

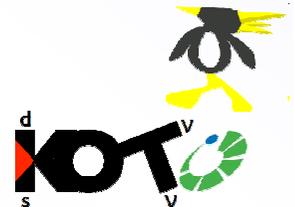
J-PARC KLビームラインに於ける K^0 TO実験のための 中性子不感型光子veto検出器の性能評価

京大理, KEK^A



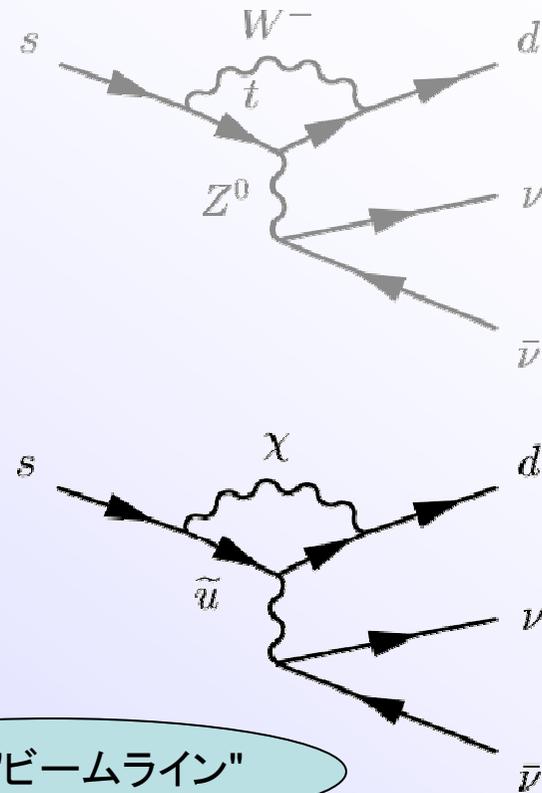
前田 陽祐, 笹尾 登, 野村 正^A, 南條 創,
森井 秀樹, 塩見 公志, 河崎 直樹, 増田 孝彦,
内藤 大地, 高橋 剛

for the K^0 TO collaboration



J-PARC E14 K⁰TO実験

- J-PARCの大強度陽子ビームを用いた $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 探索実験
 - CP対称性を直接的に破る過程
 - 標準理論の精密な検証
 - "new physics"の探索
- スケジュール
 - 2009年9月：ビームラインが完成
 - 2009年10月~2010年2月：22pBE"ビームライン"ビームサーベイ実験
 - 2010年5月~：カロリメータ建設
 - 2010年秋~：エンジニアリングラン



$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$

21st Mar, 2010

High Energy Physics Group, Kyoto Univ.

20pBA"カロリメータ"



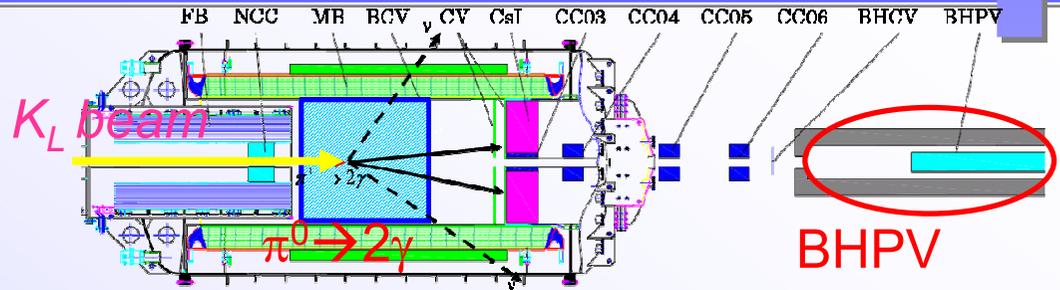
Beam Hole Photon Veto検出器(BHPV)^{3/14}

- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 事象の同定

- π^0 + "nothing"

- pure CsIカロリメータで π^0 からの 2γ を検出

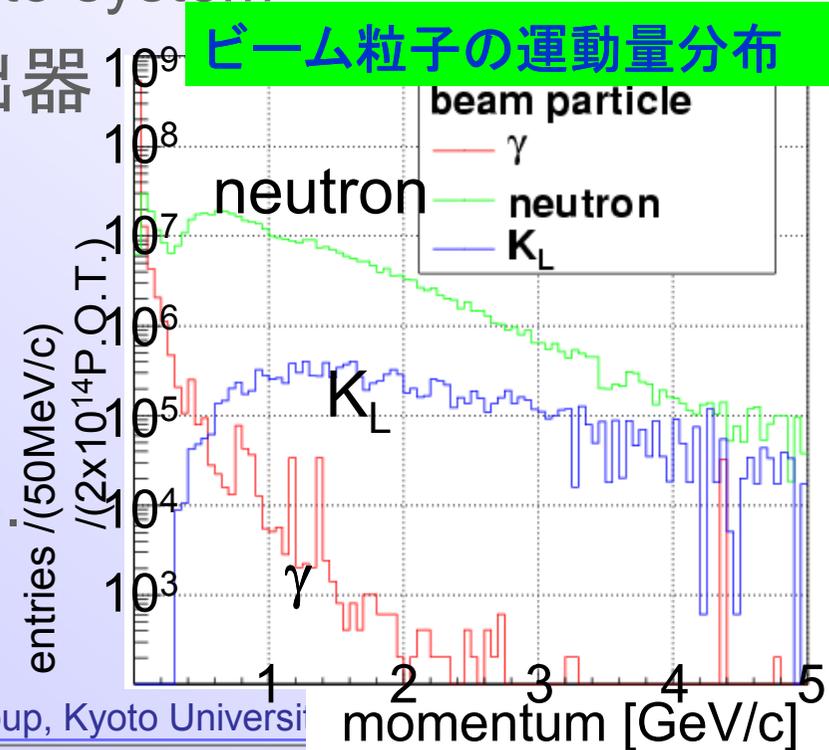
- 崩壊領域を完全に覆うveto system



- In Beamのphoton veto検出器

- $K_L \rightarrow 2\pi^0$ 崩壊で生じ, ビームホールを抜けてきた γ を検出 (100MeV ~ 5GeV)

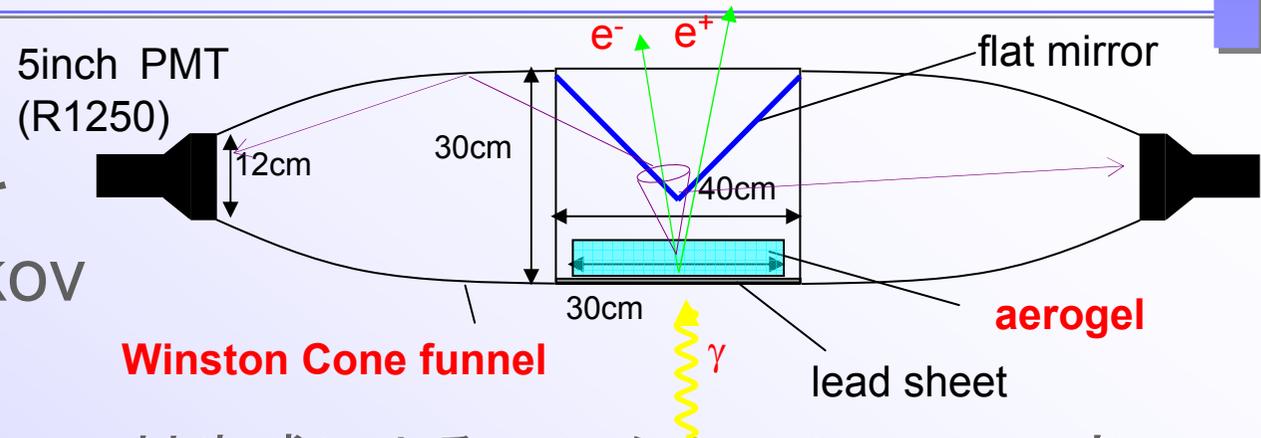
- 中性子, γ が大量に残存する環境下での動作を求められる。(約0.7GHzの γ , 中性子)



$K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \nu$

検出器のデザイン

- エアロジェルを用いたCerenkov
閾値型検出器



- エアロジェルで γ の対生成による e^+/e^- からのCerenkov光を検出することで中性子対して不感.
- レート耐性を考慮し, 2方向からの読み出しを採用.
- 25moduleをビームに沿って並べ, 連続するモジュールでのコインシデンスを γ の検出条件とする.

