

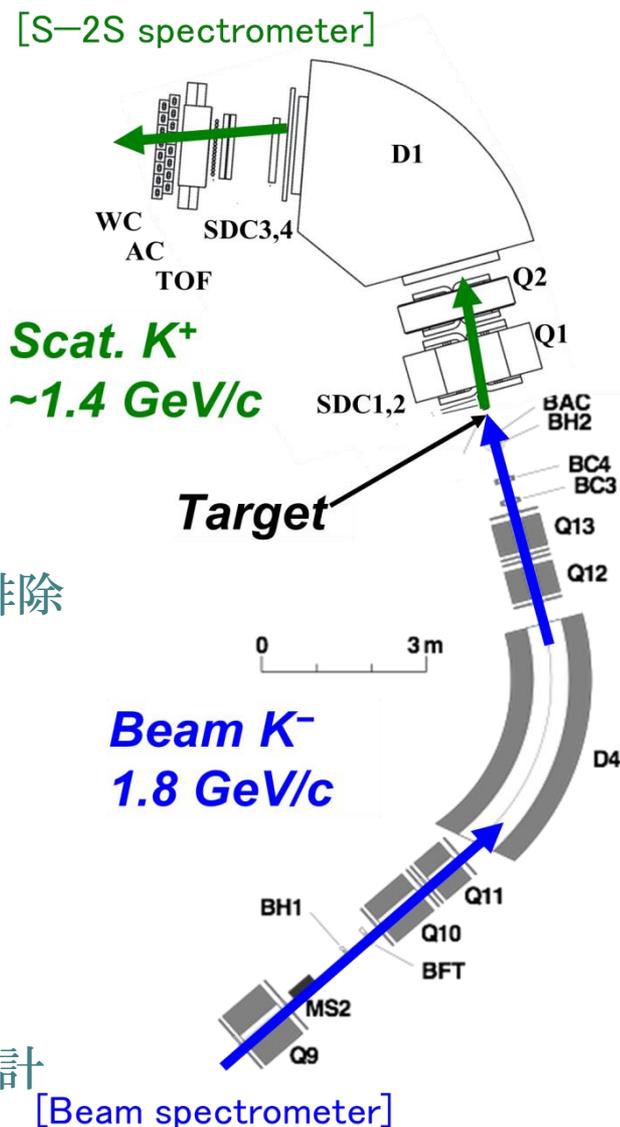
S-2S スペクトロメータ開発の現状

京都大学 七村拓野

第三回「ストレンジネス核物理を考える会」@RCNP

J-PARC E05 with S-2S の特色

- 散乱粒子用スペクトロメータ S-2S
 - 運動量分解能 $5\sim 6\times 10^{-4}$
 - アクセプタンス $\sim 55\text{msr}$
- アクティブファイバー標的
 - ミッシングマス分解能と標的厚の両立
- 検出器系
 - 水チェレンコフ検出器によるpの高効率での排除
- ビームラインの大強度化
 - ^{12}C 時に現在の2倍(1.2 M K^-/spill)を期待
- $^{12}\text{C}(\text{K}^-, \text{K}^+)^{12}_{\text{Be}}$ での目標
 - ミッシングマス分解能 $< 2\text{ MeV (FWHM)}$
 - $0 < \text{B.E.} < 20\text{ MeV}$ 領域に100イベント以上の統計



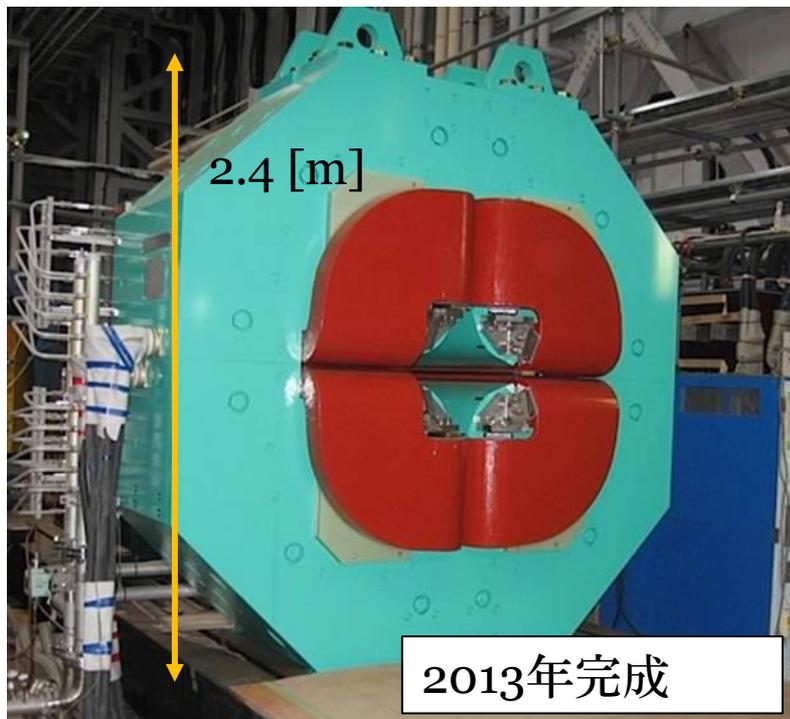
Yield estimation

- 假定:
- 1.2 M K-/spill (6s)
- 10 g/cm²CH₂ 標的
- 生成斷面積 60 nb/sr

$$\begin{aligned} Y &= N_{K^-} \times N_{\text{target}} \times \frac{d\sigma}{d\Omega} \times \Delta\Omega \times f_{\text{decay}} \times f_{\text{DAQ}} \\ &= 1.7 \times 10^{10} [\text{/day}] \times 4.6 \times 10^{-7} [\text{/}\mu\text{b}] \times 0.060 [\mu\text{b}] \times 0.055 \times 0.4 \times 0.95 \\ &= 9.9 [\text{/day}] \end{aligned}$$

S-2S Magnet の現状

S-2S Q1, Q2 電磁石



Q1 (縦収束)

最大磁場勾配: 8.7 [T/m]

磁極間隙: 31 [cm]

鉄重量: 37 [Ton]

幅×高さ×長さ: 2.4 × 2.4 × 0.88 [m³]



Q2 (横収束)

