

グザイハイパー核分光実験J-PARC E70に用いる アクティブシンチレーションファイバ標的の性能試験



京都大学大学院理学研究科

原田 健志

金築 俊輔, 後神 利志, 永江 知文, 七村 拓野

2019年1月21日

本発表の内容

研究動機

- ハイパー核研究の意義
- J-PARC E70 におけるグザイハイパー核分光
- アクティブファイバー標的 (AFT) の概要
- これまでの開発状況
 - RCNPにおける性能試験
 - Geant4 モンテカルロシミュレーション

本申請実験 @ELPH

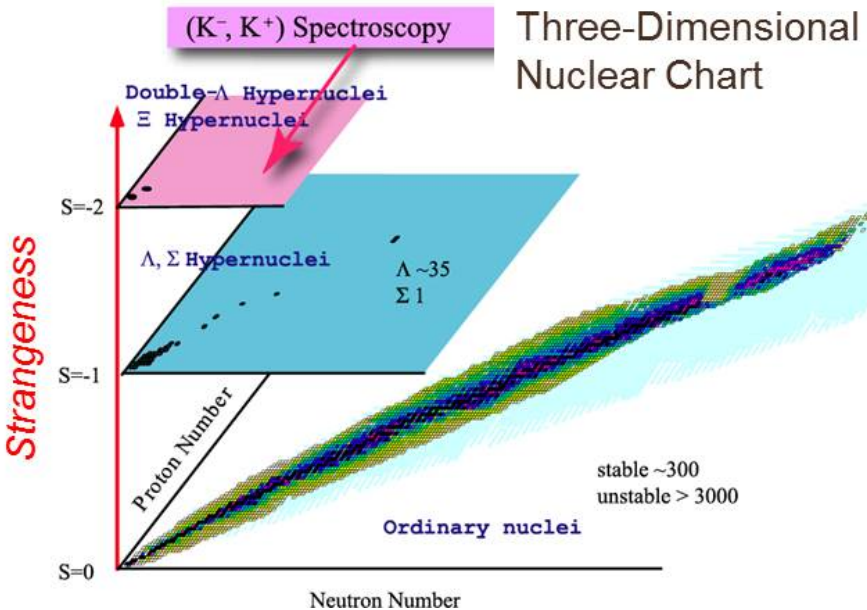
- 実験目的
- 実験セットアップ
- 要求ビームタイム

まとめ

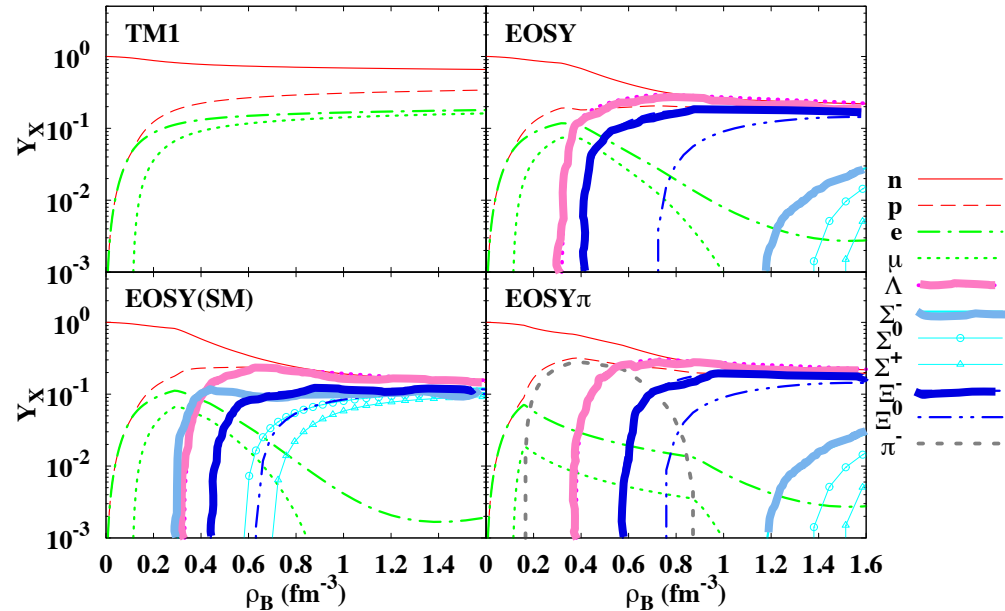
ハイパー核研究の意義

- (核子間) 核力 $\xrightarrow{\text{拡張}}$ s クォークを含むバリオン間力
- 高密度核物質におけるストレンジネス量子数の役割

Neutron stars
 $\rightarrow S = -\infty$



Neutron Star Matter

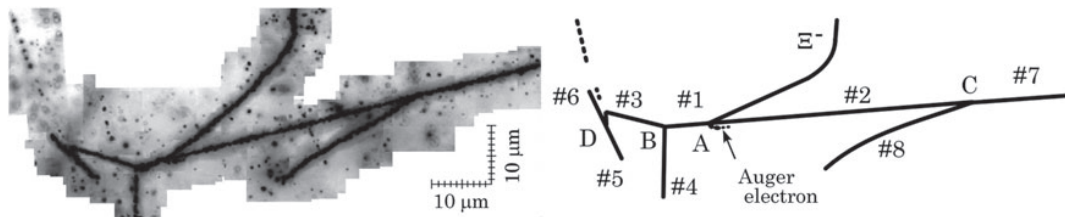
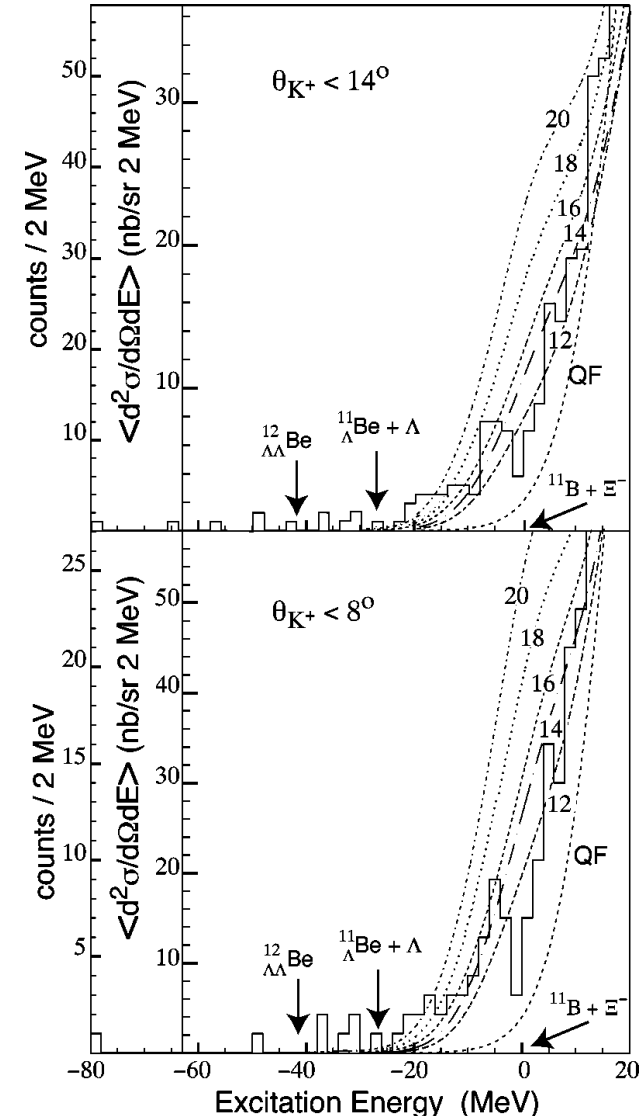


Ishizuka, A. Ohnishi, Tsubakihara, Sumiyoshi,
 Yamada, *J. Phys. G35(08),085201*

$S = -2$ ハイパー核分光と相互作用研究

P.Khaustov et al., PRC 61 (2000) 054603

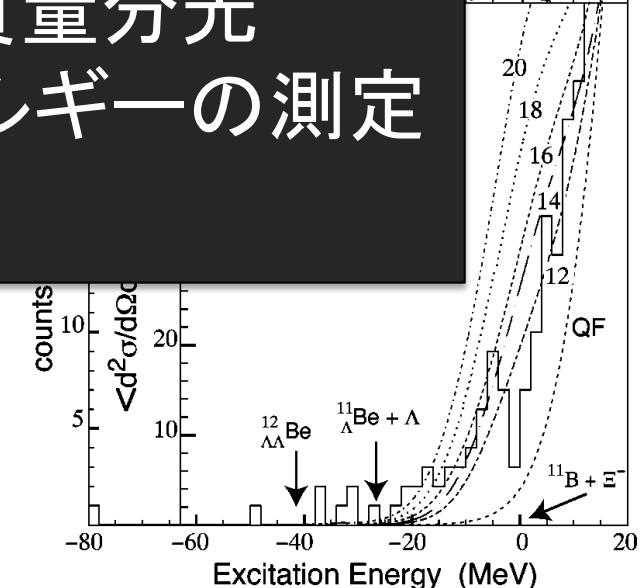
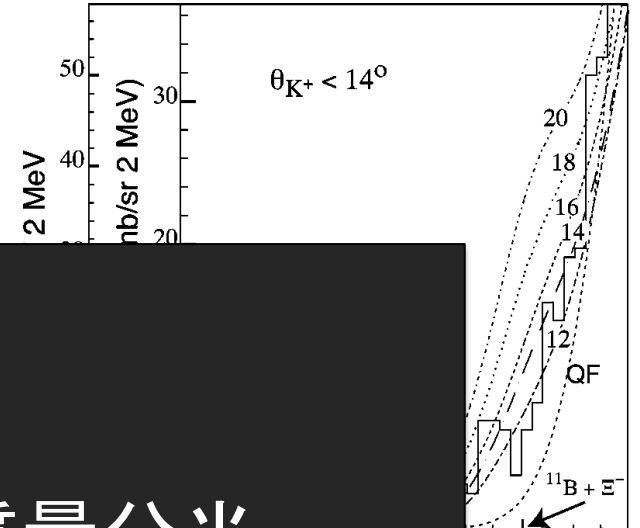
- ダブル Λ ハイパー核や Ξ ハイパー核のエネルギー準位の測定は数例のみ
 - NAGARA (ダブル Λ ハイパー核)
 - KISO (Ξ ハイパー核の束縛を示唆)
- 欠損質量分光
 - KEK E224 ($\Delta E = 22$ MeV FWHM)
 - BNL E885 ($\Delta E = 14$ MeV FWHM)
 - いずれも束縛状態のピーク構造の直接測定には至らず