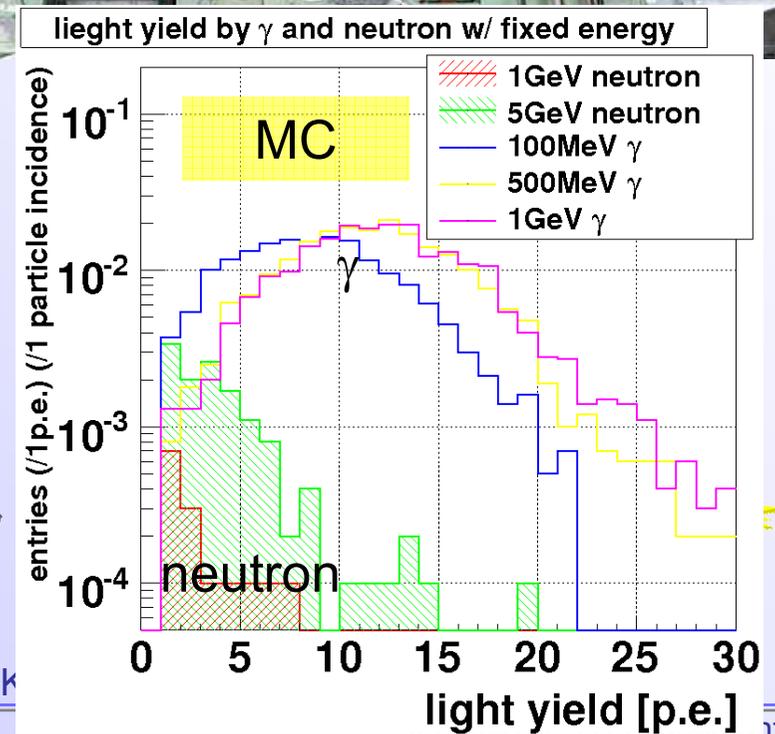
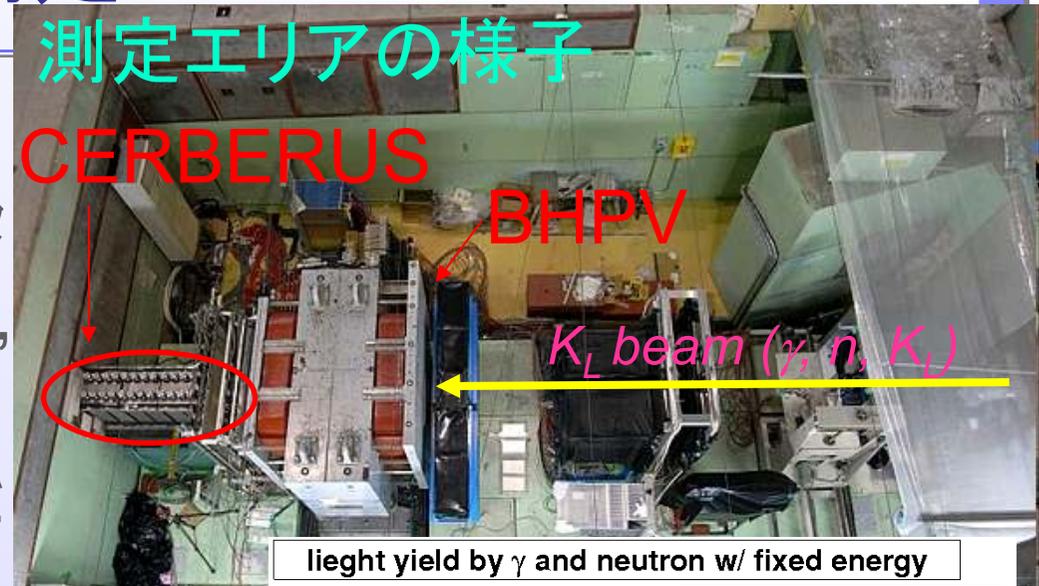
→ビームサーベイ実験に実機サイズの試作機をインストールし, 本実験で用いる中性K中間子ビームに於ける性能評価を行った.

γ に対する応答の測定

- ハドロンカロリメータ "CERBERUS"を用い、BHPVで生じた電磁シャワーをtagすることで γ に対する応答を確認する。

- MC上で単色の中性子/ γ を打ち込んだときのBHPVで期待される光量分布

→500MeV以上の γ に対してピークを観測できる筈。



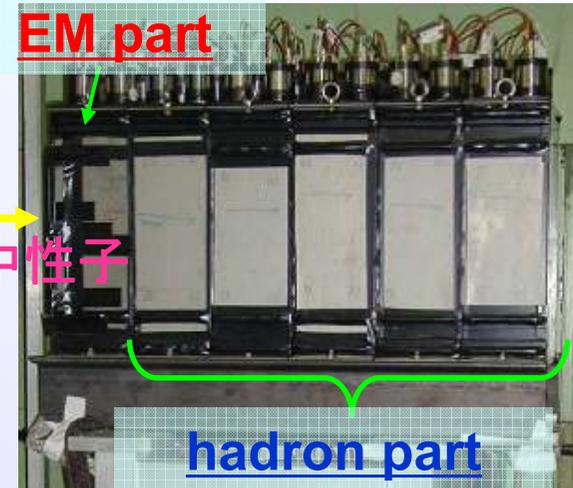
CERBERUS

- CERBERUSの構成
 - 鉛or鉄 と シンチレータによる
サンプリングカロリメータ
 - 中性子と γ を識別してエネルギー
を測定

22pBE-15 佐々木

鉛4mm/シンチレータ3.7mm
x 25layers x 1module

EM part



hadron part

鉄4mm/シンチレータ3.7mm
x 25layers x 5module

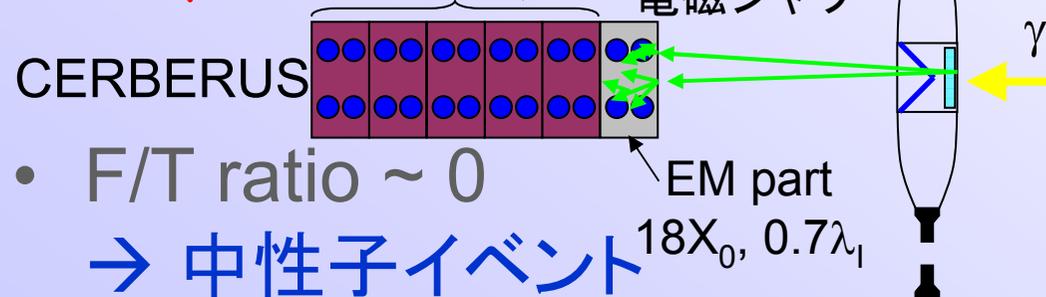
- CERBERUS, BHPVのコインシデンスをトリガーとしてデータを取得.



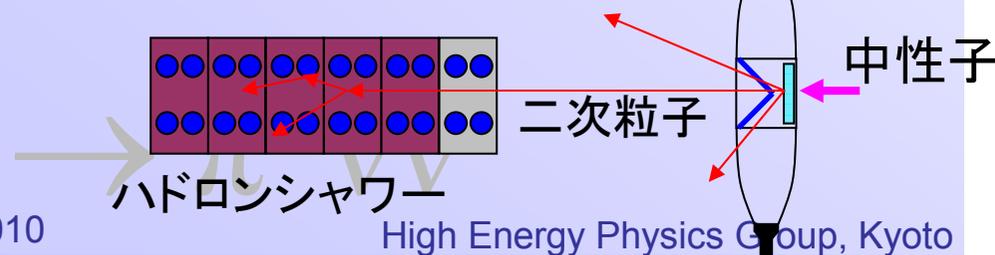
CERBERUSのF/T ratio

- CERBERUS全モジュールでのエネルギーデポジットに対する最上流モジュールでのエネルギーデポジットの比.