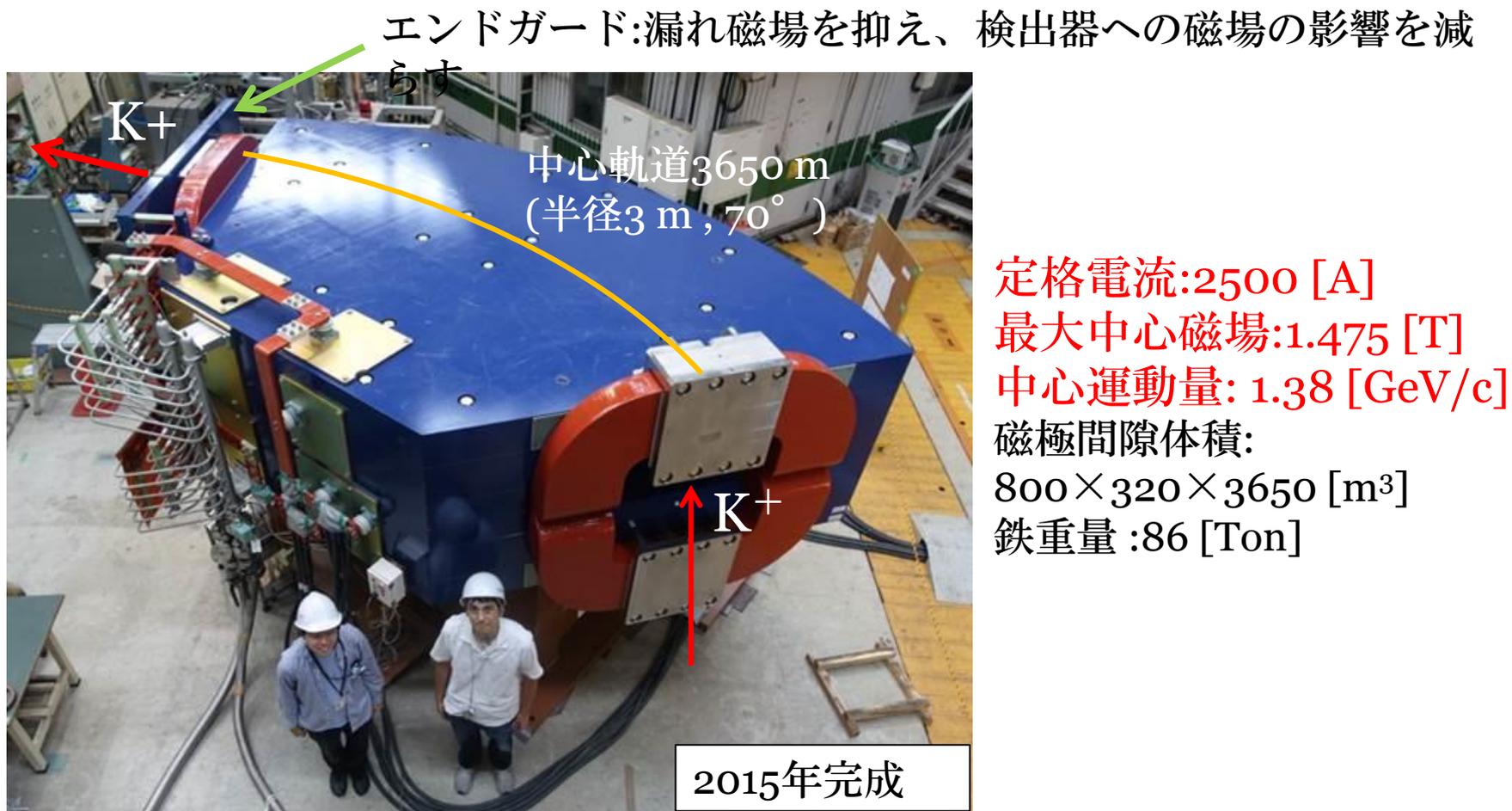
最大磁場勾配: 5.0 [T/m]

磁極間隙: 36 [cm]

鉄重量: 12 [Ton]

幅×高さ×長さ: 2.1 × 1.54 × 0.5 [m³]

S-2S D1 電磁石

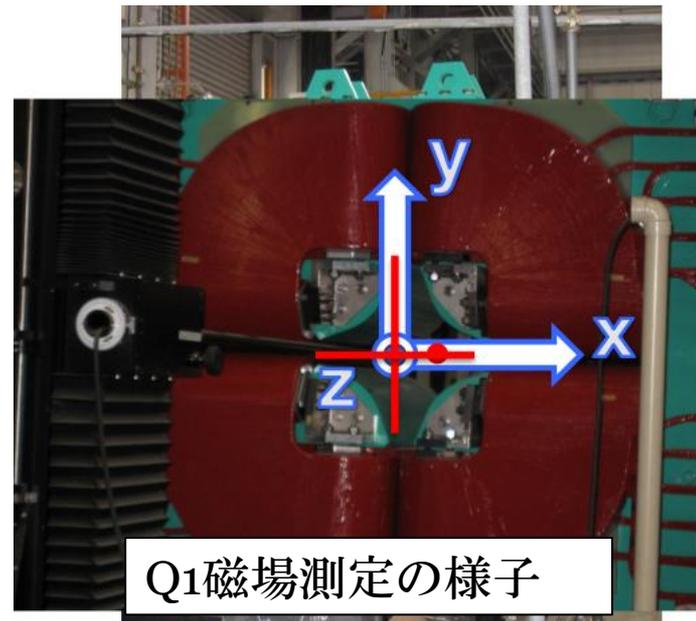


定格電流:2500 [A]
 最大中心磁場:1.475 [T]
 中心運動量: 1.38 [GeV/c]
 磁極間隙体積:
 800×320×3650 [m³]
 鉄重量 :86 [Ton]

3台の電磁石はすべて完成！→現在はKEK つくば 北カウンターホールに

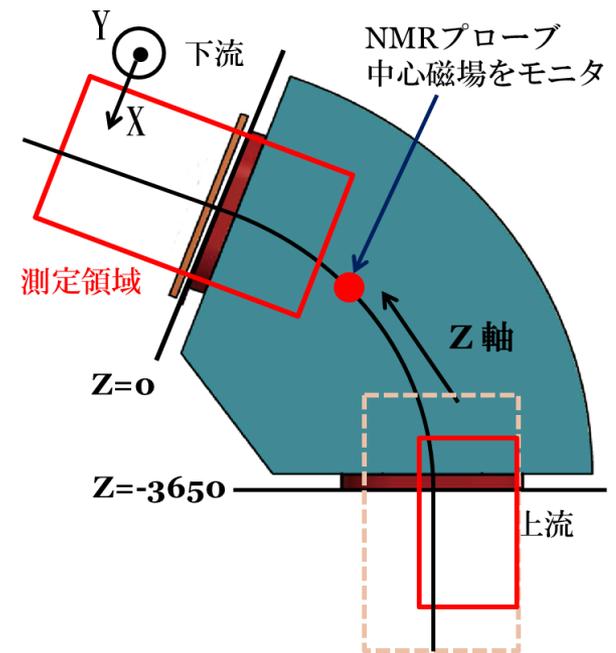
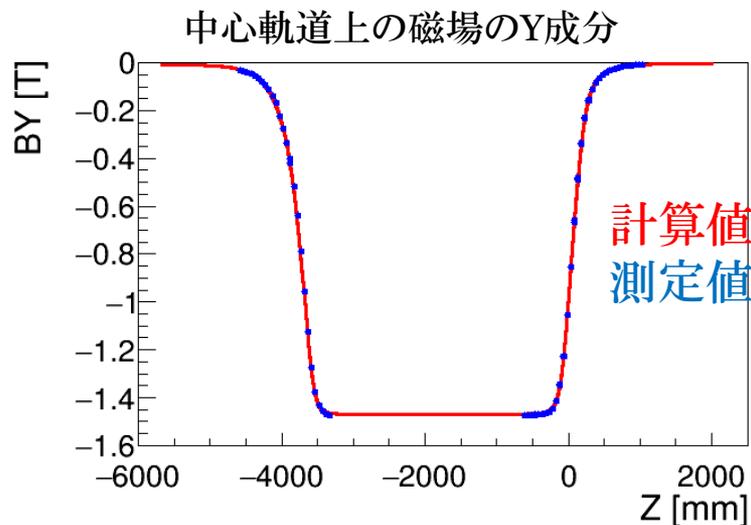
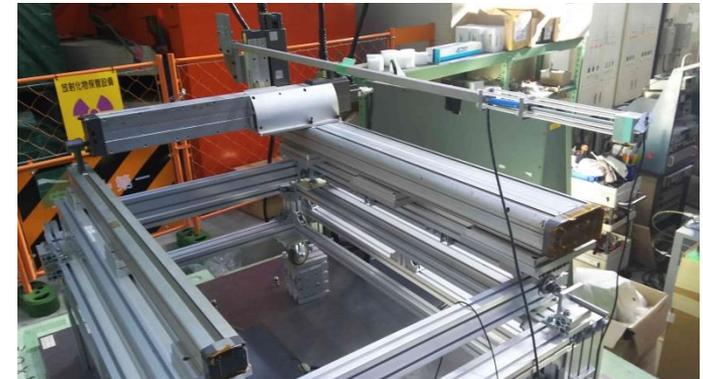
S-2S電磁石の磁場測定

