

(Anti) Penta Quark Search in
 $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ p+p and d+Au
Collisions at RHIC-PHENIX

Hisayuki Torii (RIKEN)

for the PHENIX Collaborations

JPS meeting at Kyushu Univ. 2003/Mar/27

動機

- 高エネルギー原子核反応にてペンタクォークは生成？
 - NA49: $\sqrt{s}=17.2\text{GeV}$ p+p衝突にて、 $\Xi_{3/2}^{-}$ (1862)の存在証拠
 - HERA-B : $\sqrt{s}=41.6\text{GeV}$ p+C, p+Ti, p+W 衝突において見つかっておらず、統計モデルから予想する生成量と比較して小さいことが判っている。
→ $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ p+p, d+Au 衝突では？ (RHIC-PHENIX実験)
- なぜ、反ペンタクォークに注目したのか？
 - PHENIX実験では、 $\bar{\Theta}^{-} \rightarrow \bar{n} + K^{-}$ チャンネルに対するsensitivityが大きい。
 - K^0_s チャンネルは、1)アクセプタンスが小さい、2)現在のセットアップではdecay vertexを特定することが難しい、等の理由により困難である。
 - 高エネルギー原子核衝突では、反粒子と粒子の比は1に近くなるため、ペンタクォーク探索に比べ遜色ないと考えられる。Ex. $\sigma(\bar{p})/\sigma(p) = 0.8$ at $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ p+p collisions
- この発表では、
 - 反中性子を(電磁)カロリメータにて同定する試みを紹介する。
 - $\bar{\Theta}^{-}$ (Anti- Θ^{+}) $\rightarrow \bar{n} + K^{-}$ を用いた、反ペンタクォーク探索の現状を発表する。
 - 1月に行われた国際会議にて発表した解析に重大な間違いが見つかり、解析のやり直しを行った。その途中結果を報告する。

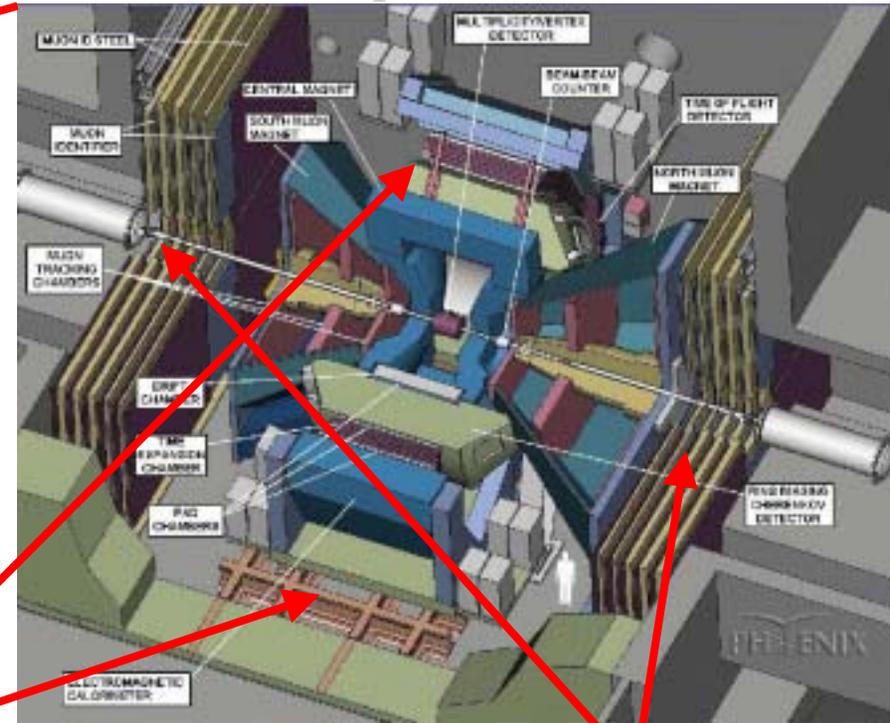
Relativistic Heavy Ion Collider



PHENIX実験



Pioneering High Energy Nuclear Interaction eXperiment



- 全周3.8km 2リング
 - 120bunch/ring
 - 106ns crossing time
- 最大エネルギー
 - 250GeV for p(polarized)
 - 100GeV/nucleon for Au
- Luminosity
 - Au-Au : $2 \times 10^{26} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-2}$
 - p-p : $2 \times 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-2}$
- 6 の Crossing point

2 central Spectrometers

2 forward Spectrometers

- 衝突点、ルミノシティ、中心度を定めるための3つの detector がインストールされている。
 - Beam Beam Counter(BBC)
 - Zero Degree Calorimeter(ZDC)
 - Multiplicity and Vertex Detector(MVD) 4

電磁カロリメータ(PbSc)

Lead Scintillator (PbSc)

-サンドイッチタイプカロリメータ

•鉛板 110.4x110.4x1.5mm

•シンチ板 55.2x55.2x4mm

-読み出しは Shish-kebab タイプ。

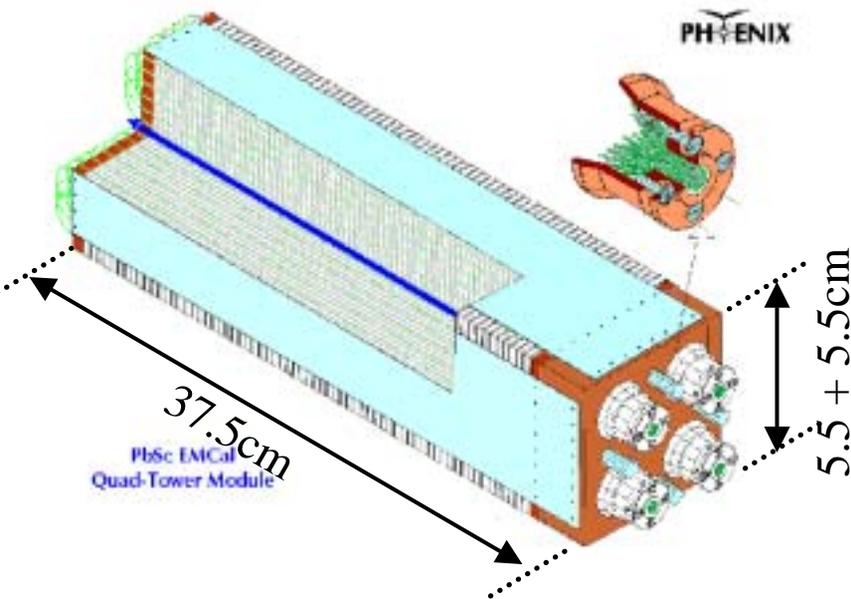
•Wave length shifter fiber 読み出し。

-6 sectors(15552 channels)

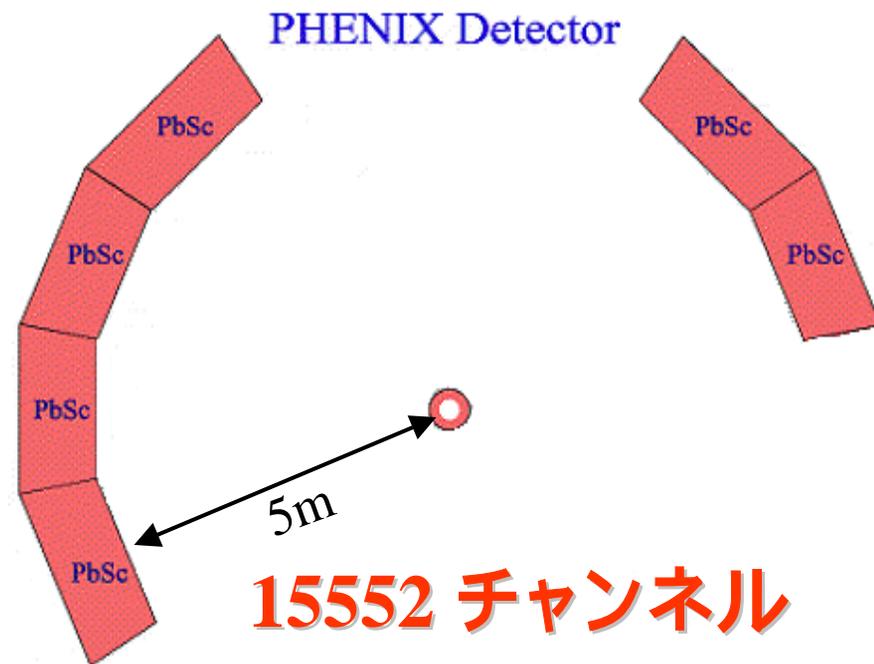
•Coverage

- $|\eta| < 0.38$

- $\phi = 180^\circ$



	PbSc
Size(cm x cm)	5.52 x 5.52
Depth(cm)	37.5
Number of towers	15552
Sampling fraction	~ 20%
η cov.	0.7
ϕ cov.	90+45deg
η / mod	0.011
ϕ / mod	0.011
X_0	18
Molière Radius	~ 3cm