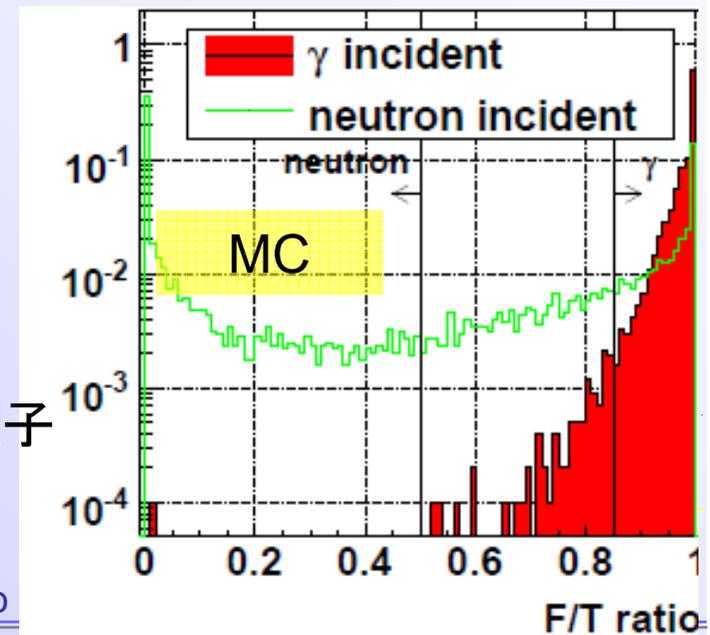
- F/T ratio ~ 1
 → γ イベント



- F/T ratio ~ 0
 → 中性子 イベント



kinetic energy=500MeVの
 γ , 中性子を入射した場合の
F/T ratioの分布

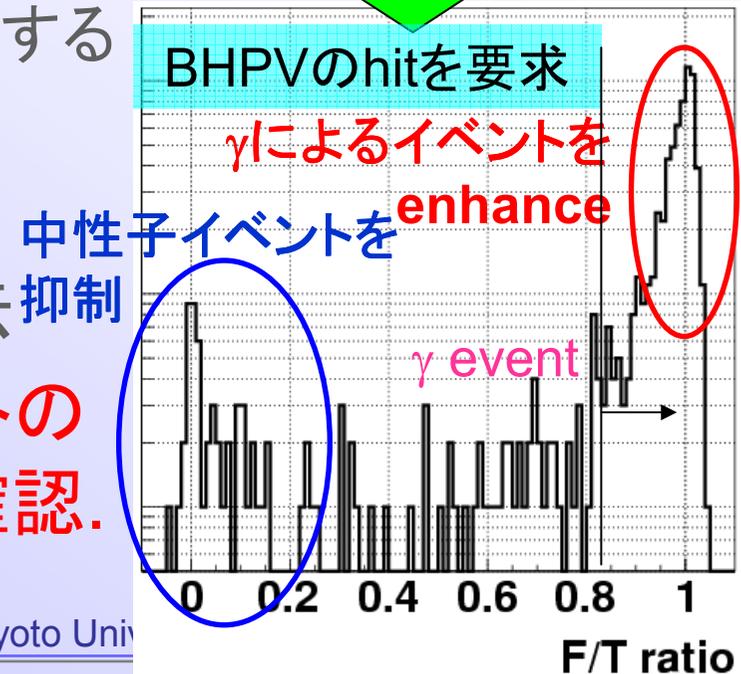
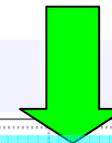
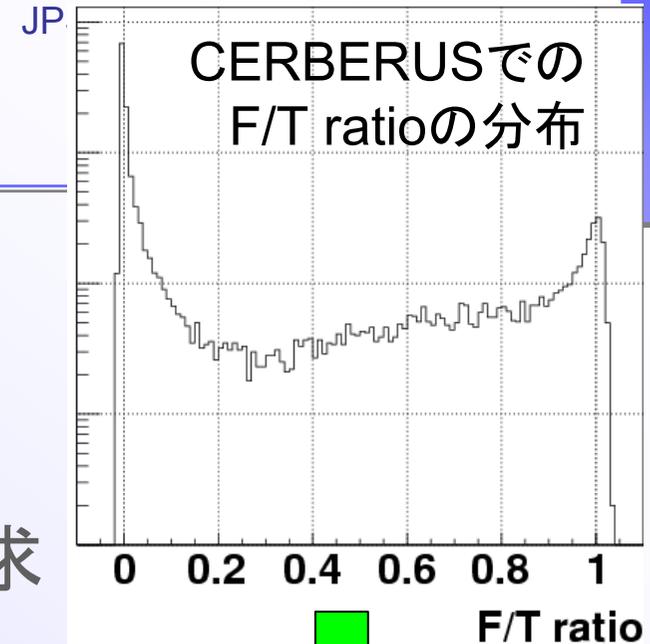


イベントセレクション

- F/T ratio > 0.85
 - 電磁シャワーイベントを選択.
- 全 visible energy > 42.5 MeVを要求
 - 入射エネルギーで500 MeV相当.
 - ある程度高いエネルギーの γ に対する応答を見るため.

- BHPVのTDC分布について
アクシデンタルなイベントを除去

→ BHPVの導入で、中性子イベントの抑制と γ イベントのenhanceを確認.



BHPVでの光量分布

- BHPVの左右のPMTでの合計の光量
 - 15p.e.付近にピークを観測.
 - $\beta=1$ の荷電粒子に対する光量の凡そ倍に相当.

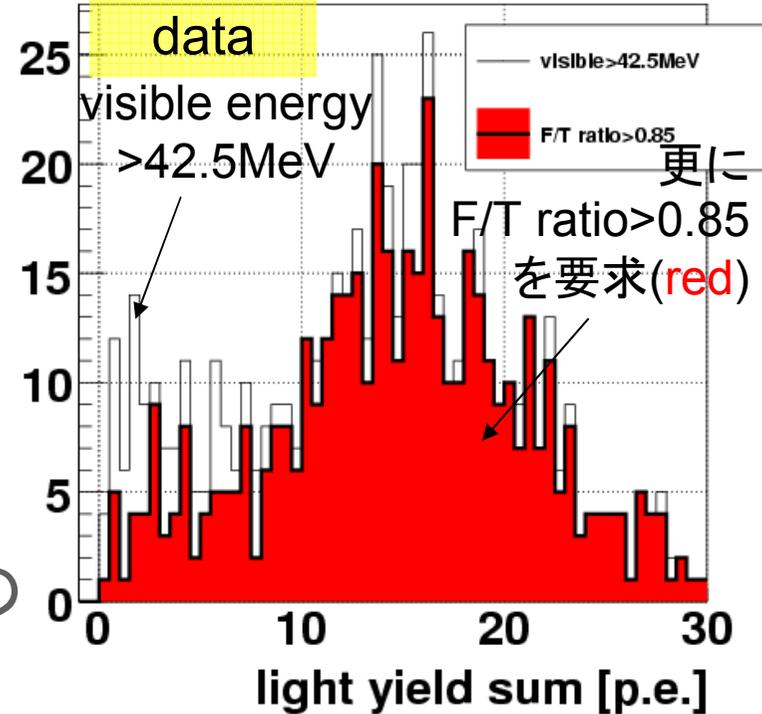
→ γ のコンバージョンが見えている

- MCでも高エネルギーの γ による寄与が期待される.

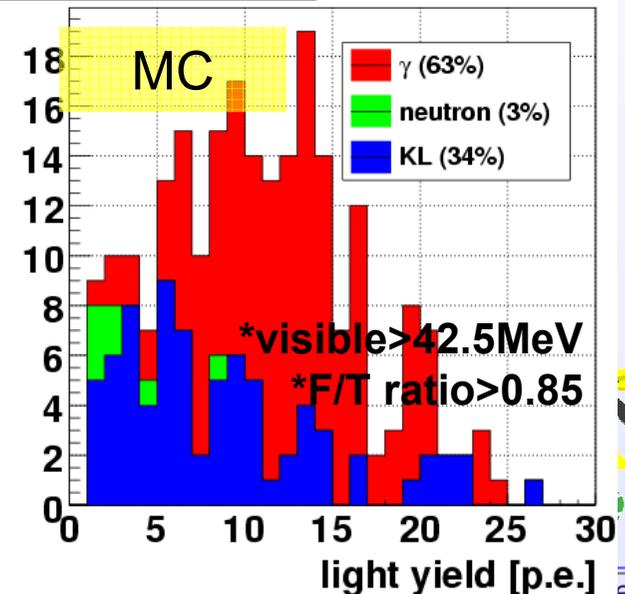
→BHPVでの γ の検出を確認



BHPV light yield sum - CERBERUS run



light yield distribution

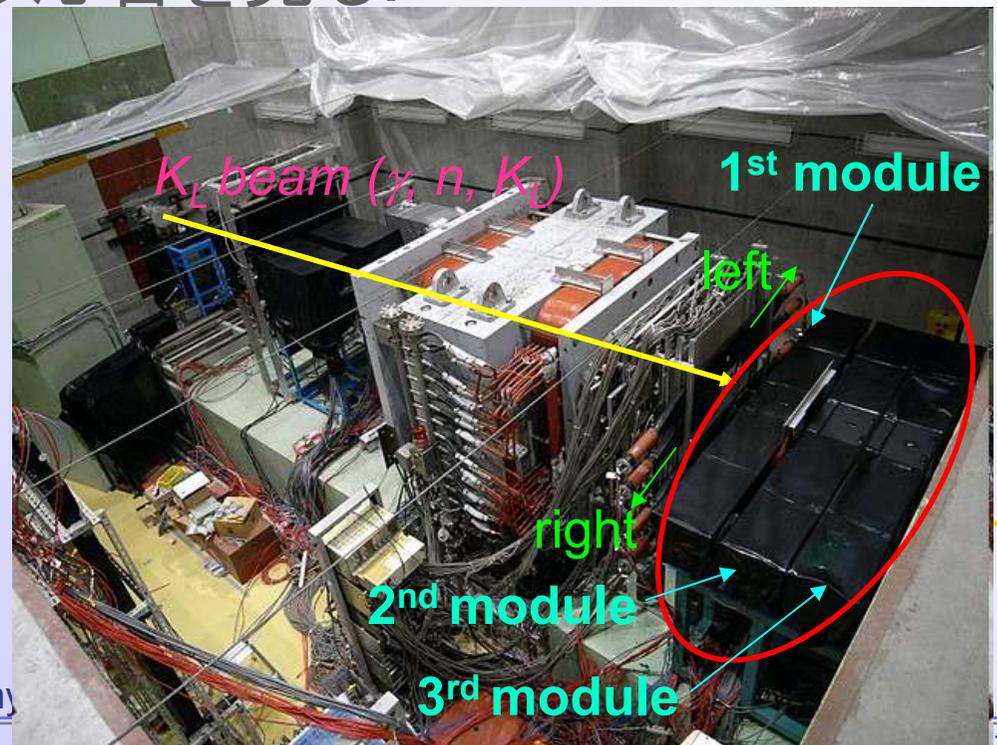


3moduleでの応答の測定

- 本実験では25モジュールのうち3モジュールのコインシデンスにより γ を検出する。
→3moduleをインストールしてモジュール間のコインシデンスをとった場合の応答を見る。

