

# J-PARC K1.8ビームラインで用いる 新規スペクトロメータS-2Sの準備状況

Preparation status of a new spectrometer “S-2S”  
for high-resolution spectroscopy of hypernuclei with S=-2 at J-PARC

京大理<sup>1</sup> JAEA<sup>2</sup> 山形大理<sup>3</sup> KEK<sup>4</sup> RCNP<sup>5</sup>

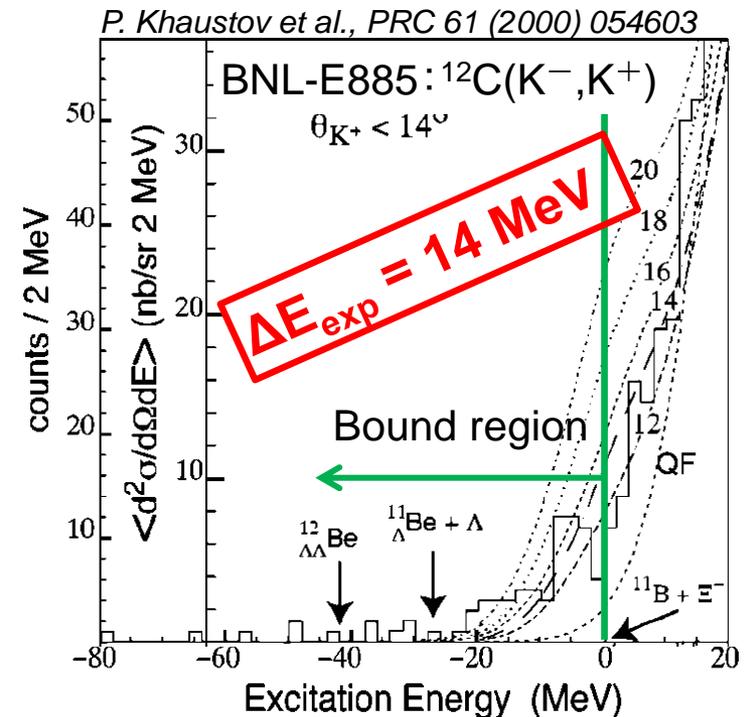
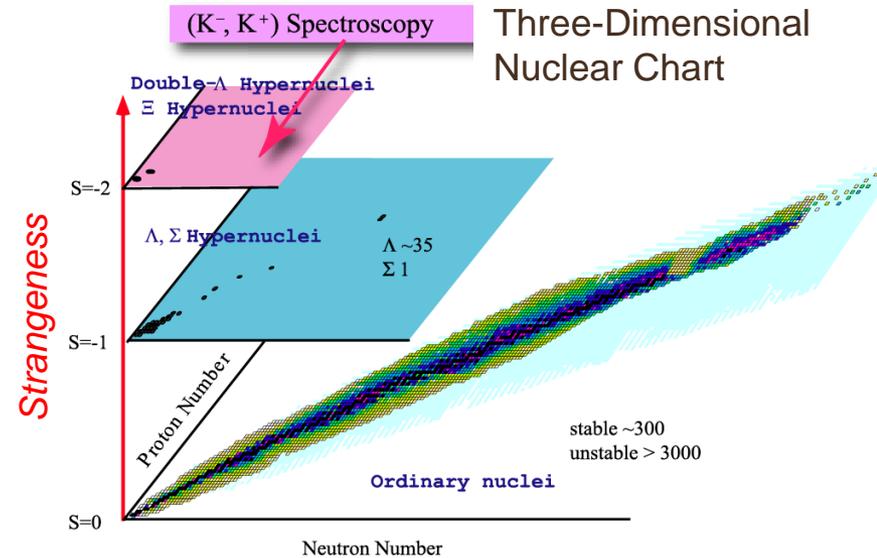
金築俊輔<sup>1</sup>(かなつきしゅんすけ)、天野宣昭<sup>1</sup>、市川裕大<sup>1, 2</sup>、江川弘行<sup>1</sup>、加藤静吾<sup>3</sup>、  
高橋俊行<sup>4</sup>、高橋仁<sup>4</sup>、永江知文<sup>1</sup>、広瀬恵理奈<sup>4</sup>、藤岡宏之<sup>1</sup>、森津学<sup>5</sup>

## Contents

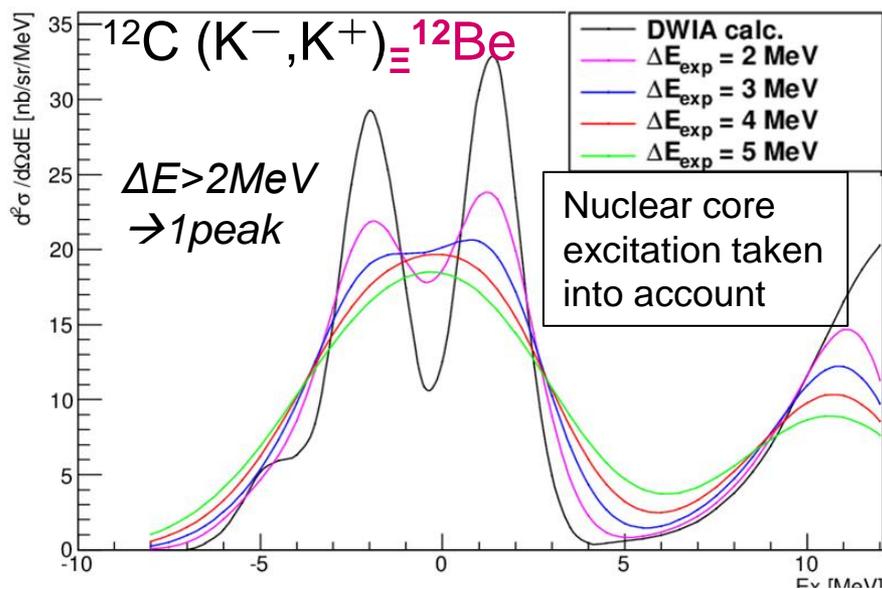
- 背景・要求性能
- S-2Sスペクトロメータの概要
- Q1電磁石の磁場測定
- 磁場計算による測定値の再現

# S=-2 physics at J-PARC

- Spectroscopy of hypernuclei with S=-2 using  $(K^-, K^+)$  reaction
  - Baryon-baryon interaction ( $\Lambda\Lambda$ ,  $\Xi N$ )
  - Dense nuclear matter (NS core)
- Previous experiment
  - No clear evidence of  $\Xi$  hypernuclear bound state
  - BNL-E885
    - $d\sigma/d\Omega$  60 nb/sr
    - $V_{\Xi} \sim -14$  MeV
- First step : **J-PARC E05** @K1.8 beam line
  - $^{12}\text{C} (K^-, K^+) \Xi^{12}\text{Be}$
- In future,
  - spectroscopy of  $\Xi^-$ ,  $\Lambda\Lambda$ -hypernuclei using various targets.

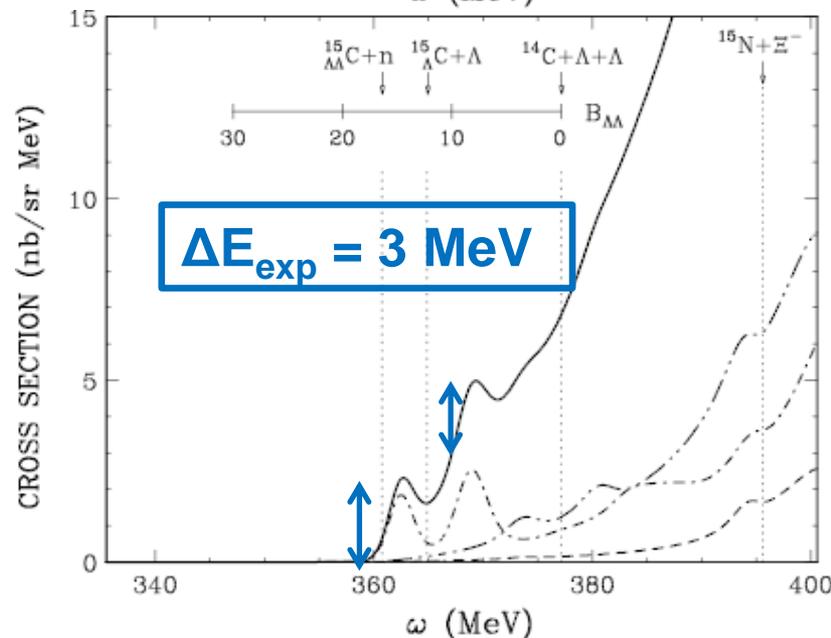
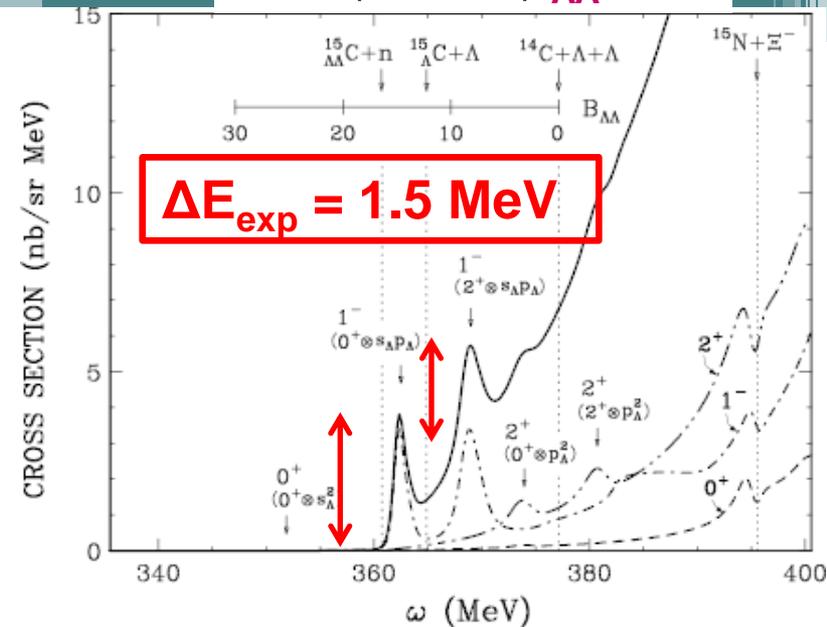


- Expected spectra of  $\Xi^-$ ,  $\Lambda\Lambda$ -hypernuclei



T. Motoba and S. Sugimoto, *Nucl. Phys. A* 835, 223 (2010)

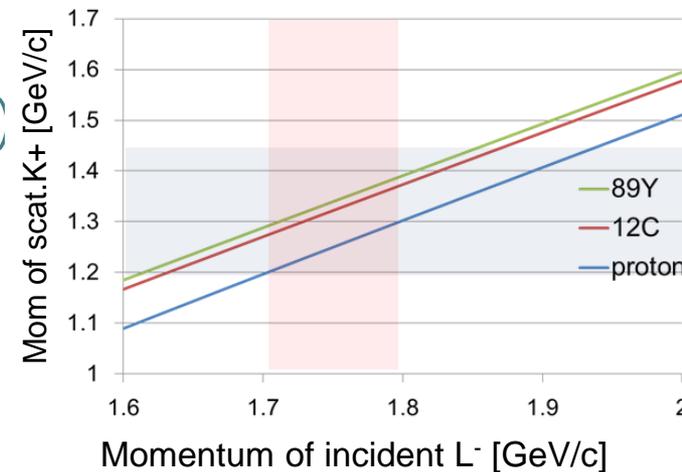
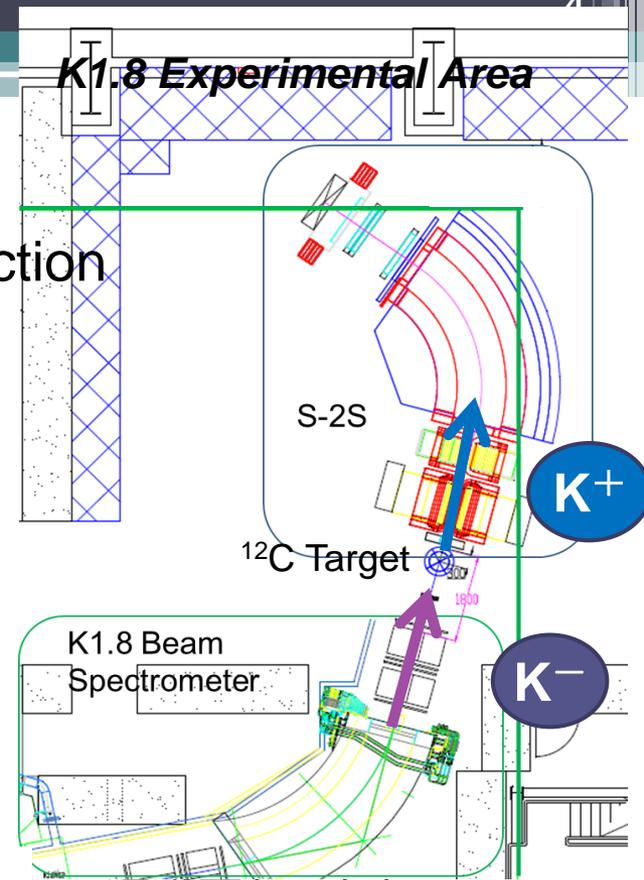
We need a new spectrometer to achieve  $\Delta E < 1.5 \text{ MeV}$