- 運動量解析はチェンバー・TOFの飛跡情報と計算磁場を用いてRunge-Kutta法を用いて行う予定
 - 3台並べた状態で磁場測定を行い磁場マップを直接作るのは困難
- 計算磁場の再現度が運動量分解能に影響する
 - 磁石の3Dモデル
 - BH曲線
- それぞれの電磁石に対して磁場測定を行い、それを再現するよう計算磁場を最適化する
 - Q1, Q2→2014年に測定済み
 - Q1: 0.1%の精度で再現
 - Q2: 1%の精度で再現
 - D1→2016年～2017年初頭に測定



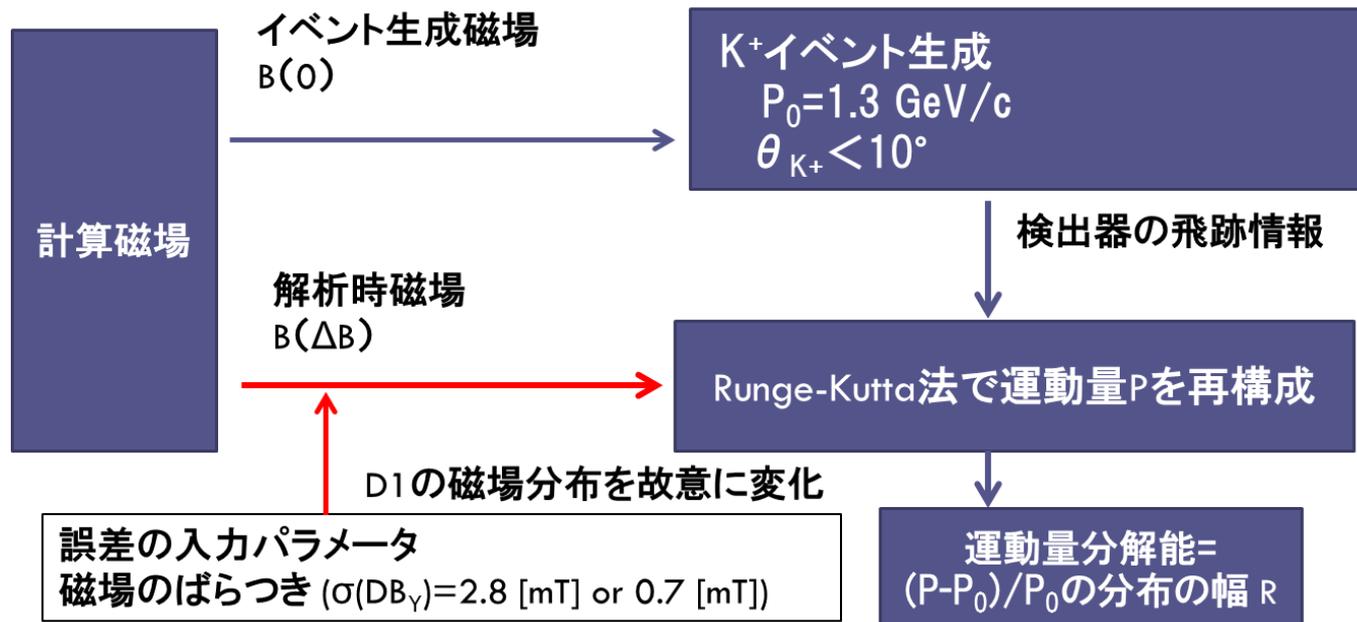
S-2S D1測定の概要

- 領域：800×320×1700 mm³(下流側), 400×320×1100 mm³(上流側)
- メッシュ間隔：50×20×50 mm³
- 電流設定：1000A, 1500A, 2000A, 2500A
→のべ58000点の磁場分布
- 測定精度：1.6 mT (磁極端付近)
0.2 mT (それ以外)
- 計算磁場再現度：2.8 mT (磁極端付近)
0.7 mT (それ以外)



磁場の再現度込みの運動量分解能の評価

- 方法



- 運動量分解能

- 1.3 GeV/c のK⁺に対し $5.3 \times 10^{-4} \rightarrow \underline{6.3 \times 10^{-4}}$ へと悪化
 - チェンバーの位置分解能 300 μm, 空間中の気体(He)との多重散乱を考慮
 - 磁場の測定誤差のみを磁場のばらつきとした場合: 5.9×10^{-4}
→最適化により多少改善の余地あり

Target について

ミッシングマス分解能と標的中でのEnergy Straggling

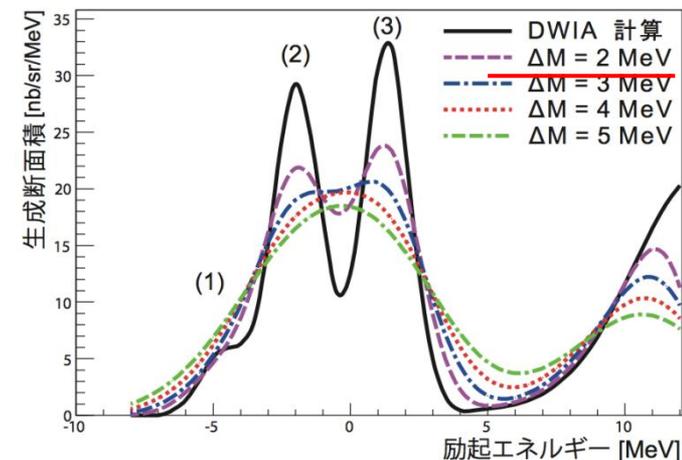
- ミッシングマス分解能の式と各項の寄与

$$\Delta M^2 = \underbrace{\left(\frac{\partial M}{\partial p_B}\right)^2 \Delta p_B^2}_{\text{ビーム運動量分解能}} + \underbrace{\left(\frac{\partial M}{\partial p_S}\right)^2 \Delta p_S^2}_{\text{S-2S運動量分解能}} + \underbrace{\left(\frac{\partial M}{\partial \theta}\right)^2 \Delta \theta^2}_{\text{角度分解能}} + \underbrace{\Delta E_{\text{strag.}}^2}_{\text{標的中でのエネルギーロスのふらつき}}$$