K. Nakazawa et al., PTEP (2015) 033D02

S = -2ハイパー核分光と相互作用研究

P.Khaustov et al., PRC 61 (2000) 054603

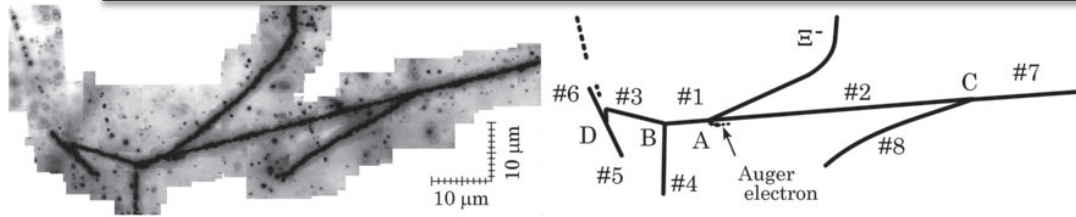


- ダブル Λ ハイパー核や Ξ ハイパー核のエネルギー準位の測定は数例のみ
 - NAGARA (ダブル Λ ハイパー核)
 - K...

- 欠損
 - K...
 - B...
 - し...
 - には

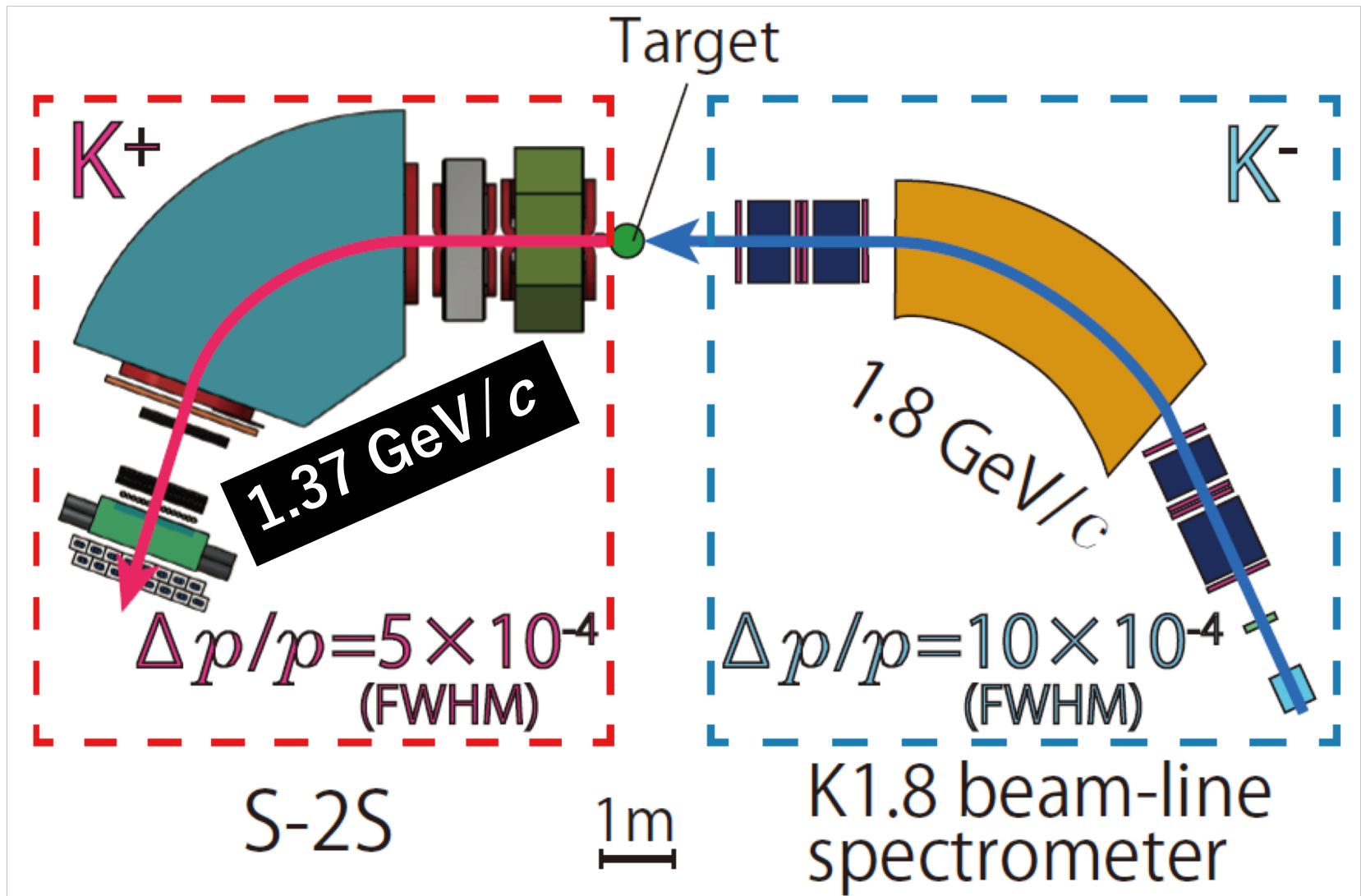
J-PARC E70

**高分解能 (K⁻, K⁺) 欠損質量分光
→ Ξ ハイパー核の束縛エネルギーの測定**

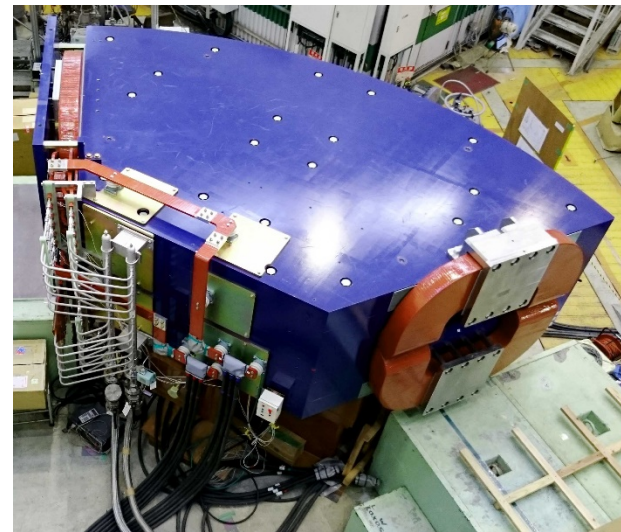
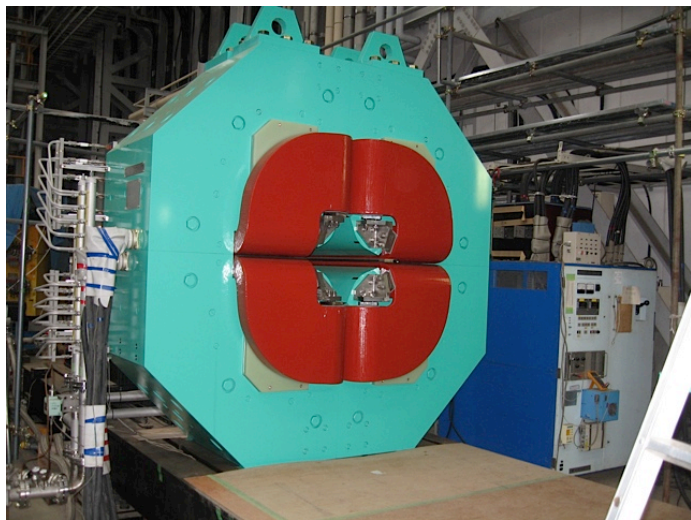


