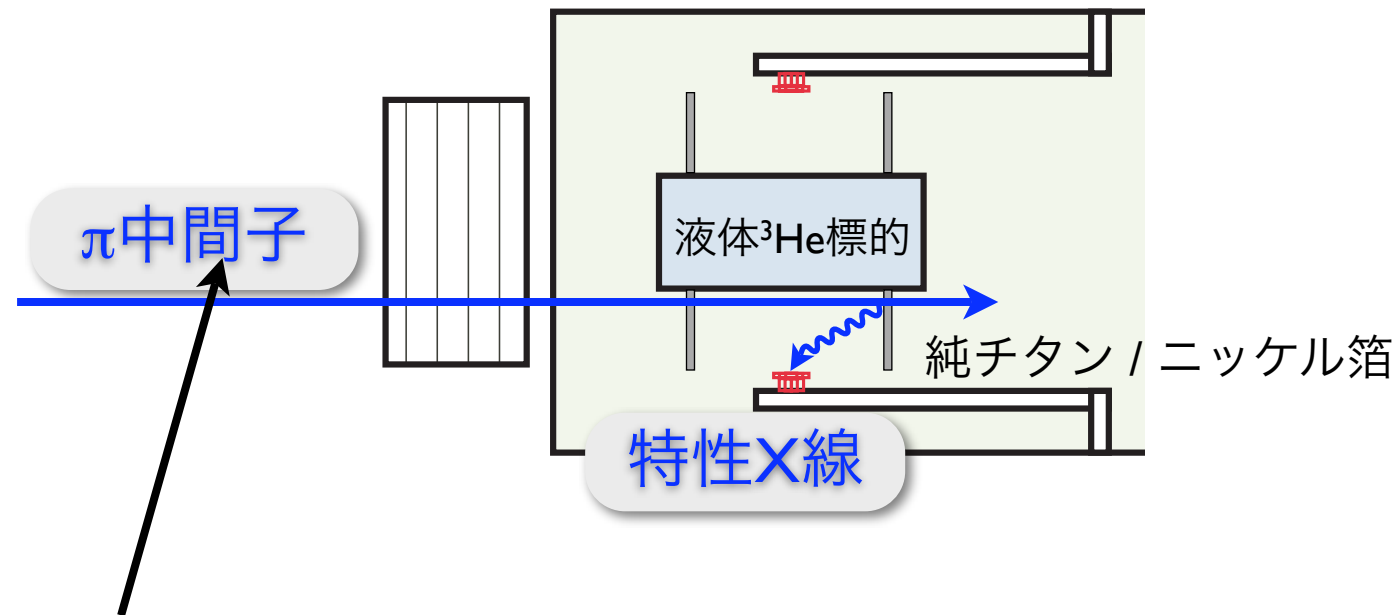
KI.8BRにおけるスピル当たりの
の静止K⁻の収量の計算結果
(TURTLE + Sanford-Wang)

750MeV/c付近を用いる

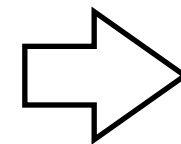
(E570で用いた650MeV/c入射からのK収量と大きな差はない)

π^- 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

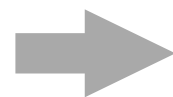


Kビームに混在するMIPS粒子 π がTi・Ni箔を通過する際に生成する特性X線
➡ 良いエネルギー指標



コントロールされた π 混入が必要

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

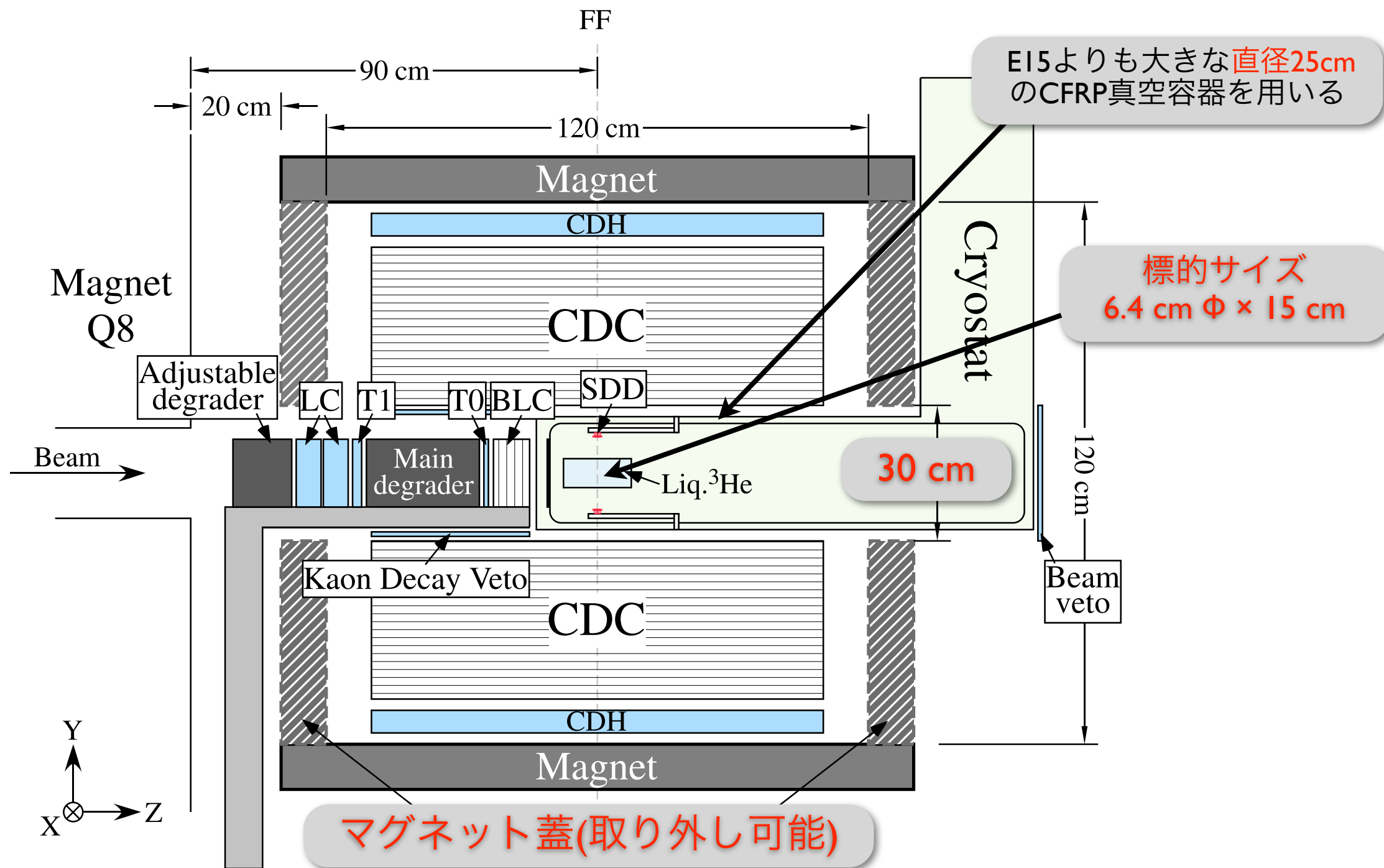


K/ π 比 ~ 0.75 程度が望ましい
(K強度190k/spillを仮定)