2.79	0.55	~0.002	<0.66
0.70 (設計値)			<2.75

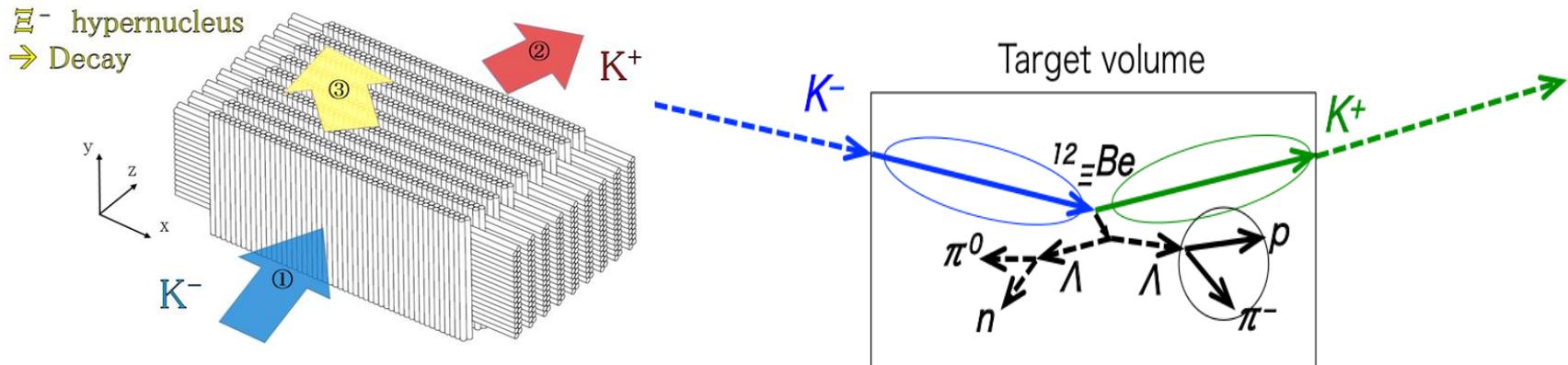
- $\Delta M < 2$ (FWHM)を満たす標的厚は...
 - ~2.7 g/cm² ($\Delta E^2 < 0.66$)
 - ~5.0 g/cm² ($\Delta E^2 < 2.75$)

- 統計量とエネルギー分解能の両立が課題



Fiber Active Target

- シンチレーティングファイバー(主な構成元素:C,H)で標的を構成
 - ターゲット中のK-とK+のエネルギー損失を直接測定・補正
 - 飛跡情報を用いて $^{12}_{\Xi}\text{Be}$ 由来の崩壊粒子とK-, K+を区別する



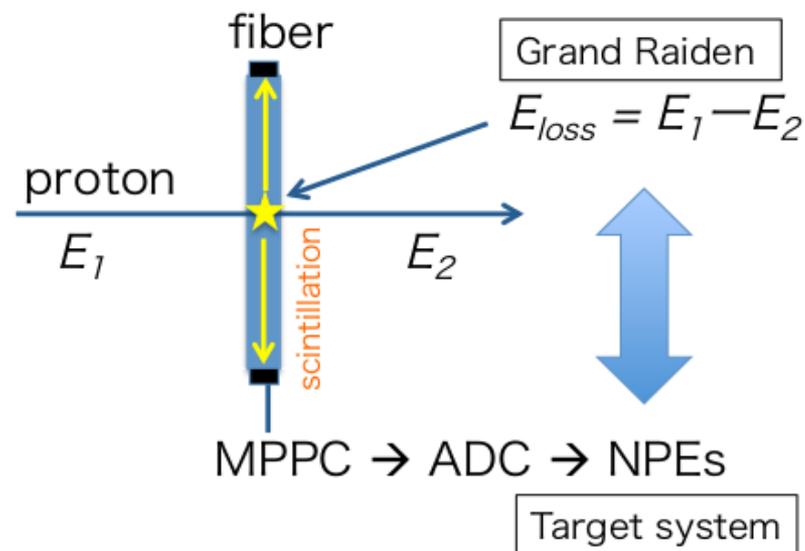
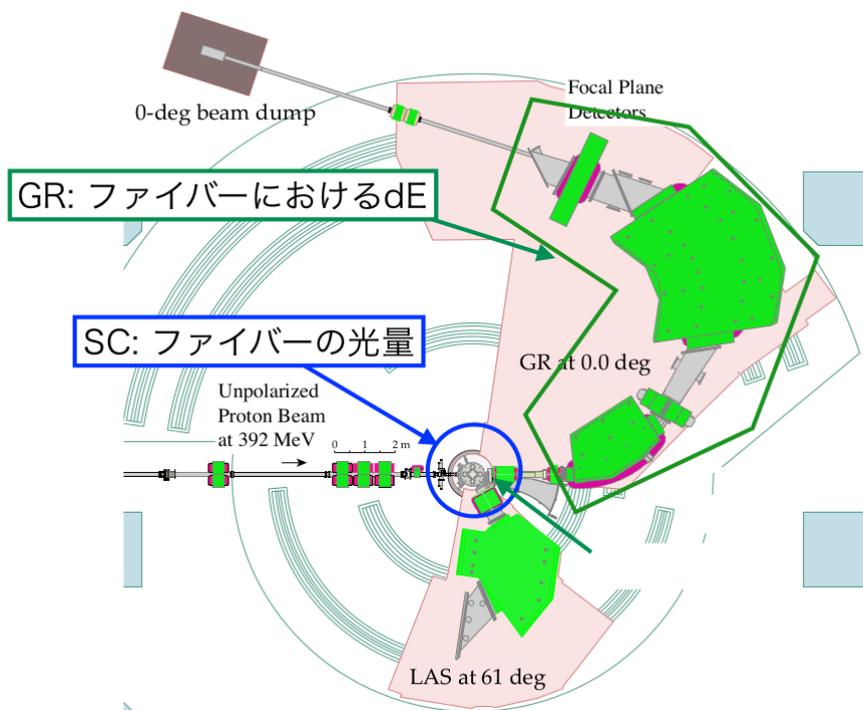
3mm径fiber
~900本
(10g/cm²)

- 標的をより厚くできる
 - ファイバー有感領域中のエネルギー損失測定誤差(σ) 13%で**標的厚2倍**
5%で**標的厚3倍**
 - K-,K+を選び出すアルゴリズムの開発? 1イベントずつ解析?

RCNP E492実験

- ファイバー単体のエネルギー分解能の実測→標的厚の決定
- ファイバーの種類毎の光量の違いの測定→ファイバーの種類決定
 - ファイバーアクティブ標的実機設計の決定へ