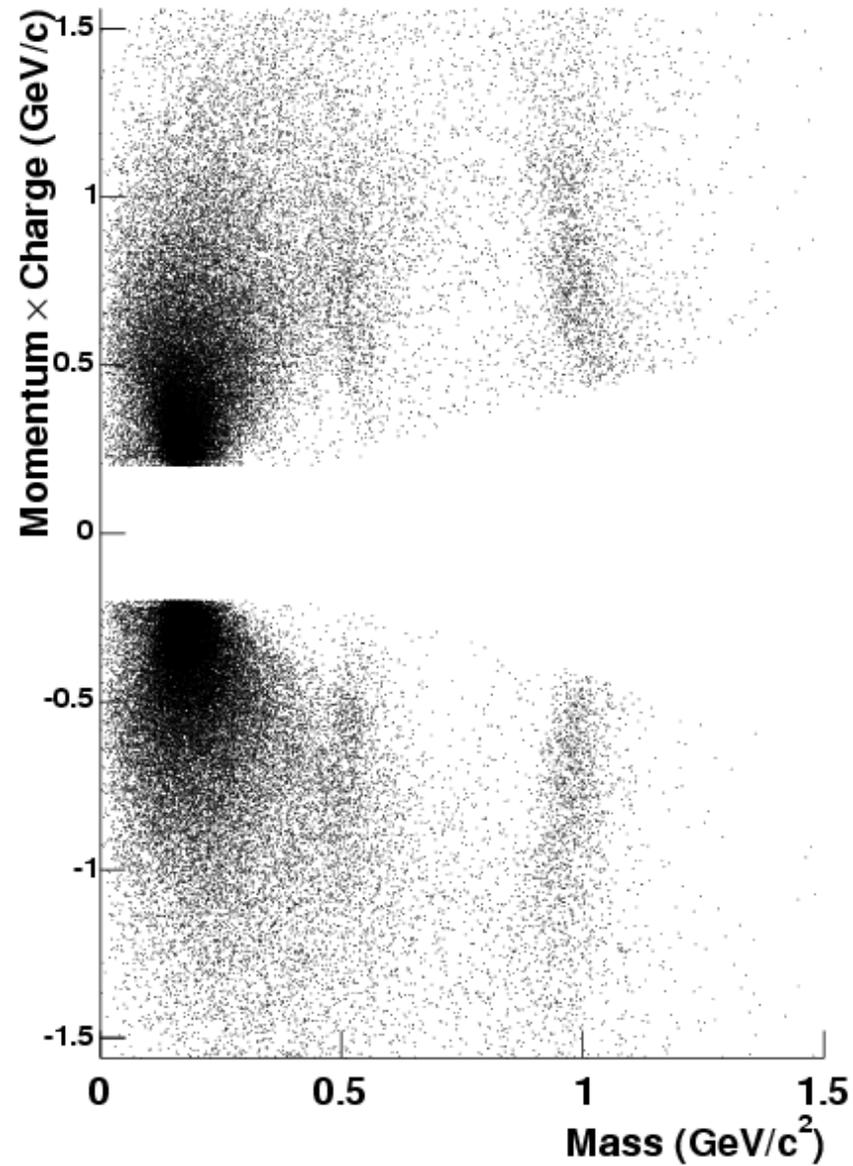
実験データ と 荷電粒子同定

- 実験データ

- RUN3 $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ d+Au 衝突
 - 2003年10月~12月
 - 35M イベント
- RUN3 $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ p+p 衝突
 - 2004年1月~4月
 - 91M イベント
- どちらも、minimum bias trigger のデータを解析。

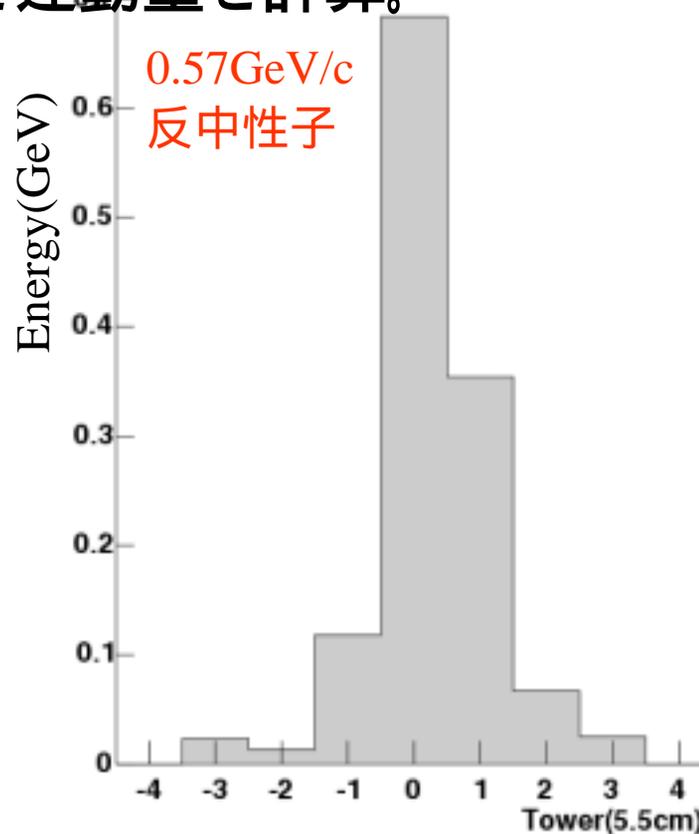
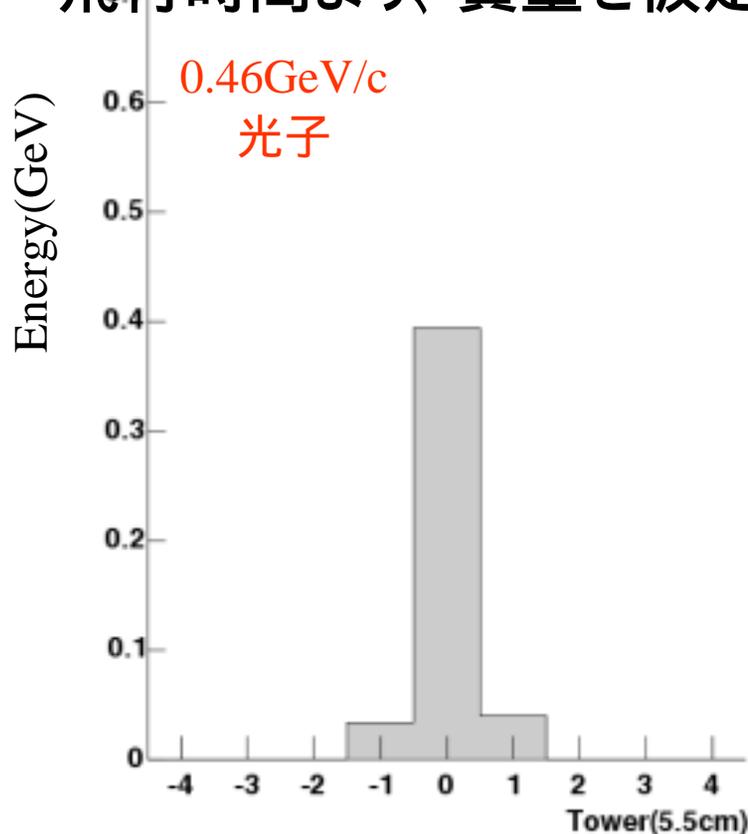
- 電磁カロリメータで測定した飛行時間を元に、荷電粒子の同定を行った。