T. Harada et al., *Phys. Lett. B* 690, 363 (2010)

# Requirement

- Missing mass spectroscopy using ( $K^-$ ,  $K^+$ ) reaction
- Beam spectrometer for incident  $K^-$  @ 1.8 GeV/c  
→ *already existing* ( $dp/p \sim 3.3 \times 10^{-4}$ )
- **Strangeness -2 Spectrometer: scattered  $K^+$**   
→ Now under construction
- Momentum region
  - 1.3 ~ 1.4 GeV/c
- Resolution
  - $dp/p < 5 \times 10^{-4}$  (corresponds to  $\Delta M \sim 1.5$  MeV)  
cf. SKS :  $2 \times 10^{-3}$  ( $\Delta M \sim 3$  MeV)
- Acceptance
  - 60 msr (as large as possible)



# S-2S magnets

- 2 quadropoles (Q1, Q2) and 1 dipole (D1), normal conduction

- **Q1**

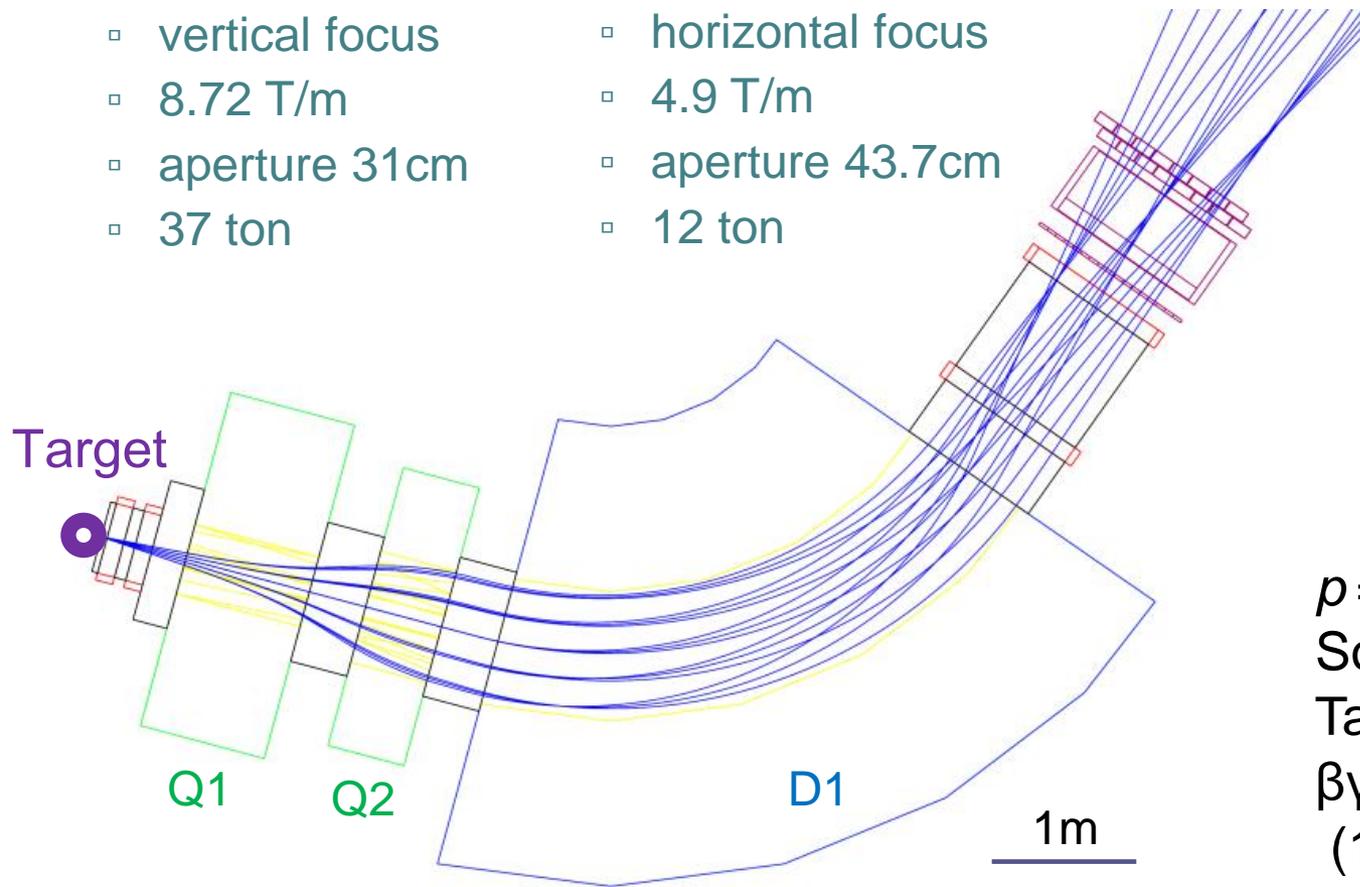
- vertical focus
- 8.72 T/m
- aperture 31cm
- 37 ton

- **Q2**

- horizontal focus
- 4.9 T/m
- aperture 43.7cm
- 12 ton

- **D1**

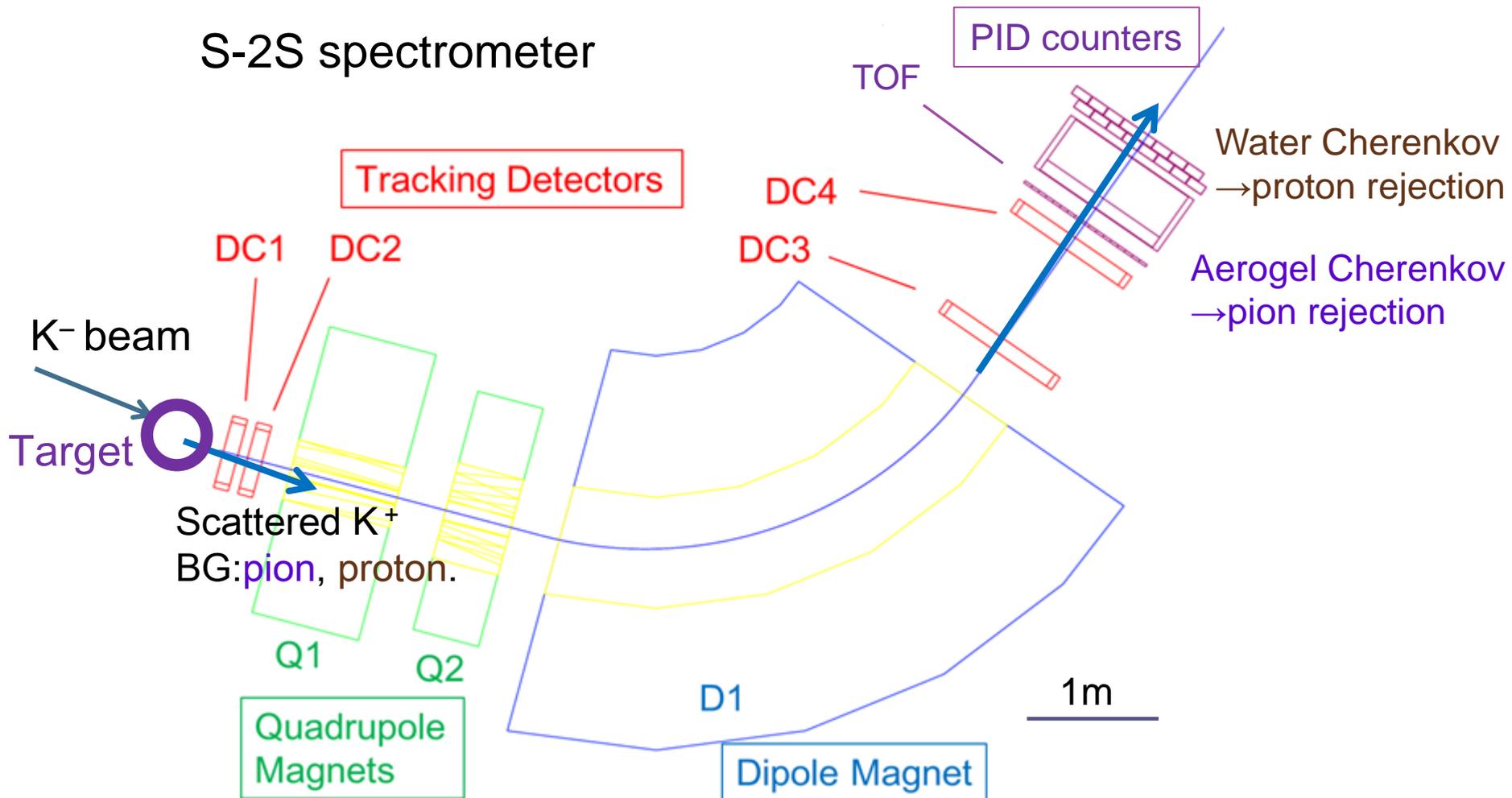
- 70 deg. bend
- 1.5 T
- pole gap 30cm
- 86 ton
- Central trajectory 3.67 m



$p = 1.3 \text{ GeV}/c \pm 7.5\%$   
 Solid angle 55 msr  
 Target~focal point 8.5 m  
 $\beta\gamma_{CT} \sim 9.7$   
 (1.3 GeV/c)