TURTLEでは"クラウド π "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



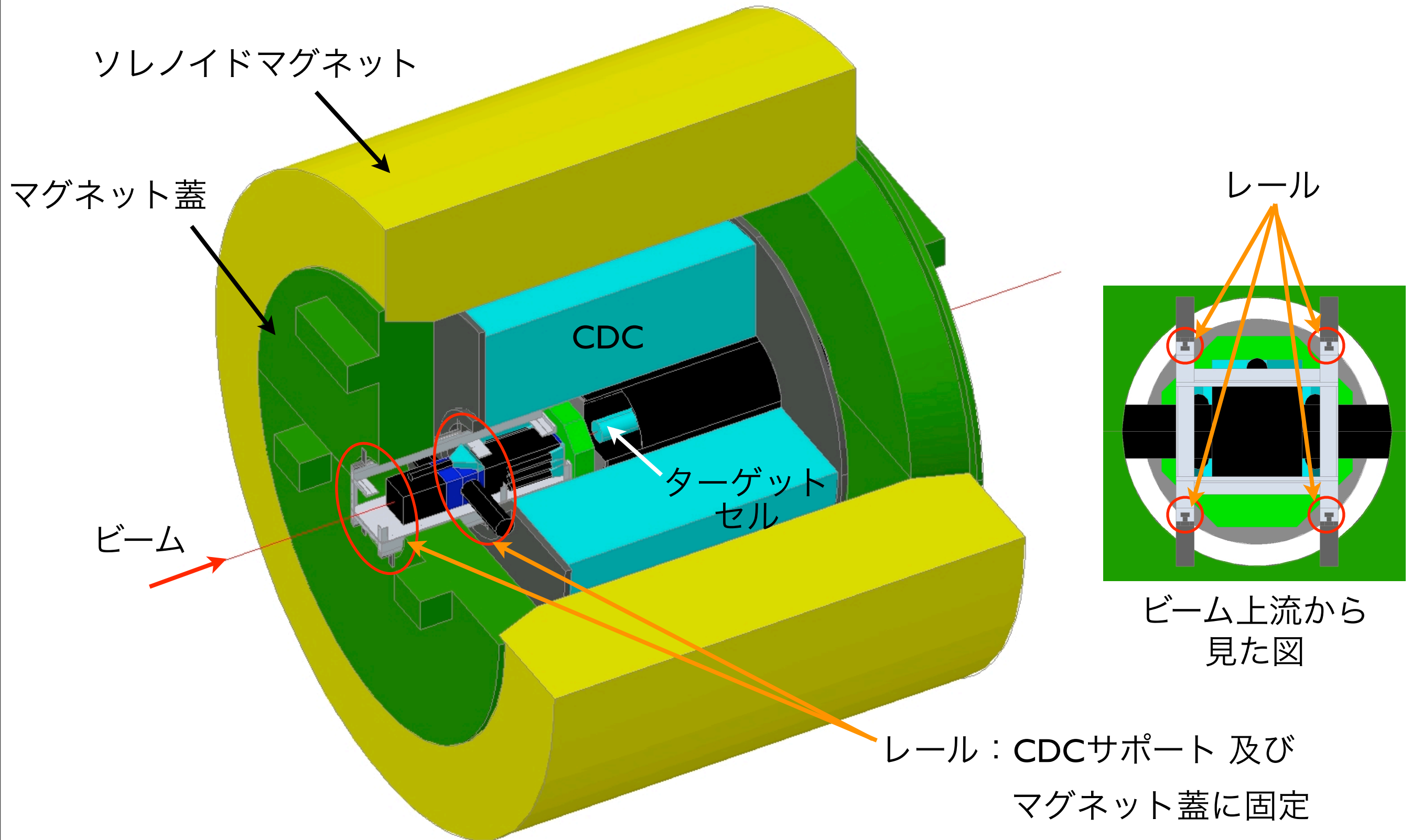
トリガーロジック： $(K_{\text{STOP}} \otimes \text{CDH} \otimes \text{SDD}) \oplus (\text{SDD}_{\text{self trig.}})$

