



Aerogel RICH counter の開発研究

名古屋大学 理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻
高エネルギー素粒子物理学研究室
博士前期課程 1年 椎塚 晋

Aerogel RICHの開発目的

KEKBファクトリー実験：電子陽電子衝突型加速器でB中間子大量生成
B中間子系におけるCP対称性の破れの検証

Belle検出器：B中間子の多様な崩壊モードの終状態粒子の検出

→K/ π 識別が要求される

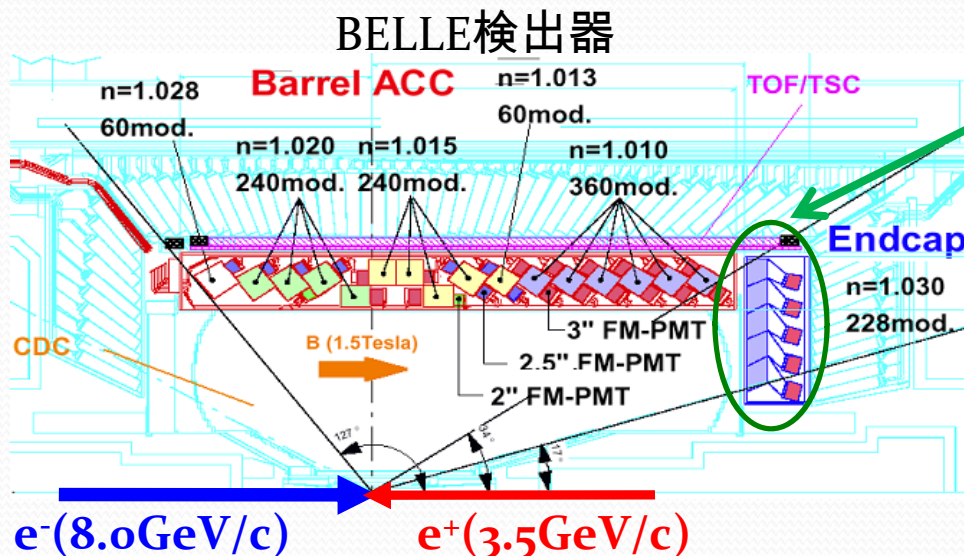
現在：

$0.5\text{GeV}/c < p < 2.0\text{GeV}/c$

閾値型チェレンコフカウンター

(運動量 $2\text{GeV}/c$ 以上での

K/ π 識別能力不十分)

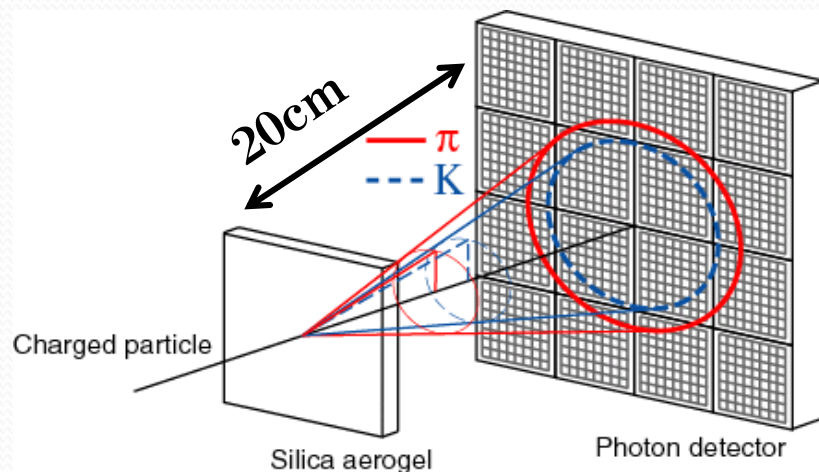


新型K/ π 識別装置Aerogel RICHへのアップグレード

$0.5\text{GeV}/c < p < 4.0\text{GeV}/c$ へ向上

Aerogel RICH counterとは？

(Aerogel- Ring Imaging CHerenkov counter)



Aerogel RICH の仕様

輻射体	: Aerogel
光検出器	: HAPD



Aerogel

- SiO₂で構成
- 屈折率可変
 $n=1.007 \sim 1.07$
- 透明、低密度

- チェレンコフ光によるリングイメージを用いて k/π を識別
 - 輻射体：チェレンコフ光を放出
 - 光検出器：チェレンコフ光を検出
- 輻射体と検出器で構成される