RCNP 西実験室



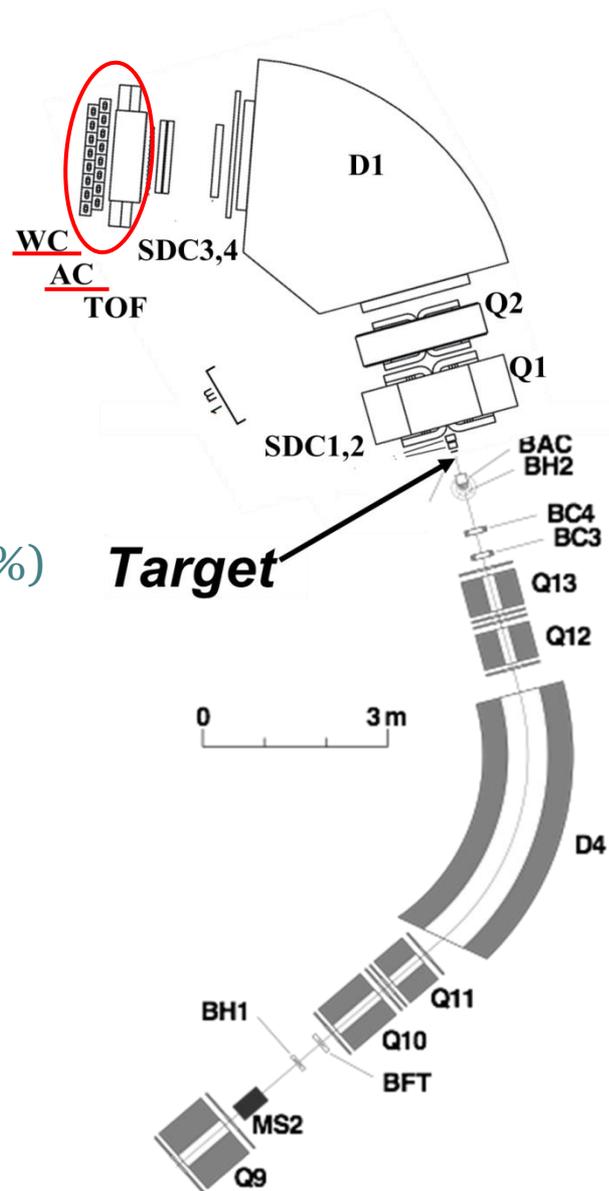
Beam Time

6/17 night ~ → **6/26 ~ 6/29**

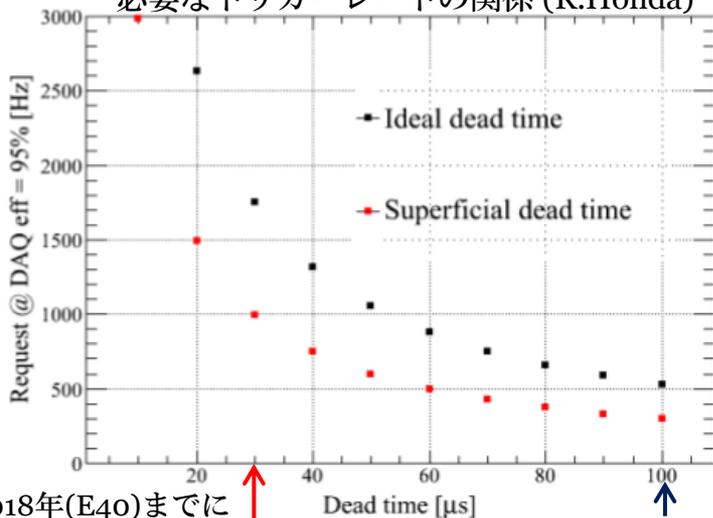
散乱粒子用検出器について

チェレンコフ検出器

- バックグラウンドとなる散乱 π^+ , pをveto
 - 10 g/cm², 1M K⁻/spillのとき
 - $K^-_{\text{from}\Xi} : K_{\text{bg}} : \pi^+ : p = 0.4 : 3 : 75 : 450$
 - AC (n=1.05, for π^+): 既存のものを用いる
 - WC (n=1.33, for p): 実機完成
 - 90%以上のprotonをveto
- トリガーレート < 500 Hz を達成可能
- DAQ efficiency 95%超に対応 (pilot run : 70%)



Dead time と DAQ eff. > 95% に
必要なトリガーレートの関係 (R.Honda)