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

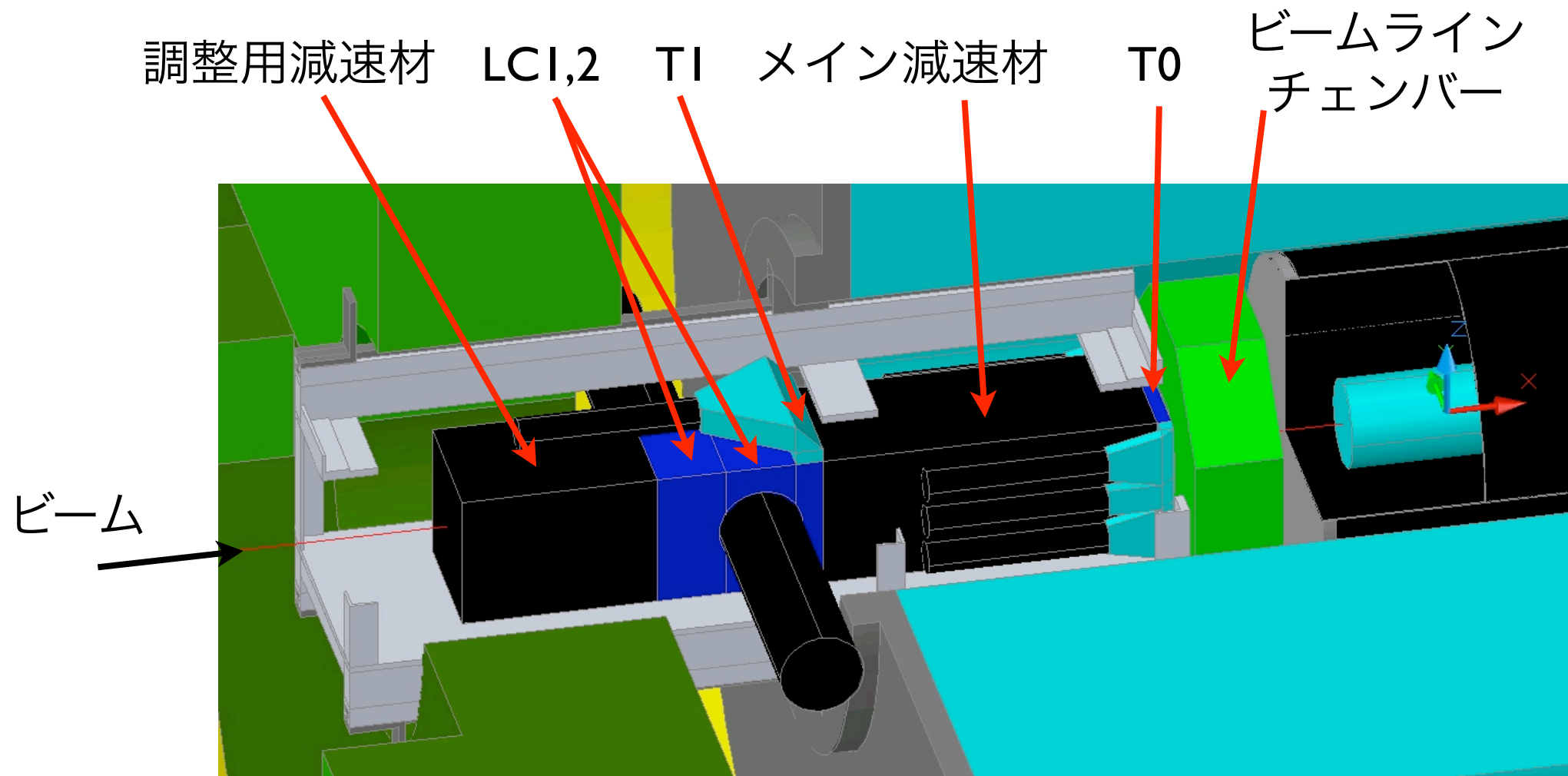
E570実験でのデータに基づき期待されるトリガーレートは、

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

セットアップ鳥瞰図



静止Kのための検出器群

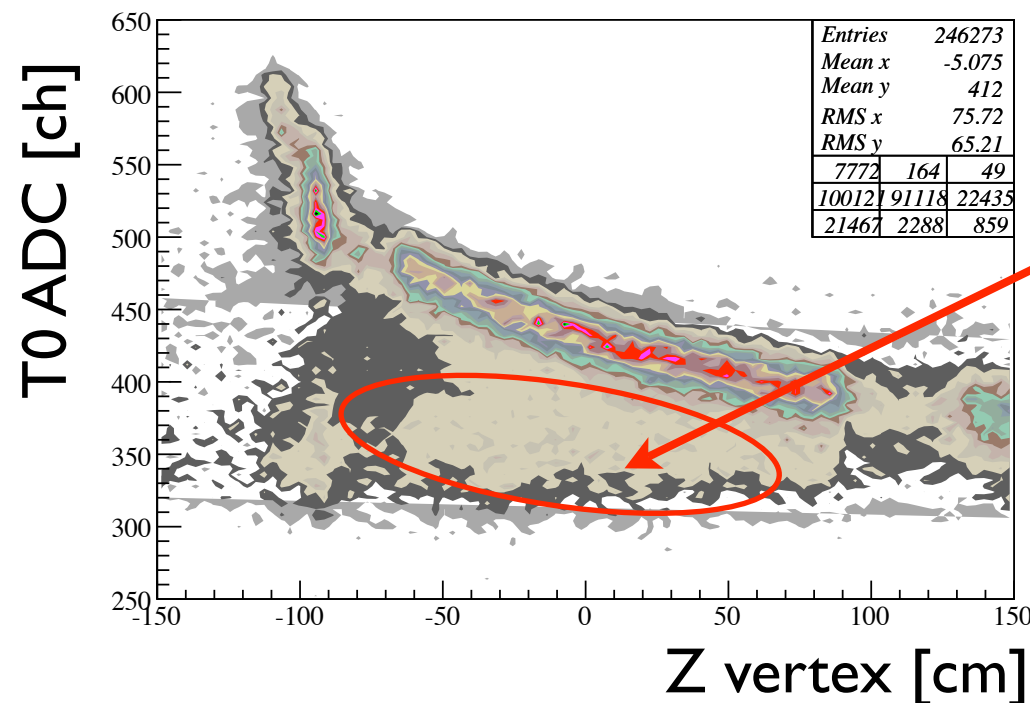


必要なカーボン減速材の厚さ：約 38 / 48 / 58 cm
(入射ビーム運動量 650 / 700 / 750 MeV/cに対して)

(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)
 π / 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