- 時間分解能、 $\sim 500\text{psec}$
- $pT=0.8\text{GeV}/c$ まで π/K 分離が可能。



反中性子の同定

- 反中性子は原子核消滅反応により、
 - 約2GeVのエネルギーを発生する→ 観測エネルギーが大きい
 - シャワーの空間的な広がりが光子に比べて大きい。
- 飛行時間より、質量を仮定して運動量を計算。



反中性子と反陽子の消滅反応における類似性を仮定。

→ 反中性子測定のパフォーマンスを求めます。

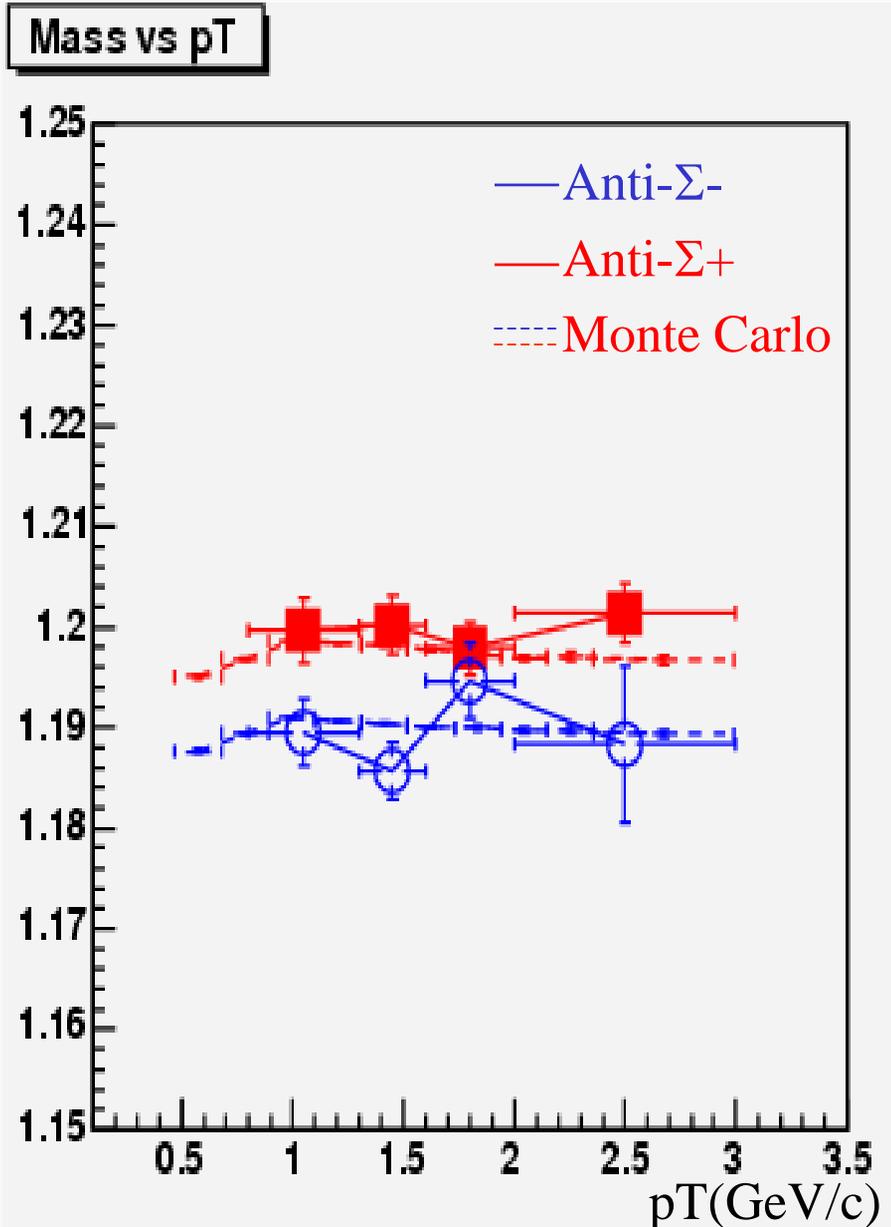
反 Σ^{\pm} 粒子の測定

反中性子検出の性能を調べるため、反 Σ^{\pm} 粒子測定を行った。

- Anti- Σ^{-} (1189.4) $\rightarrow \bar{n} + \pi^{-}$ (99.85%)
 - $c\tau$ (Anti- Σ^{-}) = $c\tau$ (Σ^{+}) = 2.396cm
- Anti- Σ^{+} (1197.4) $\rightarrow \bar{n} + \pi^{+}$ (48.31%)
 - $c\tau$ (Anti- Σ^{+}) = $c\tau$ (Σ^{-}) = 4.434cm

反陽子との類似性を仮定して求めた性能を用いて、モンテカルロシミュレーションを行い、反 Σ^{\pm} の測定質量の p_T 依存性を比較した。

→ データを再現した。



反中性子測定のパフォーマンスと 反ペンタクォーク測定

反中性子測定のパフォーマンス

時間分解能 $\sim 600\text{psec}$ (光子- 350psec)

運動量分解能

-2% ($0.5\text{GeV}/c$) 5% ($1.0\text{GeV}/c$) 15% ($2.0\text{GeV}/c$)

運動量絶対値は 5% 以内 (未補正)