# Detector configuration

## S-2S spectrometer



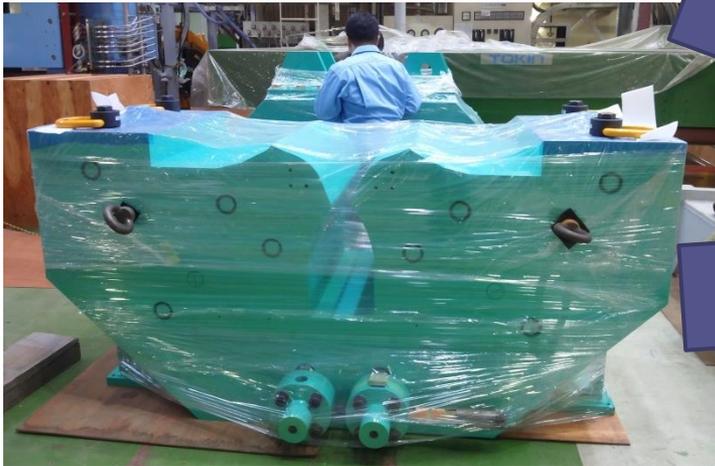
ここからは

Q1電磁石

磁場測定、TOSCAによる磁場計算

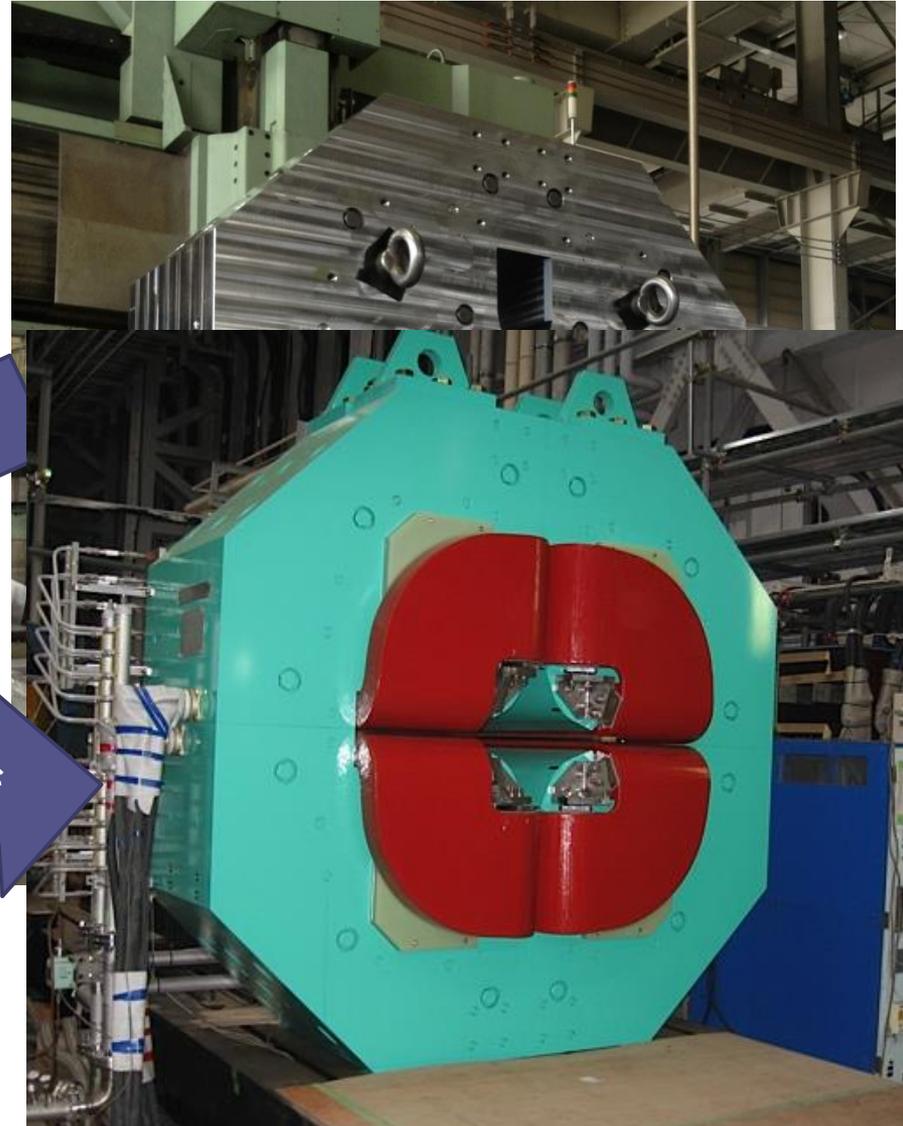
# Q1 magnet

- 今年の3月に完成
- 横・高さ:2.4m、縦:0.88m
- 鉄芯:32 ton
- 総重量:37 ton



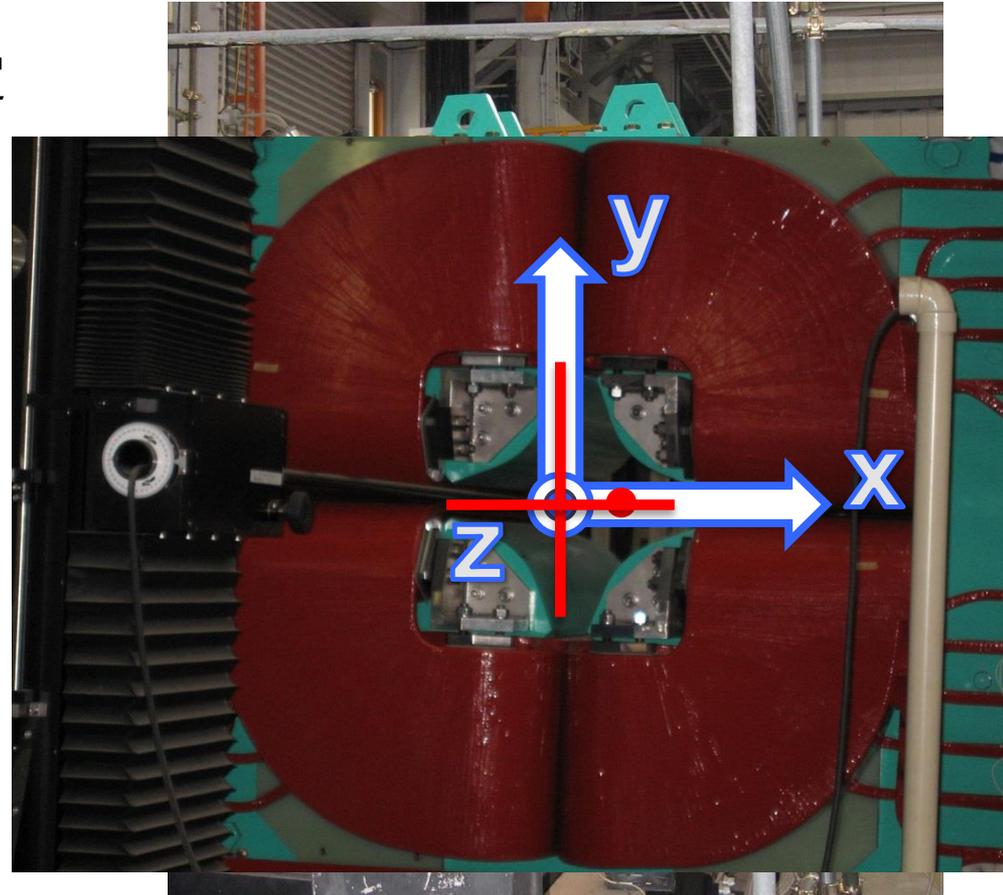
塗装

組み上げ



# Q1 field measurement

- ホールプローブを用いた磁場測定
  - X軸: 水平方向
  - Y軸: 垂直方向
  - Z軸: ビーム軸方向磁石の中心が原点
- 励磁曲線
  - $(x,y,z)=(77.5, 0, 0)$
  - $I=100\sim 2500A$  (100Aきざみ)
- 空間分布
  - X方向引き抜き  $(y, z)=(0, 0)$
  - Y方向引き抜き  $(x, z)=(0, 0)$
  - Z方向引き抜き  $(x,y)=(77.5, 0)$

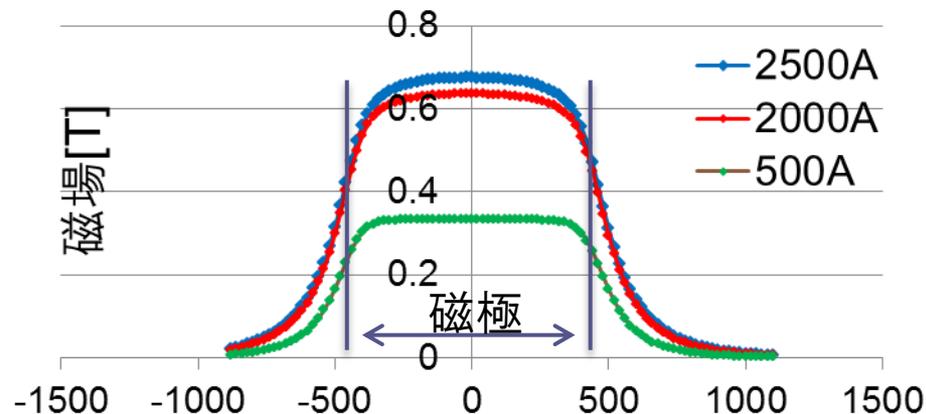


於: KEK 北カウンターホール

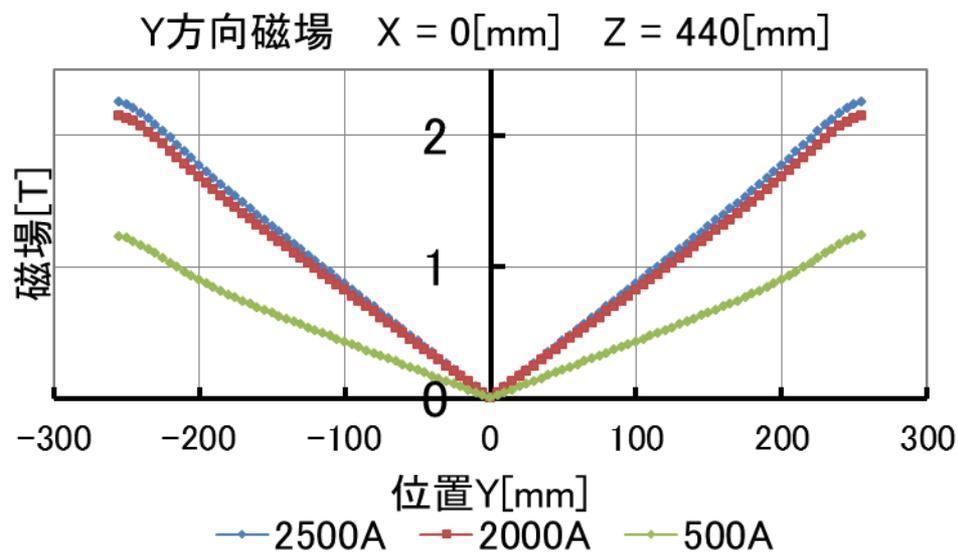
# Q1 field measurement

## 測定結果

- 磁場勾配 8.7 T/m
- 上下対称(架台の影響なし)



- ✓ 得られた結果を磁場計算で再現できるか？
- ✓ 興味のある空間すべてでの磁場分布を得たい



(提供: NECTーキン)

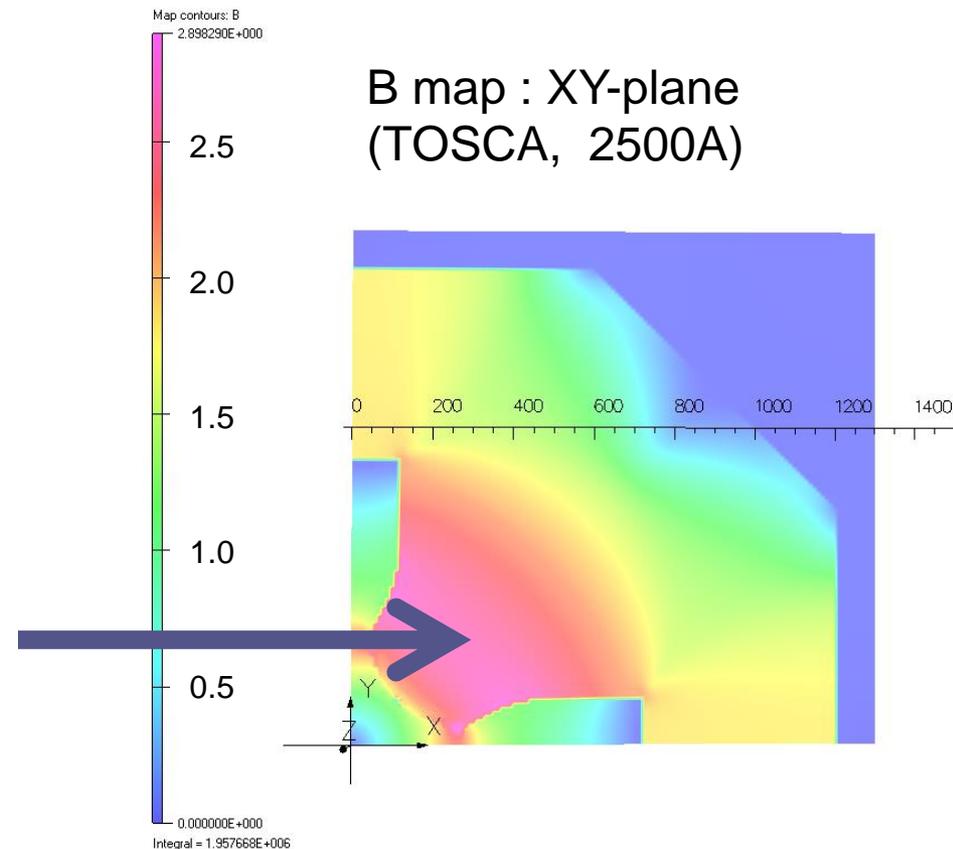
# TOSCA calculation

- Opera-3d/TOSCA を用いた磁場計算
  - OPerating environment for Electromagnetic Research and Analysis
  - TOSCA : 有限要素法による3次元磁場解析
- モデリングに必要なもの
  - 磁極とコイルの形状 : 完成図面
  - 使用する鉄のBH曲線