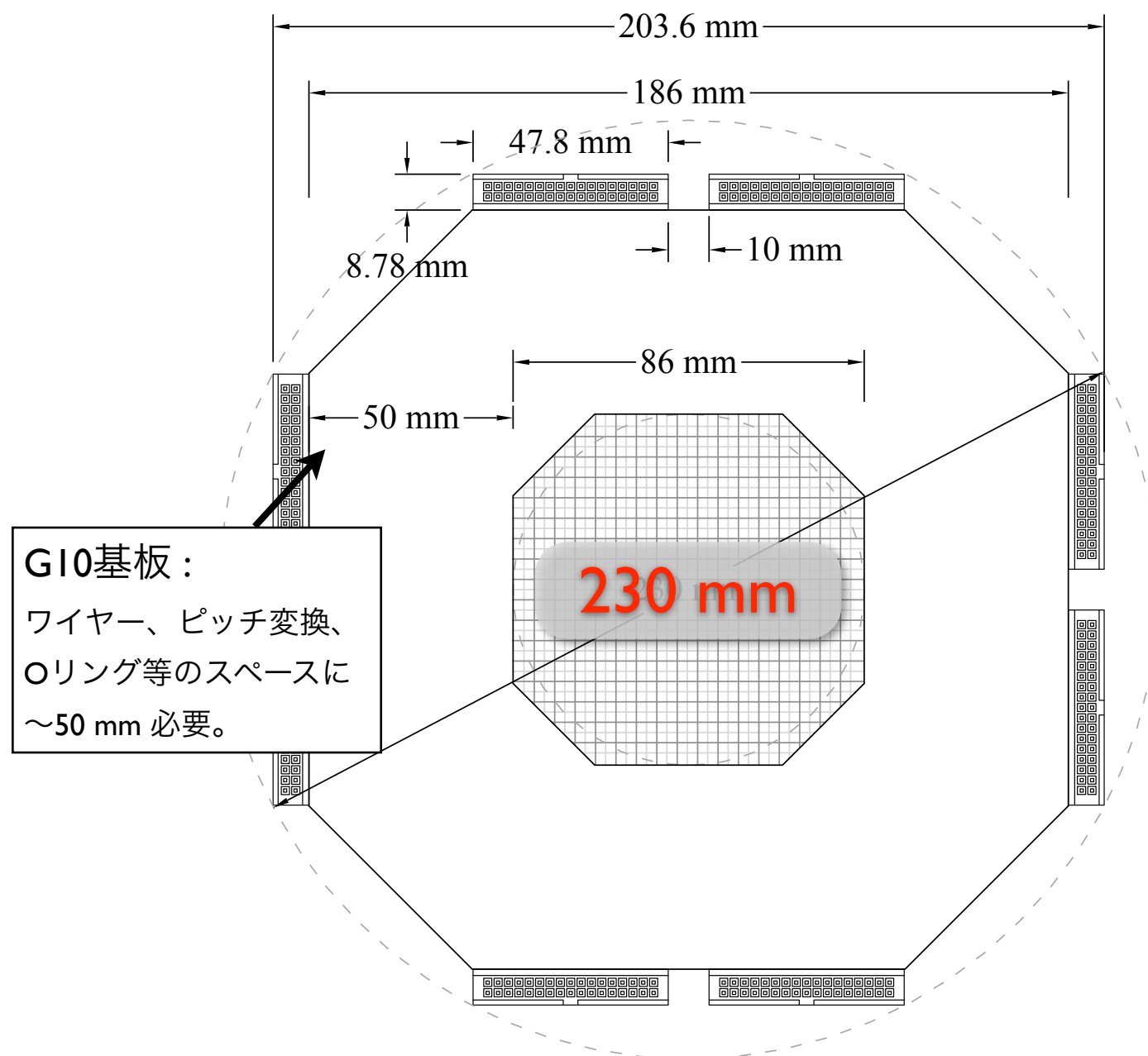
(E570データ)

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

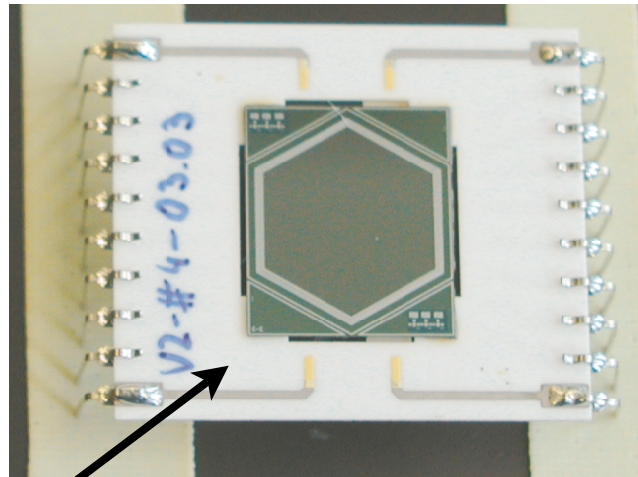
➡ 250 mmΦ以内に収める



- 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 [cm²]
- 8面 (XX'YY' XX'YY')

➡ 230 mmΦ に十分収まる

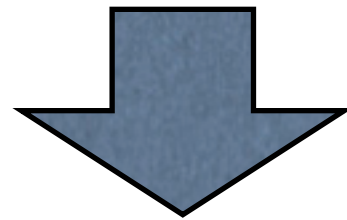
X線検出器 (SDD)



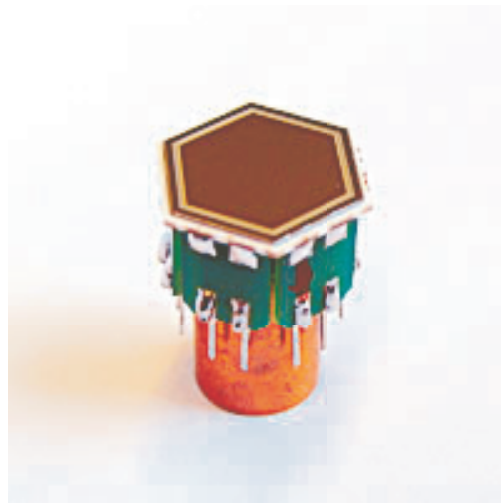
KETEK SDD プロトタイプ (100mm²):
E570で使用

(現在12台所有)

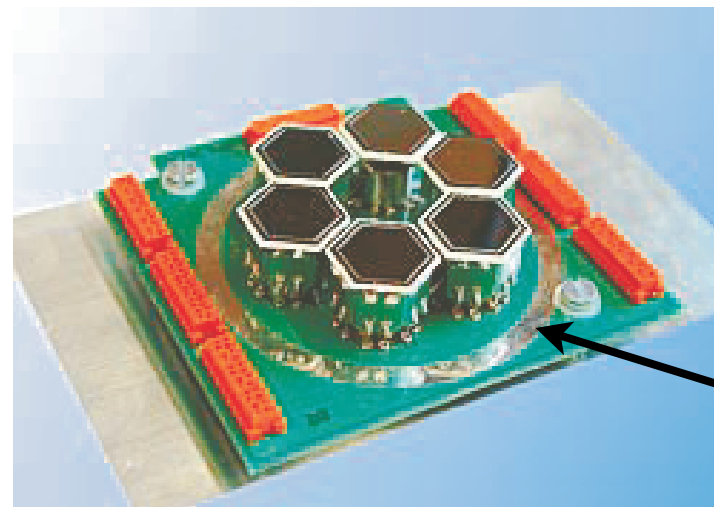
セラミック
(SDDサポートの熱収縮等
により、破壊されやすい)