• 従来の閾値型チェレンコフ検出器
 $0.5\text{GeV}/c < p < 2.0\text{GeV}/c$



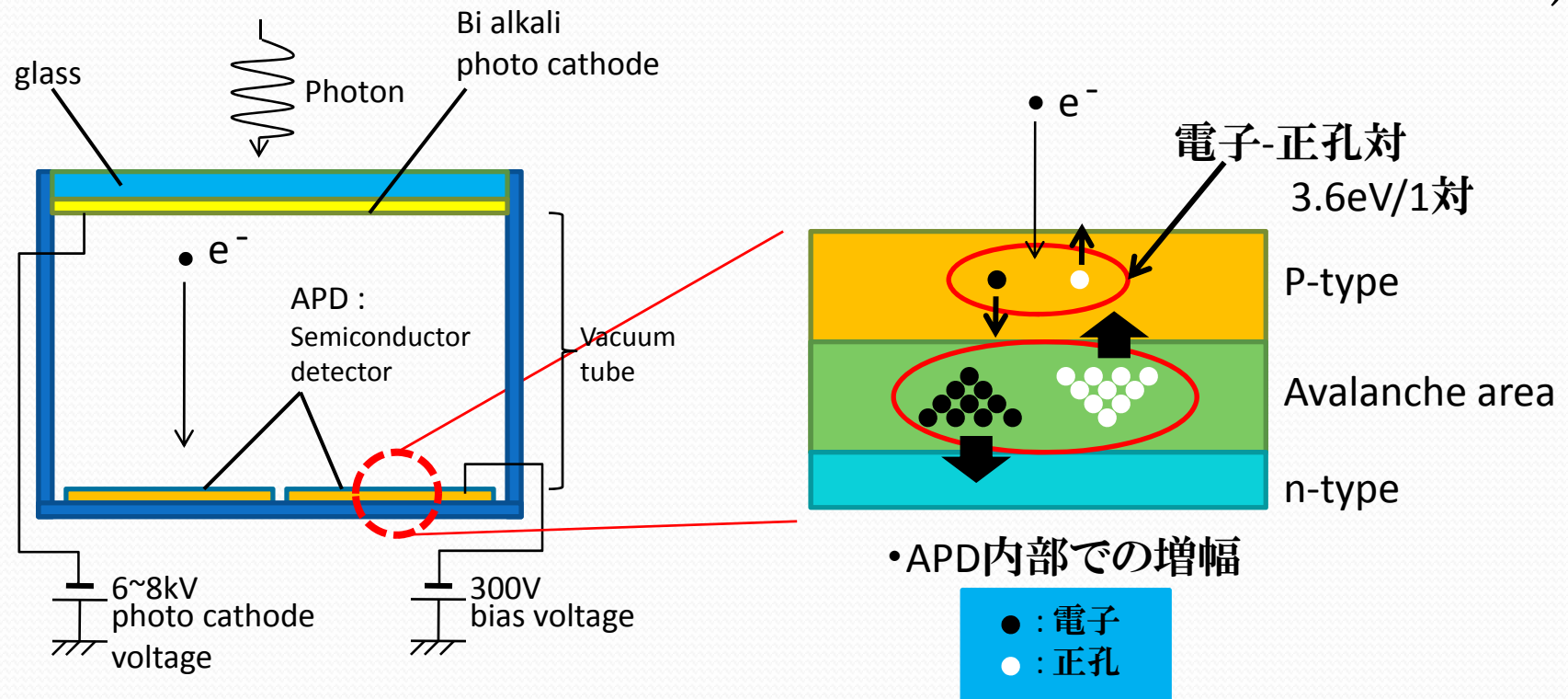
• Aerogel RICH counter
 $0.5\text{GeV}/c < p < 4.0\text{GeV}/c$

識別能力が向上！



4 σ 以上の識別能力を目指す

HAPDの構造と原理 (Hybrid Avalanche Photo Detector)