K. Nakazawa et al., PTEP (2015) 033D02

J-PARC E70 の実験セットアップ



新設 S-2S 電磁石

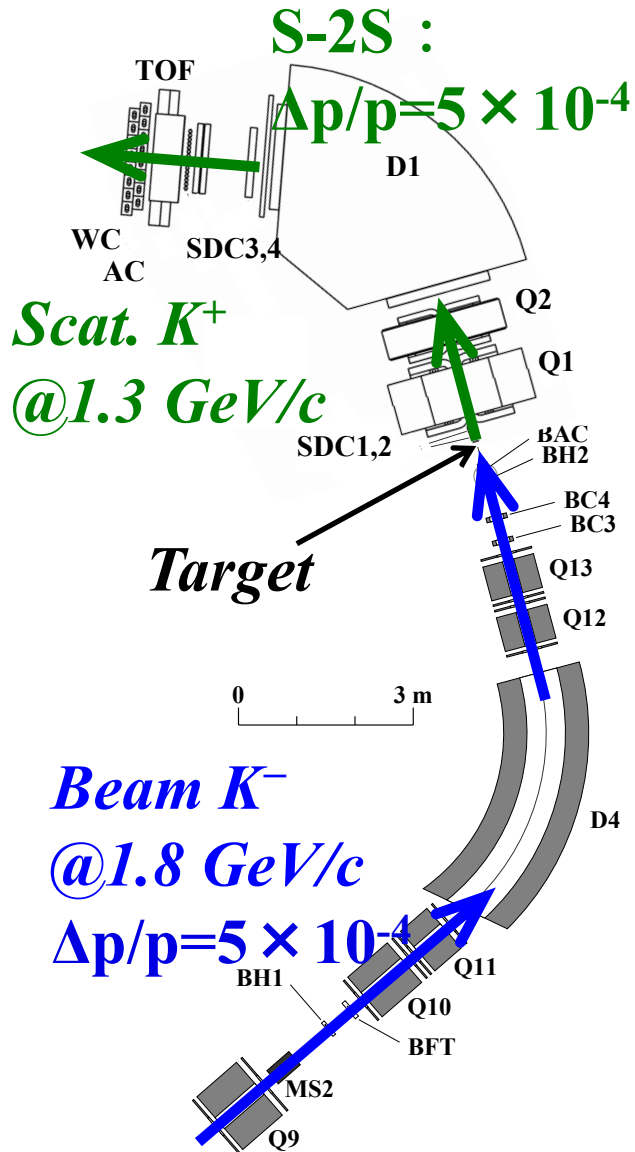


Quadrupoles	Q1	Q2
Field Gradient (T/m)	8.72	5.0
Weight (ton)	37	12
Aperture (cm)	31	36
Current (A)	2500	2500
Power (kW)	400	156

Dipole	D
Field Strength(T)	1.5
Weight (ton)	86
Pole Gap (cm ²)	32×80
Current (A)	2500
Power (kW)	450

また、粒子検出器 (TOF, DC, チェレンコフ検出器) はほぼ完成

J-PARC E70 で目標とするエネルギー分解能



概要

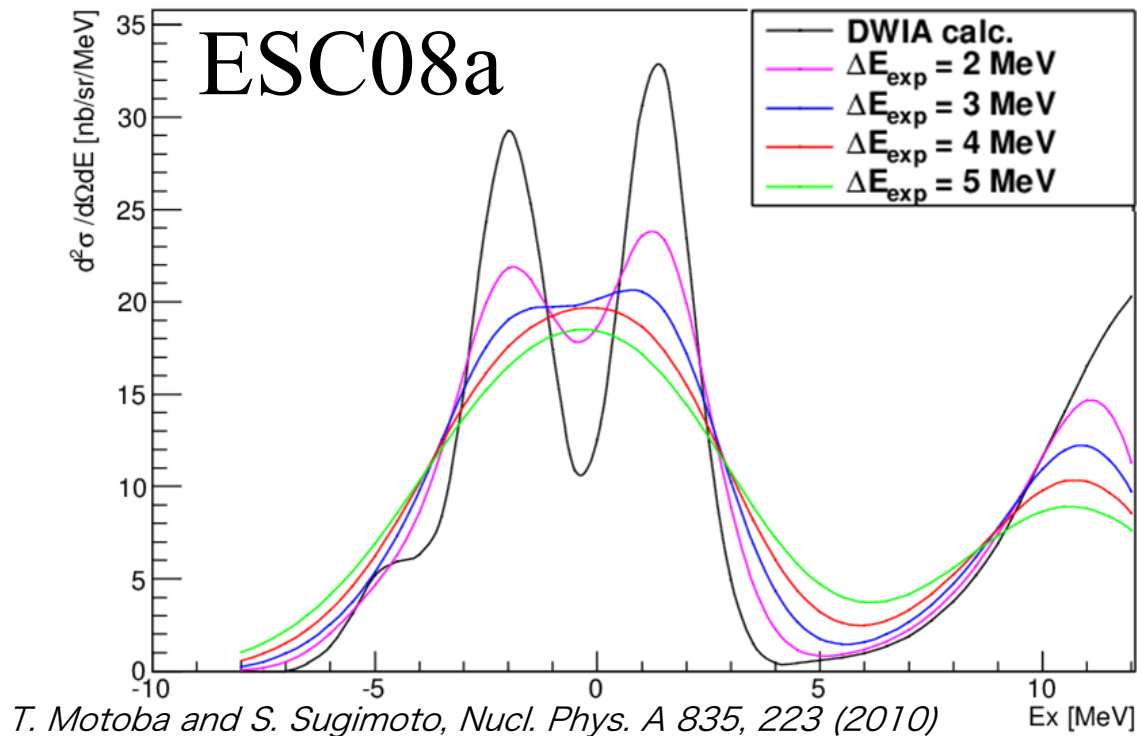
- $^{12}\text{C}(K^-, K^+)^{12}_{\Sigma}\text{Be}$ 反応を用いた欠損質量分光
- 束縛状態のピーク構造を測定 \rightarrow 三N相互作用

欠損質量分解能 ΔM

- $$\Delta M = \sqrt{(\Delta E_{\text{spec}})^2 + (E_{\text{strag}})^2}$$
- $\Delta E_{\text{spec}} = 1\text{--}1.8 \text{ MeV}$ (FWHM)
- $\Delta M < 2 \text{ MeV}$ を達成するためには、
 $\rightarrow E_{\text{strag}} < 0.8 \text{ MeV}$ が要求される

高エネルギー分解能の必要性

$^{12}\text{C} (K^-, K^+) ^{12}_{\text{Be}}$ at 1.8 GeV/c
 (核となる ^{11}B の励起を考慮)



欠損質量分解能 $\Delta M < 2\text{MeV}$ により励起状態の分離が可能となる

高分解能を得つつ標的を厚くするために

反応	断面積 ($\theta < 8$ 度)	予想収量 (S-2S) (/1 週間 / (1g/cm ²))
$^{12}\text{C}(K^-, K^+)_{\text{E}}^{12}\text{Be}$	89 ± 14 nb/sr (*)	9 counts

600k K⁻/spill を仮定

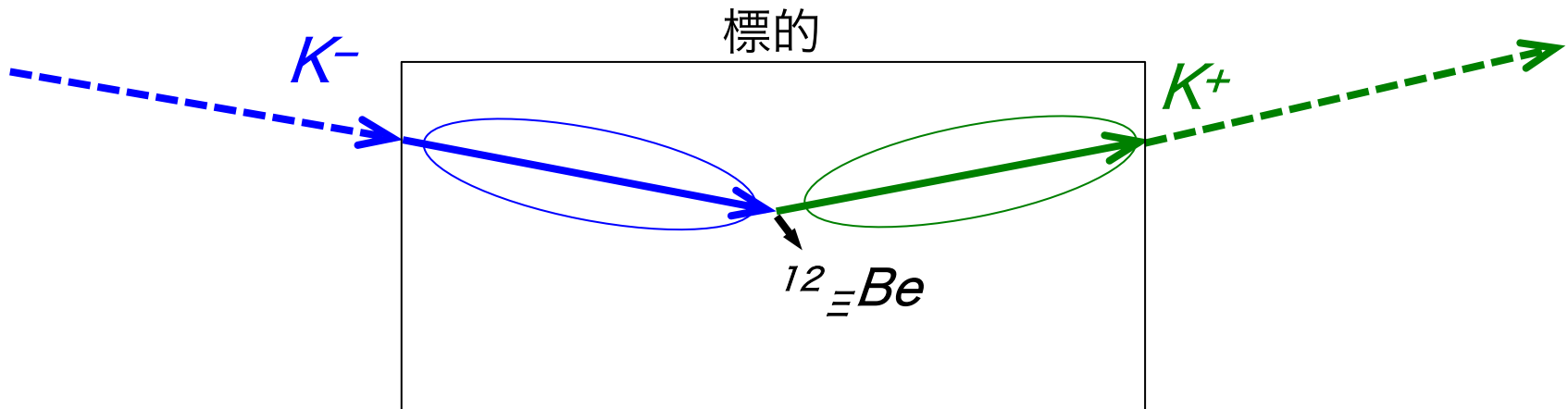
〔 例) 2 週間で200イベントを収集する場合、10 g/cm² 必要
→ $E_{\text{strag}} > 4$ MeV (全幅) 〕

→ イベントごとに標的でのエネルギー損失を測定し補正すればよい
→ アクティブ標的の導入
→ 高分解能・高統計の達成

(*) P. Khaustov, et al., PRC 60, 054603 (2000).