検出効率 $40\% - 60\%$

バックグラウンドの含有率

\rightarrow Photon $\sim 10\%$

\rightarrow Hadron 計算中

モンテカルロシミュレーション 

反ペンタクォーク生成の初期条件の仮定

• 経験則にもとずいた mT scaling

反ペンタクォーク測定に与える、実験装置からくる効果

ピーク幅

$\rightarrow 5\text{MeV}/c^2$

ピーク値のずれ

$\rightarrow < 5\text{MeV}/c^2$

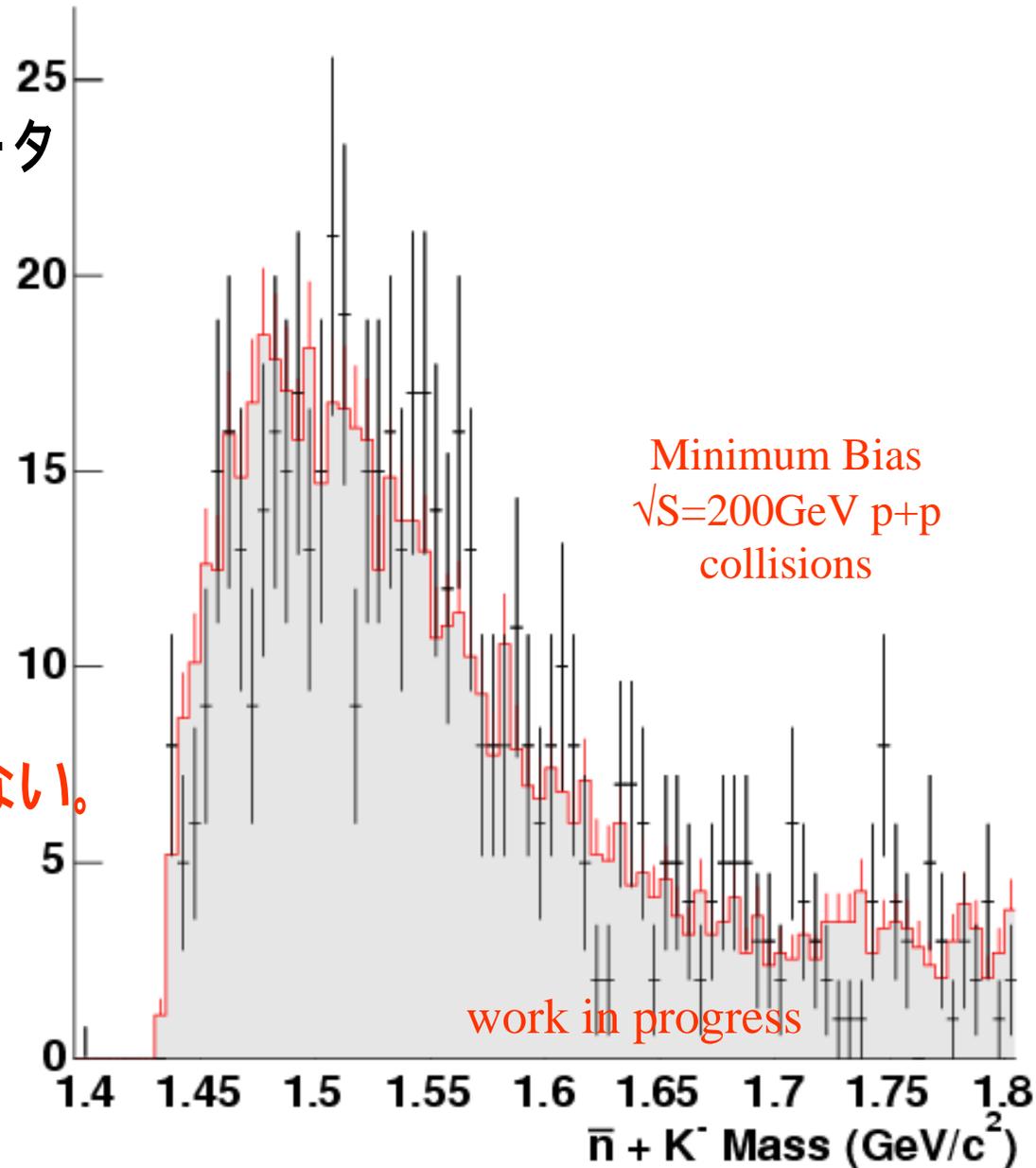
結果、p+p 衝突

- Run3 $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ p+p データ
の解析

- Minimum bias trigger
- 35M events
- $5\text{MeV}/c^2$ per bin

予想領域にピークは見られない。

- 統計が少ない。



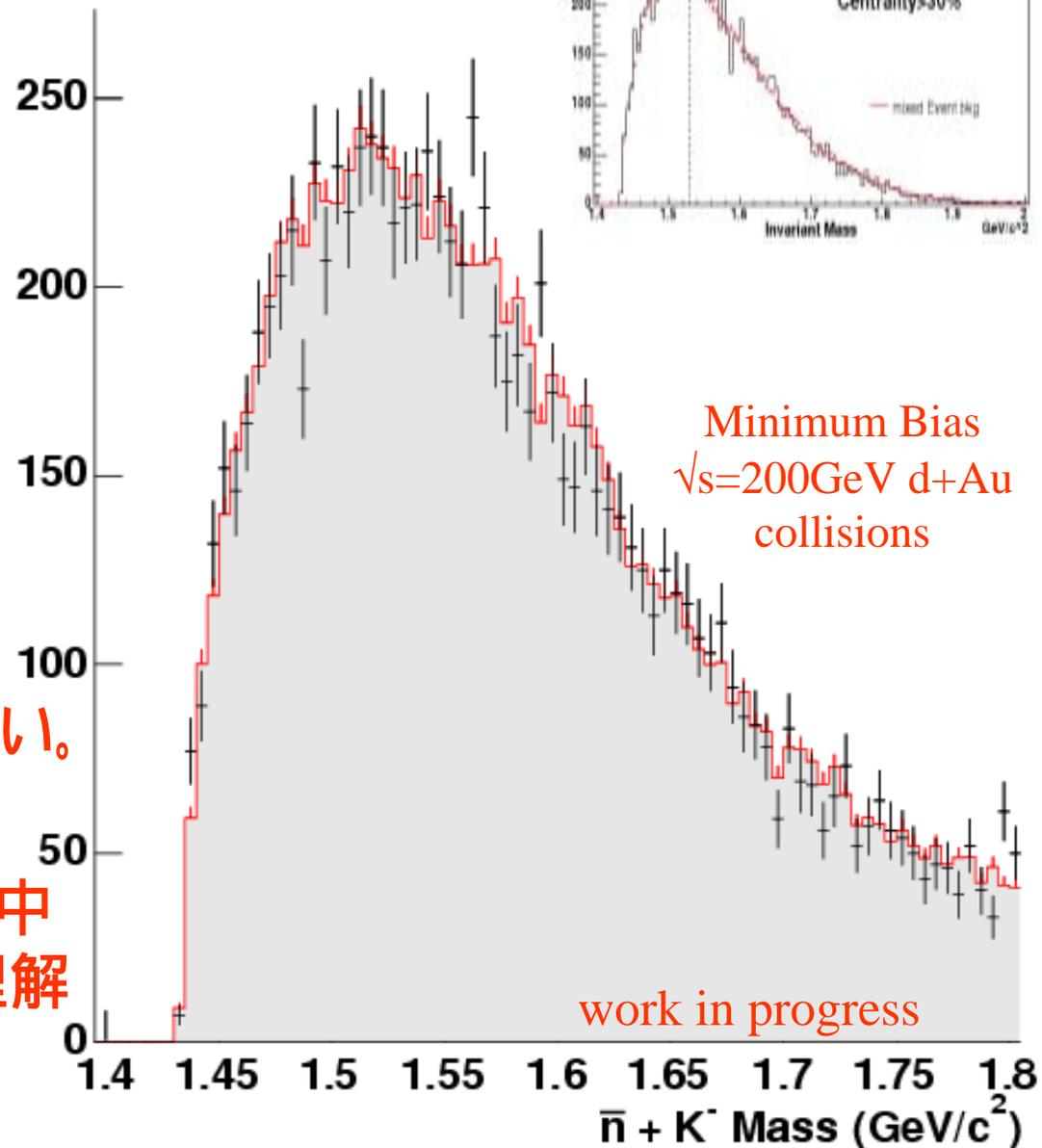
結果 d+Au衝突

- Run3 $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ d+Au
 - Minimum bias trigger
 - 91M events
 - $5\text{MeV}/c^2$ per bin

結論

予想領域にピークは見られない。

上限値を測定するために、反中性子測定性能のさらなる理解が進行中である。



まとめ

- 動機

高エネルギー原子核衝突における Θ^+ 生成はありうるか？

- PHENIX実験では反中性子を測定することが可能。

- 消滅反応の特徴をとらえ同定。飛行時間から運動量を測定。
- 反 Σ^\pm の測定が可能。反中性子の性能評価に有効。
- 反ペンタクォークの質量分布に与える影響は小さい。

- 反ペンタクォーク探索の新しい試み。

- $\bar{\Theta}^- \rightarrow \bar{n} + K^-$ チャンネルを通して。

→現在の統計では、ピークは見られない。

- $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ p+p 衝突 in 35M events (約 2nbarn^{-1} 相当)
- $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ d+Au 衝突 in 91M events

上限値を算出するために、さらなる研究が進行中である。

Brazil University of São Paulo, São Paulo
China Academia Sinica, Taipei, Taiwan
China Institute of Atomic Energy, Beijing
Peking University, Beijing



France LPC, University de Clermont-Ferrand, Clermont-Ferrand
Dapnia, CEA Saclay, Gif-sur-Yvette
IPN-Orsay, Université Paris Sud, CNRS-IN2P3, Orsay
LLR, École Polytechnique, CNRS-IN2P3, Palaiseau
SUBATECH, École des Mines at Nantes, Nantes