- 真空管での加速による増幅： $\sim 10^3$
 - 半導体中での増幅： ~ 10
- 合計で、 $10^4 \sim 10^5$ 倍に増幅される。

特徴：高い打ち込みGainにより増幅の揺らぎが減少→高いエネルギー分解能
磁場に垂直な状態で測定可能→磁場耐性

光検出器に求められる性能

- 1光子検出能力
- 1.5T磁場での動作
- 5×5 mm位置分解能
- 広い有効面積

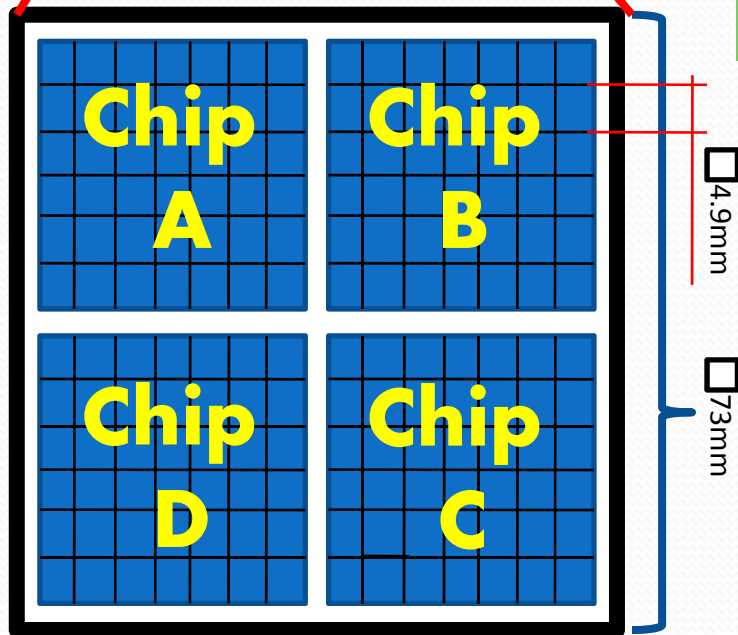
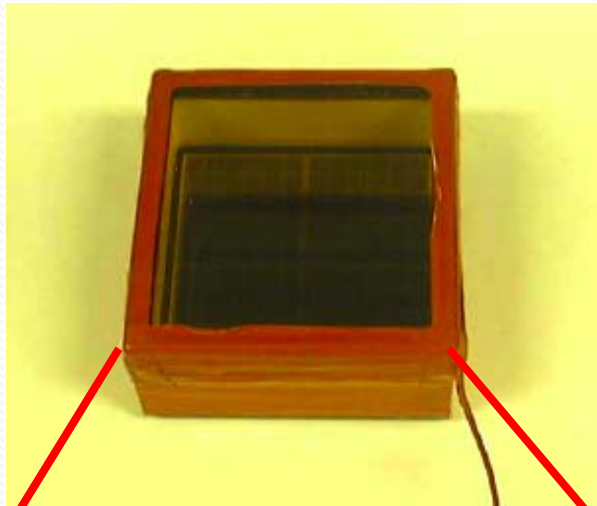
これらの性能がAerogel RICHから要求される

我々と浜松ホトニクス社が新型
光検出器を開発



HAPD

Aerogel RICH に用いるHAPD



HAPDの仕様

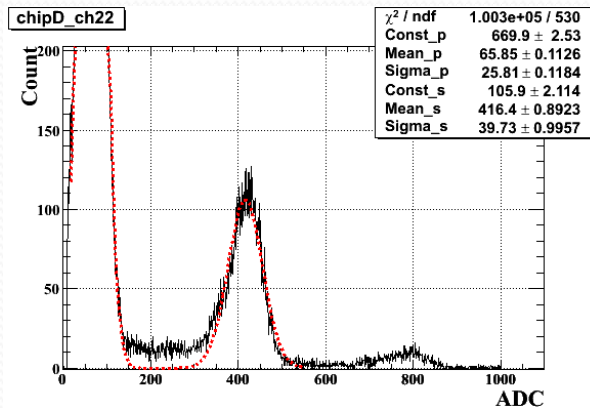
Peak quantum efficiency	25% (360nm)
Tube size	73×73mm
Effective area ratio	64%
Pixel size	4.9×4.9mm
Number of channel	12×12=144ch
Bombarding gain	~10 ³
Avalanche gain	~50
S/N ratio	15