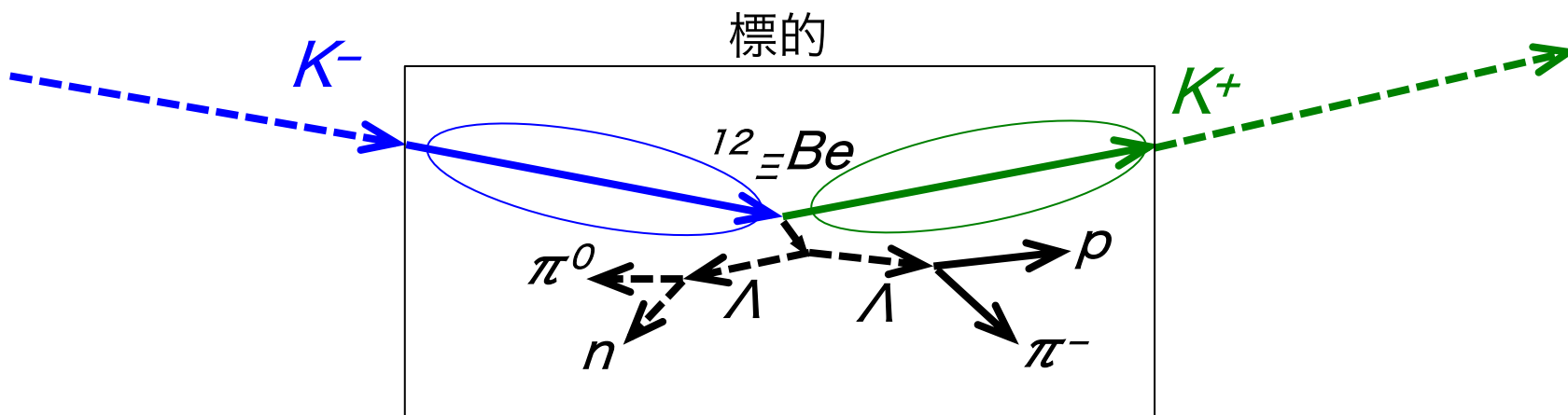
アクティブ標的

- シンチレーション光量から、イベントごとに K 中間子のエネルギーを補正



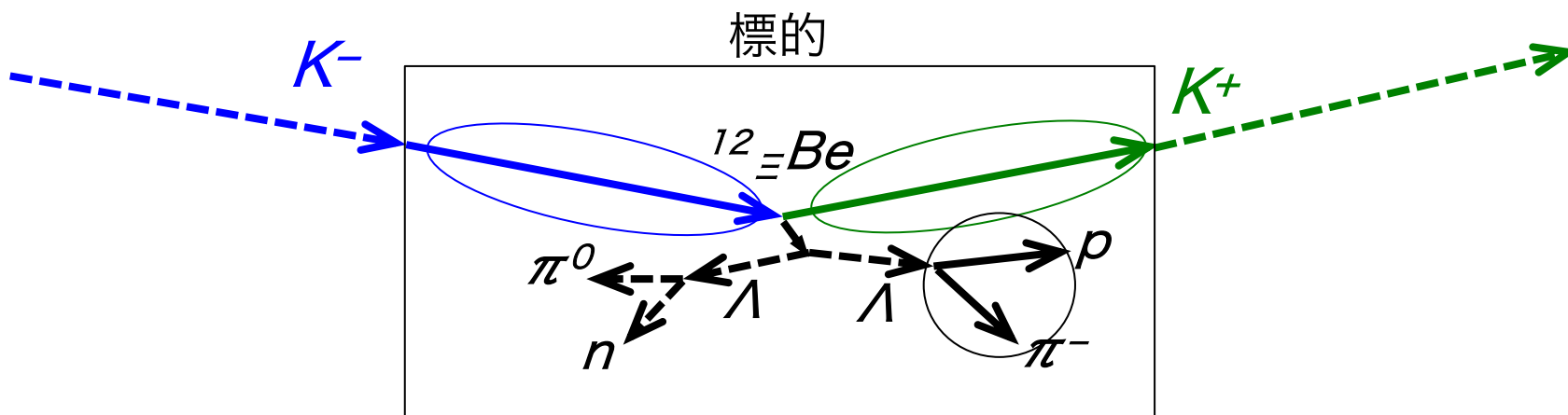
アクティブ標的

- シンチレーション光量から、イベントごとに K 中間子のエネルギーを補正



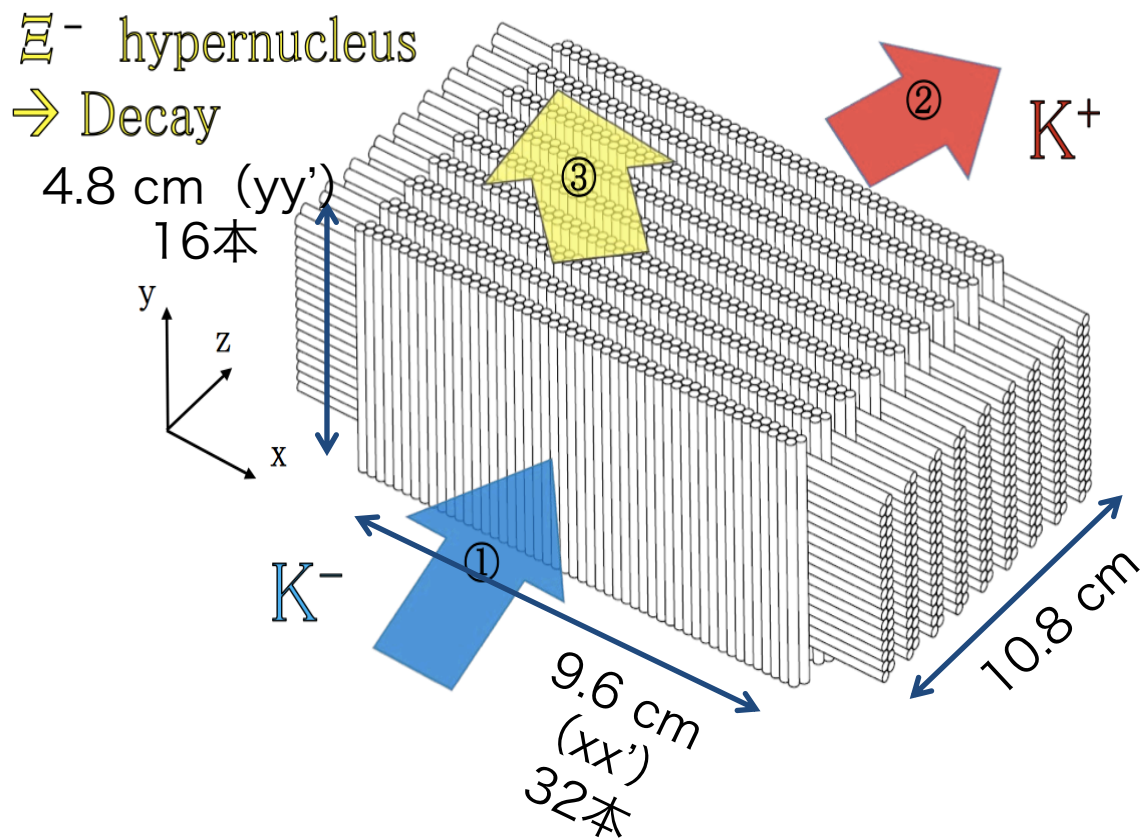
アクティブ標的

- シンチレーション光量から、イベントごとに K 中間子のエネルギーを補正



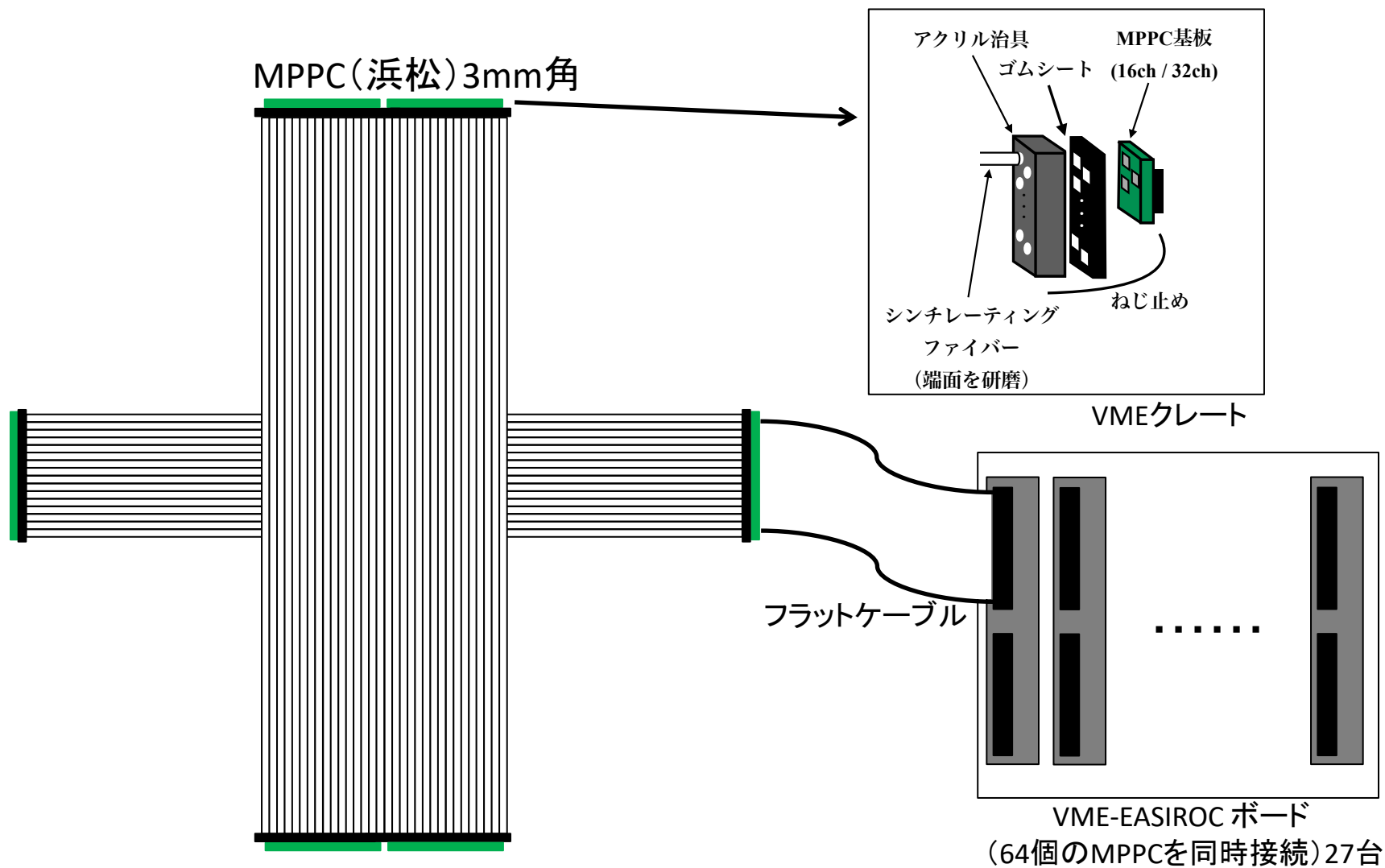
- バックグラウンドを除去するため粒子識別が必要
 - 標的をセグメント化
 - ファイバーを使用