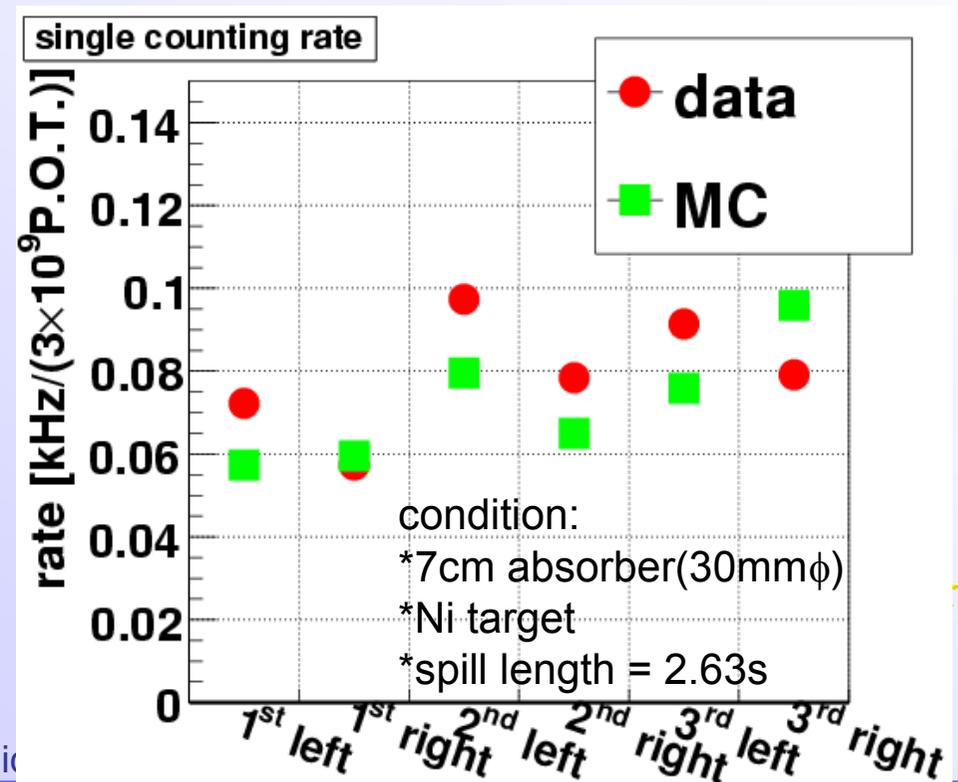
- 測定項目
 - カウントレート
 - 各PMTでのシングルレート
 - コインシデンスレート

– 光量分布



各PMTのシングルレート

- 3layer x 2(左右)の計6chについて, 閾値を0.8p.e.程度に設定してCAMAC scalerで計数.
- off spill中のレートを差し引く.
- MCはチャンネル毎に閾値や1p.e.出力のばらつきを考慮.
→概ね予想通りレート.

21st Mar, 2010

High Energy Physics

コインシデンスレート

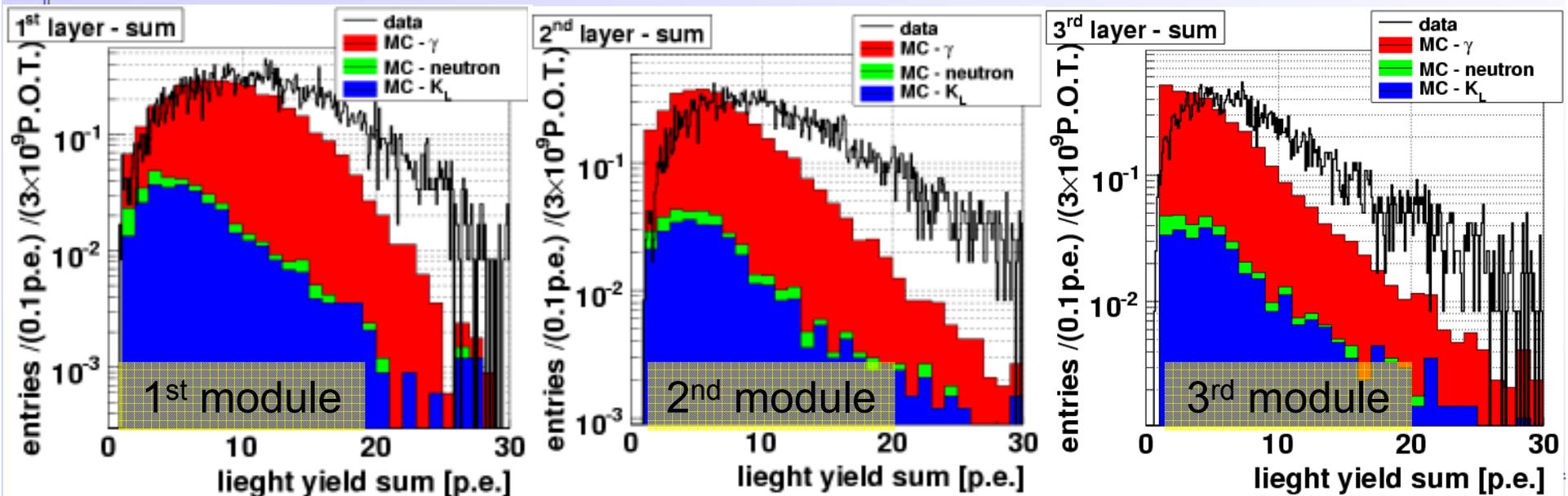
- 2モジュール以上のコインシデンスをtriggerとしてデータ(ADC, TDC)を取得.
- イベントセレクション
 - 各チャンネルに対してon timingにhitがあることを全3モジュールに対して要求.
- コインシデンスレート : **0.017kHz/(3x10⁹P.O.T.)**
MC : **0.012kHz/(3x10⁹P.O.T.)**

→概ね予想通りのレート



3モジュールコインシデンス時の光量分布

- 全3モジュールのhitを要求したときの各モジュール左右合計の光量分布.
- 測定結果とMCで異なった分布.
 - ビーム粒子の不定性
 - 検出器自体の γ /中性子に対する応答



summary and prospects

- J-PARCに於ける $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 探索実験である K^0 TO実験に用いるビームホール光子検出器(BHPV)の実機サイズの試作機をビームサーベイ実験にインストールし, 性能評価を行った.
- ハドロンカロリメータを用い, BHPVで γ が検出出来ていることを確認した.
- 各PMTのシングルレート, 3モジュールでのコインシデンスレートは概ねMCの予想程度であった.
- 光量分布についてはMCと異なり, γ や中性子に対する検出器の応答とビームについて更なる理解が必要とされる.

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$



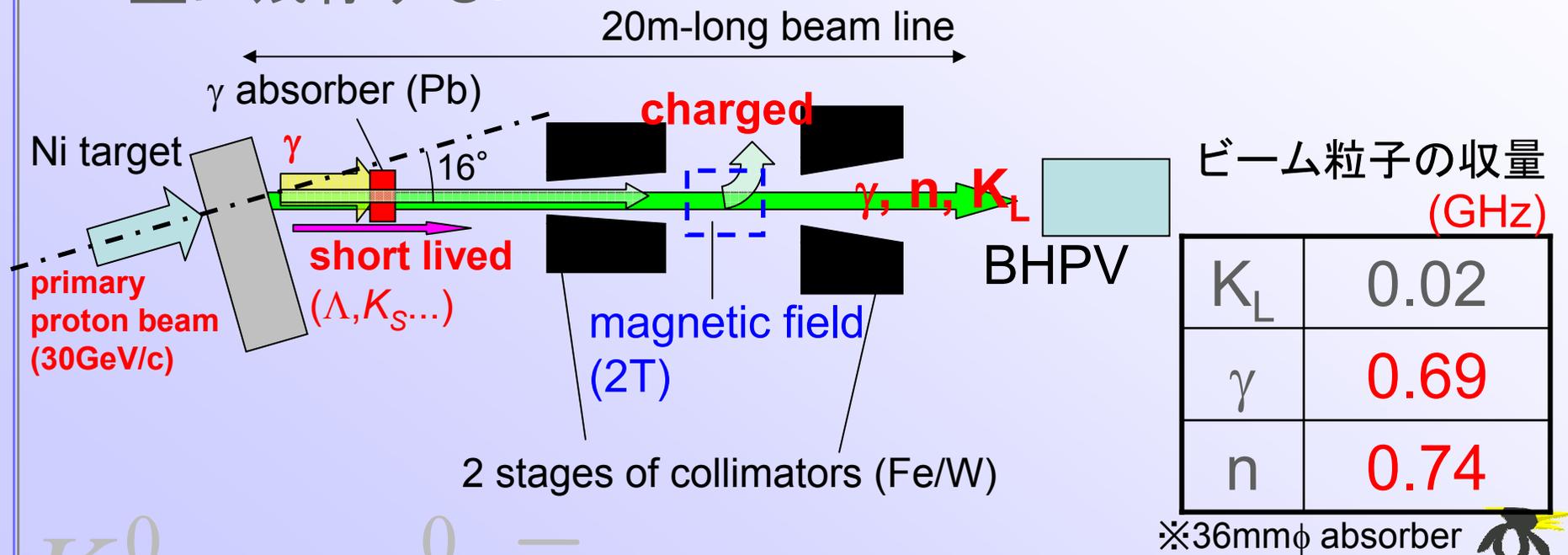
backup slides

- requirements for BHPV
- prototype construction and beam test
- CERBERUS performance