Germany University of Münster, Münster
Hungary Central Research Institute for Physics (KFKI), Budapest
Debrecen University, Debrecen
Eötvös Loránd University (ELTE), Budapest

India Banaras Hindu University, Banaras
Bhabha Atomic Research Centre, Bombay

Israel Weizmann Institute, Rehovot

Japan Center for Nuclear Study, University of Tokyo, Tokyo
Hiroshima University, Higashi-Hiroshima
KEK, Institute for High Energy Physics, Tsukuba
Kyoto University, Kyoto
Nagasaki Institute of Applied Science, Nagasaki
RIKEN, Institute for Physical and Chemical Research, Wako
RIKEN-BNL Research Center, Upton, NY
Rikkyo University, Tokyo
Tokyo Institute of Technology, Tokyo
University of Tsukuba, Tsukuba
Waseda University, Tokyo

S. Korea Cyclotron Application Laboratory, KAERI, Seoul
Kangnung National University, Kangnung
Korea University, Seoul
Myong Ji University, Yongin City
System Electronics Laboratory, Seoul Nat. University, Seoul
Yonsei University, Seoul

Russia Institute of High Energy Physics, Protovino
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna
Kurchatov Institute, Moscow
PNPI, St. Petersburg Nuclear Physics Institute, St. Petersburg
St. Petersburg State Technical University, St. Petersburg

Sweden Lund University, Lund



12 Countries; 58 Institutions; 480 Participants*

USA Abilene Christian University, Abilene, TX
Brookhaven National Laboratory, Upton, NY
University of California - Riverside, Riverside, CA
University of Colorado, Boulder, CO
Columbia University, Nevis Laboratories, Irvington, NY
Florida State University, Tallahassee, FL
Florida Technical University, Melbourne, FL
Georgia State University, Atlanta, GA
University of Illinois Urbana Champaign, Urbana-Champaign, IL
Iowa State University and Ames Laboratory, Ames, IA
Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM
Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, Ca
University of New Mexico, Albuquerque, NM
New Mexico State University, Las Cruces, NM
Dept. of Chemistry, Stony Brook Univ., Stony Brook, NY
Dept. Phys. and Astronomy, Stony Brook Univ., Stony Brook, NY
Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN
University of Tennessee, Knoxville, TN
Vanderbilt University, Nashville, TN

***as of January 2004**



Backup Slide

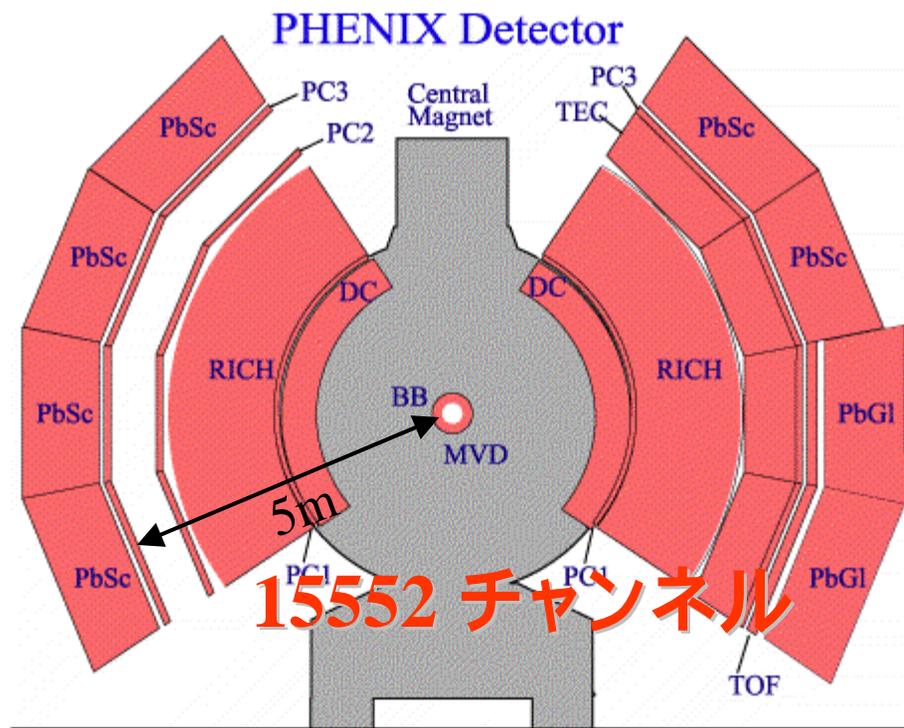
電磁カロリメータ(PbSc)

Lead Scintillator (PbSc)

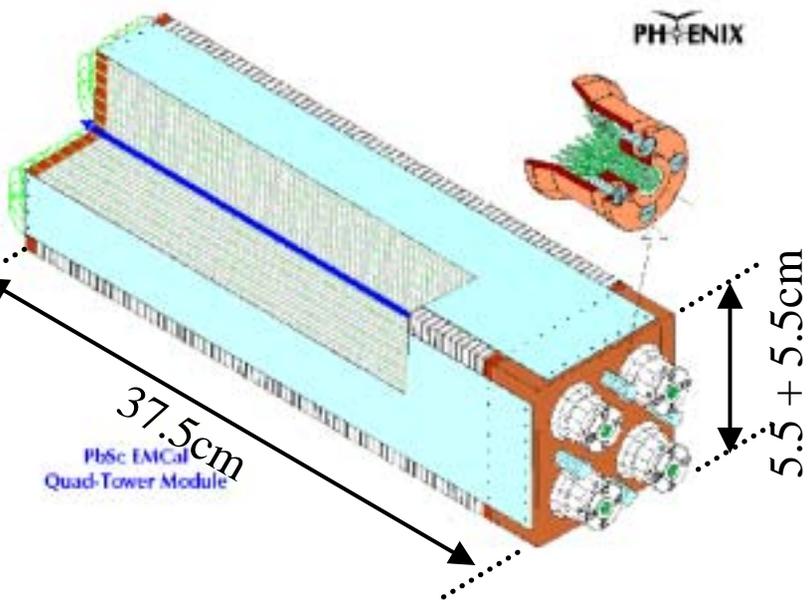
- サンドイッチタイプカロリメータ
 - 鉛板 110.4x110.4x1.5mm
 - シンチ板 55.2x55.2x4mm
- 読み出しは Shish-kebab タイプ。
 - Wave length shifter fiber 読み出し。
- 6 sectors(15552 channels)

•Coverage

- $|\eta| < 0.38$
- $\phi = 180^\circ$



15552 チャンネル



	PbSc
Size(cm x cm)	5.52 x 5.52
Depth(cm)	37.5
Number of towers	15552
Sampling fraction	~ 20%
η cov.	0.7
ϕ cov.	90+45deg
η / mod	0.011
ϕ / mod	0.011
X_0	18
Molière Radius	~ 3cm