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

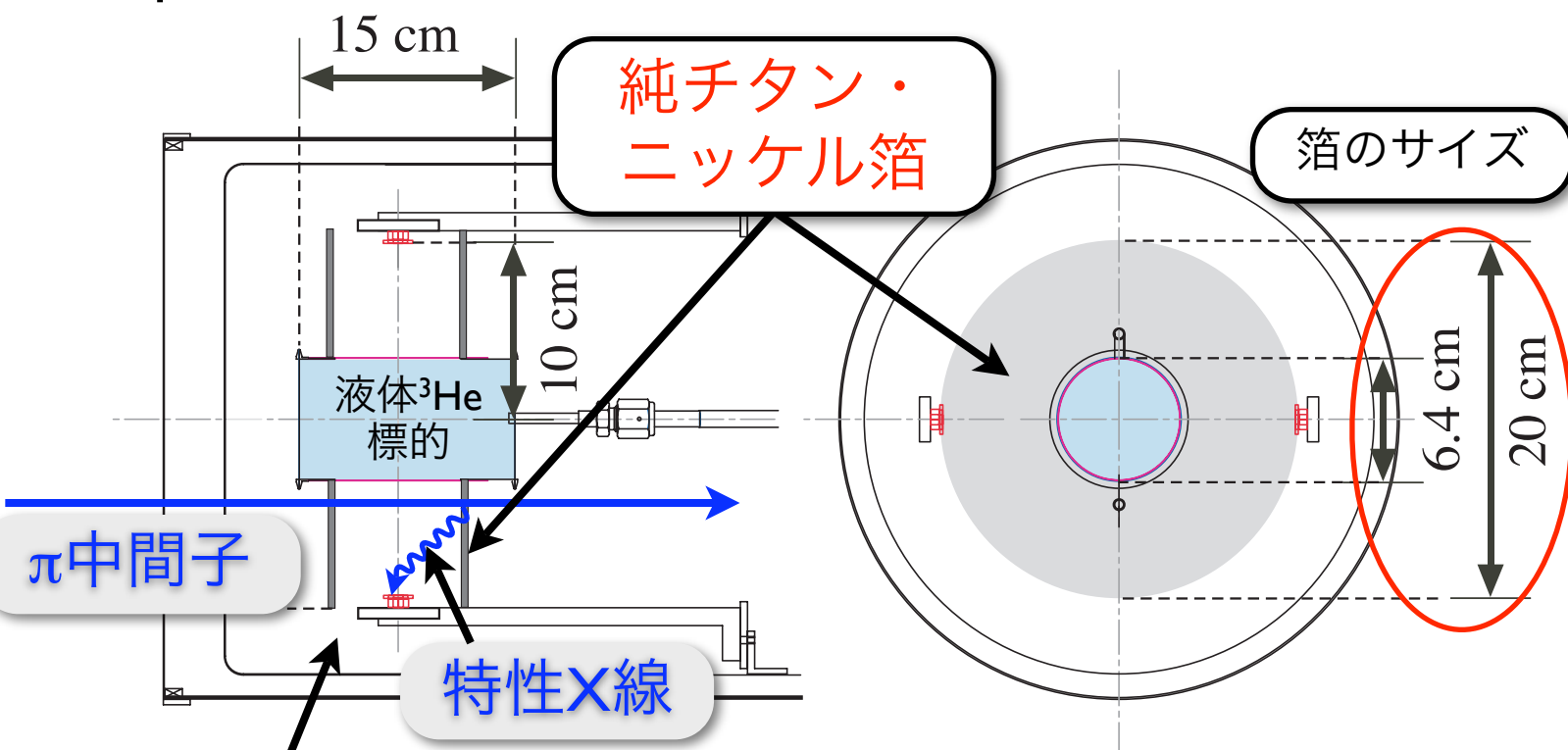
モジュール化
➡ 集積可能

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



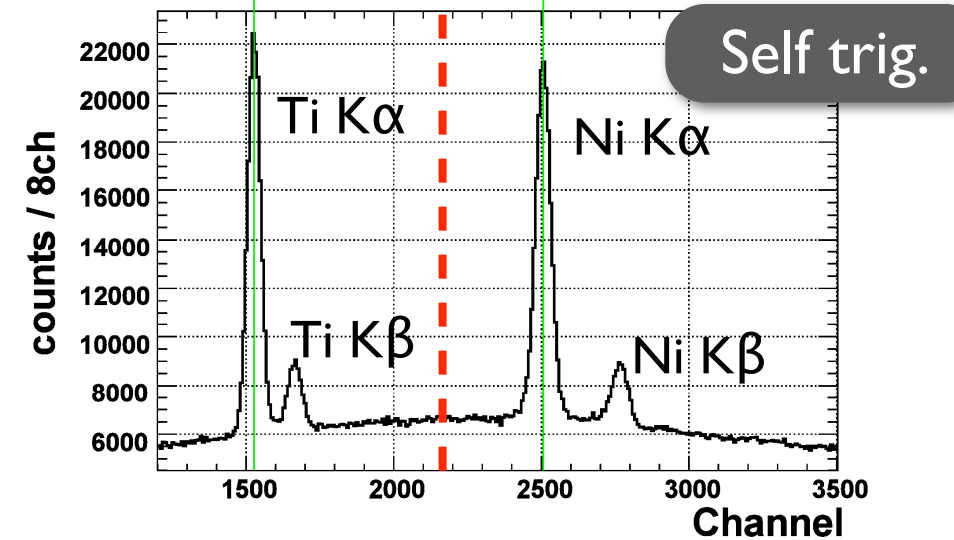
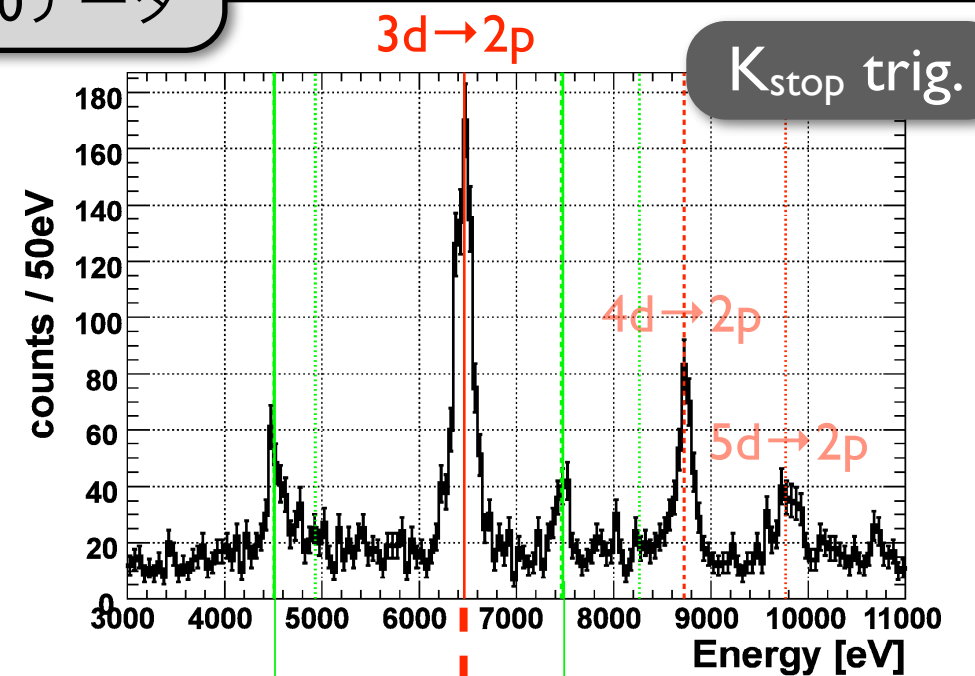
Ti・Ni箔を通過するMIPS粒子 π が生成する特性X線
 ➡ 良いエネルギー指標