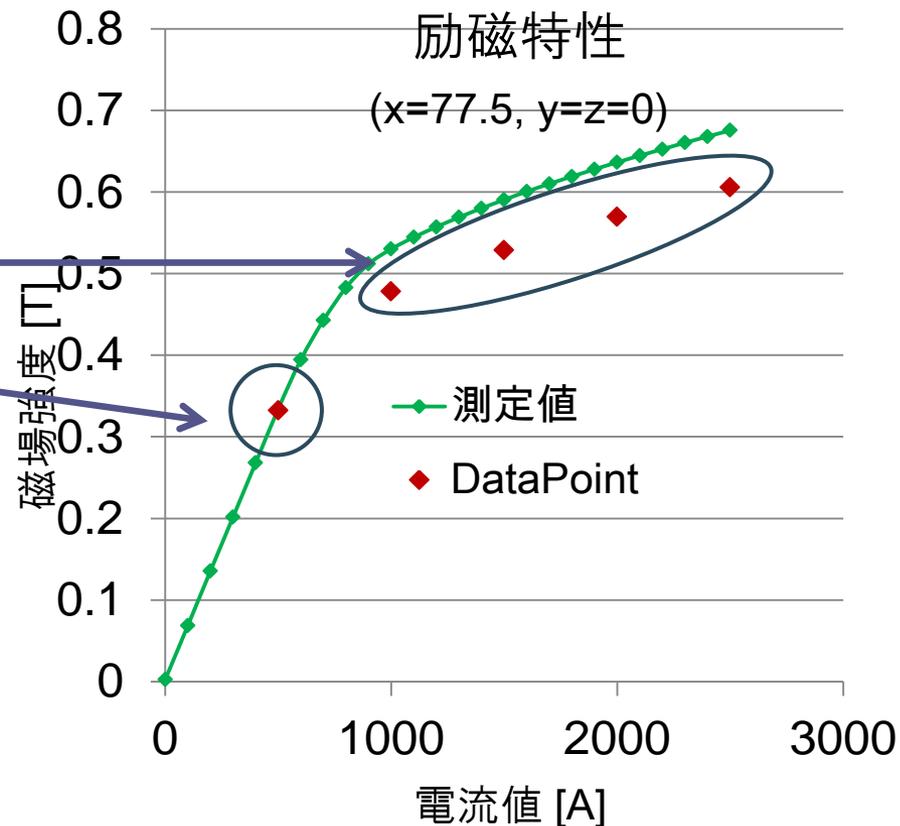
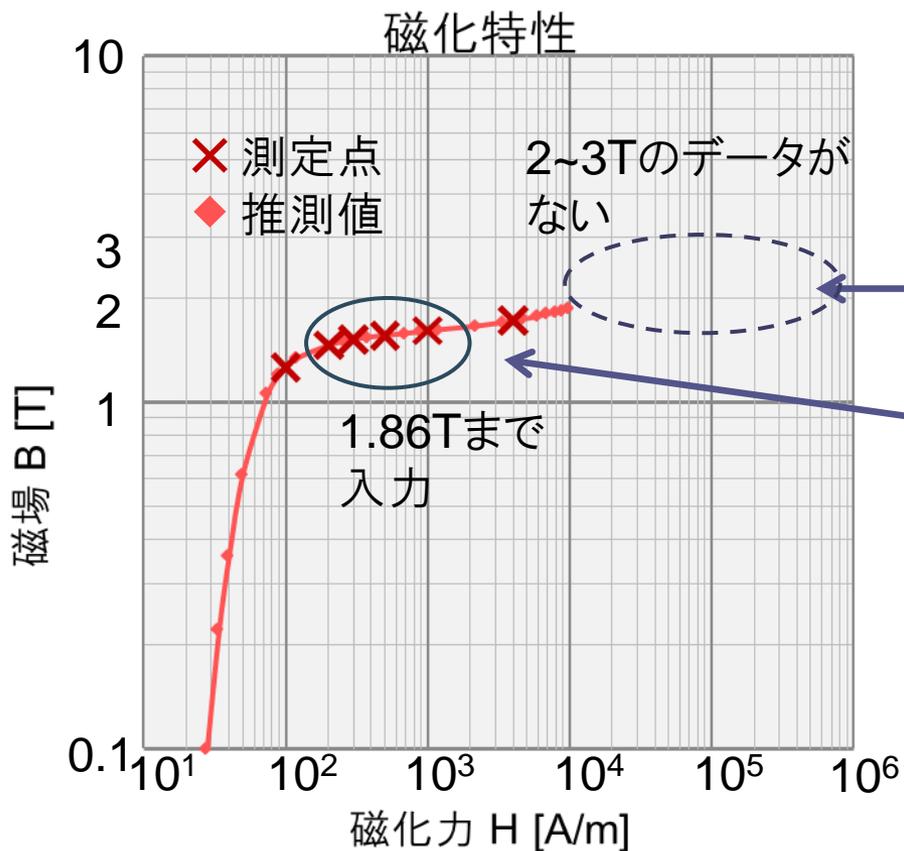


測定点が 1.72 T 以下の6点のみ

最大2.9Tの領域が存在する



# BH curve adjustment



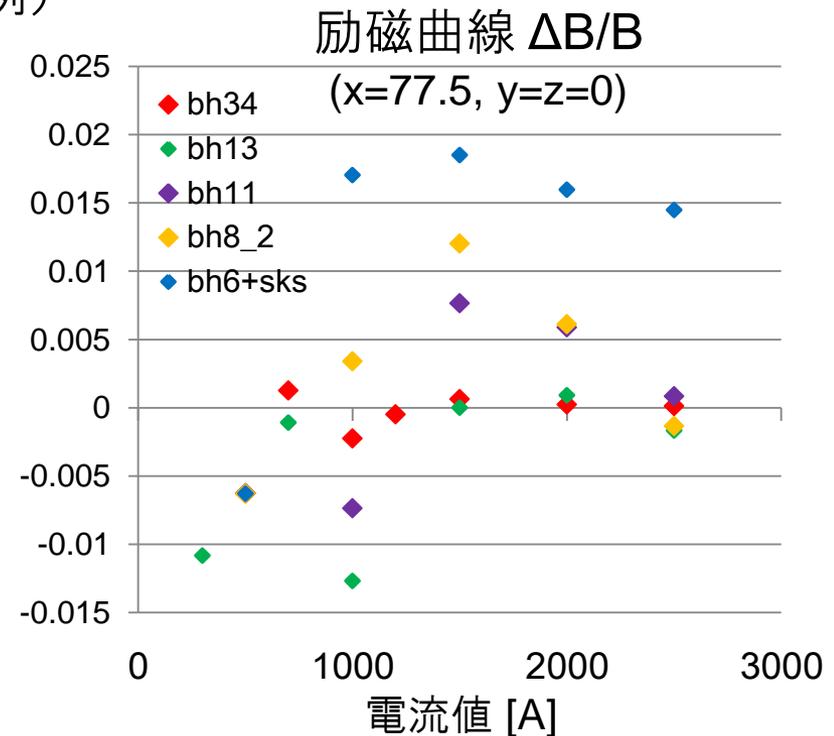
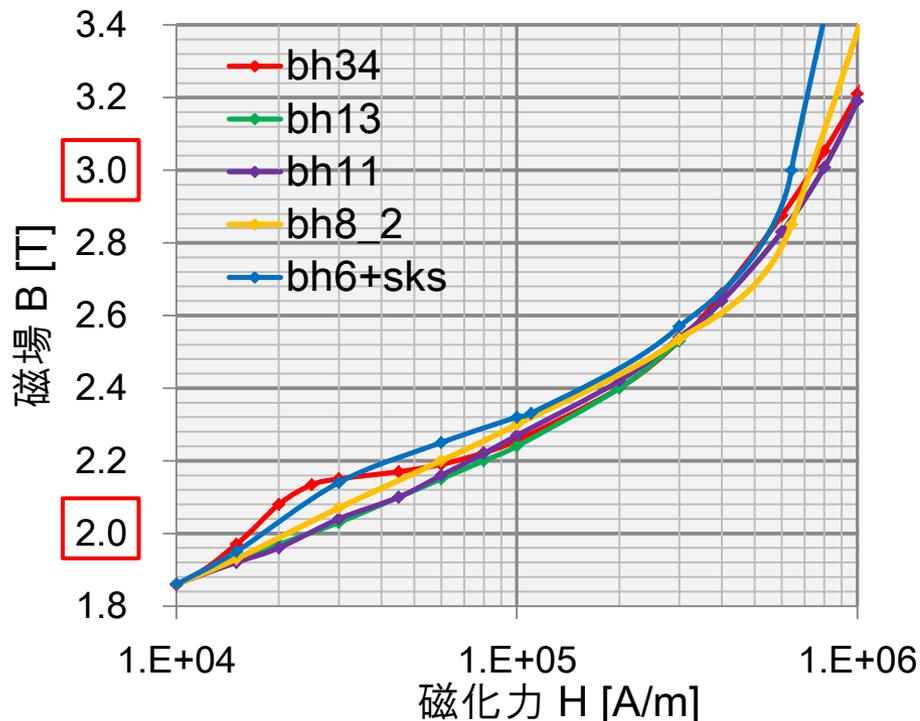
2~3T の領域でのBH曲線ちゃんと与えないと正しい計算ができない

BH曲線を手で与えて、測定を再現するように調整する

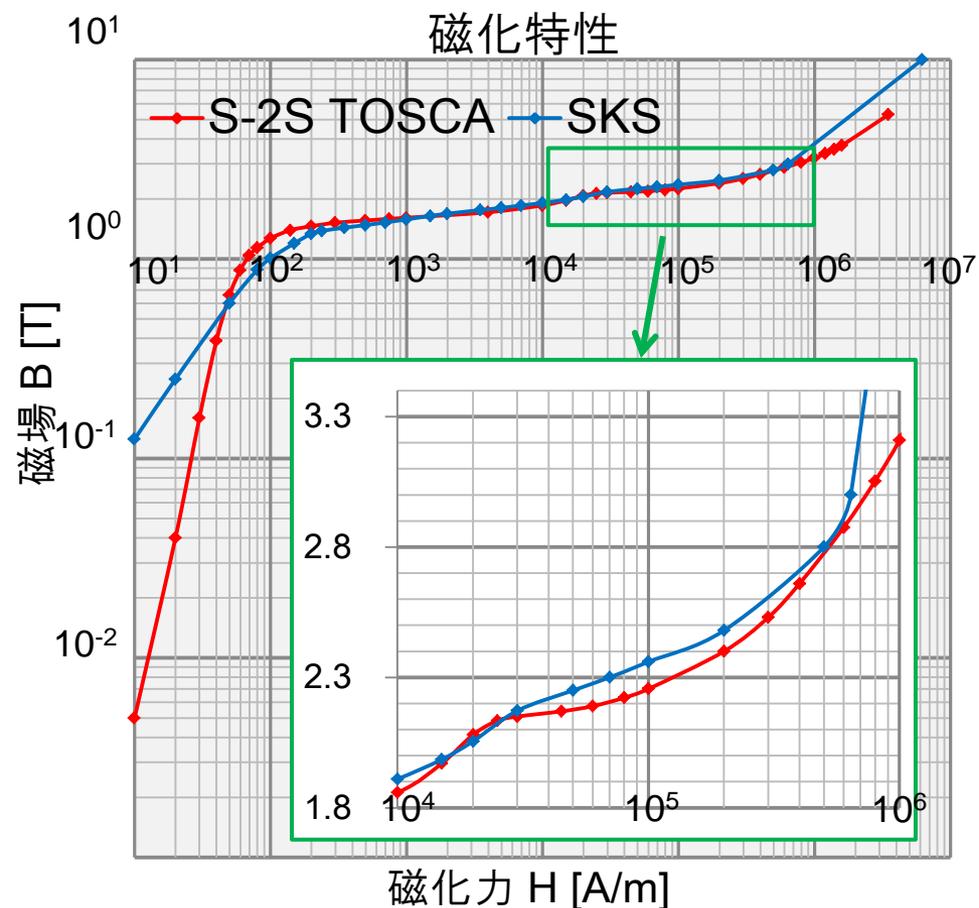
# BH curve adjustment

- 方法
- 0. 測定点は信用して、より強磁場の領域に注目
- 1. 励磁曲線を再現するようBH曲線を調整
- 2. 空間分布を再現しているか確認する

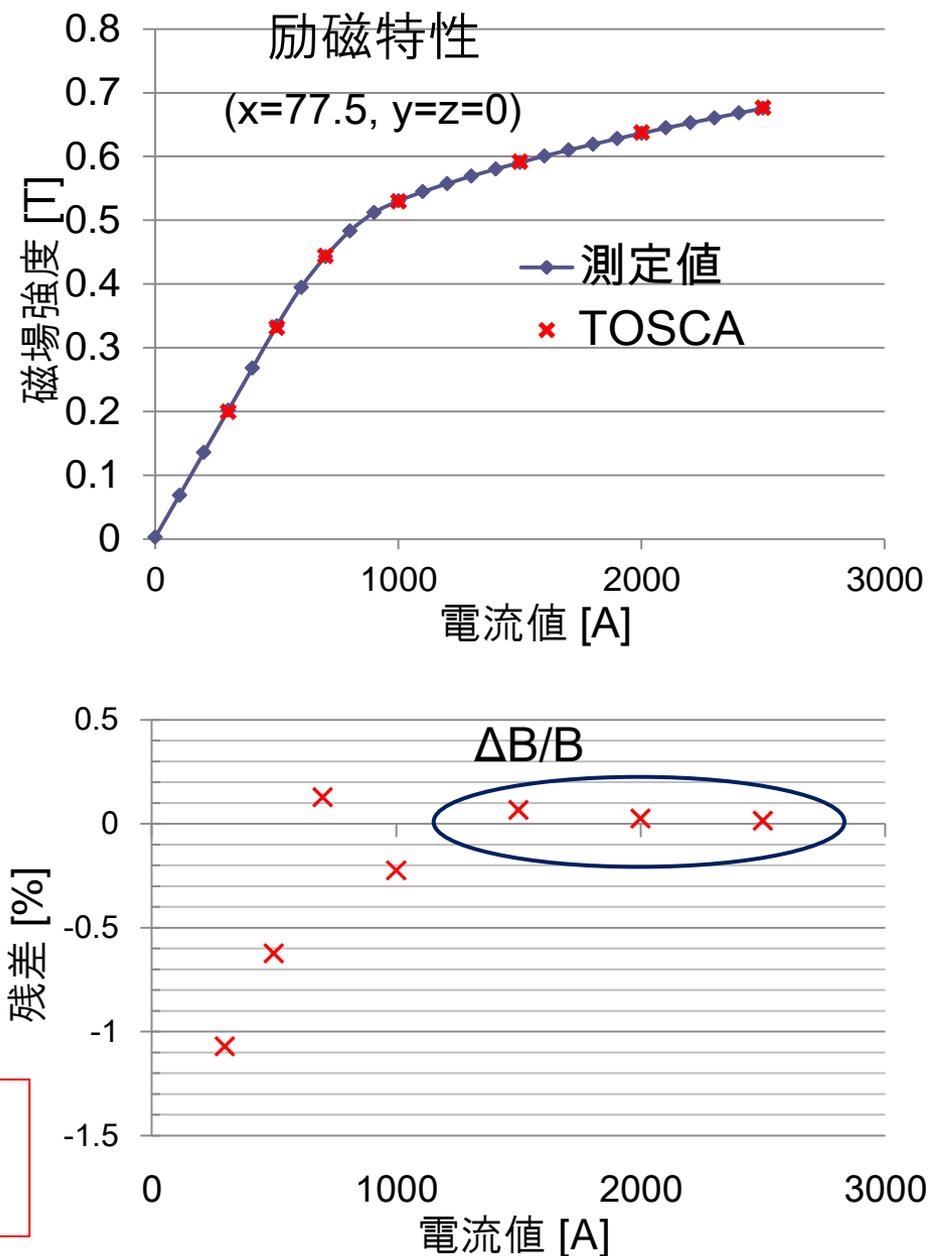
(調整の歴史から5例)