中性ビームライン

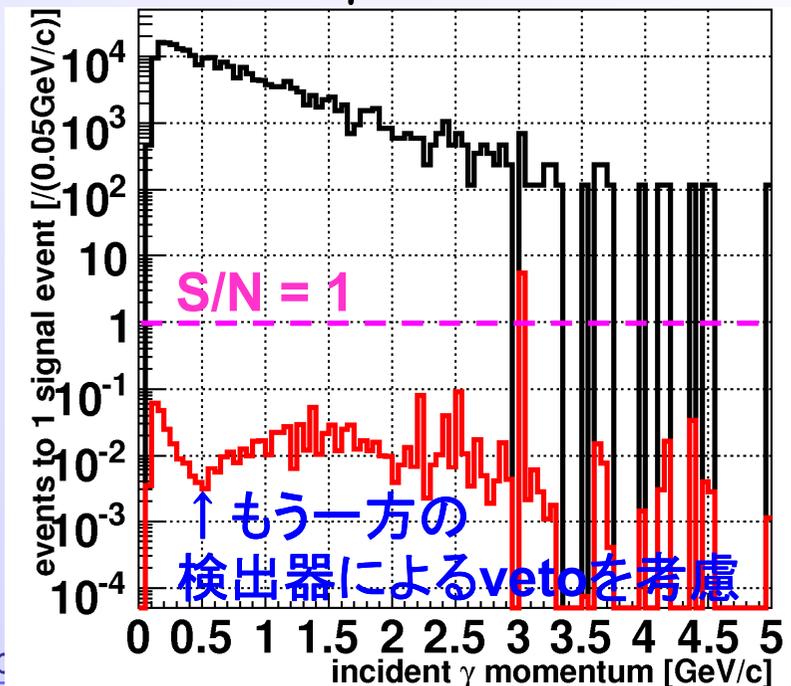
- K中間子ビームはターゲットで生じた2次粒子から荷電粒子を磁石で除くことで得るため,中性子と γ が大量に残存する.



photons to be detected

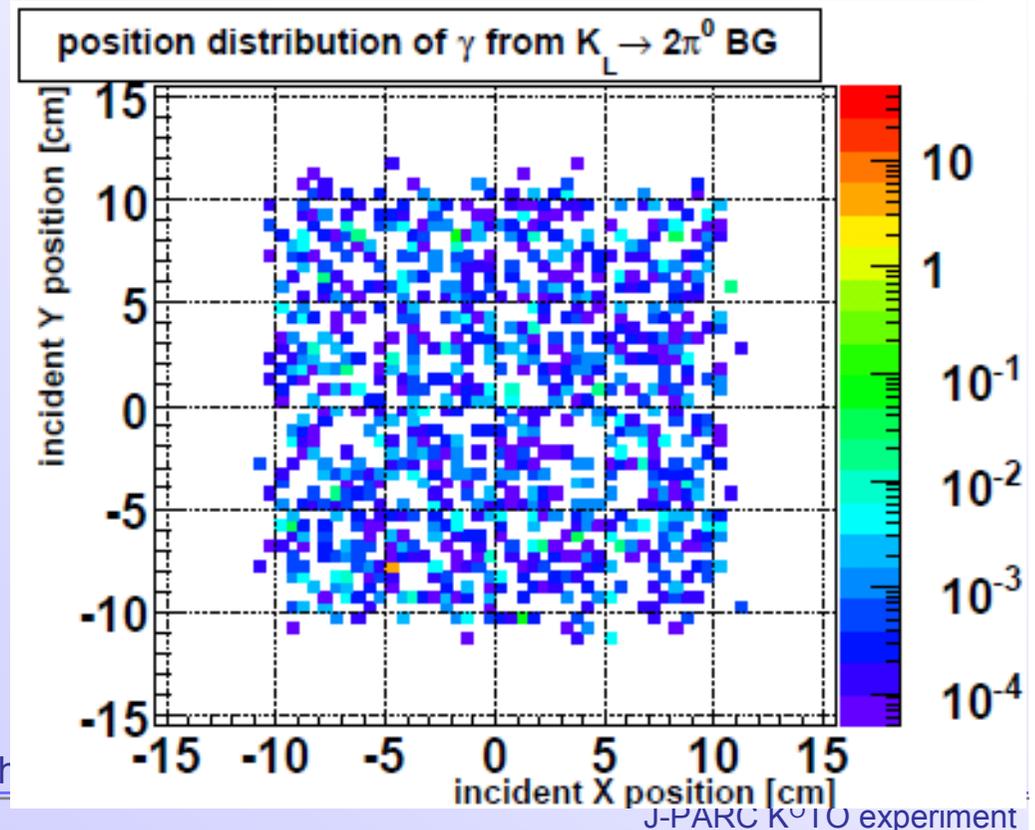
- 標準理論の $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 分岐比(2.49×10^{-11})を仮定
 - $K_L \rightarrow 2\pi^0$ によるバックグラウンドはシグナル事象1に対して
(7.2 +/- 5.4) events
 - うち**6.6 events**はビームホールに逃げる γ を伴う
- 検出効率の要求
 - 100MeV以上の γ に対して90%以上
 - 特に1GeV以上に対して
~99.9%

バックグラウンドとなるイベントで,
BHPVにhitする γ のエネルギー分布



position distribution

- シミュレーションによる $K_L \rightarrow 2\pi^0$ により生じ、バックグラウンドとなる γ の BHPV への入射位置分布
→ 20cm x 20cm の領域に略一様に分布

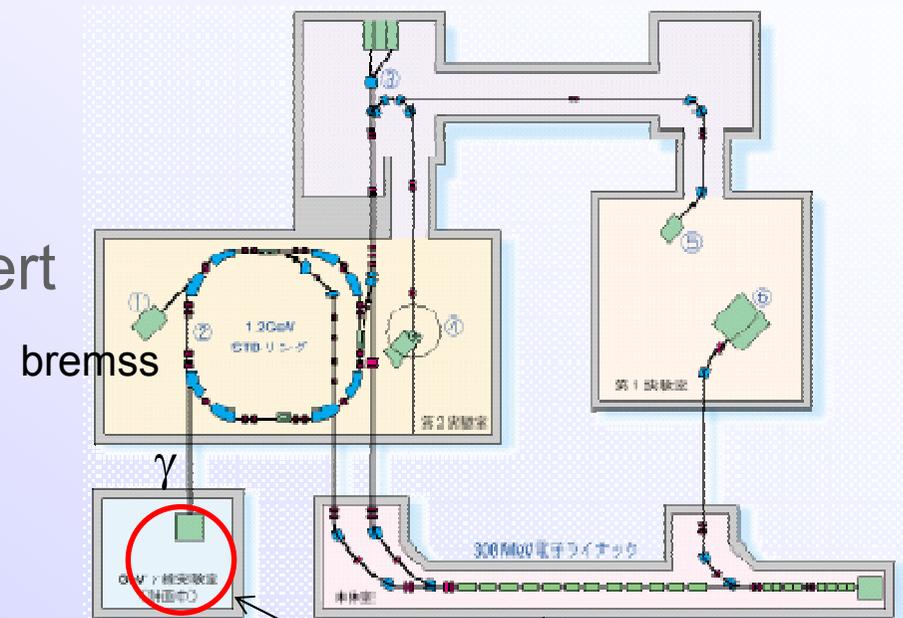


21st Mar, 2010

High Energy Ph

東北大 核理研でのe⁺ビームテスト

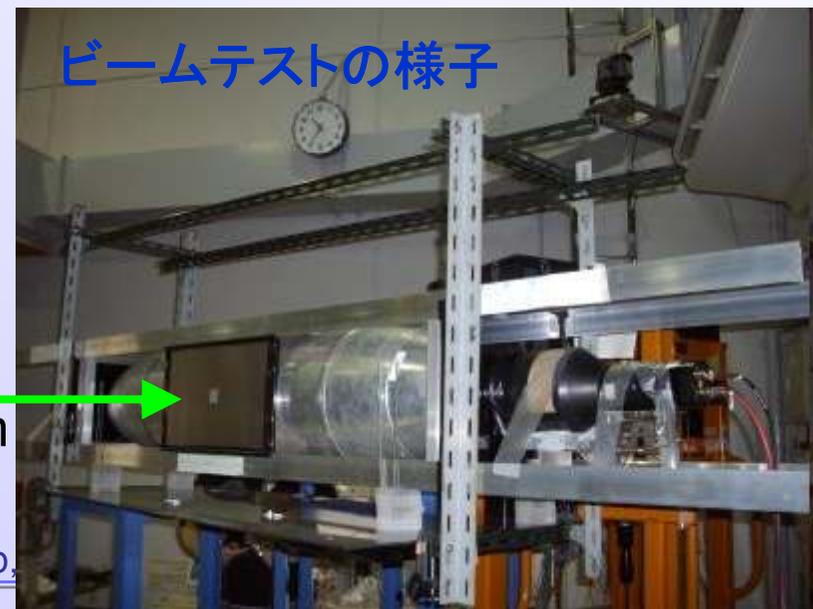
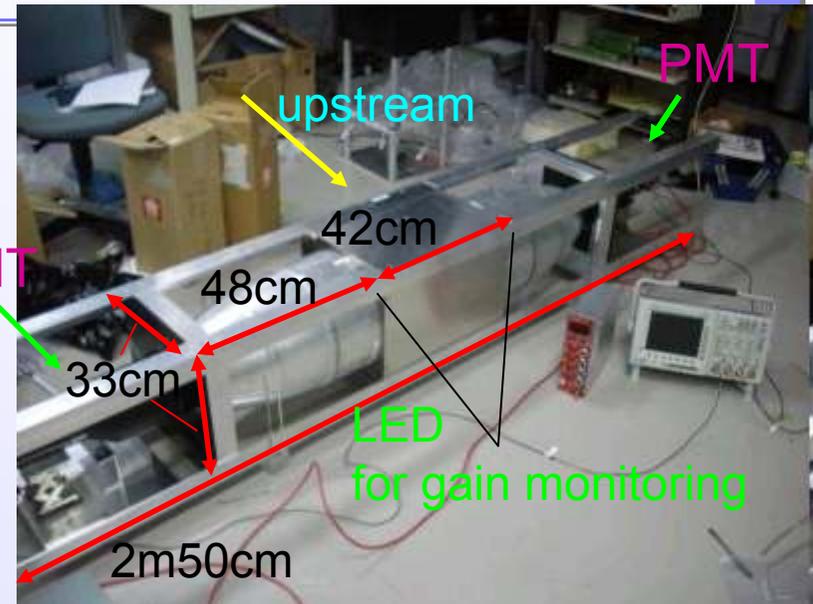
- 東北大学 原子核理学研究施設のe⁺ビームを用いた性能評価を行った.
- 実験の概要
 - 1次電子ビーム
 - bremsstrahlung → convert
 - で得られる3次ビーム
 - 600MeV/cのe⁺ビーム
 - 1cm角のトリガー
- 実験内容
 - 2分割プロトタイプの性能評価
 - AIDA実験で用いられていたエアロジェルの発光量の測定