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 π の広がり・E17セットアップを考慮

π^- の絶対強度 $\sim 0.25 \times 10^6$ の場合：1シフト
 ISDD当たり ~ 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

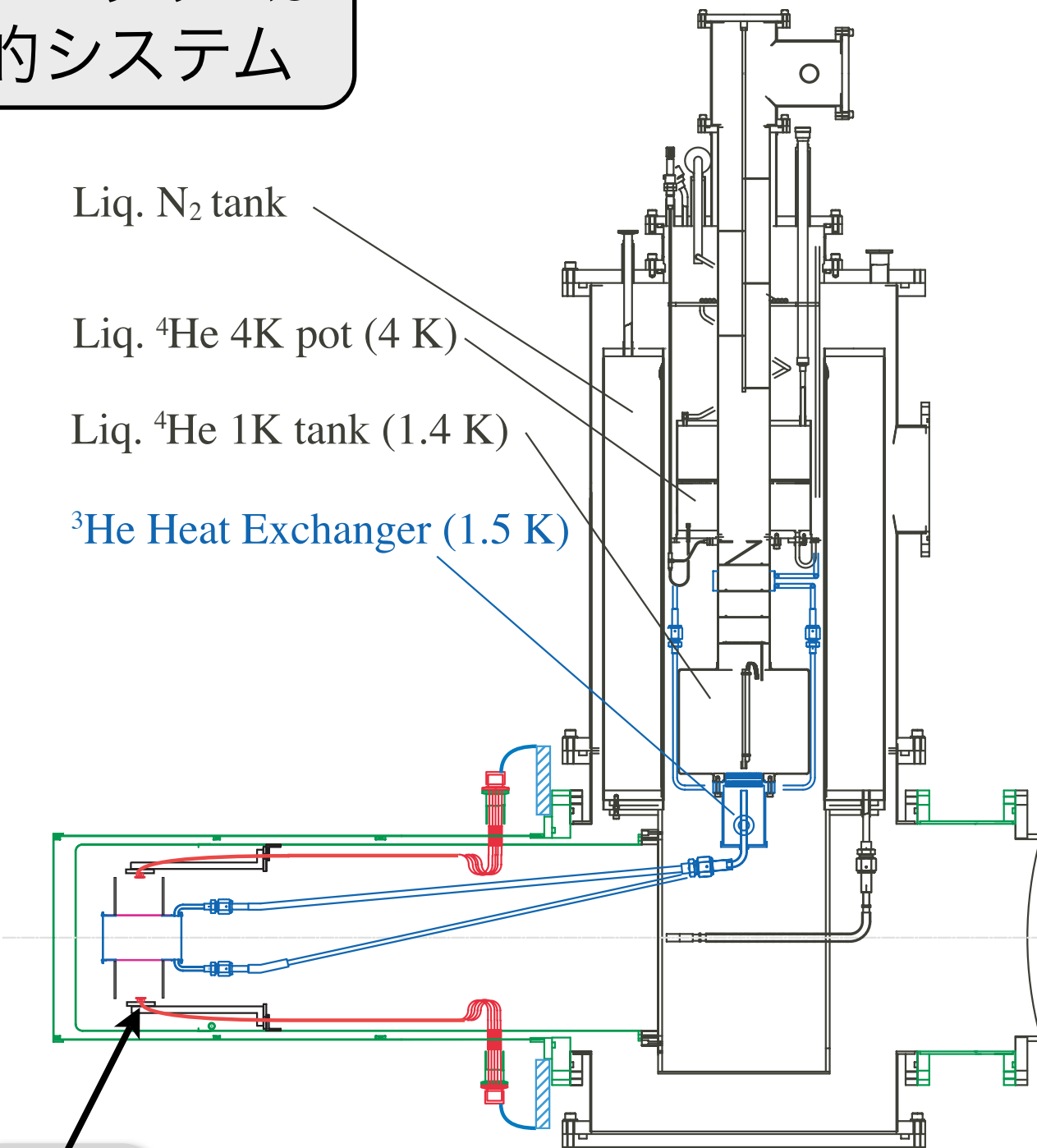
液体ヘリウム3
標的システム

Liq. N₂ tank

Liq. ⁴He 4K pot (4 K)

Liq. ⁴He 1K tank (1.4 K)

³He Heat Exchanger (1.5 K)