# Result (1)

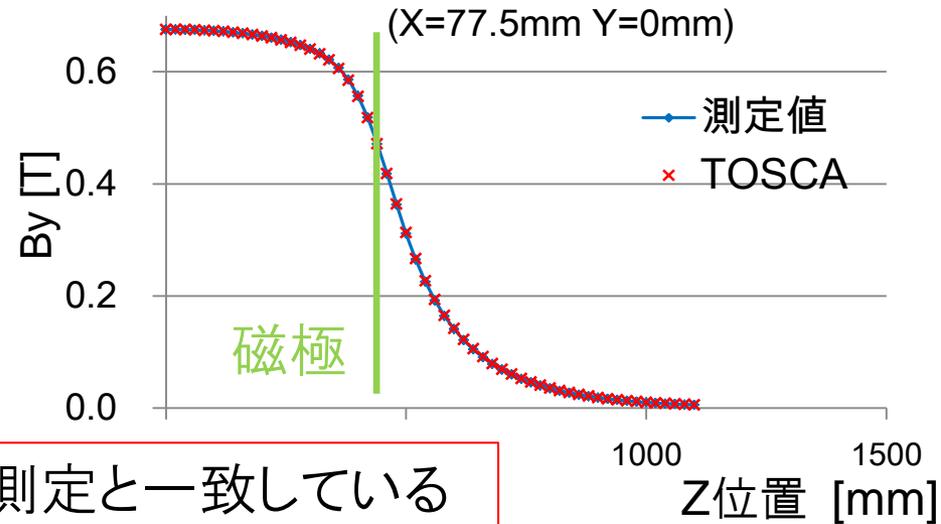
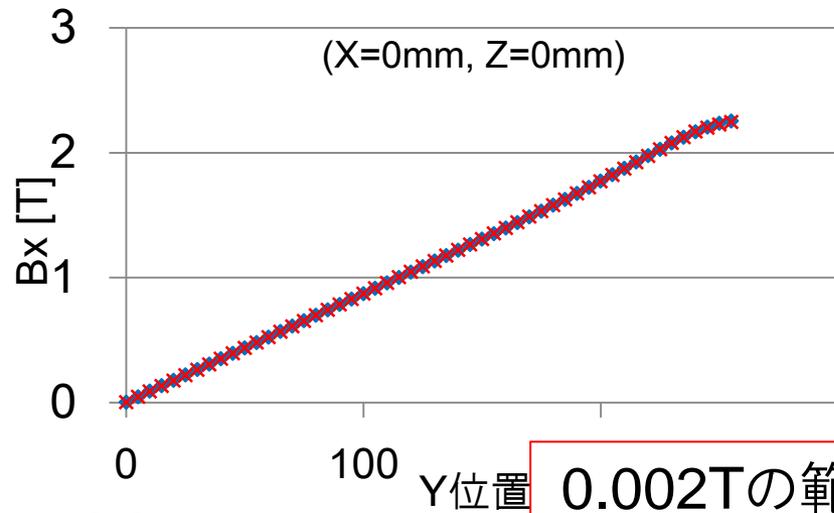


1500A以上のところで測定値との差を0.1%におさえることができた

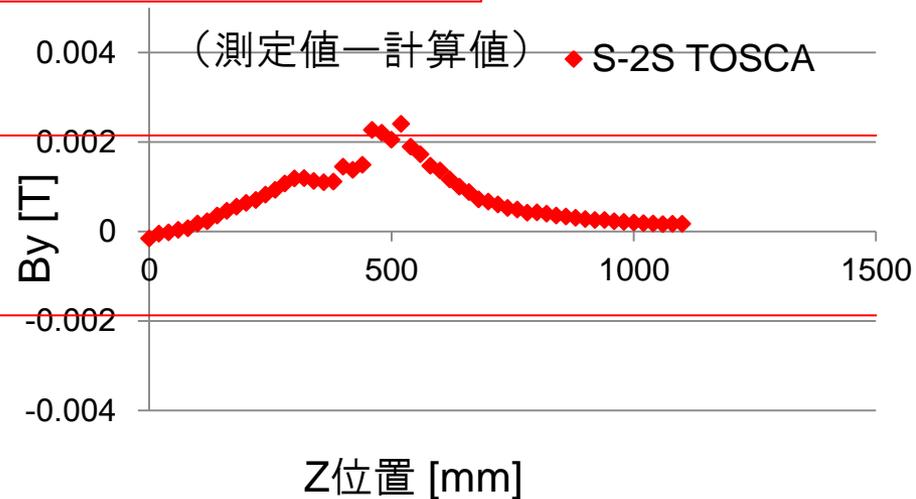
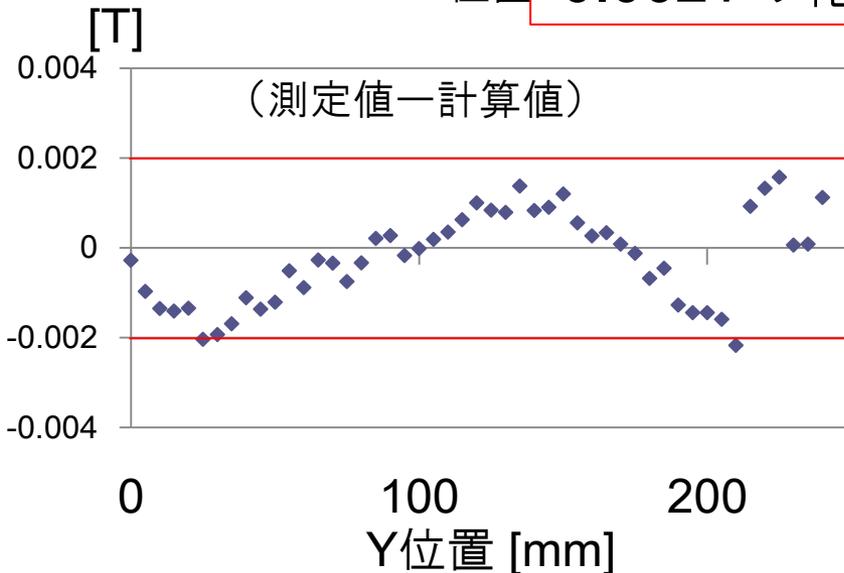


## Result (2)

- Result(1) のBH曲線を用いて空間分布が正しいか確認



0.002Tの範囲で測定と一致している

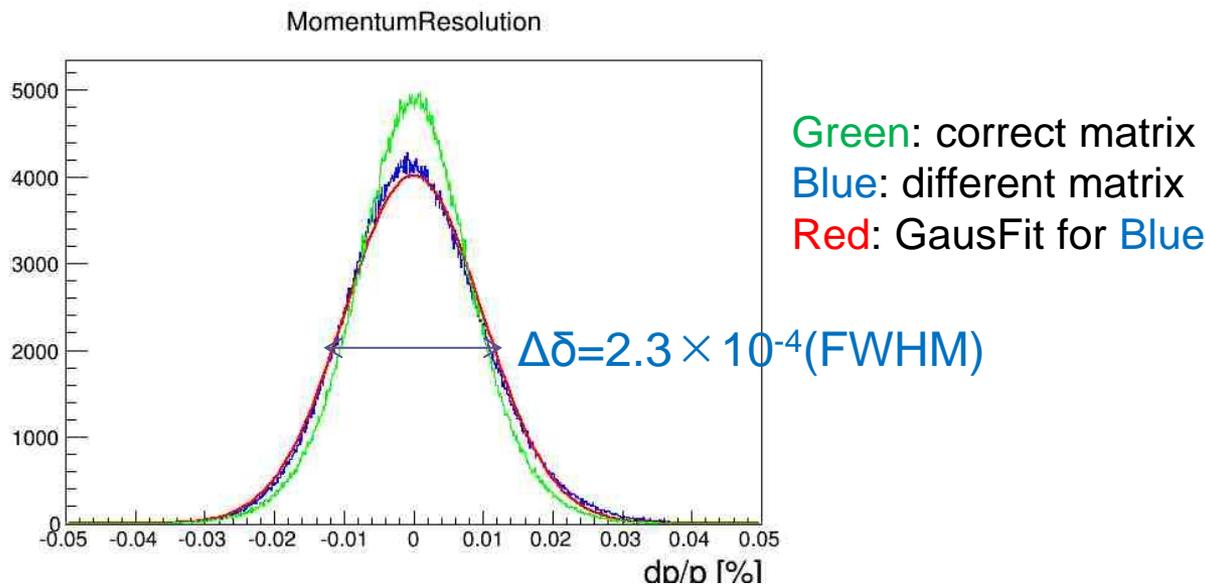


## Result (3)

- 励磁特性からQ1の磁極のBH曲線を求めた。
- 空間分布も含めて0.1%のオーダーで計算と測定値が一致した。
- 運動量分解能への影響を知るため、シミュレーションを行った。
  - イベント生成: 測定磁場
  - 運動量解析: 計算磁場
 } をもとに作成したTransfer Matrix を用いて計算した  
*TRANSPORT, 2<sup>nd</sup> order*

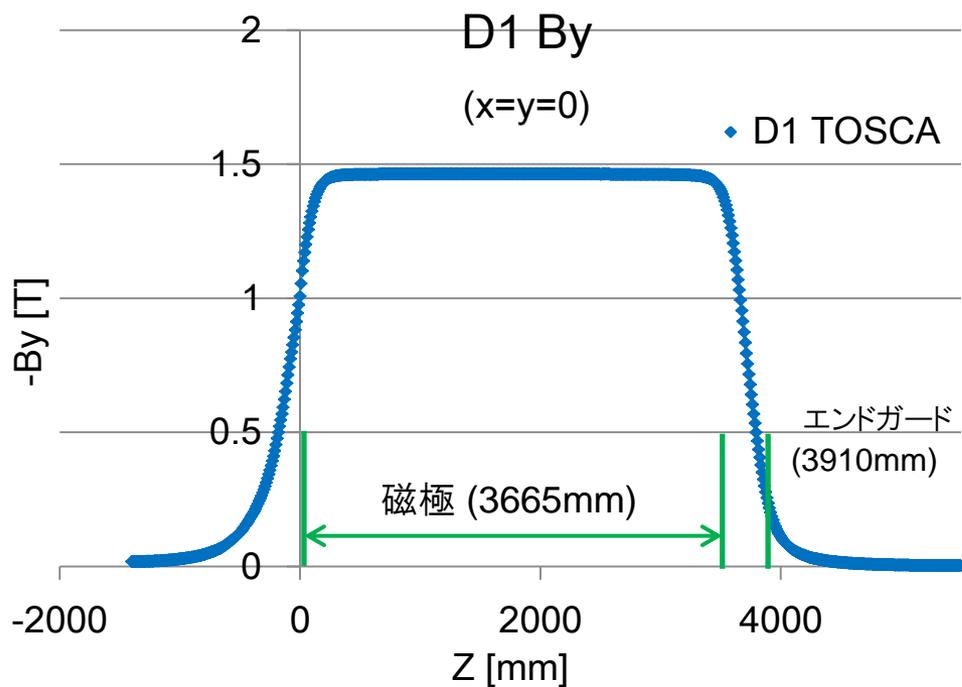
$$\Delta\delta = 2.3 \times 10^{-4} \text{ (FWHM) @ } 1.3 \text{ GeV}/c$$