測定室
1次電子ビーム
(γ を鉛でe⁺/e⁻に変換し、
磁石で運動量を選択)

モジュールの概要

- 実機サイズの試作機を製作.
- 東北大学 原子核理学研究施設(現 電子光理学研究センター)の陽電子ビームにより,発光量と位置依存性を測定.
(2009 秋季大会@甲南大学)



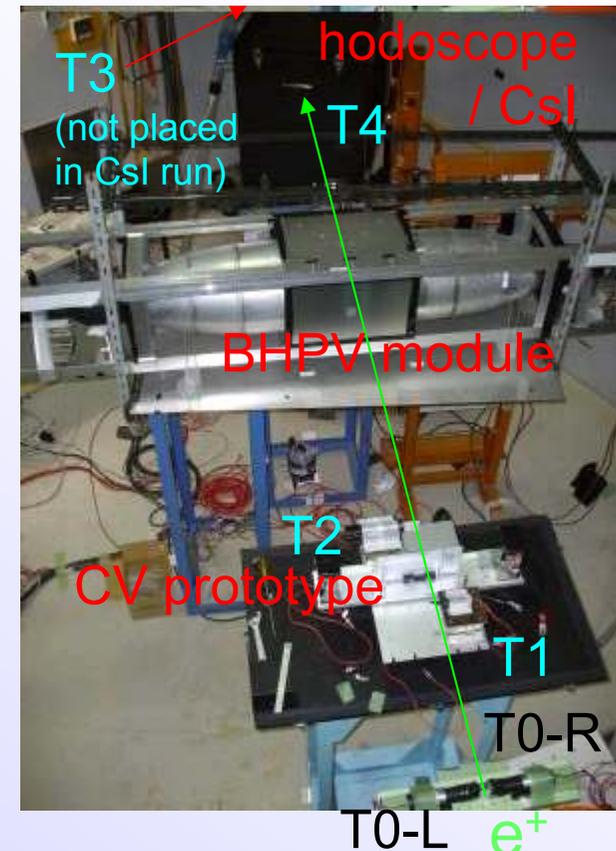
21st Mar, 2010

High Energy Physics Group

© 2010 KEK, TOI experiment

ビームテスト setup (2分割モジュールテスト)

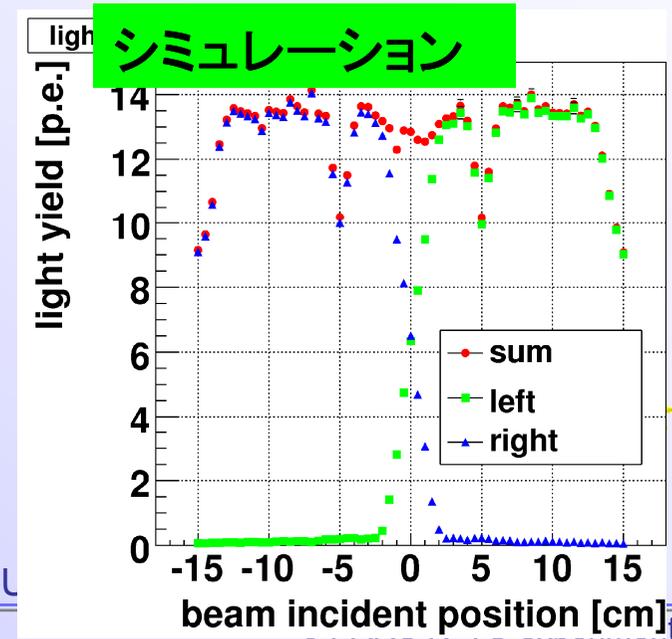
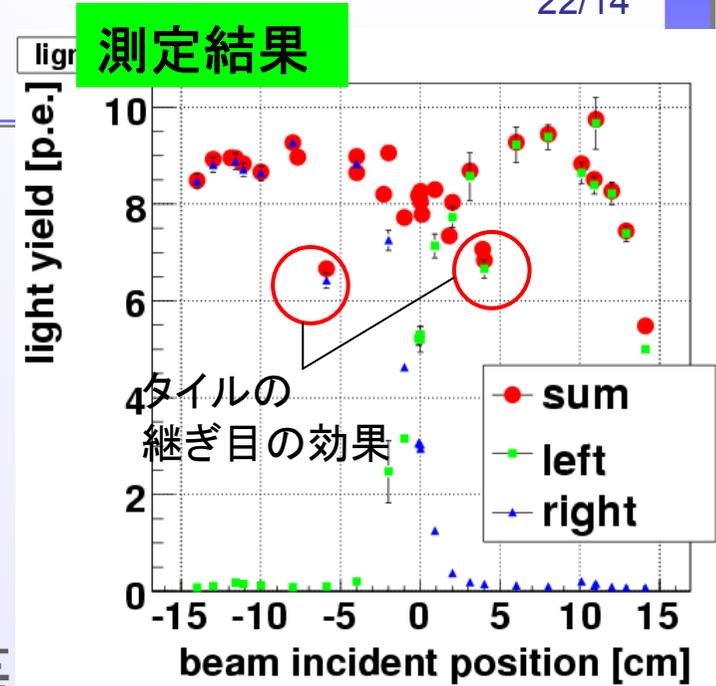
- trigger scintillators
 - 4cm x 4cm x 1cm 両読み(T0L,R)
 - 1cm x 1cm x 0.5cm (T1, T4)
 - 4cm x 4cm x 0.3cm (T2, T3)
 - BHPVの測定には全てのtrigger counterを使用.
 - T0Lがタイミングを決定
- gain monitor
 - off spill(~7s)時に100Hz(or 500Hz)でモジュールに内蔵したLEDを光らせ,run毎にPMTのgainをモニターしている



$K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$

位置依存性測定結果

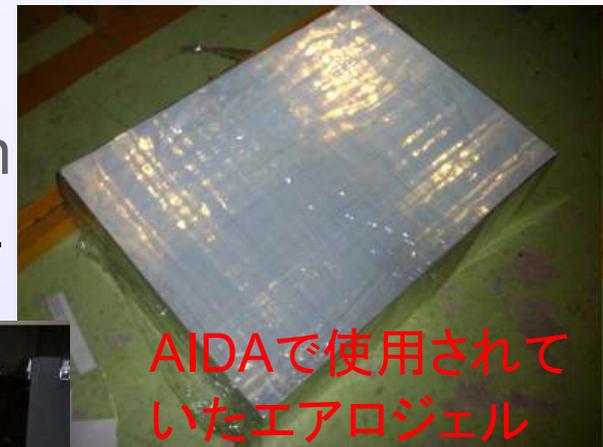
- 光量は予想より低いものの、シミュレーション通りの位置依存性を確認.
- ミラーの継ぎ目でのロスや、側面での反射による光量増大等の効果を確認
→モジュールの改良



$$K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$$

AIDAエアロジェル

- エアロジェルとしてKEK-PS E248 AIDA実験で用いられたものが利用可能：K⁰TOで使えないか？
 - n=1.03
 - タイルサイズ：~15cm角 x 厚み~3cm
- 以前にビームテストが行われ性能評価がよく行われている分割なしモジュールを使用