E70 アクティブファイバー標的の構成



- 3mm ϕ ファイバー (Saint-Gobain BFC-10; single clad)
 - $xx'yy'$ を1組とし計9組をE70に使用(1800ch)
- MPPC (S13360-3075PE, Hamamatsu; 3 mm square, 75 μ m ピッチ, 開口率 82%)
- VME EASIROC

アクティブファイバー標的の読み出し



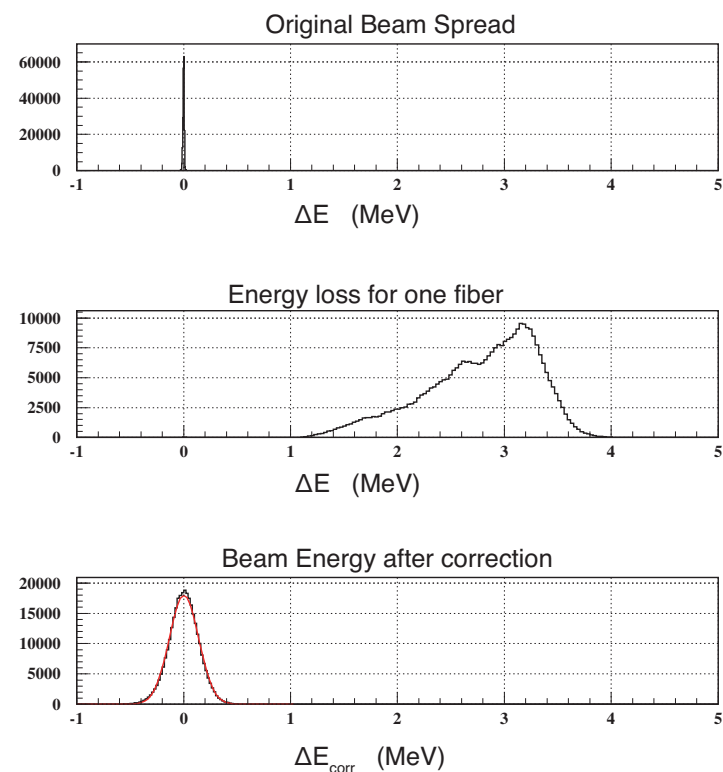
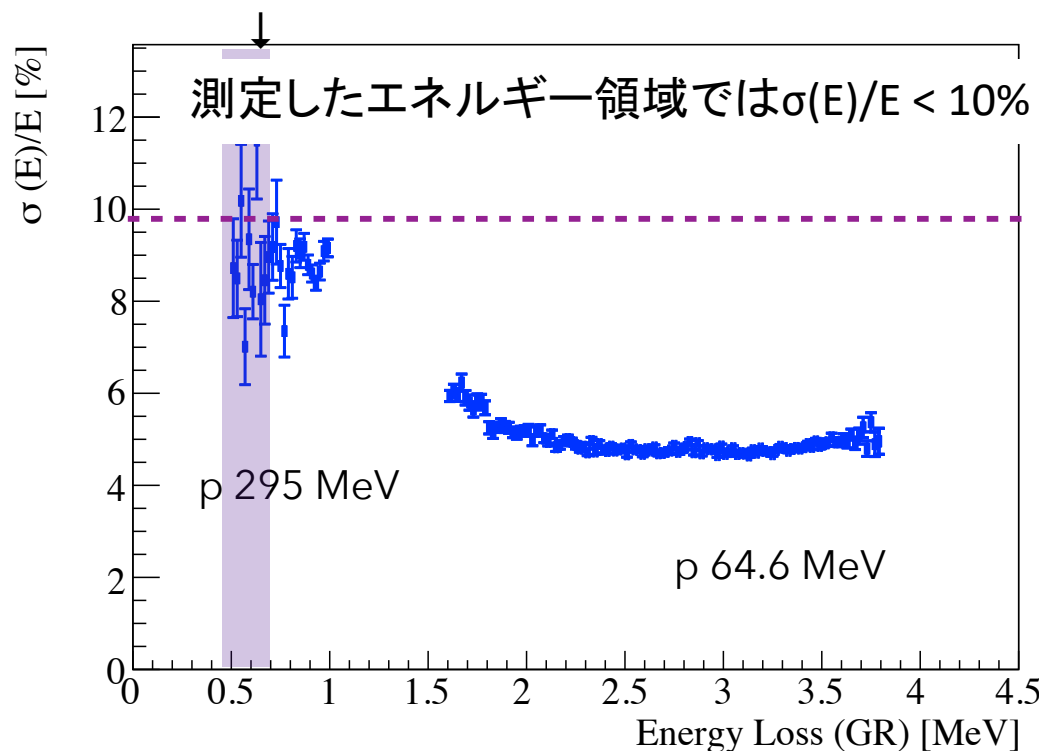
MPPC + EASIROC: **2 MHz w/ 5000 ch @J-PARC E40 (実績あり)**

エネルギー分解能の評価@RCNP

ファイバー 1本のエネルギー分解能を評価

- 大阪大学核物理研究センター (RCNP)
- 陽子ビーム ($E_p = 64.6, 245$ MeV)
- Grand Raiden ($\Delta p/p = 1/37000$)

K^\pm @1.8GeV/cのエネルギー損失

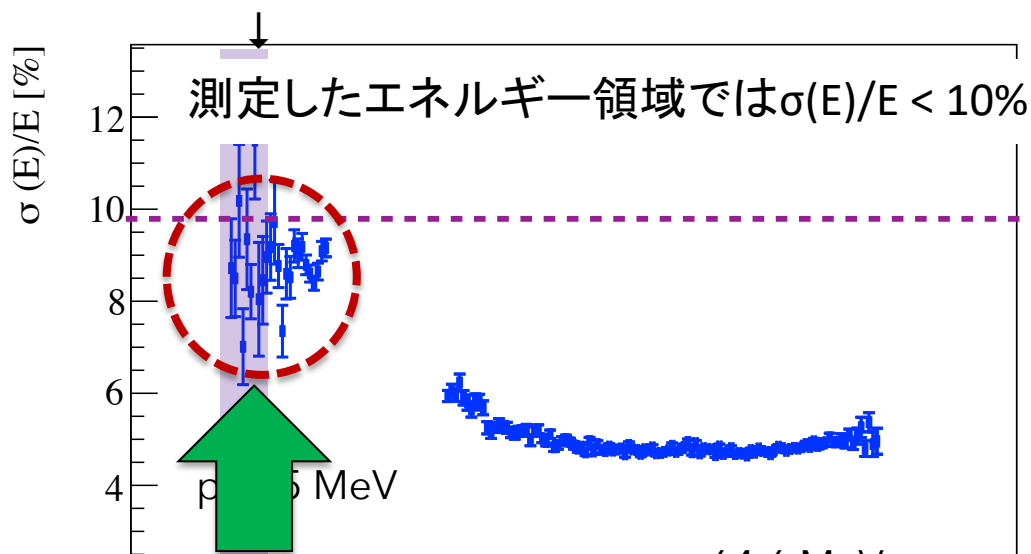


エネルギー分解能の評価@RCNP

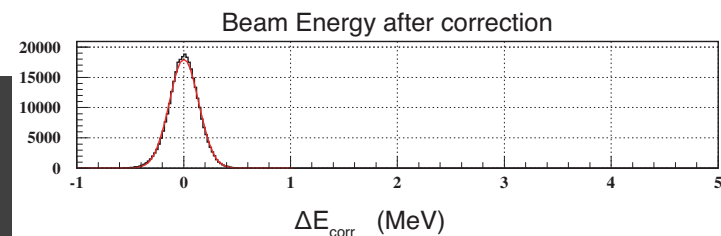
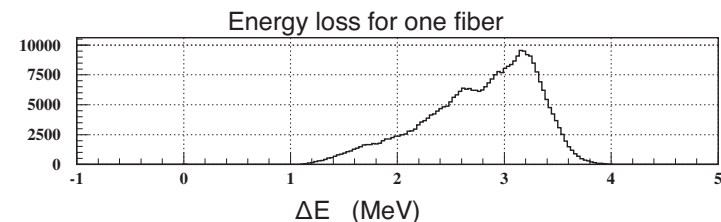
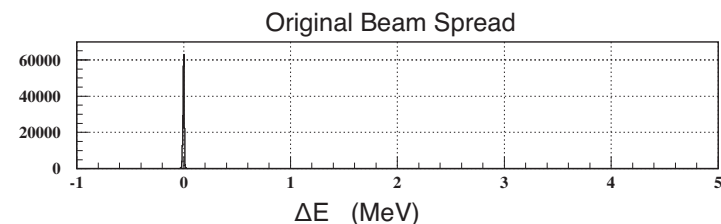
ファイバー 1本のエネルギー分解能を評価