現在11個のGood sampleを所持
量産化の目途を立てることができた。

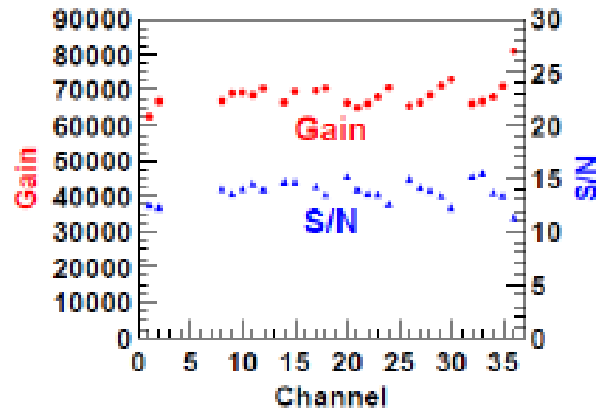
- マルチアノードによる位置検出可能
- 角型による設置密度の向上、広い有効面積

シングルフォトン検出

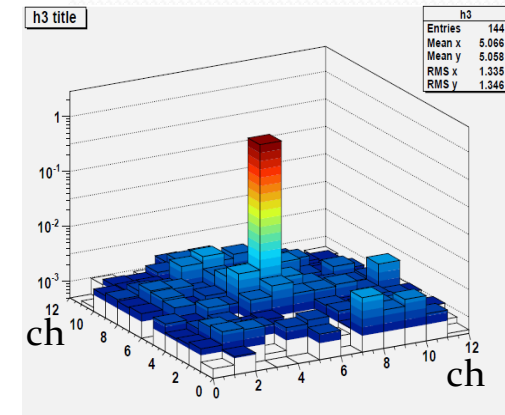
シングルフォトン検出



Gain & S/N比



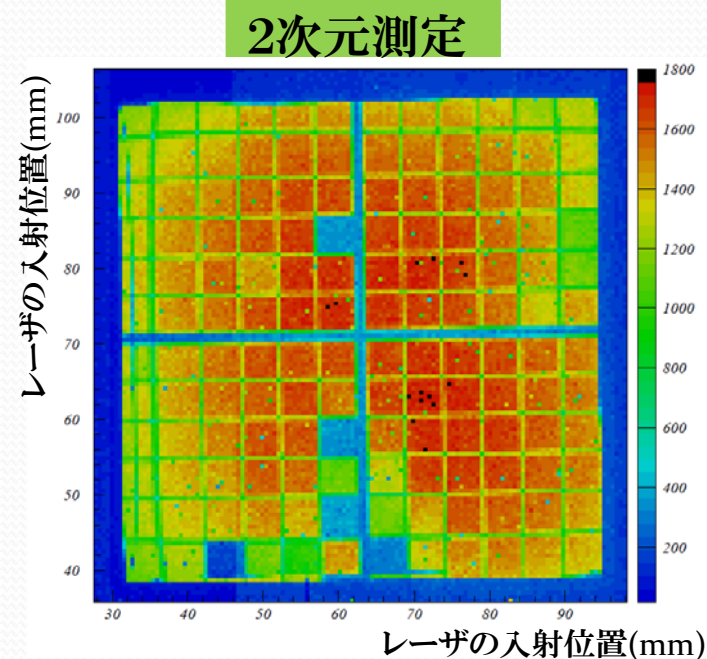
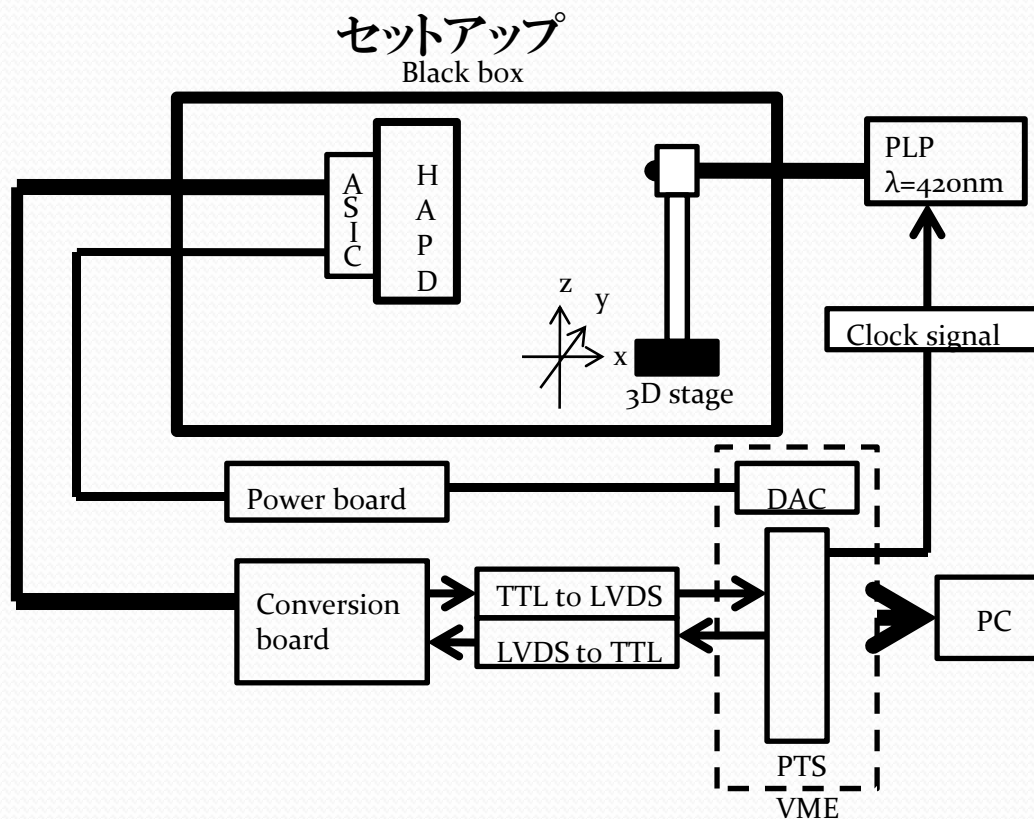
クロストーク