イベント生成と解析に同じMatrixを用いた場合 ( $2.0 \times 10^{-4}$ ) と10%の影響がある

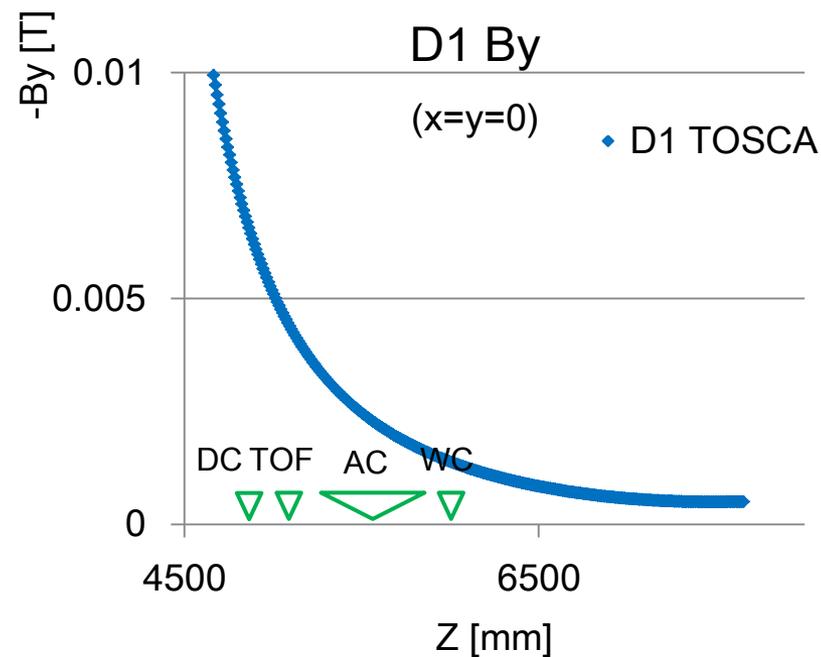
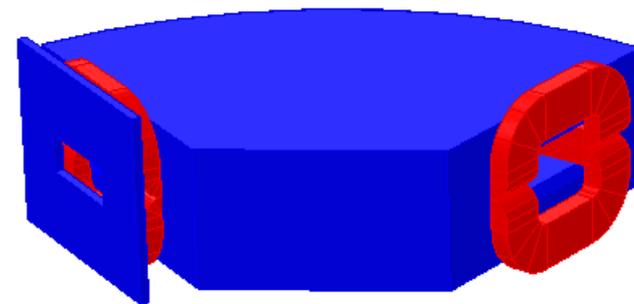


# How about D1 ?

- D1 は加工細部についての設計が進行中
- 今年度鉄芯、来年コイル・組み上げ
- TOSCA 計算



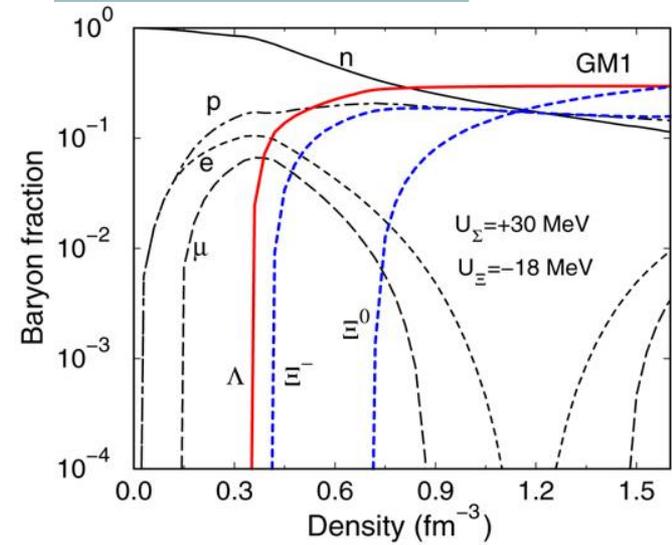
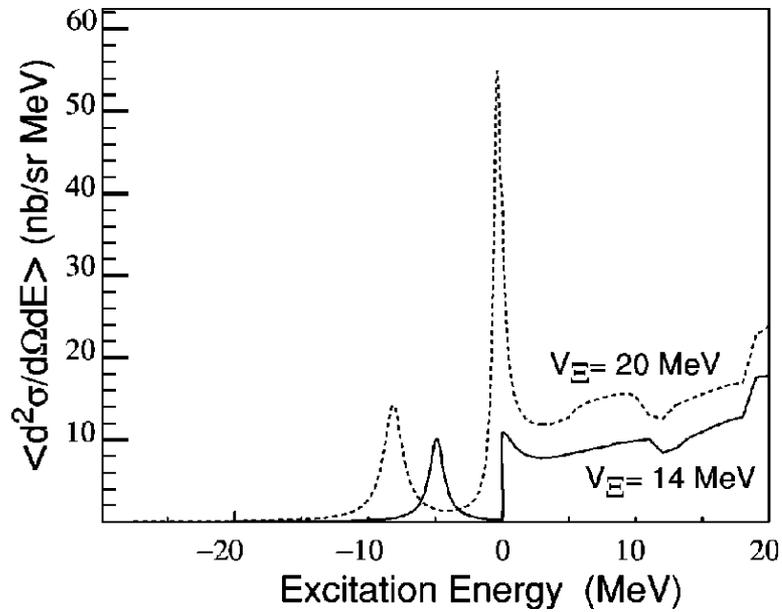
- 最大磁場1.49T
- 漏れ磁場: 数十Gauss?



# Summary

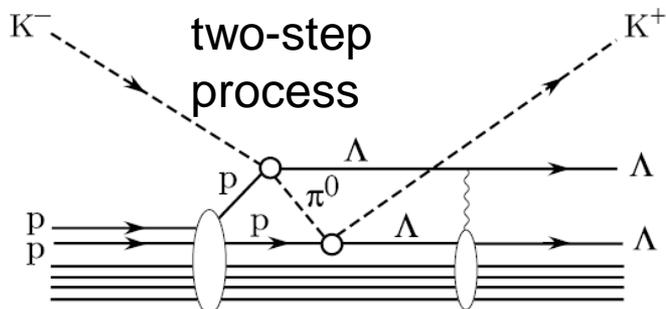
- A new spectrometer S-2S is for spectroscopic study of hypernuclei with two strange quarks
- Status of Magnets
  - Q1 field measurement and calculation has been done
  - And they are consistent with each other in  $10^{-3}$
  - Q2 and D1 are now under construction.
- (Counters)
  - (Water Cherenkov counter is under development)

Back up

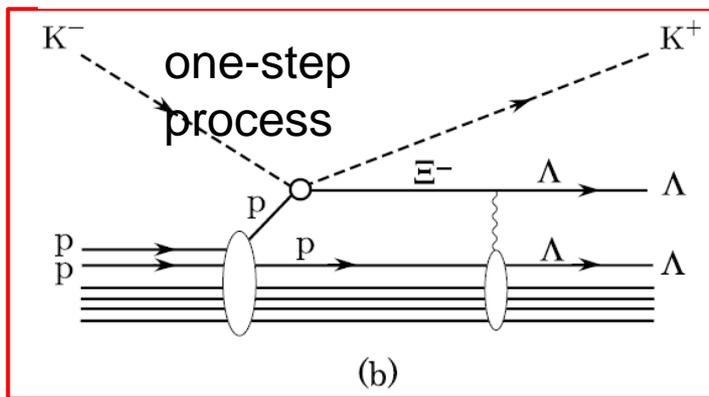


Baryon fraction in NS matter for RMF calculation

# ダブルラムダハイパー核の直接生成

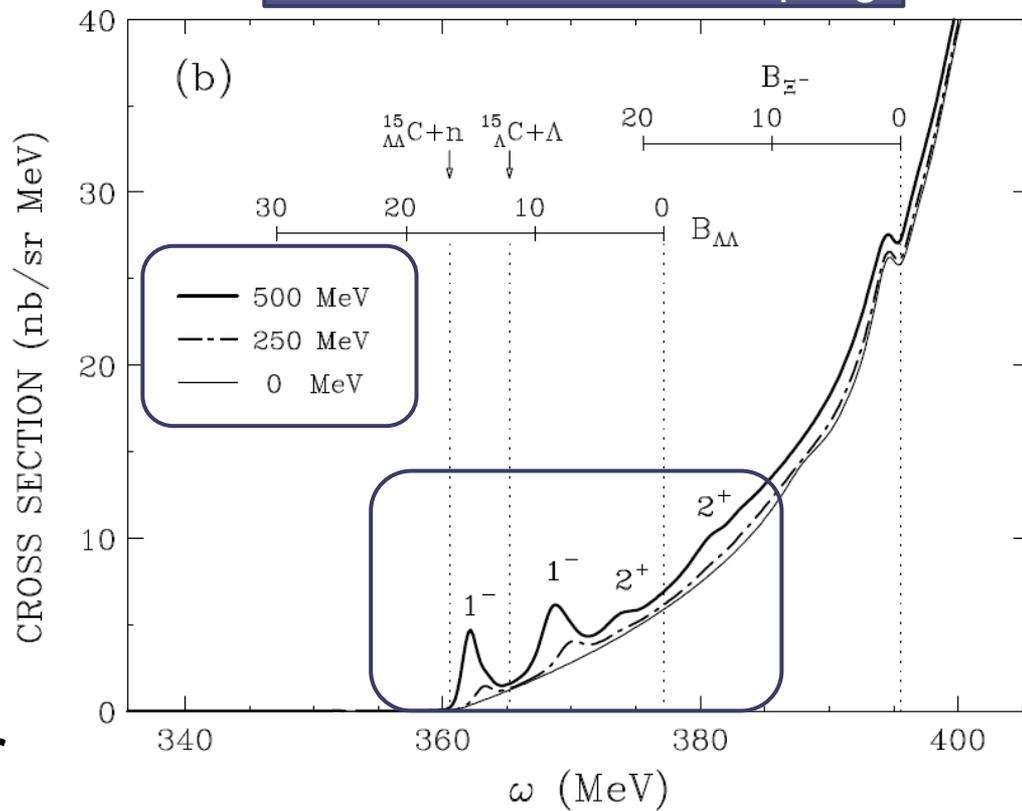


生成断面積:  $\sim 0.1$  nb/sr



生成断面積:  $7 \sim 12$  nb/sr

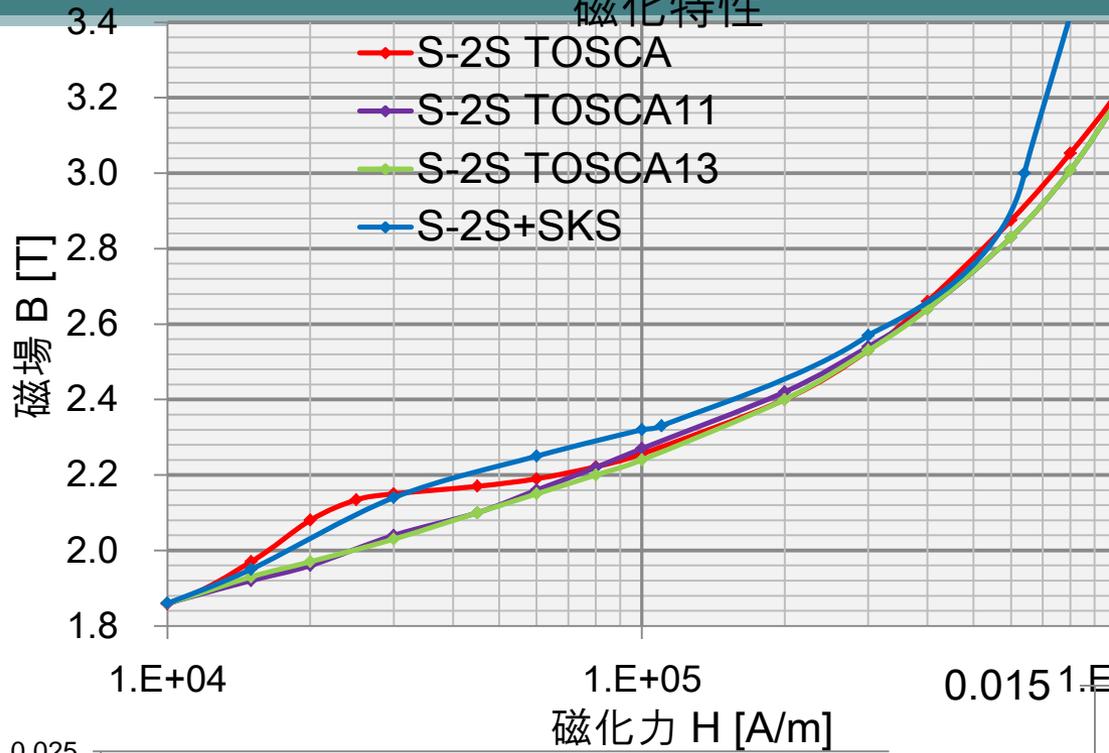
one-step process  
sensitive to  $\Xi N$ - $\Lambda$  coupling