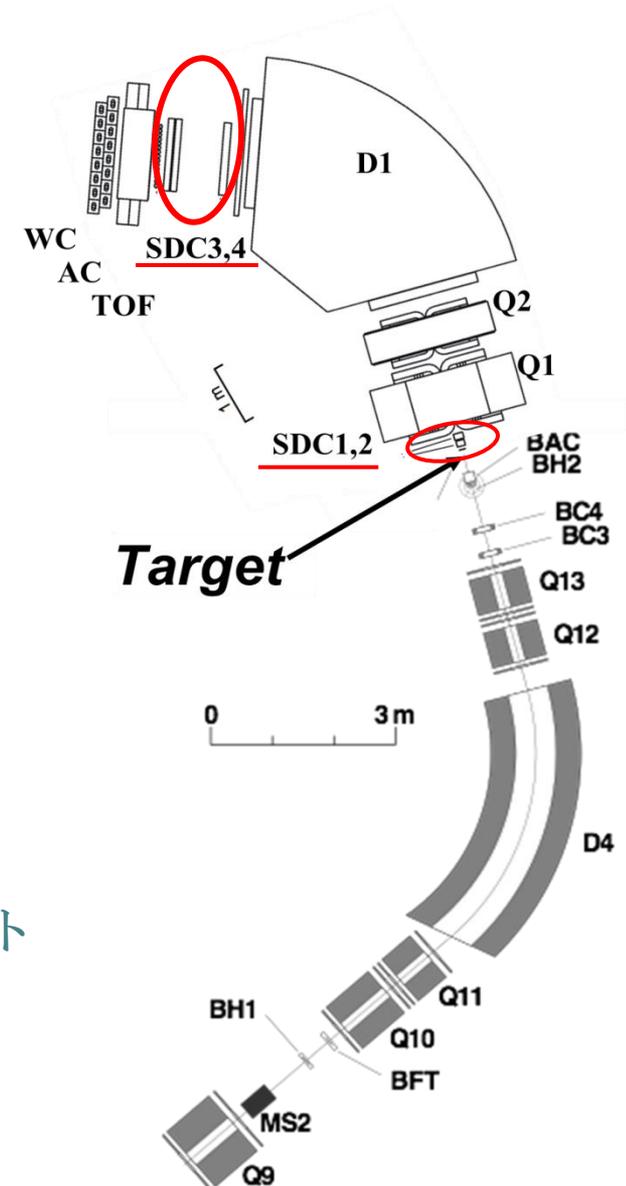
2018年(E40)までに
アップデート予定

↑
現在

Drift Chambers

- 使用(候補)チェンバーのスペック

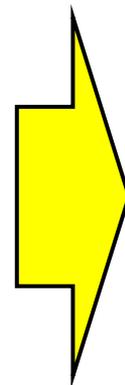
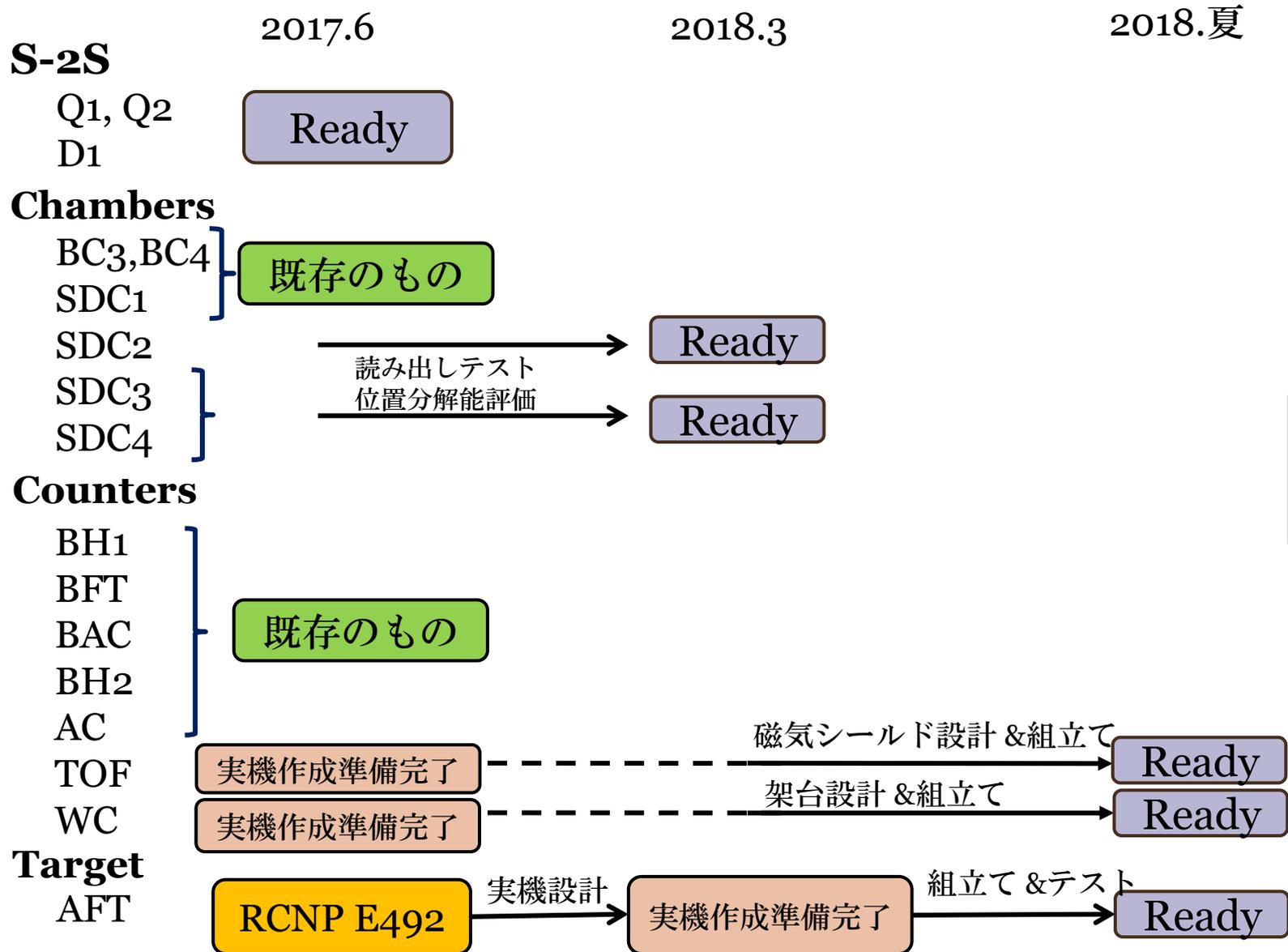
役割	現在の通称	面構成	ドリフト長等
SDC1	SDC1(KURAMA)	uu'xx'vv'	3 mm
SDC2	(新規)	uu'vv'	2.5 mm (pitch)
SDC3 SDC4 SDC4'	KL	xx'yy'	5 mm



- チェンバーのテスト(2017 夏～)

- SDC2 :位置分解能の評価
- SDC3, 4, 4' :動作テスト、読み出し方法のテスト
 - 既存の読み出し回路
 - エクステンション基板→ASDカード

Time Line



ハドロンホールへ！

まとめ

- E05実験 with S-2Sの特徴
 - 高いミッシングマス分解能 (<2 MeV)
 - ビーム大強度化(^{12}C に対してはファイバー標的も)による高統計
- 現在の準備状況
 - Magnet: 3つの磁石の磁場測定完了。
 - Active Fiber Target: 今月末のRCNP E492実験を元に実機設計。
 - その他: チェンバーのテストを今年度中に行う。
TOF, WCは組み立てを残すのみ。

→2018年の夏までにS-2S install への準備は完了する見込み

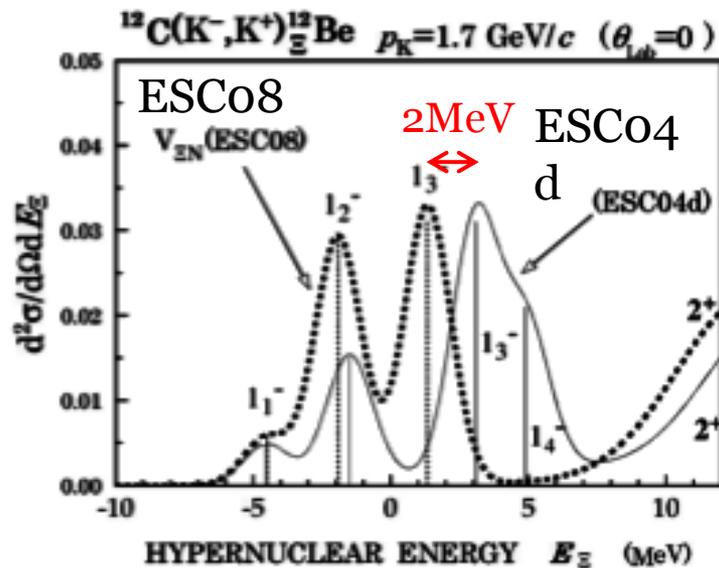
- ^{12}C 標的の後に向けて
 - ビームスペクトロメータの運動量分解能の評価(標的厚に関わる)
 - BAC, SDC1のレート耐性の検討

backup

- 磁場測定関連
- ファイバータラゲツト関連

高エネルギー分解能での分光実験の必要性

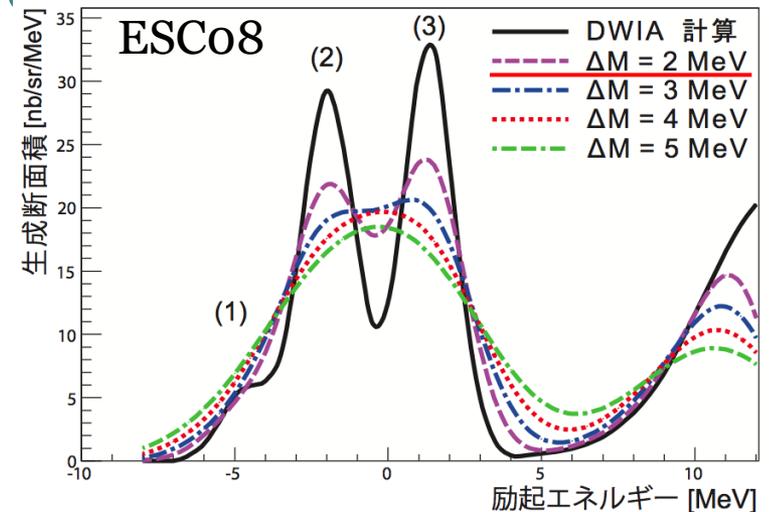
- Ξ ハイパー核状態のピーク位置と幅を明確に観測
 - ΞN 相互作用ポテンシャルの実部と虚部に対応する
- コア原子核励起状態を分けるには $\Delta E < 2$ MeVが必要