- シングルフォトンの信号がノイズから分離されているのが確認できる。
- ゲインとS/N比は各々、約 7×10^4 、15である。
- ゲイン、S/N比共に、各チャンネルで一様な値をとっている。
- クロストークは1%以下に抑えられている。

HAPDは非常に高いシングルフォトン検出能力を備えている。

HAPDの全面スキャン



- HAPDの2次元測定から各チャンネルの分離が確認できた。
- しかし、端のチャンネルでは像に歪みが確認されている。これは、側管によるHAPD内の電場の歪みが原因であると考えられている。

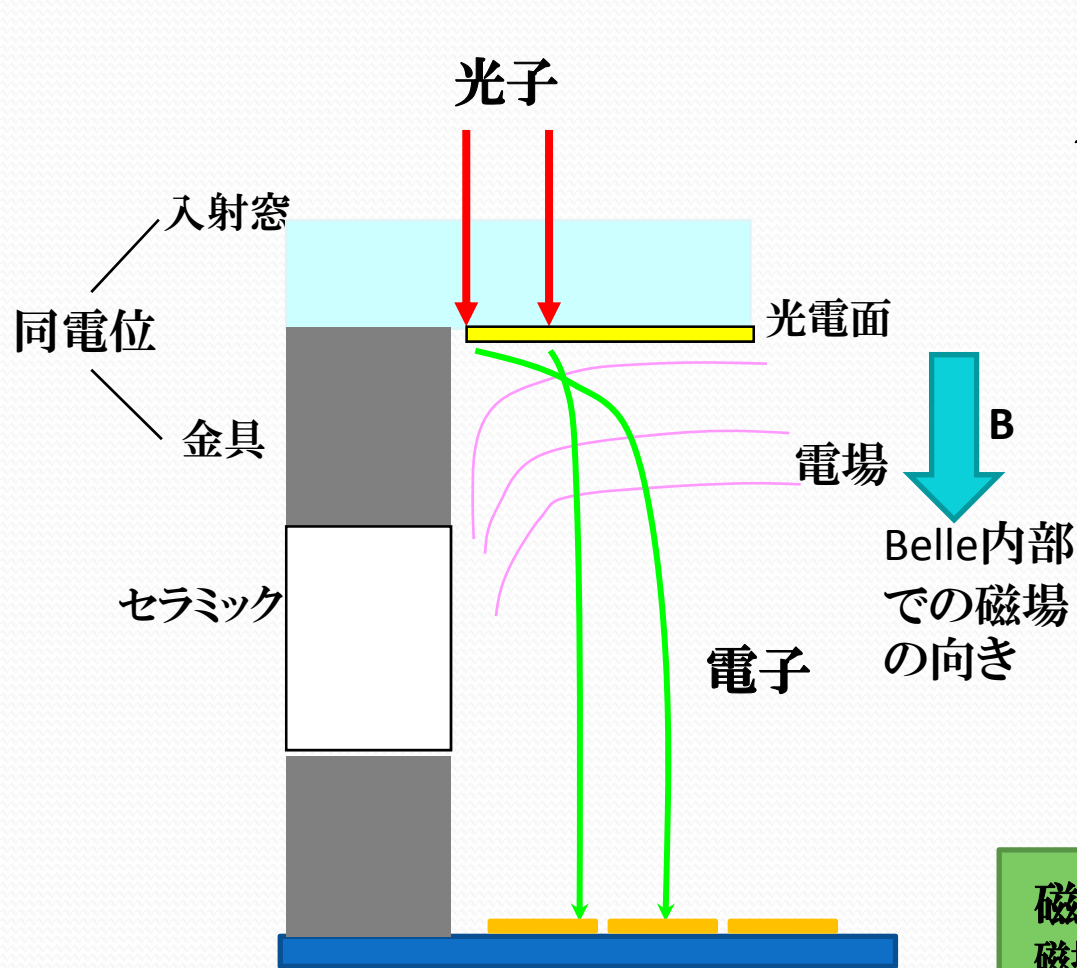
HAPDの高い位置分解能を確認

磁場テスト

- HAPDの1.5Tの動作確認
HAPDの磁場内での動作確認について検証を行った。さらに磁場下で改善が期待される以下の2つの項目について評価を行った。