- 大阪大学核物理研究センター (RCNP)
- 陽子ビーム ($E_p = 64.6, 245 \text{ MeV}$)
- Grand Raiden ($\Delta p/p = 1/37000$)

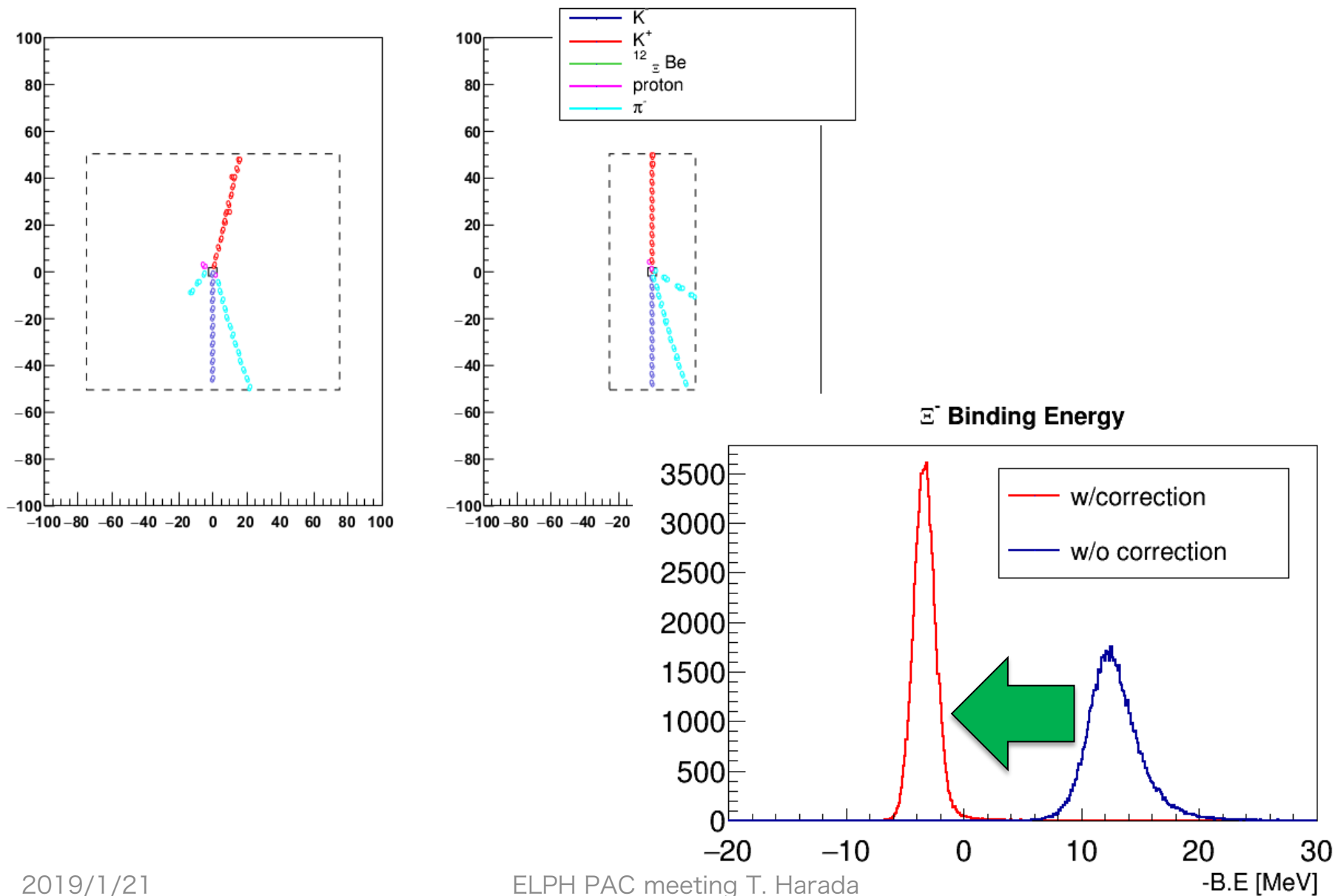
K^\pm @1.8GeV/cのエネルギー損失



本実験で想定される K の ΔE に対して、
十分なエネルギー分解能



補正後の欠損質量分解能 (Geant4シミュレーション)



今後の開発事項 (E70 AFT)

<AFTに求めること>

- AFTを用いて K^- , K^+ のエネルギー損失を導出する
 - グザイハイパー核の崩壊粒子のバックグラウンドを解析上で除去する必要がある (様々な角度、位置においてシンチレーション光を発光)
 - パターン認識とアルゴリズム開発 (進行中)
 - 周囲に設置するドリフトチェンバの情報等を利用したパターン認識
 - 多チャンネル読み出し下での性能確認
 - ファイバー個体差による光量のばらつき
 - ファイバーの組み上げ精度と位置分解能
 - 計数率依存性 (<500kHz @J-PARC E70)
 - ビーム入射角依存性
 - ビーム入射位置依存性
 - ファイバー間のクロストーク
- } 正確にパターン認識を行うために不可欠

今後の開発事項 (E70 AFT)

<AFTに求めること>

- AFTを用いて K^- , K^+ のエネルギー損失を導出する
- グザイハイパー核の崩壊粒子のバックグラウンドを解析上で除去する必要がある (様々な角度、位置においてシンチレーション光を発光)
- パターン認識とアルゴリズム開発 (進行中)
 - 周囲に設置するドリフトチェンバの情報等を利用したパターン認識

• 多チャンネル読み出し下での性能確認

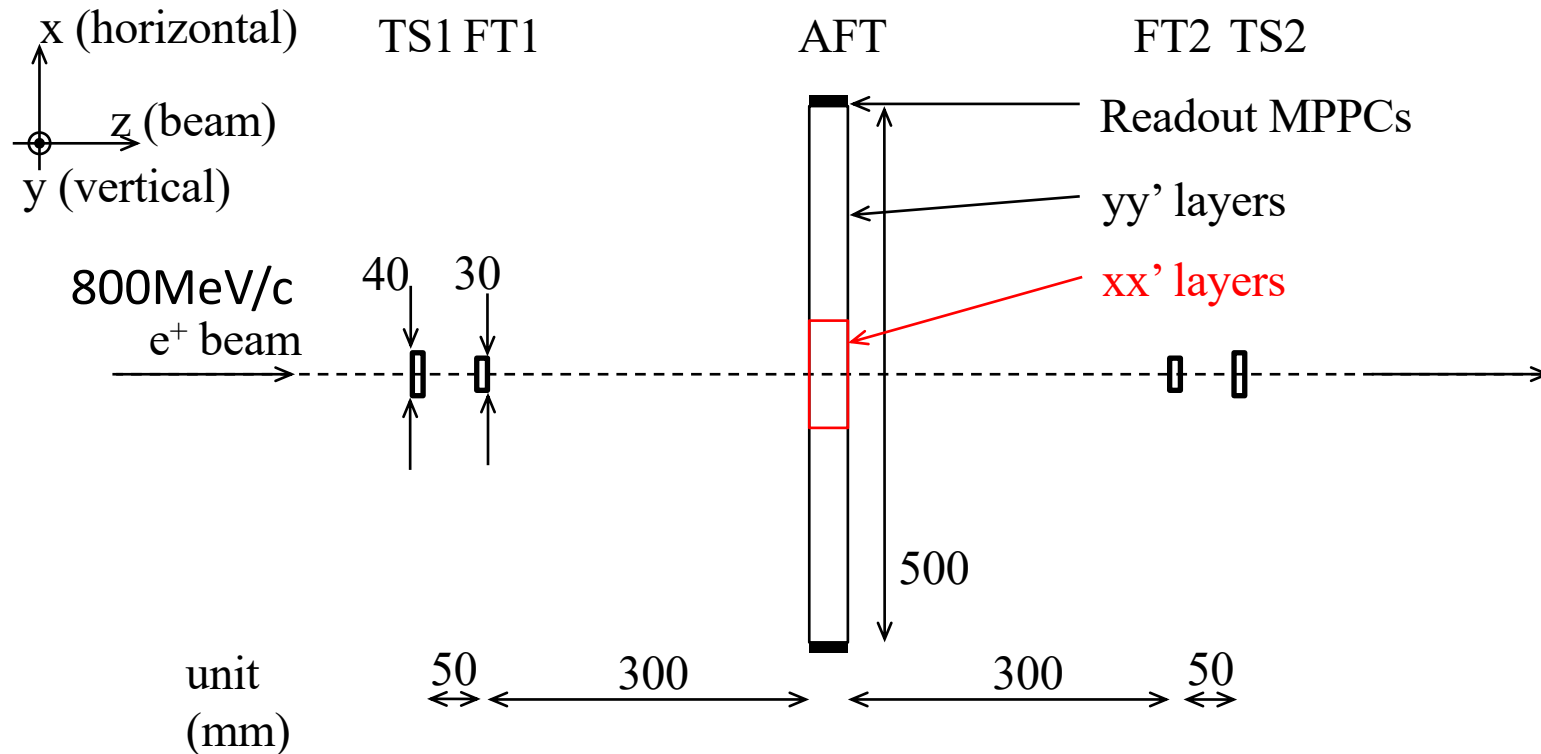
- ファイバー個体差による光量のばらつき
- ファイバーの組み上げ精度と位置分解能
- 計数率依存性 (<500kHz @J-PARC E70 ; 今回ELPHでは200 kHzまで試験)
- ビーム入射角依存性
- ビーム入射位置依存性
- ファイバー間のクロストーク