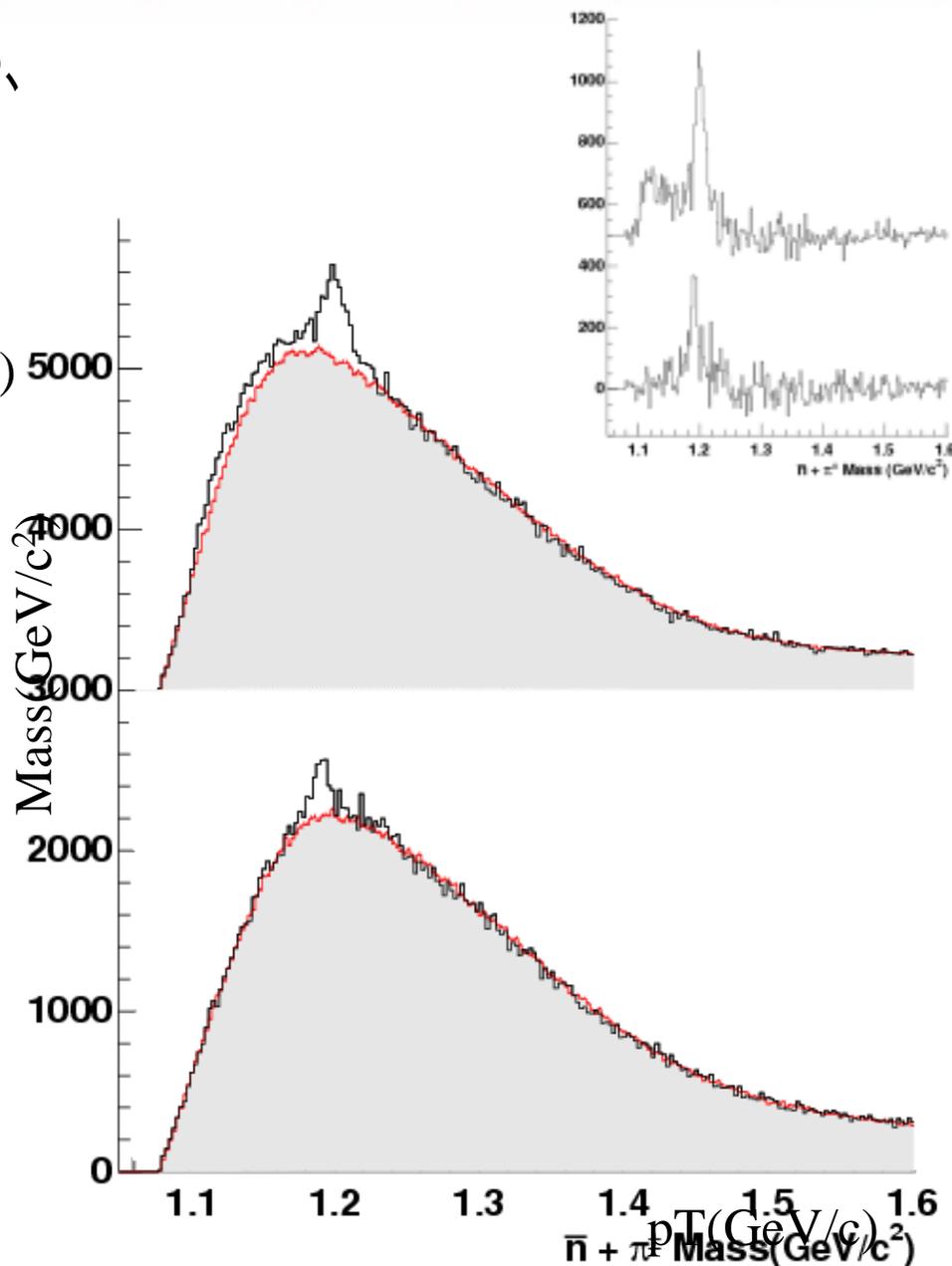
反 Σ^{\pm} 粒子の測定

反中性子検出の性能を調べるため、
反 Σ^{\pm} 粒子測定を行った。

- Anti- Σ^{-} (1189.4) \rightarrow $\bar{n} + \pi^{-}$ (99.85%)
 - $c\tau$ (Anti- Σ^{-}) = $c\tau$ (Σ^{+}) = 2.396cm
- Anti- Σ^{+} (1197.4) \rightarrow $\bar{n} + \pi^{+}$ (48.31%)
 - $c\tau$ (Anti- Σ^{+}) = $c\tau$ (Σ^{-}) = 4.434cm

反陽子との類似性を仮定して
求めた性能を用いて、モンテカルロシミュレーションを行い、反 Σ^{\pm} の測定質量の p_T 依存性を比較した。

→データを再現した。



実験データ

- 実験データ

- RUN3 $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ d+Au 衝突

- 2003年10月~12月

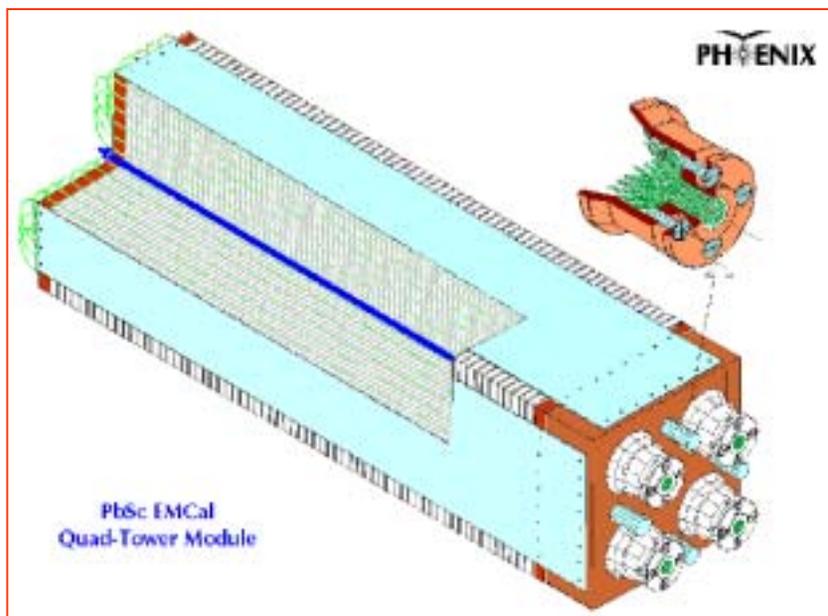
- 60M イベント

- RUN3 $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ p+p 衝突

- 2004年1月~4月

- 60M イベント 51% trigger efficiency

PbSc Calorimeter



	PbSc
Size(cm x cm)	5.52 x 5.52
Depth(cm)	37.5
Number of towers	15552
Sampling fraction	~ 20%
η cov.	0.7
ϕ cov.	90+45deg
η /mod	0.011
ϕ /mod	0.011
X_0	18
Molière Radius	~ 3cm