コア原子核の励起も考慮した
理論計算による $^{12}_{\Xi}\text{Be}$ 励起スペクトル

ルT.Motoba and S.Sugimoto NPA

デルの選別



実験分解能の違いによる
励起スペクトルの見え方の違い

測定データの較正

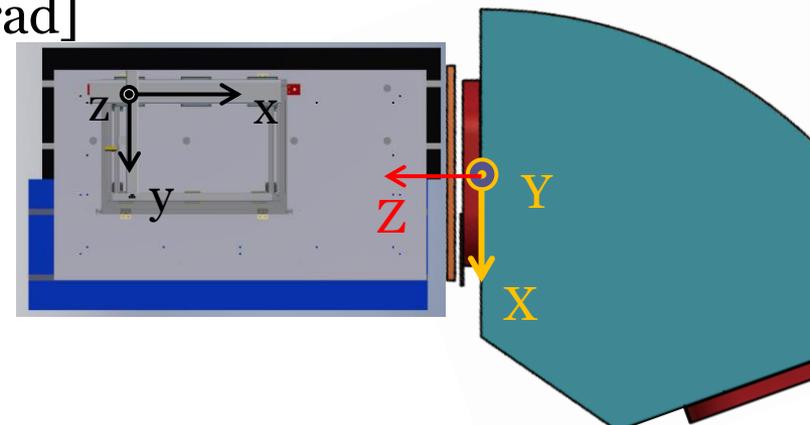
- 測定データ
 - $(x,y,z), (b_x, b_y, b_z)$
- 計算磁場分布
 - $(X,Y,Z), (B_x, B_y, B_z)$
- 計算磁場と統一的に扱うため、測定データ (x,y,z, b_x, b_y, b_z) を変換
- 位置の変換 $(x,y,z) \rightarrow (X,Y,Z)$
 - 座標原点を合わせる
 - 駆動装置の傾きを補正
- 磁場の較正 $(b_x, b_y, b_z) \rightarrow (B_x, B_y, B_z)$
 - プローブの傾きを補正
 - 電流の時間変動の補正



位置のずれ $\delta X < 0.1$
[mm]



角度の較正誤差 $\Delta\theta = 0.002$
[rad]



$Z=0$ が磁極端、
 $Z>0$ が外側、 $Z<0$ が内側

測定結果の一例

- 中心軌道に沿った B_Y 分布をEnge関数

$$f(Z) = \frac{1}{1 + e^{p(Z-s)}} \quad : \quad p(x) \text{は多項式}$$

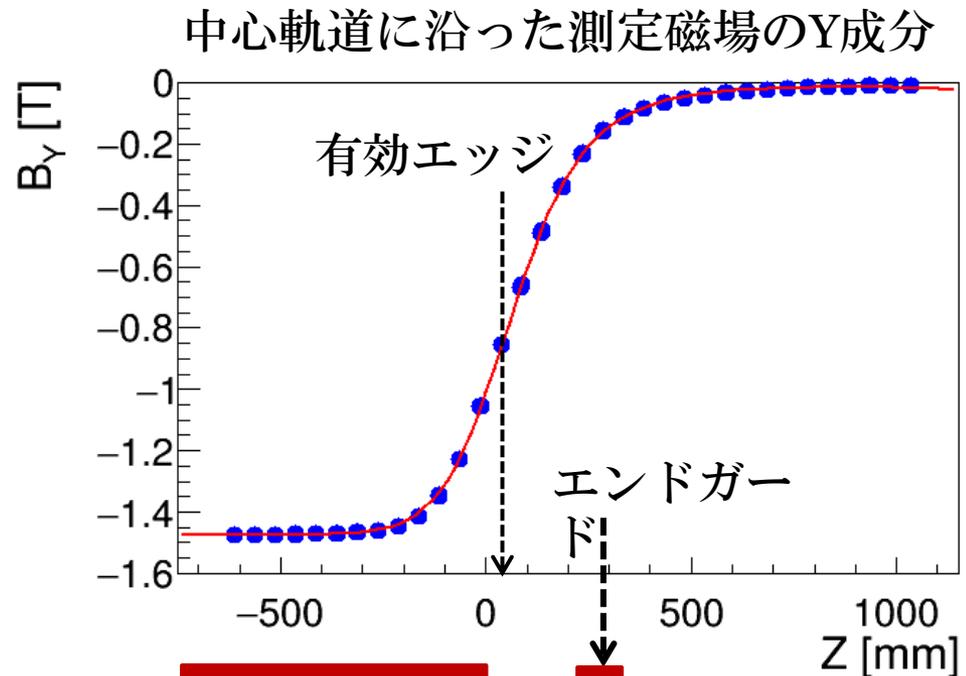
でフィッティングして有効エッジ s を求める

- 2500Aのデータに対し

有効エッジの位置は
 $s = 67.3 \pm 0.4$ [mm]

計算磁場は $s = 67.4$ [mm]

双極電磁石を特徴づける
 量が一致した



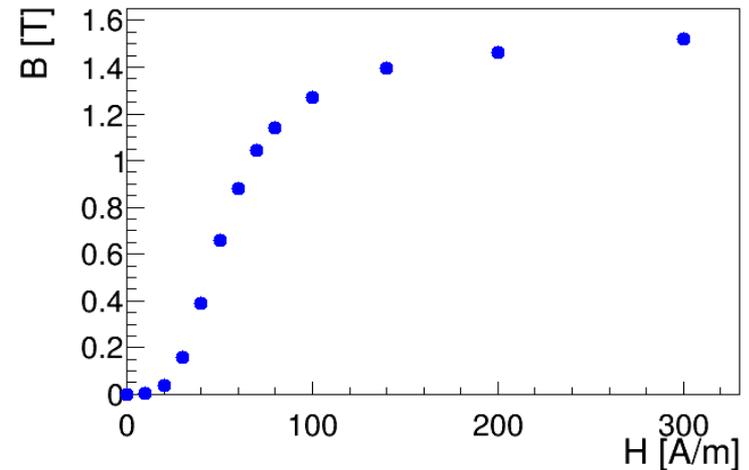
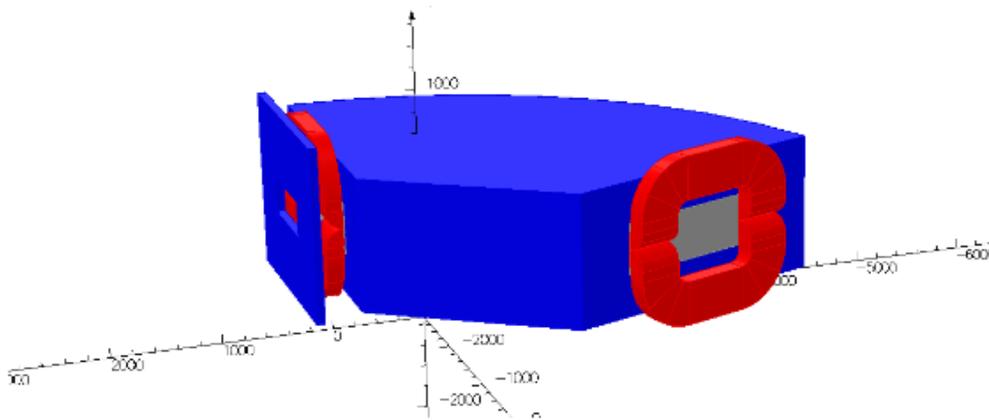
測定誤差 ΔB の評価

- ホールプローブ自体の測定誤差 σ_{Hall}
 - 同じ位置の磁場を連続で測ったデータから評価
- 測定点の位置精度からくる誤差 σ_{mover}
 - 同じ位置に繰り返し設定しなおして測ったデータから評価
- ホール素子の大きさからくる誤差 σ_{size}
 - ホール素子は半径 $750\mu\text{m}$ の円盤型
 - 測定データから測定点の $\frac{\partial B}{\partial x}$ を求め、誤差の伝搬則から評価
- 誤差 $\Delta B^2 = \sigma_{\text{Hall}}^2 + \sigma_{\text{mover}}^2 + \sigma_{\text{size}}^2$ ΔB に対しては σ_{size} が支配的