本申請実験

正確にパターン認識を行うために不可欠

本申請実験のセットアップ

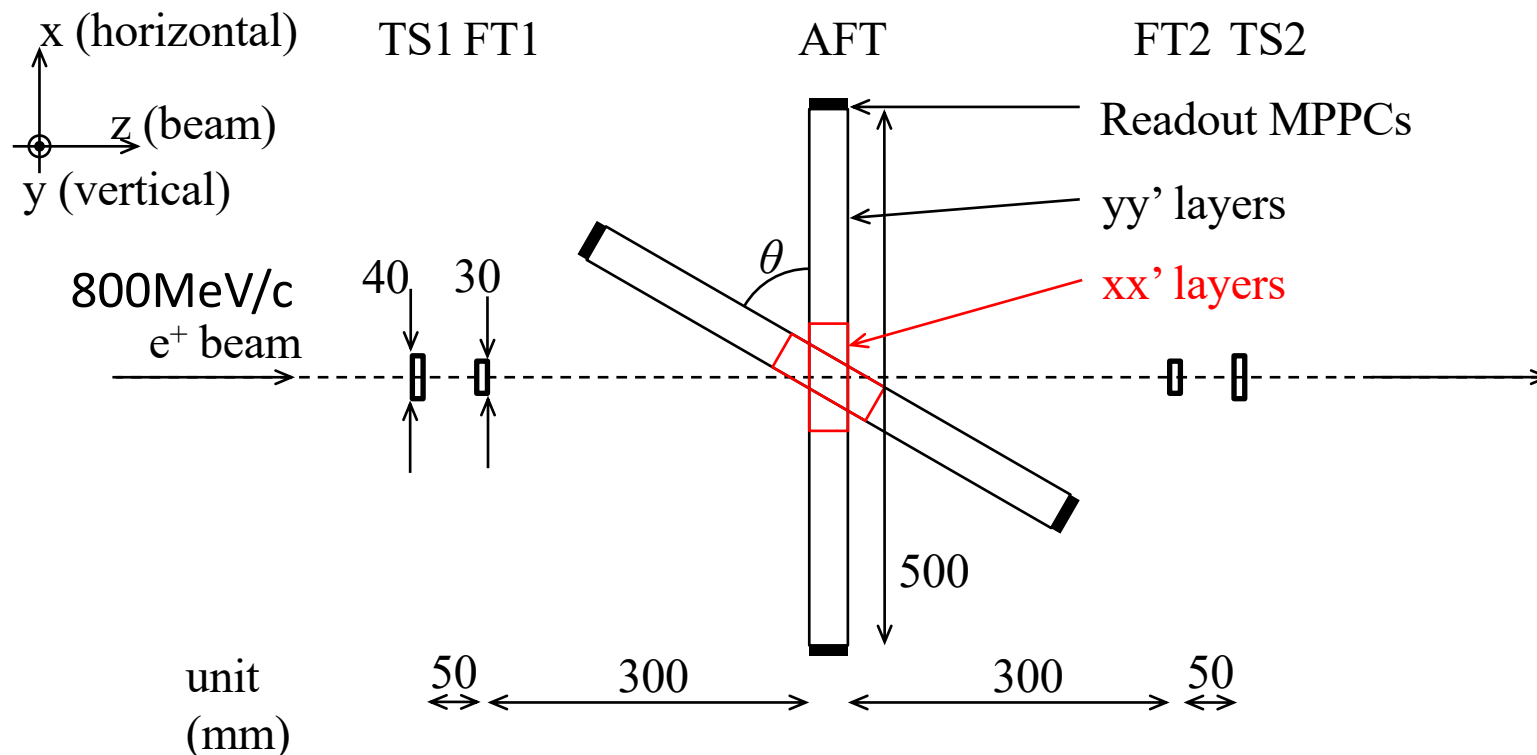
- GeVガンマ照射室
- ビーム強度：数 kHzから200 kHzまでの5点



TS...Trigger Scintillator
 FT...Fiber Tracker
 AFT...Active Fiber Target

本申請実験のセットアップ

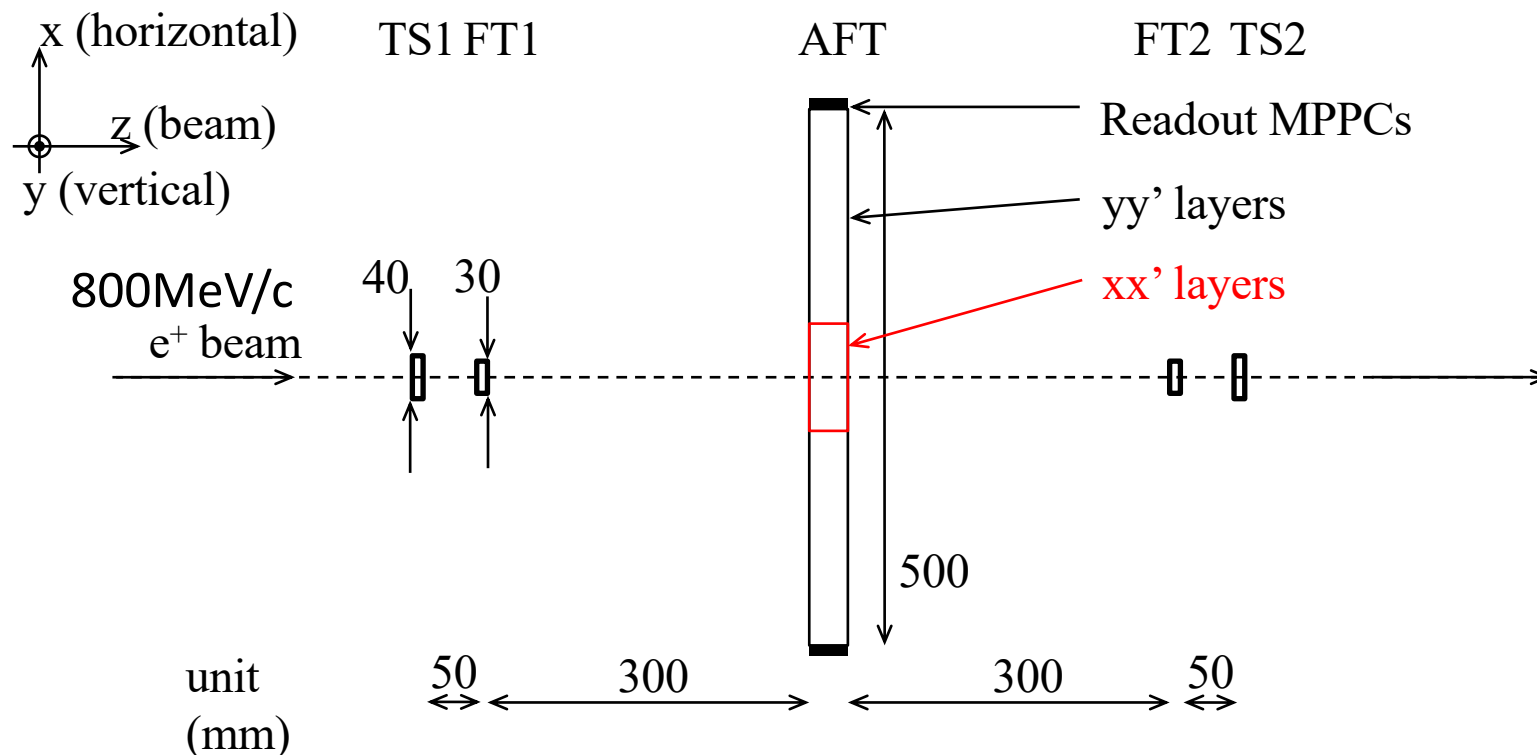
- GeVガンマ照射室
- ビーム強度：数 kHzから200 kHzまでの5点



TS...Trigger Scintillator
 FT...Fiber Tracker
 AFT...Active Fiber Target

本申請実験のセットアップ

- GeVガンマ照射室
- ビーム強度：数 kHzから200 kHzまでの5点

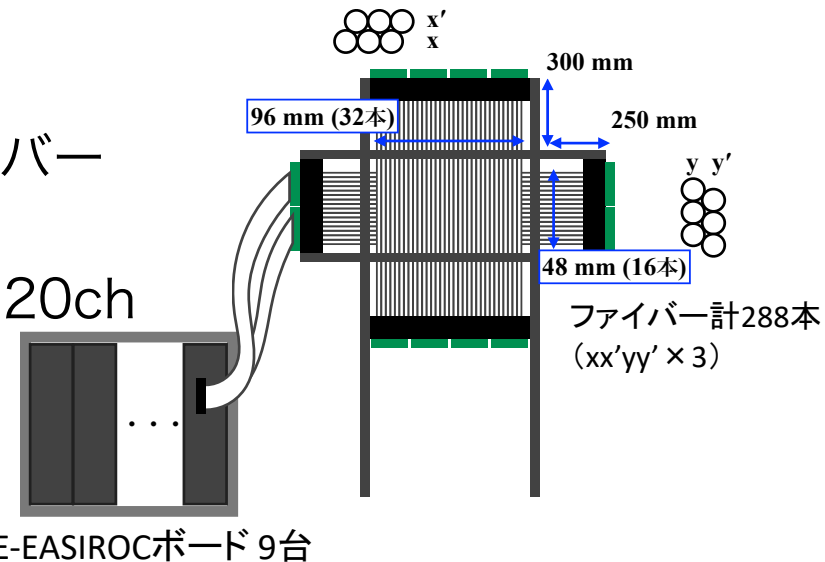


TS...Trigger Scintillator
 FT...Fiber Tracker
 AFT...Active Fiber Target

本申請実験で使用する検出器

- トリガー用プラスチックシンチレータ (TS)
 - 30mm^H×40mm^W×5mm^D
 - トリガー生成とビーム計数率測定

- ファイバートラッカー (FT)
 - 有効面積30mm四方
 - 1mm ϕ シンチレーションファイバー
 - xx'yy' 各30本
 - MPPC (片読み) + EASIROC、120ch
 - 飛跡構成