Sandwich type calorimeter

Lead plates 55.2x55.2x1.5mm

Scintillator plates 110.4x110.4x4mm

Shish-kebab geometry wave shifter fiber readout

6x6 fibers \rightarrow 1 PMT = 1 tower

2 x 2 towers = 1 module

6 x 6 module = 1 super module

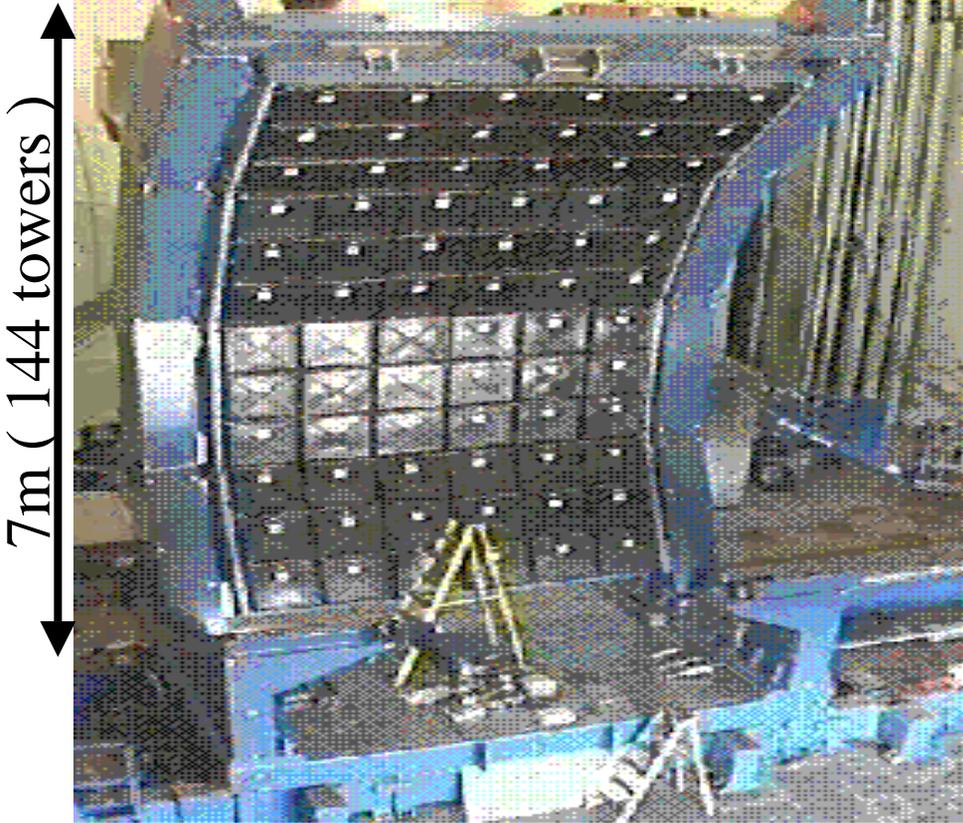
6 x 3 super module = 1 sector



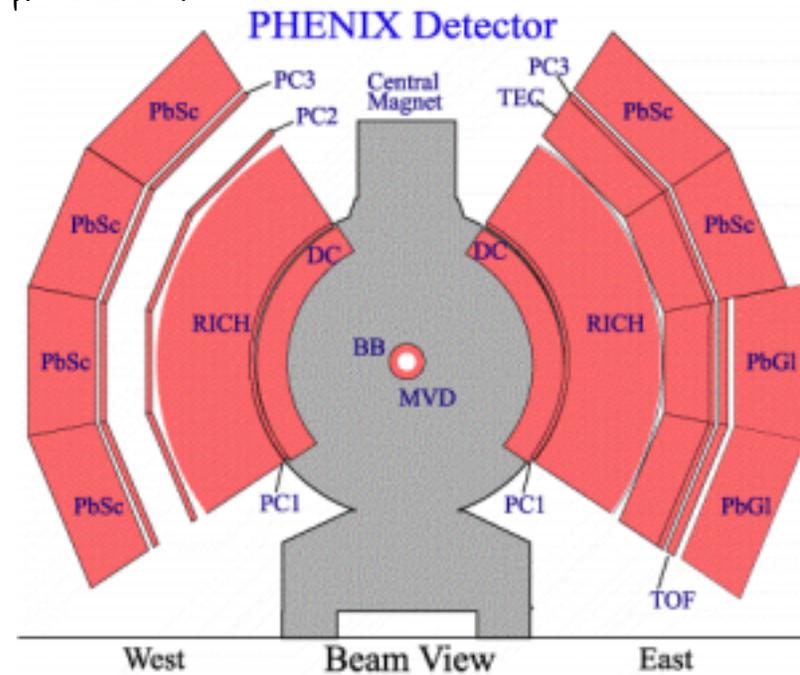
PbSc sector 2.0m x 4.0m

PHENIX Configuration

4m (72 towers)



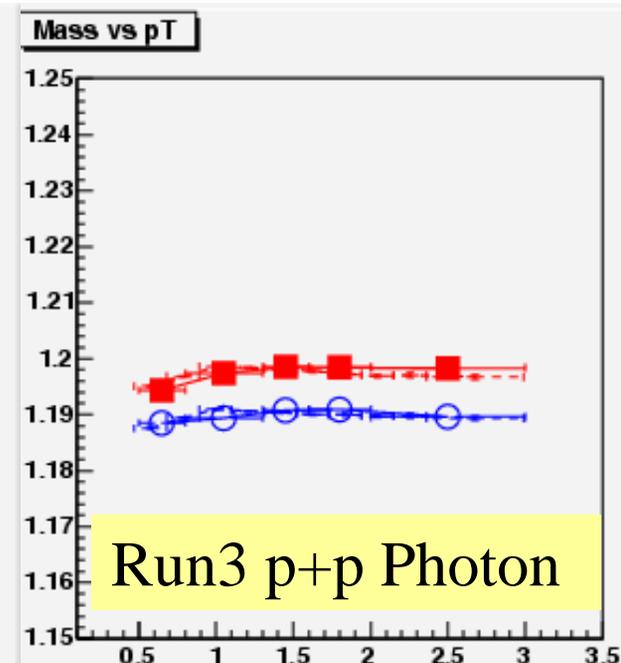
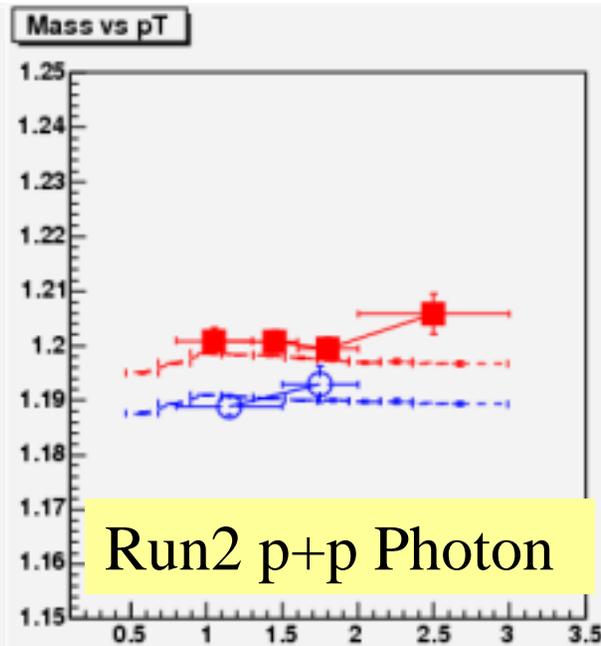
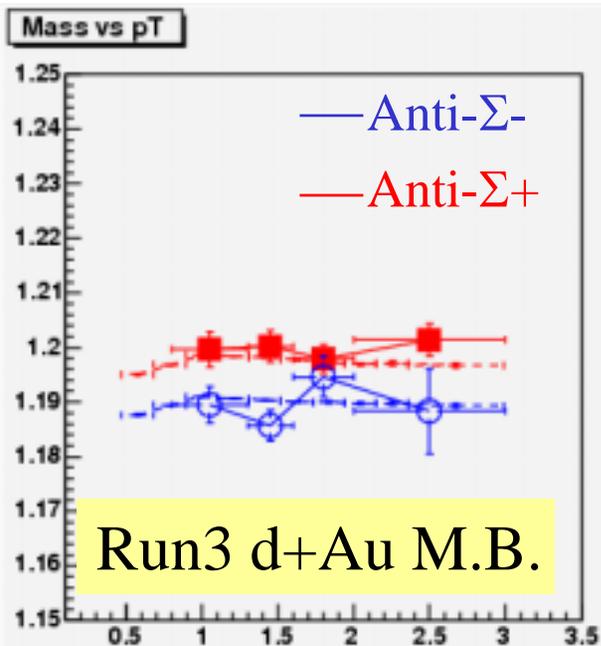
- 2 Arm \times 4 sectors
 - Lead Scintillator(PbSc)
6 sectors(15552 channels)
 - Lead Glass (PbGl)
2sectors (9216 channels)
- ~5m distance from collision point
- $|\eta| < 0.38$ $\phi = 180^\circ$



Comparison of DATA and MC Peak Position

- Peaks of both Anti- Σ^\pm are consistent with MC
 - Mass of Σ^+ :1189.4MeV
 - Mass of Σ^- :1197.4MeV