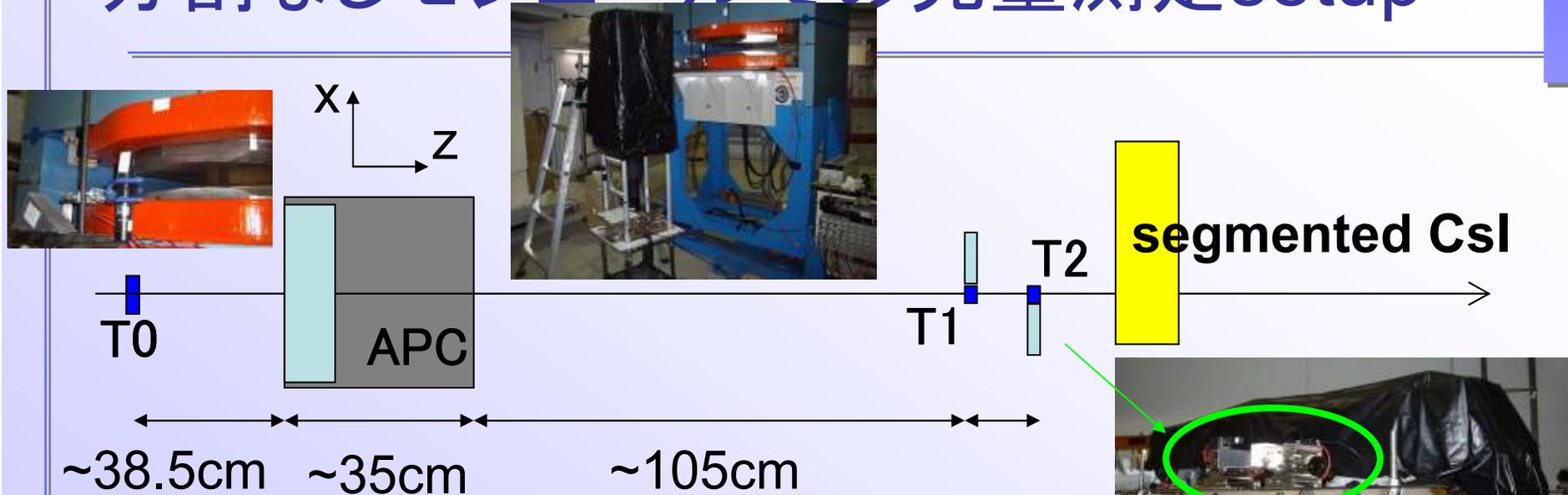
平面ミラー



エアロジェル
ビームテストの様子

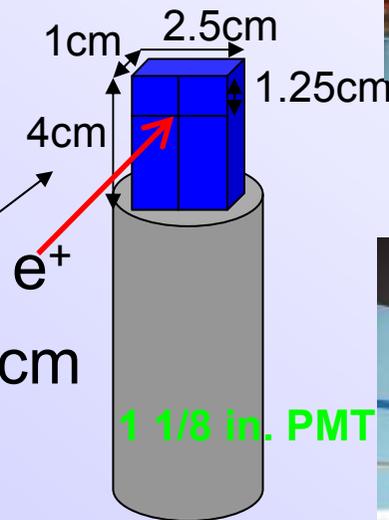


分割なしモジュールでの光量測定setup



トリガーシンチレータ

- ・T0 : 2.5cm x 4cm x 厚さ1cm (ライトガイドなし)
- ・T1, T2 : 1cm x 1cm x 厚さ0.5cm (ライトガイド付き)



3つのコインシデンスでトリガーを発行.

発光量測定の結果

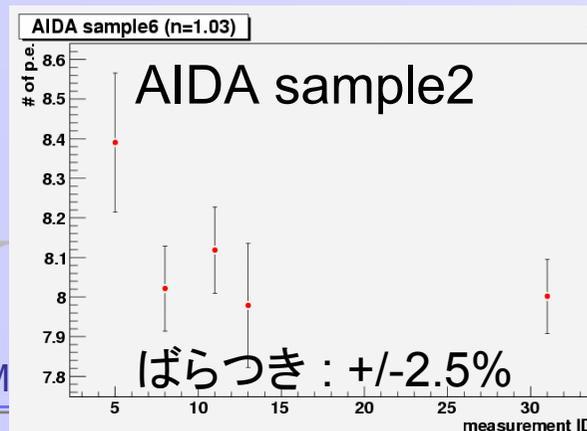
- 2サンプルについて発光量を測定
 - 写真のように3cm厚のタイル2枚を重ね、エアロジェルを中心にビームが当たるように配置



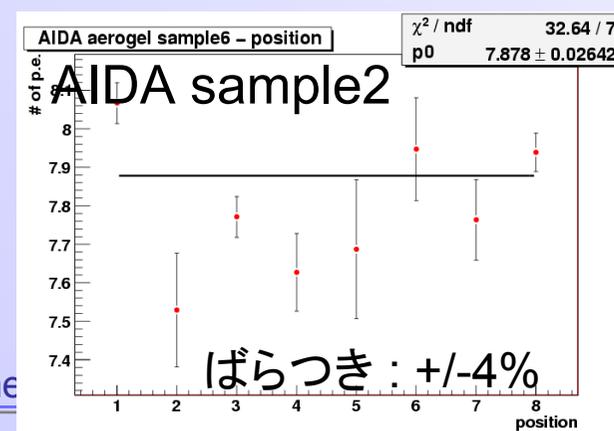
測定結果

AIDA sample1	6.0cm	7.73 +/- 0.07
AIDA sample2	6.0cm	8.39 +/- 0.18
松下 YI30	5.5cm	9.92 +/- 0.11

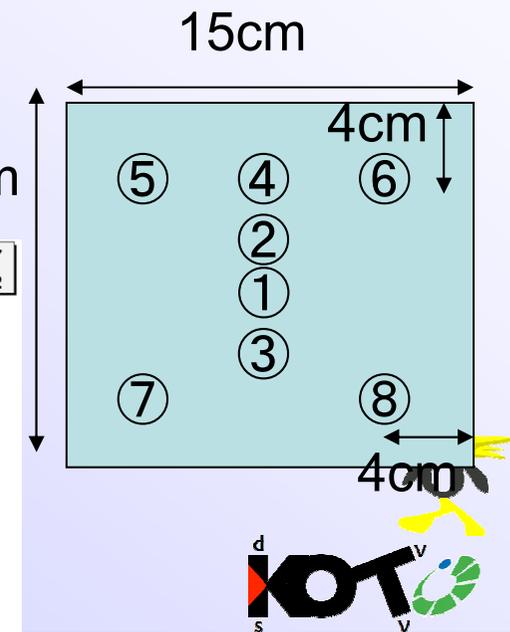
再現性の確認



場所依存性

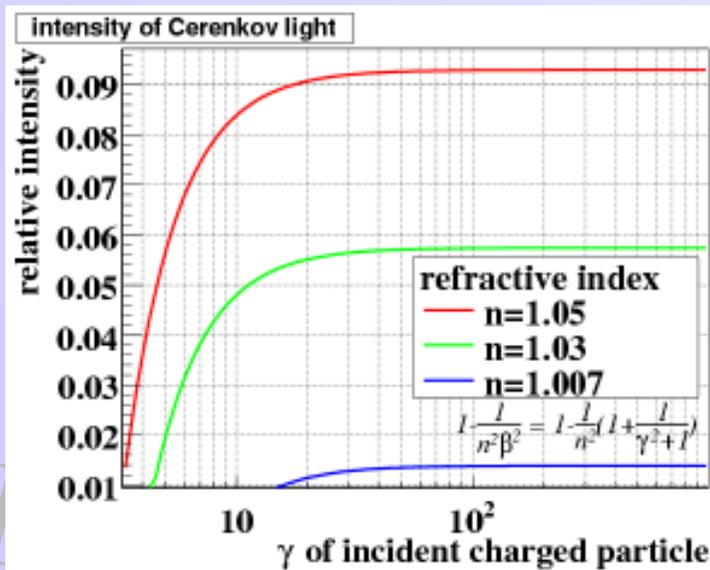
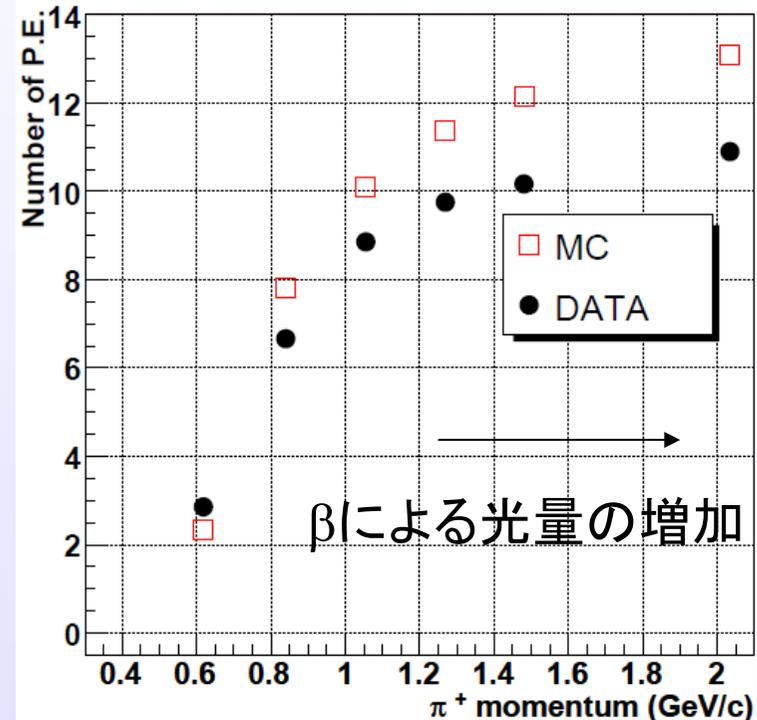


15cm



分割なしモジュールの π^+ ビームによる光量評価 26/14

- エアロジェル：松下YI30
- KEK-PS T1ビームライン (2005年6月)