成分	σ_{Hall} [mT]	σ_{mover} [mT]	σ_{size} [mT]	ΔB [mT]
B_x	0.03	0.01	0.06	0.06
B_y	0.03	0.02	<1.6	1.6 (磁極端付近), 0.20 (それ以外)
B_z	0.03	0.1	<1.4	1.4 (磁極端付近), 0.22 (それ以外)

計算磁場

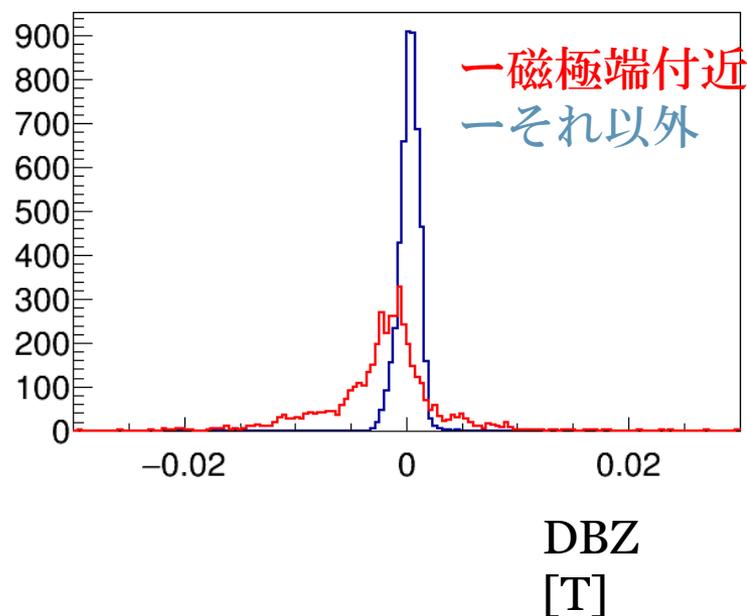
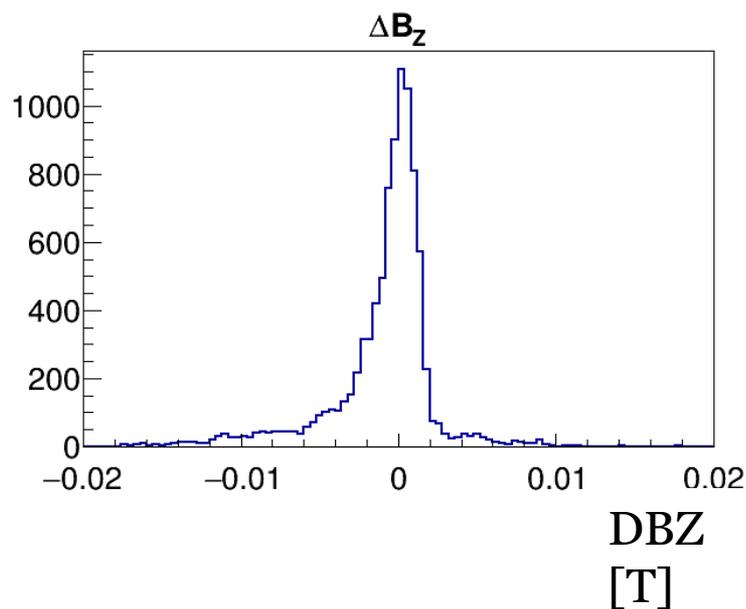
- OPERA-3D/TOSCAで計算
- モデリング：設計図をもとに作成、上下対称
 - 周辺の磁性体や電磁石の架台などは考慮していない
- BH曲線：Q1電磁石の計算磁場の精度を上げるために調整したもの



- メッシュサイズ
 - ヨーク部分:30 mm, 粒子が通る領域:20mm
 - それ以外:100mm
 - メッシュサイズによる計算精度は60 μ T未満

計算磁場の精度

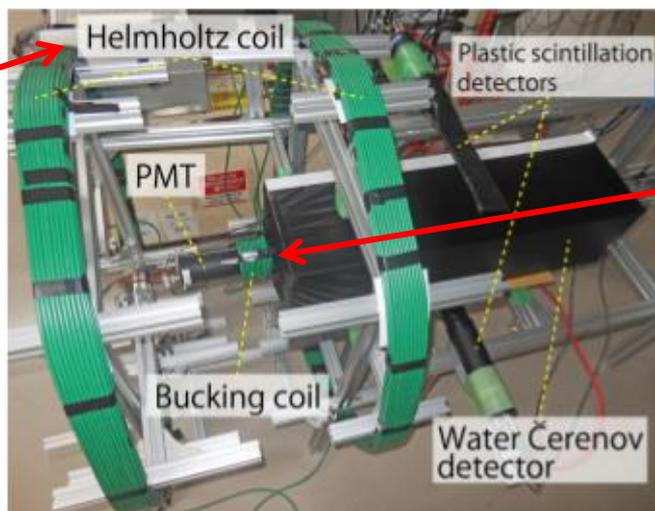
- $DBZ = (\text{測定磁場のZ成分}) - (\text{計算磁場のZ成分})$
- 磁極端付近 ($-300 < Z < 500$) とそれ以外で
- それぞれガウシアンでフィット、 σ を計算磁場の精度



水チェレンコフ検出器テスト

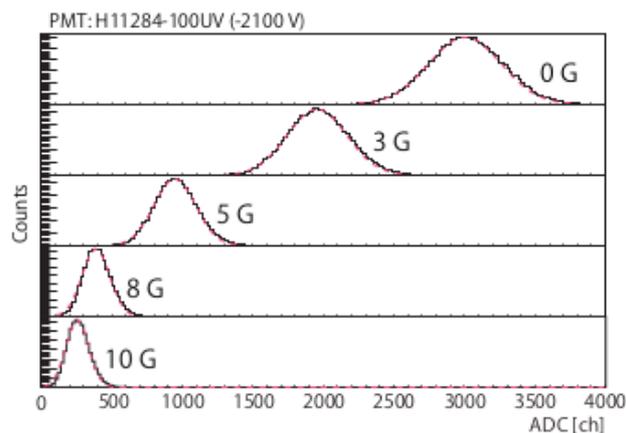
- Setup

半径80cm, 100回巻き

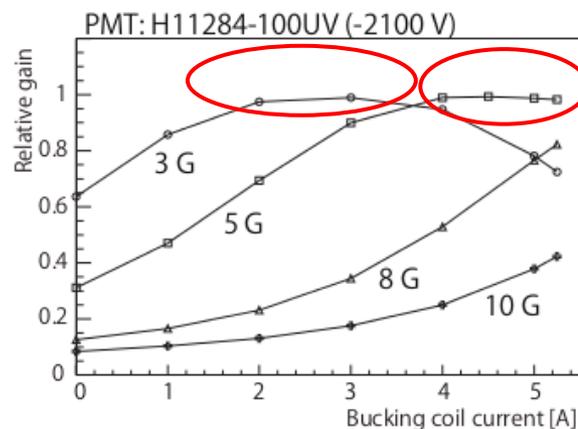


PMTに巻きつけたコイル
(20回巻き)
磁場を相殺する

- 測定結果



Helmholtz coilの磁場に対するWCのADC



5G程度ならバックアップコイルでの相殺は容易

ファイバーアクティブ標的

- シミュレーション結果の一部(○と□どちらがよいか?)
 - 原理的にはターゲット中でのE.Lのふらつき
 - ↓
 - ファイバーの不感領域中でのE.Lのふらつきとできる