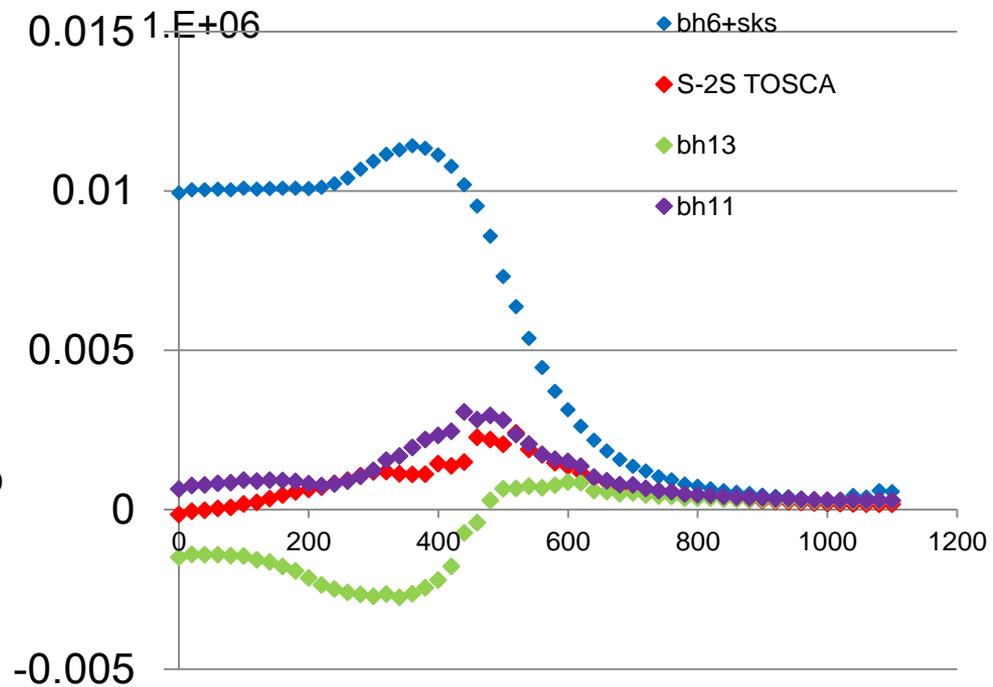
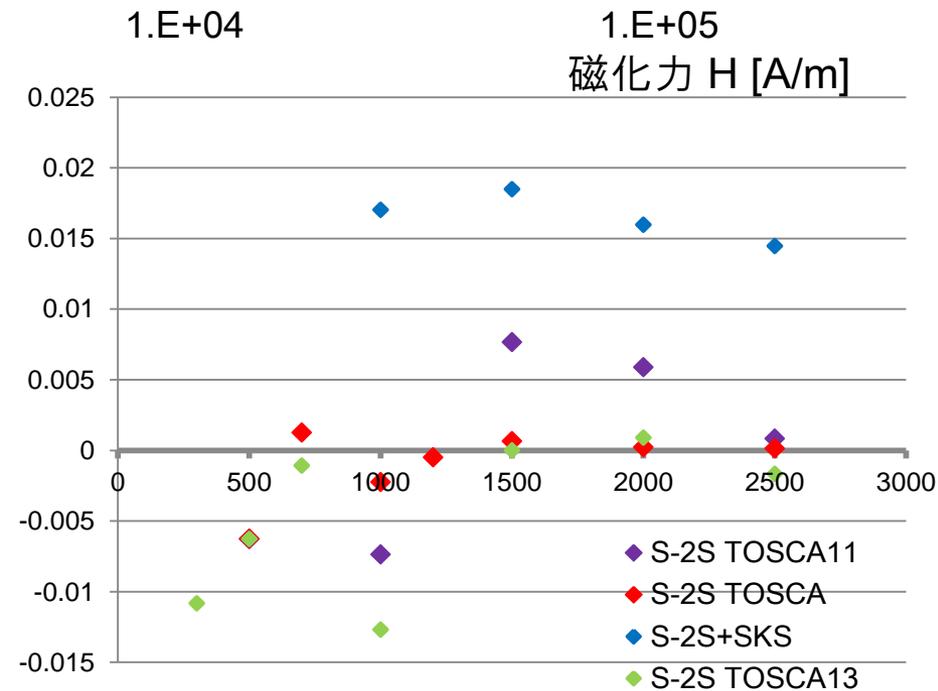
- グザイハイパー核の収量の見積もり
  - 150 kW運転
  - 3 g/cm<sup>2</sup> 標的

$$\begin{aligned}Yield(^{12}_{\Xi}\text{Be}) &= N_{beam} \times N_{target} \times \frac{d\sigma}{d\Omega} \times \Delta\Omega \times f_{decay} \times f_{analysis} \\&= 2.9 \times 10^{10}/day \times \{3 \times 6.02 \times 10^{-7}/12\}[/\mu b] \times 0.06[\mu b/sr] \times 0.06[sr] \\&\quad \times 0.4 \times 0.7 \\&\sim 4.6 [/day] \\&\sim 140 [/month]\end{aligned}$$

## 磁化特性

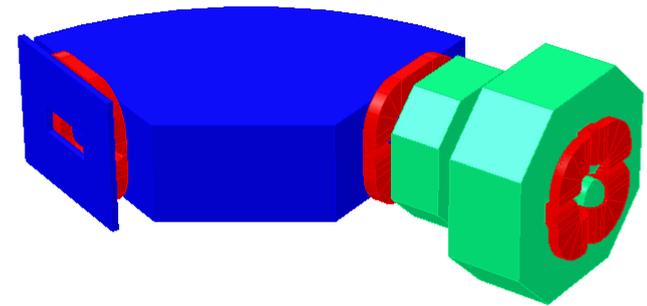


- 励磁曲線、Z分布ともに収束していている



# Other magnet and counter

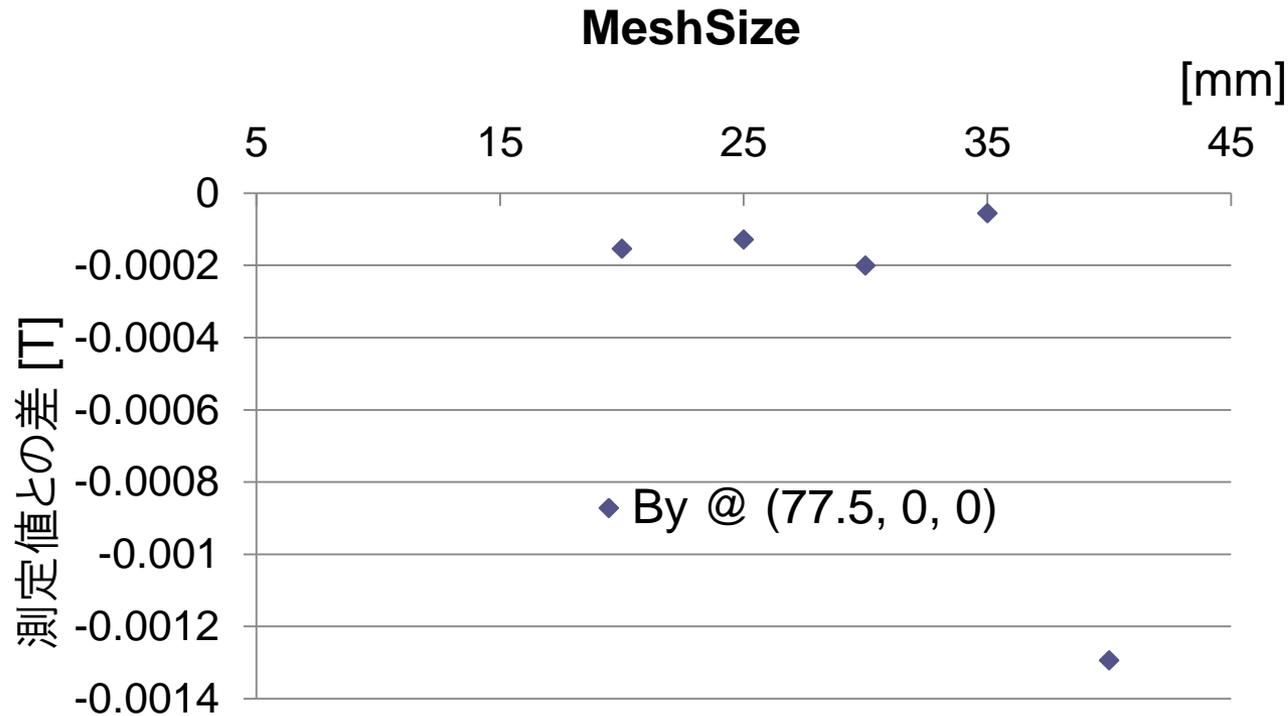
- Q2 magnet → 磁極の加工・コイル組み上げ
- PID Counters
- 陽子棄却用水チェレンコフ検出器
  - 現在開発中
  - プロトタイプの製作・テスト実験
  - 解析結果については別の機会に...



2014年秋に完成予定



実際には下側からもPMTで読む



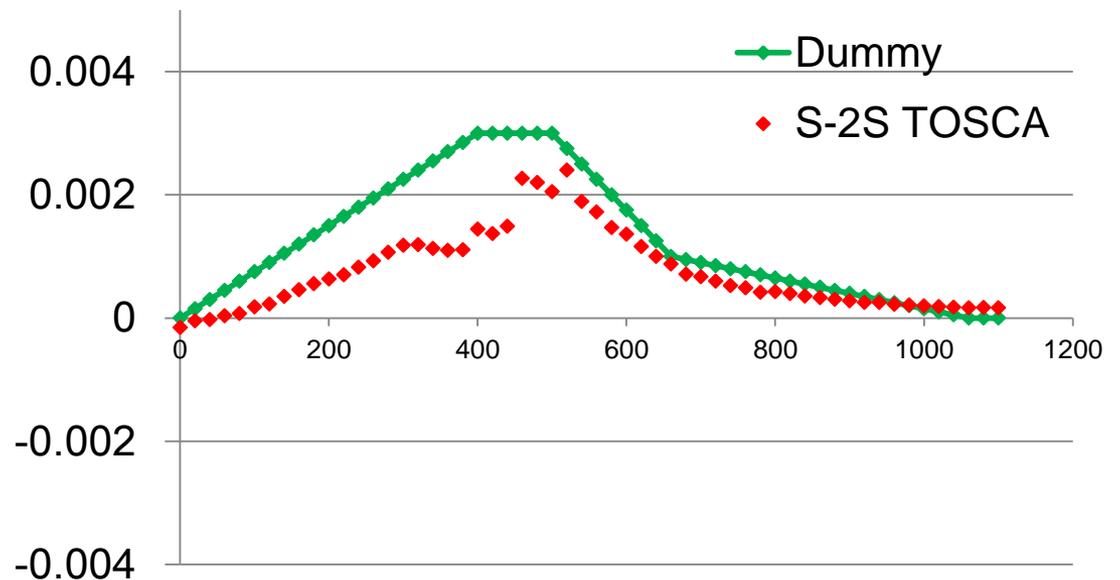
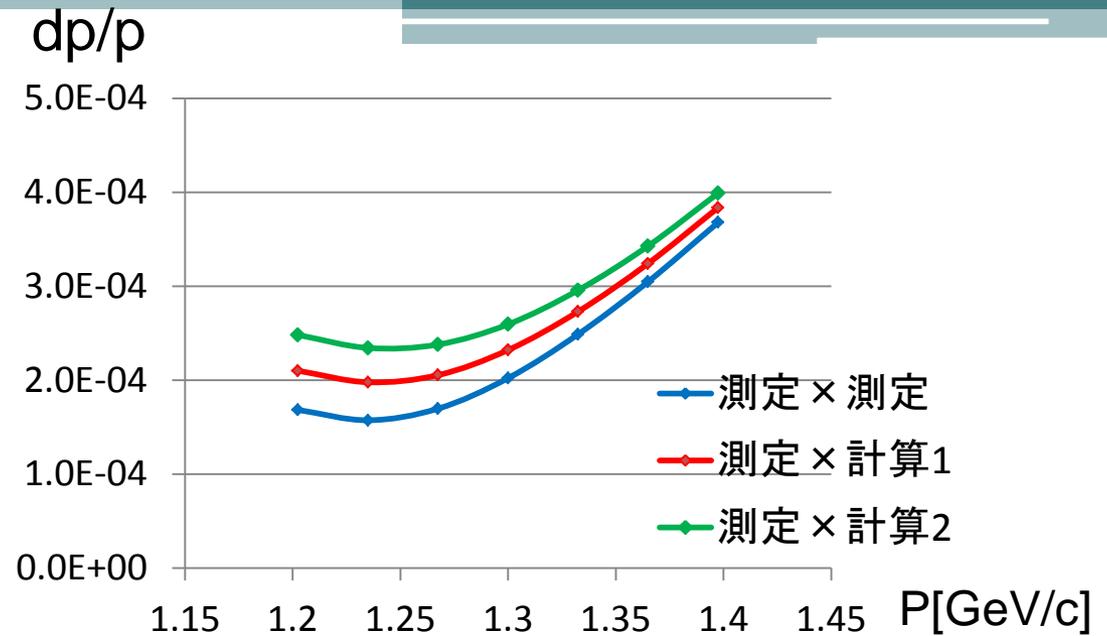
励磁曲線を測った位置での計算磁場と測定値との差を表示したメッシュサイズが35mmより小さくしても、値がほぼ変わらないことがわかるBH曲線の調整の際は、計算時間を考えて30mmを採用した