- アクティブファイバー標的 (AFT)
 - xx'yy'を3組 (E70で用いる実機の1/3)
 - MPPC (両読み) + EASIROC、576ch

ビームタイム要求

ビームタイム = 2日間
(日中のみ; 9:00—21:00)

1日目 昼

検出器・DAQのコミッショニング

- ✓ 全チャンネルのADC分布の確認
- ✓ データ取得

1日目 夜

データの解析・確認

2日目 昼

データ取得

- ✓ 測定条件は12点
- ✓ セットアップの変更

表1 測定条件

ビーム計数率 (kHz)	角度 (°)	位置 (mm)
10	0	-32
10	0	32
200	0	0
150	0	0
100	0	0
10	0	0
1	0	0
10	0	0
10	40	0
10	50	0
10	55	0
10	60	0

まとめ

S = -2バリオン間相互作用の理解

- ミハイパー核のピーク構造を測定 → 三N 相互作用
- J-PARC E70 実験において高分解能・高統計でミハイパー核分光を目指す

これまでのアクティブファイバー標的の開発

- RCNPにおいて、エネルギー分解能の評価 ($\Delta E/E (\sigma) = 10\%$)
- Geant4モンテカルロシミュレーションによるエネルギー損失補正後の欠損質量分解能の評価 ($\Delta M < 2 \text{ MeV}/c^2$)

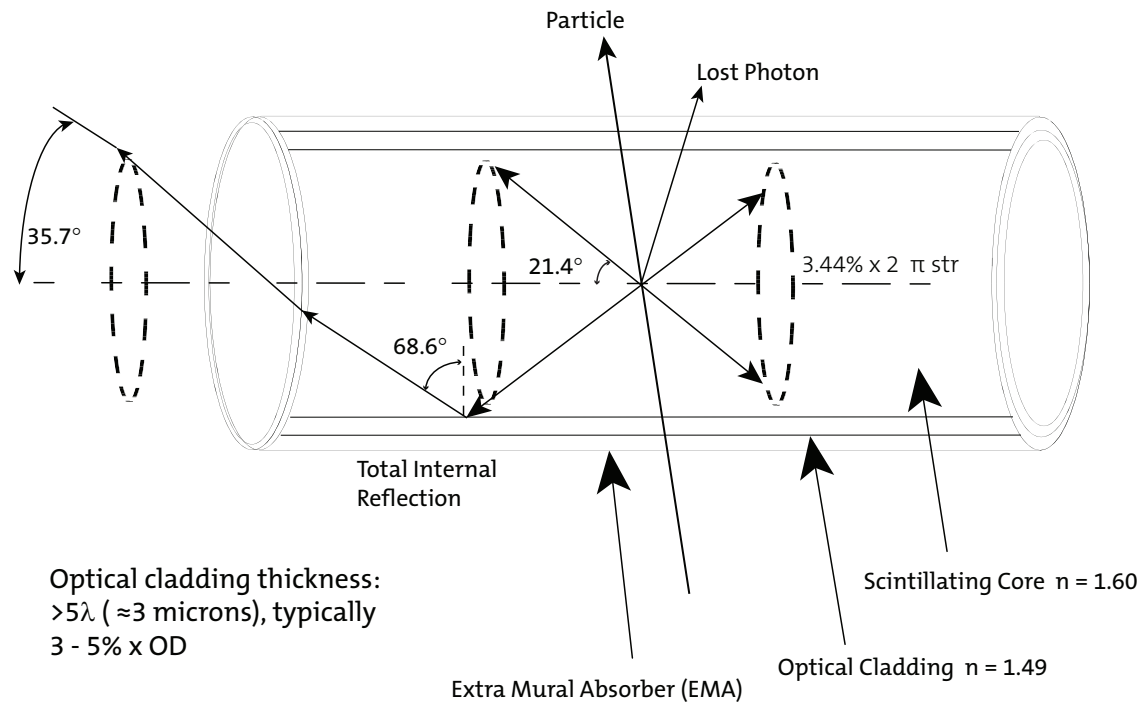
本申請実験

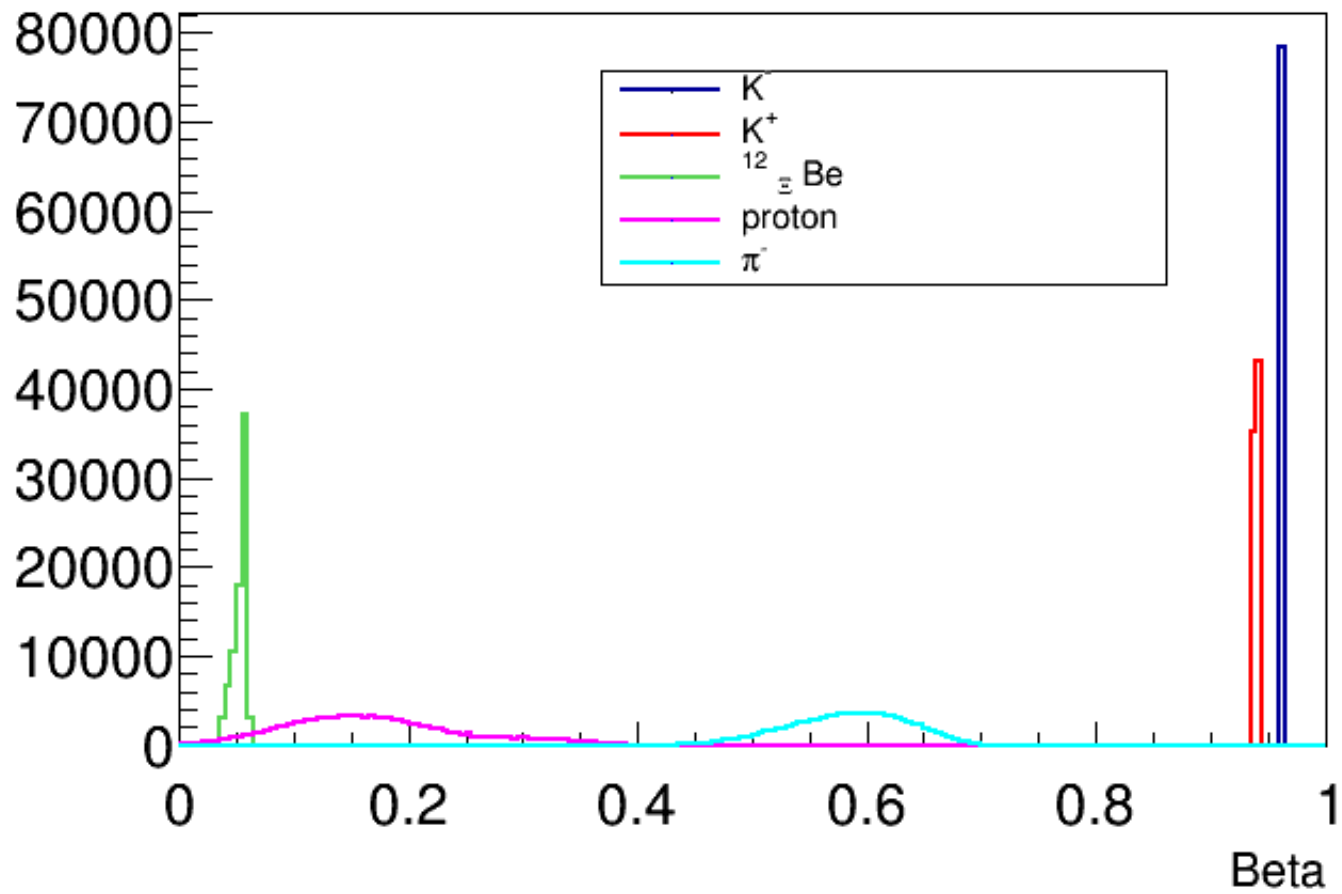
- 800 MeV/c 陽電子 or 電子 @GeVガンマ照射室
- ビーム計数率：1, 10, 100, 150, 200 kHz
- 多チャンネル読み出し下での動作確認 (位置・角度依存性・クロストーク等)
- ビームタイム要求：2日間 (日中のみビーム 12時間 + 12時間)

Back up

	コア部	クラッド部
材質	ポリスチレン	メタクリル系樹脂
屈折率	1.60	1.49
密度	1.05	1.2

A Typical Round Scintillating Fiber





ピクセルピッチ	75 μm	50 μm	25 μm
開口率 (%)	82	74	47
検出効率 (%)	50	40	25
ピクセル数	1600	3600	14400

使用するのは75umピッチ