SDDs

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

プリアンプを真空容器内部へ

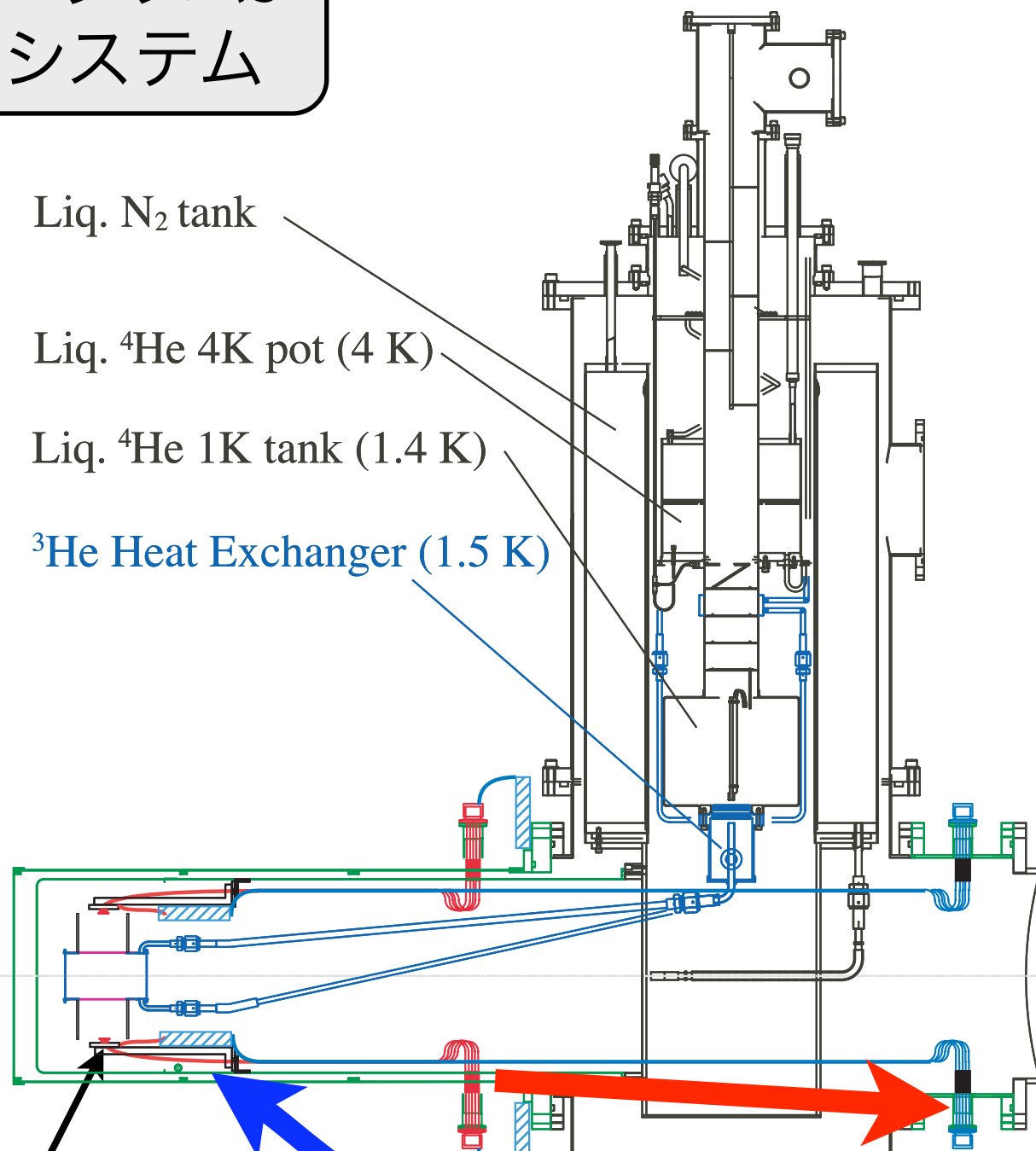
液体ヘリウム3
標的システム

Liq. N₂ tank

Liq. ⁴He 4K pot (4 K)

Liq. ⁴He 1K tank (1.4 K)