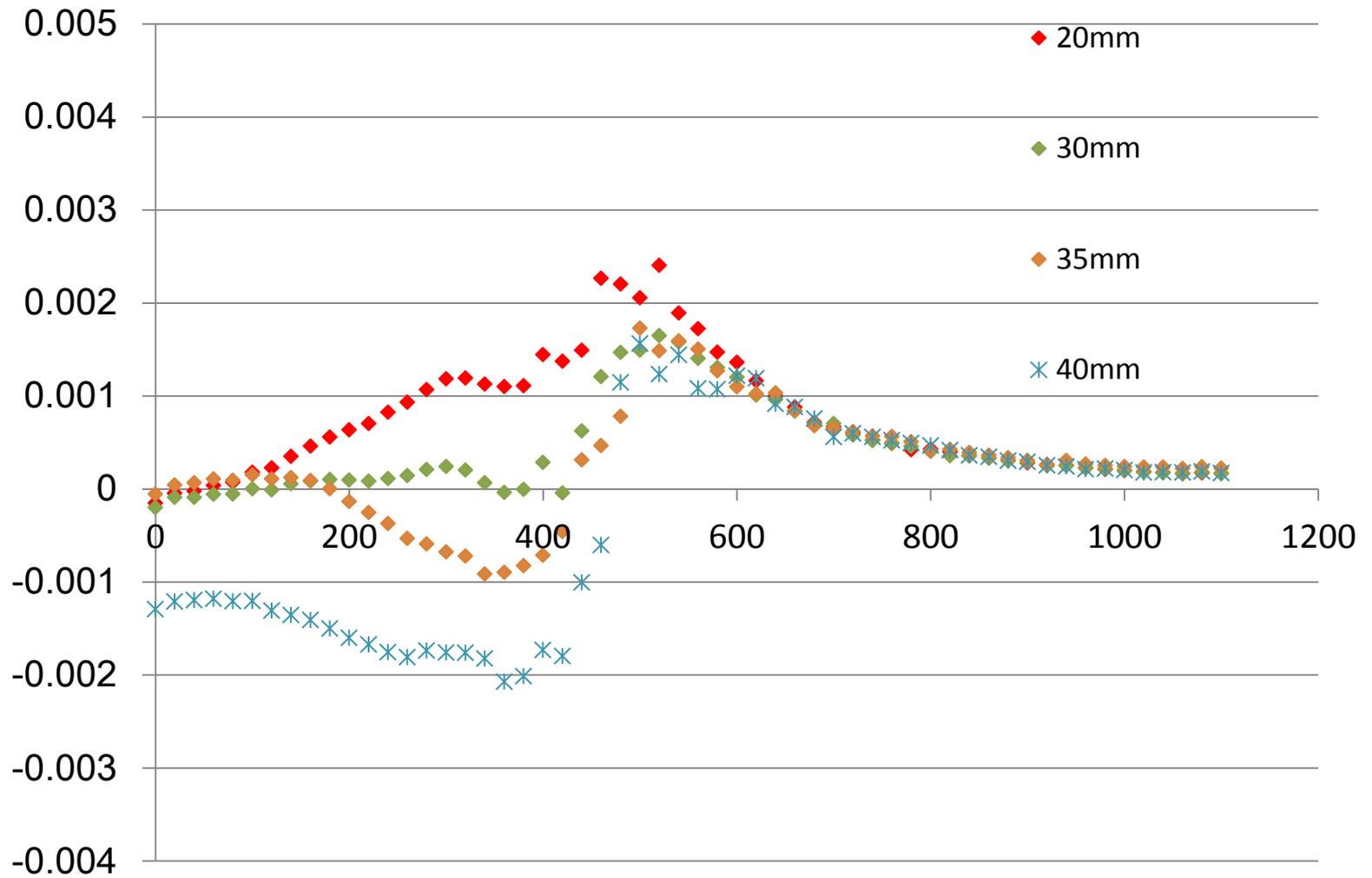
## 運動量vs分解能

青: 測定値から計算した  
Matrixを使用

赤: 今回調整した曲線を元  
にしたMatrixで解析

緑: さらにその倍くらい異なる  
磁場分布だった場合を仮定し  
て作ったMatrixを解析で使用

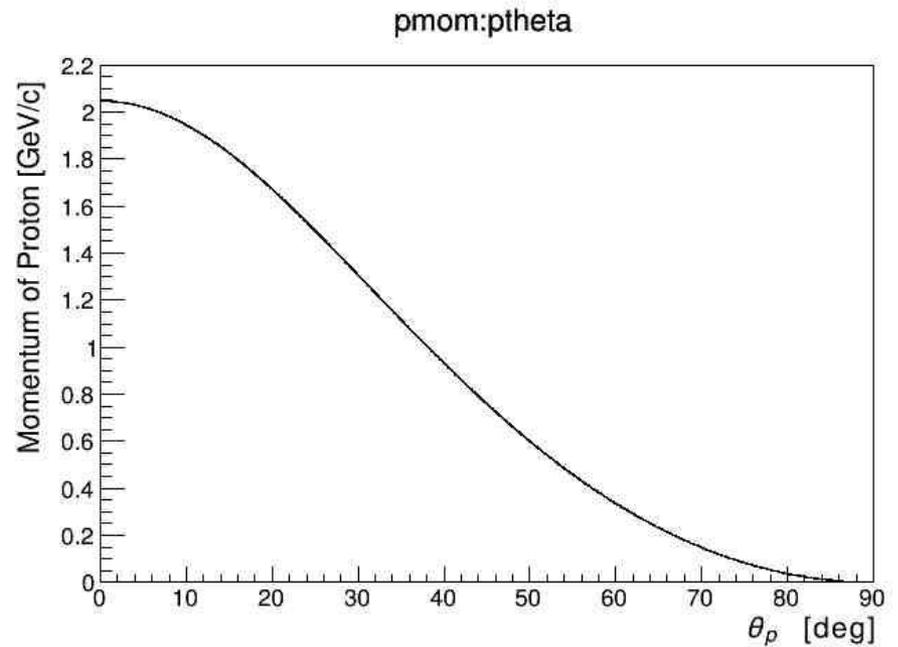
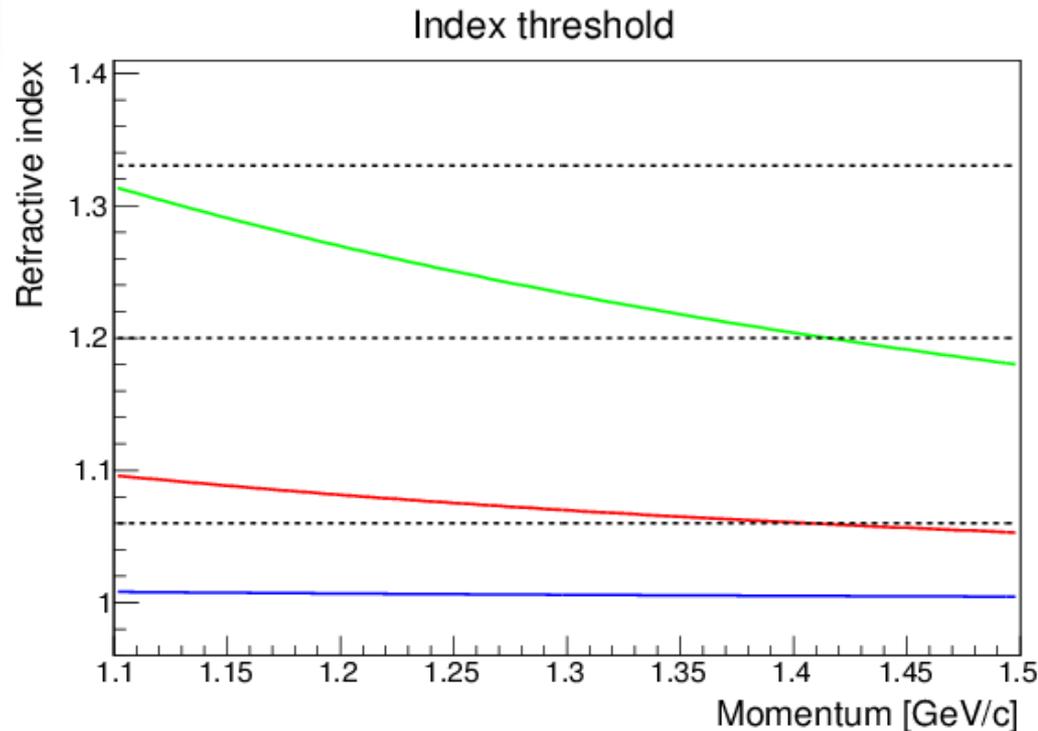




- 緑: proton
- 赤: Kaon
- 青: pion

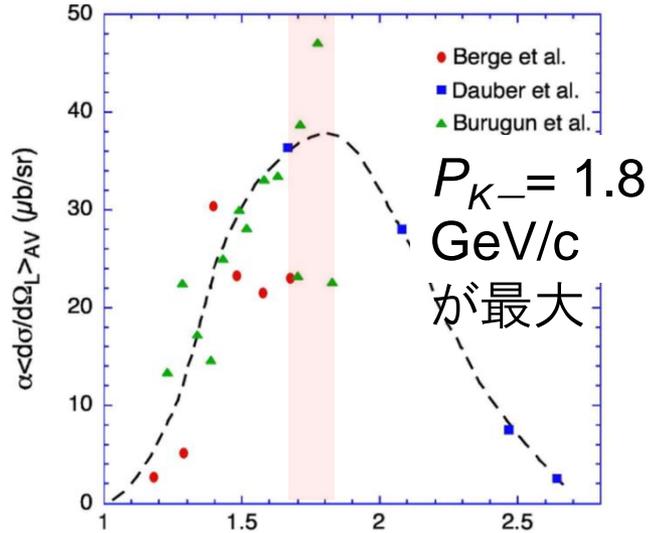
- 水:  $n=1.33$
- Aerogel:  $n=1.04, 1.2$

- Elastic scatt. proton  
 →  $\theta < 15\text{deg}$ では運動量ア  
 クセプタンス外

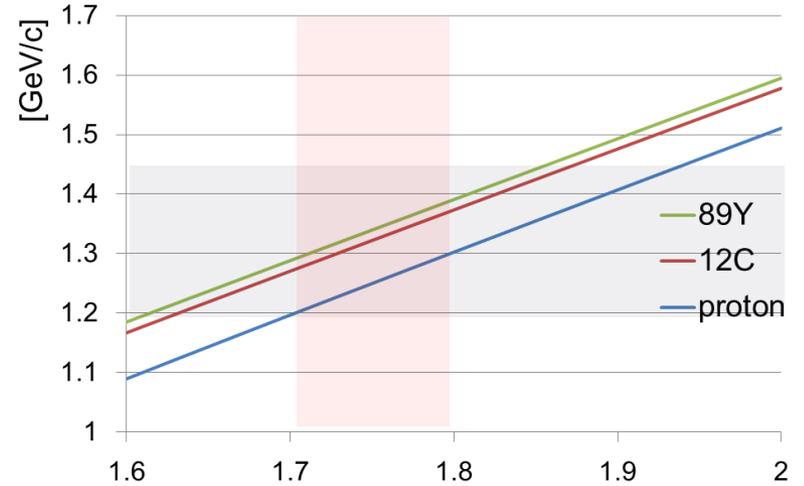


# 運動量領域の選択

素過程  $p(K^-, K^+) \Xi^-$  の生成断面積

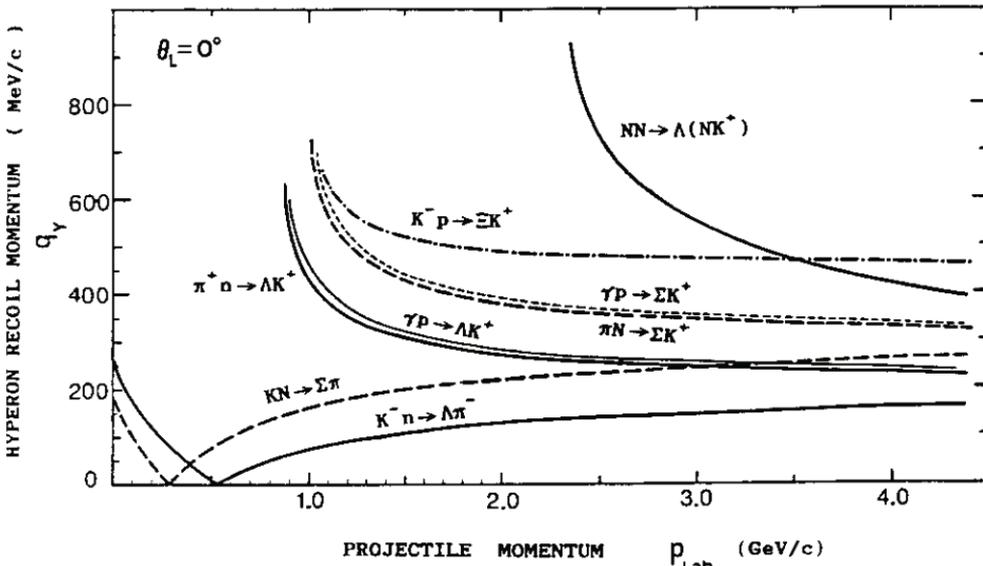


$K^+$  の運動量 [GeV/c]



$K^-$  の入射運動量 [GeV/c]

$K^-$  の入射運動量 [GeV/c]



# スペクトロメータ

( $K^-$ 、 $K^+$ )反応を用いた  
ミッシングマス分光  
→二つのスペクトロメータが必要

$K^-$ の運動量解析  
→ビームスペクトロメータ

$$dp/p = 3.3 \times 10^{-4} \text{ (FWHM)}$$

$K^+$ の運動量解析  
→**1.3~1.4 GeV/c**の帯域を見る  
→同レベルの性能のものはない



<新たに作る！>  
 $dp/p = 5 \times 10^{-4}$  (FWHM)  
立体角 60 msr  
を目標とする

## K1.8 Experimental Area