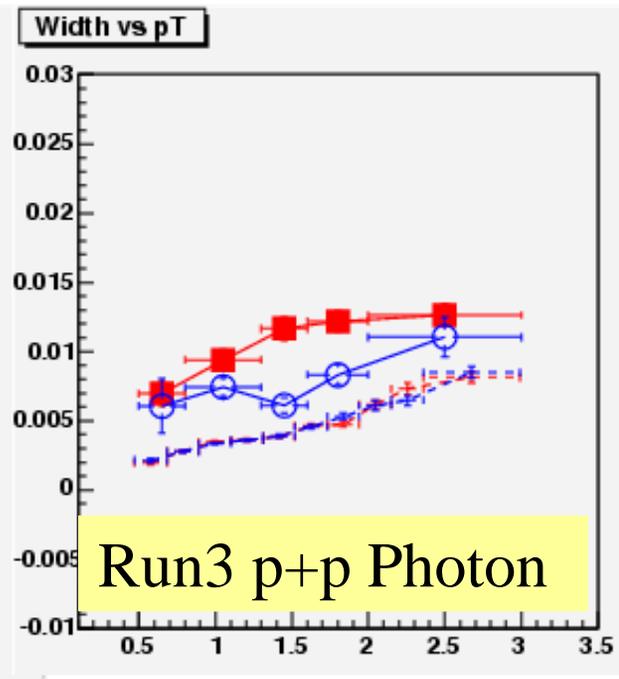
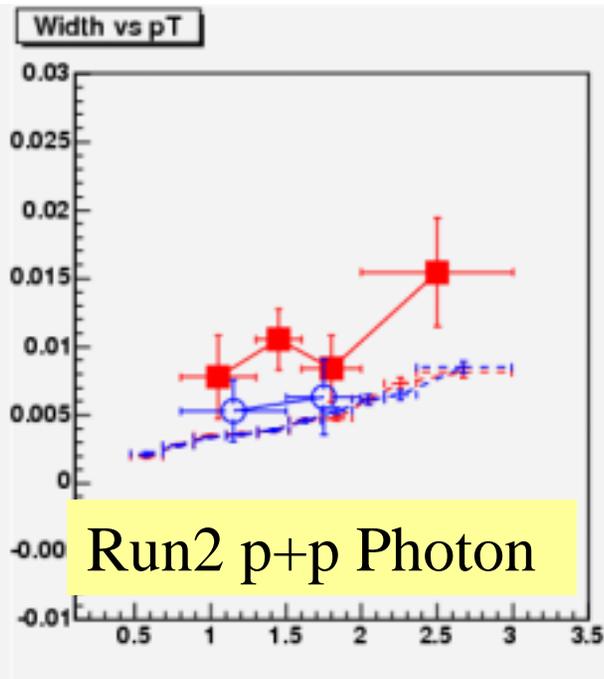
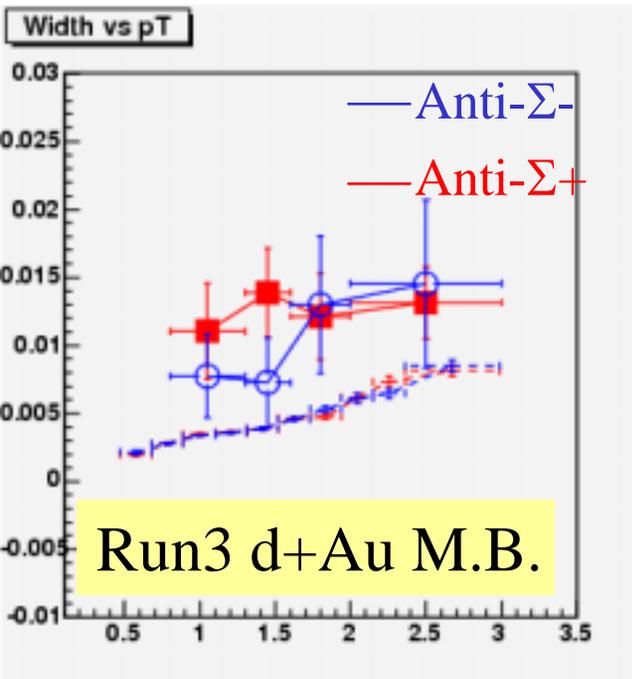
Run2pp and run3pp are
TRIGGERED data!!!



Comparison of DATA and MC Peak Width

- Width are wider than in MC
 - Width(Anti- Σ^+) > Width(Anti- Σ^-)
 - This might be related with the different decay time.
 - $c\tau(\text{Anti-}\Sigma^+) = c\tau(\Sigma^-) = 4.434\text{cm}$
 - $c\tau(\text{Anti-}\Sigma^-) = c\tau(\Sigma^+) = 2.396\text{cm}$

Run2pp and run3pp are
TRIGGERED data!!!



Momentum Resolution/Scale

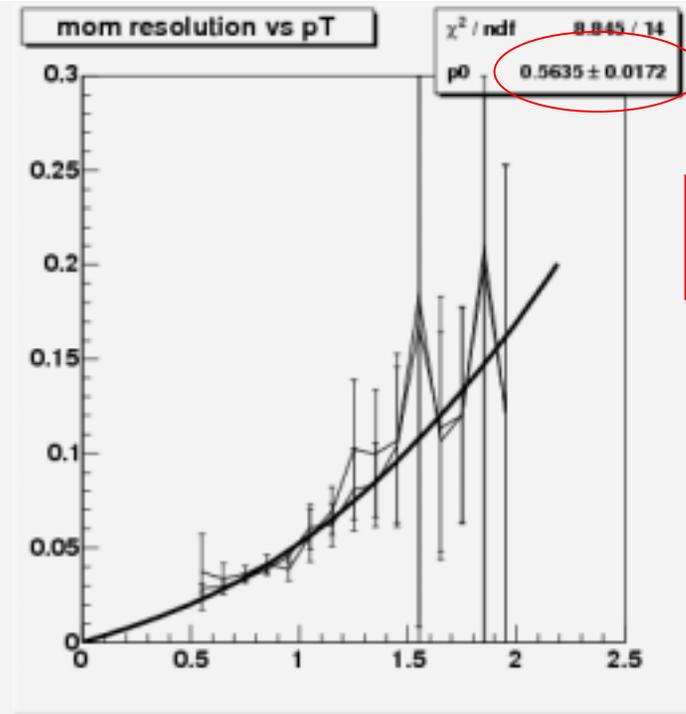
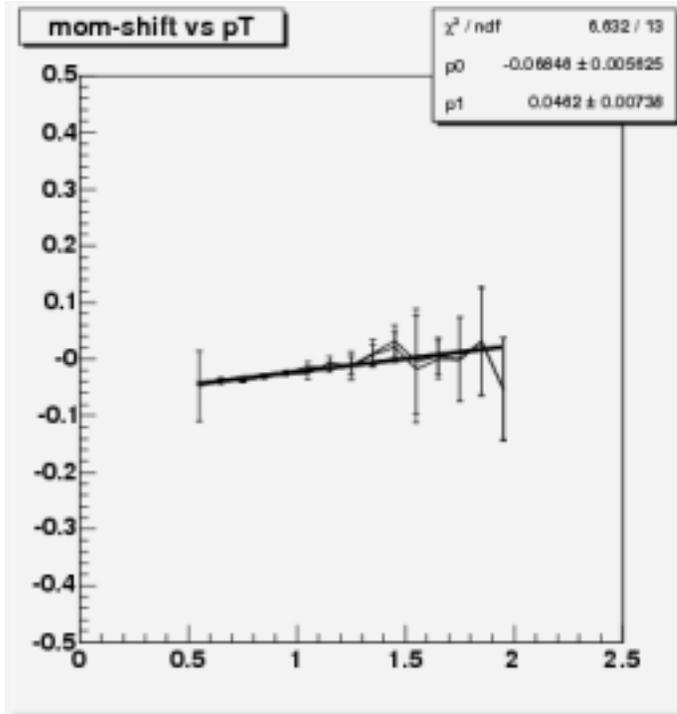
- Efficiency are assumed to be no momentum dependent.
- Resolution and Momentum Scale

– Masashi's results are fitted by

$$\frac{P_{measured} - P_{real}}{P_{real}} = \alpha + \beta \times P_{measured}$$

$$\frac{dp}{p} = \frac{\sqrt{m^2 + p^2} \cdot p \cdot \frac{c}{L} dt}{m^2}$$

$$c/L = 0.3/5.08 \text{ (constant)}$$



0.56nsec time resolution