³He 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

プリアンプを真空容器内部へ

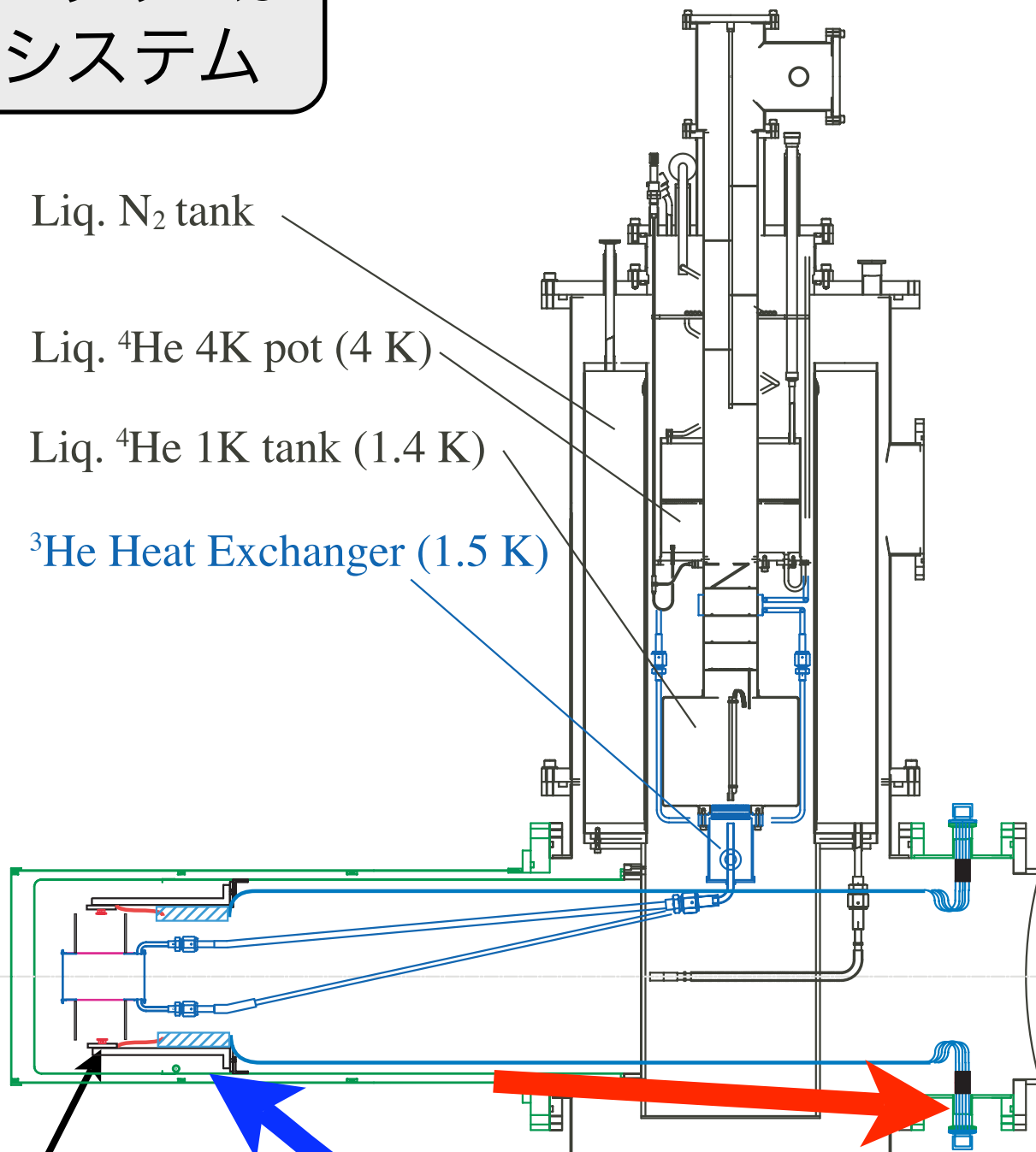
液体ヘリウム3
標的システム

Liq. N₂ tank

Liq. ⁴He 4K pot (4 K)

Liq. ⁴He 1K tank (1.4 K)

³He 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 μ 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

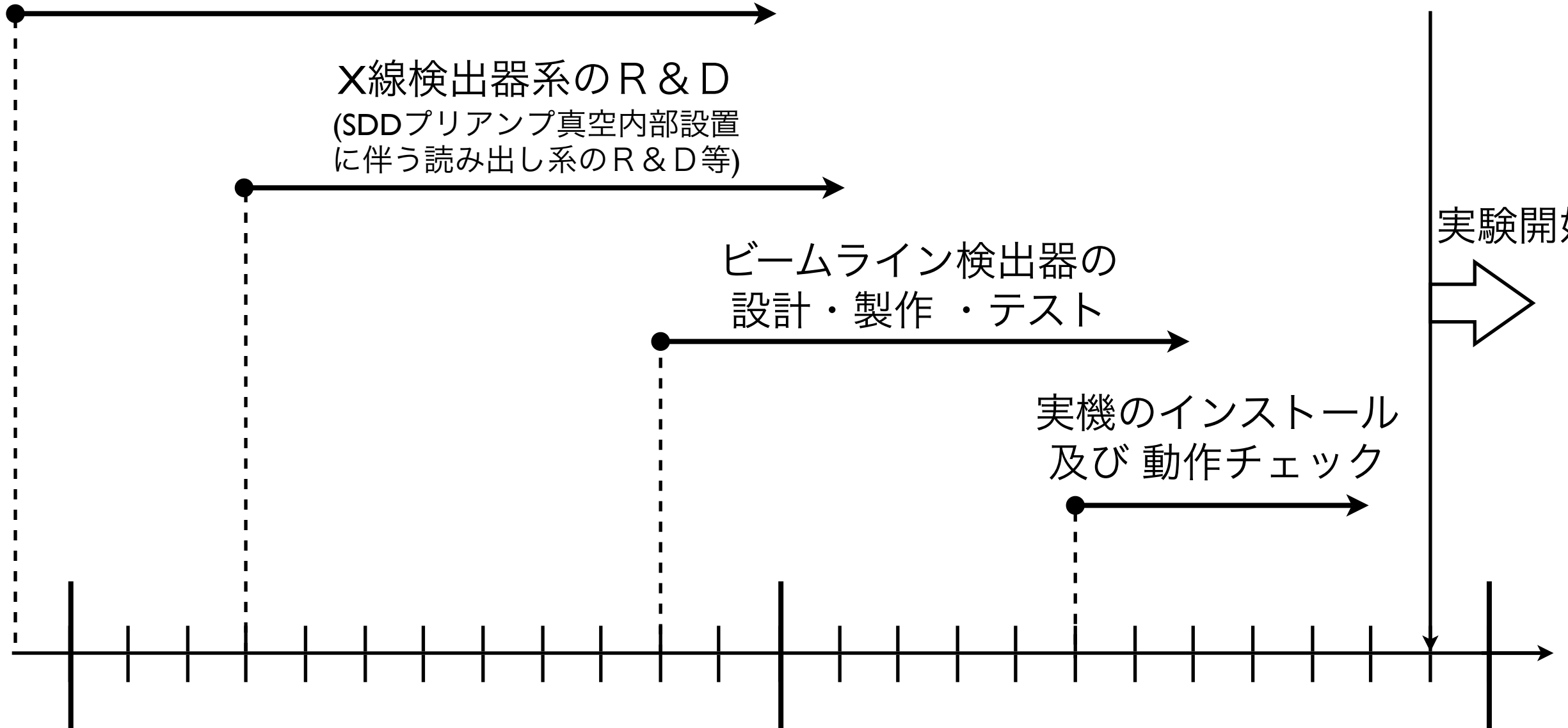
実機のインストール
及び動作チェック

実験開始

2009年1月

2008年1月

2007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^a, H. Bhang^b, P. Buehler^c, M. Cargnelli^c, 千葉順成^d, S. Choi^b, C. Curceanu^e, 福田芳之^f, C. Guaraldo^e, 花木俊生^d, 早野龍五^{g,4}, A. Hirtl^c, 飯尾雅実^h, M. Iliescu^e, 石川隆^g, 石元茂ⁱ, 石渡智一^c, 板橋健太^h, 岩崎雅彦^{f,h}, P. Kienle^c, J. Marton^c, 松田恭幸^h, 大西宏明^h, 岡田信二^{h,5}, 應田治彦^{h,6}, D. Pietreanu^e, 佐久間史典^h, 佐藤将春^f, D. Sirghi^e, F. Sirghi^e, 鈴木祥仁ⁱ, 鈴木隆敏^h, 竜野秀行^g, 友野大^h, E. Widmann^c, 山崎敏光^{g,h}, H. Yim^b, J. Zmeskal^c

^a ヴィクトリア大学 (カナダ)

^b ソウル大学 (韓国)

^c ステファンマイヤー研究所 (オーストリア)

^d 東京理科大学

^e LNF-INFN (イタリア)

^f 東京工業大学

^g 東京大学

^h 理化学研究所

ⁱ 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($\sim 2\text{eV}(\text{stat.})$))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