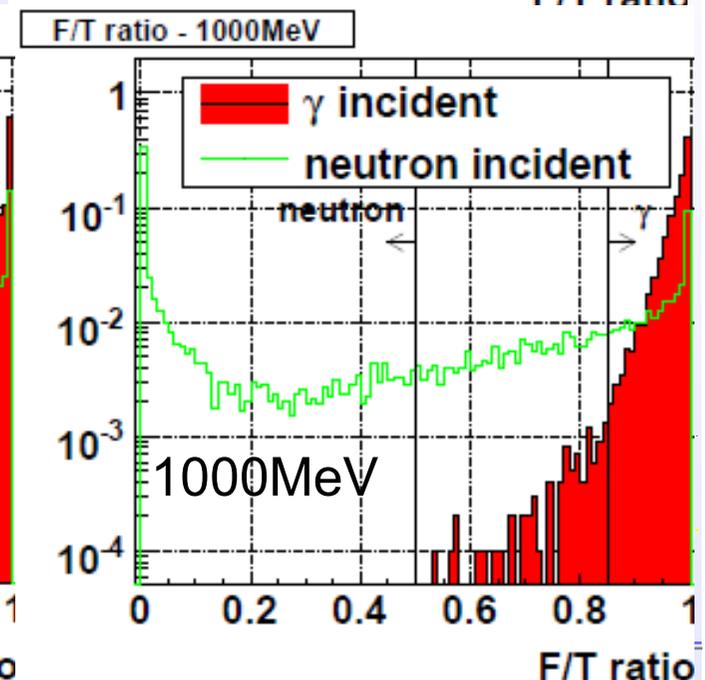
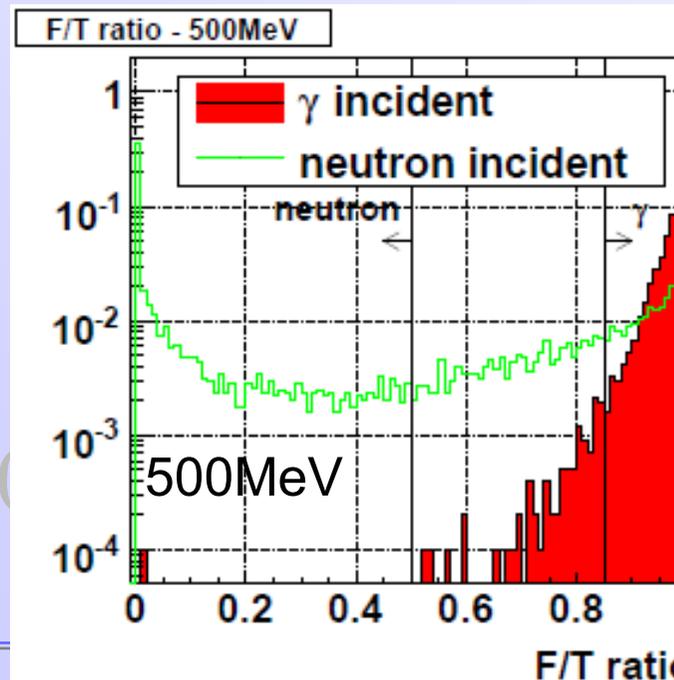
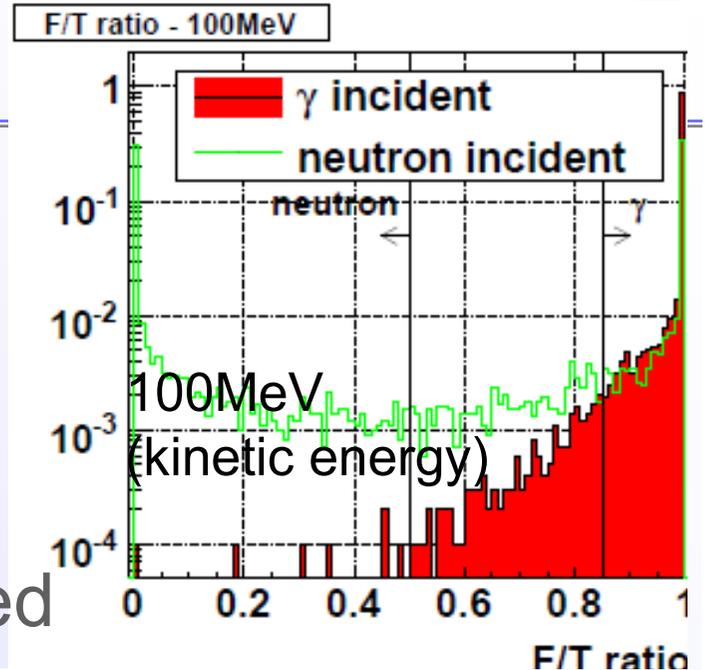


運動量による発光量の変化



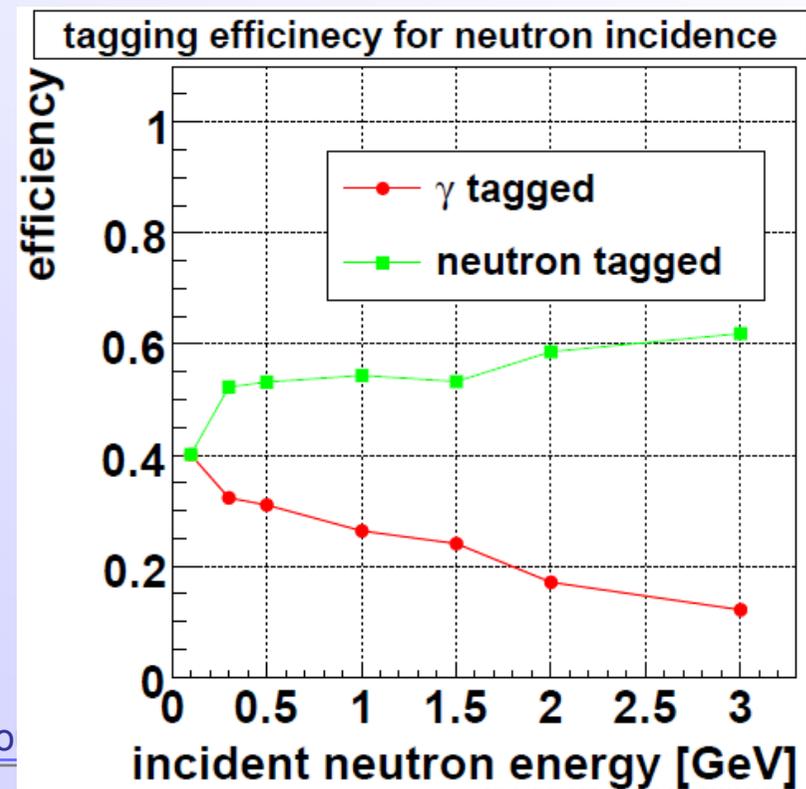
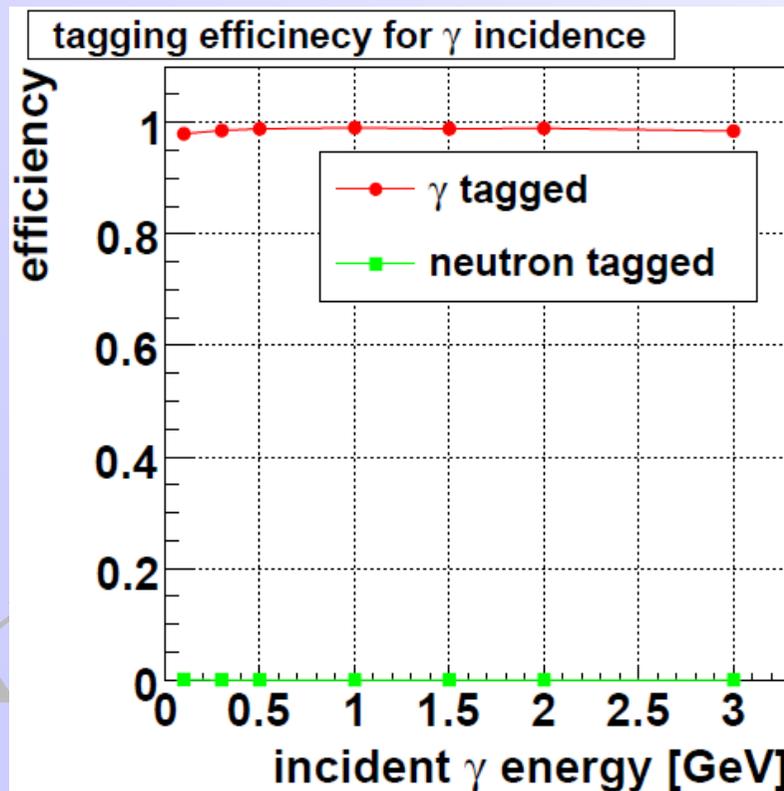
CERBERUS performance

- MC result of incidence of fixed energy γ and neutron
- F/T ratio $> 0.85 \rightarrow \gamma$ tagged
- F/T ratio $< 0.5 \rightarrow$ neutron tagged



efficiency

- γ detection : ~99%
 - a few 10% of misID by neutron
- neutron detection : ~50% (misID by γ is negligible)



expected F/T ratio distribution

- CERBERUS+BHPVの測定で, MCでのF/T ratioの分布(両方visible energy>42.5MeVを要求)