- 側管による電場の歪みに影響
- Photo electron back scatteringの影響

磁場テスト 測定項目 I

側管による光電子軌道の歪み



HV印加時に
入射窓と金具部分は同電位

側管付近の電場が歪む！

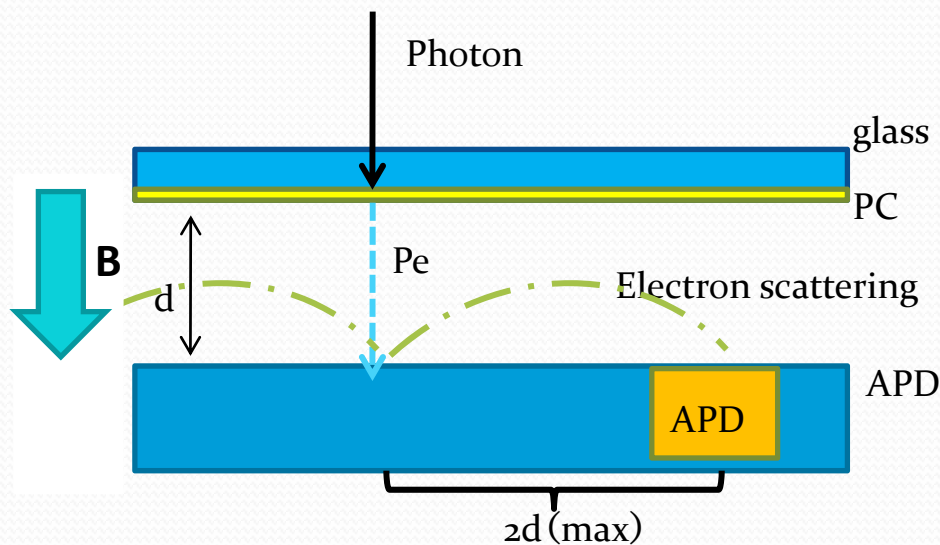
側管付近に入射した光子から
生成される電子はその軌道を
曲げられてしまう

磁場内では改善されるのではないか？
磁場に対して鉛直方向の運動は磁場に巻きつけられ移動が制限される。

→ 光電子は直線的にAPDに落ちていく！

磁場テスト 測定項目 II

Photo electron back scattering



光電子がAPD表面で反射
シミュレーションにより20%が
反射



広範囲に散乱される。

APD表面での散乱により半
径40mmの範囲に分布が広
がる。

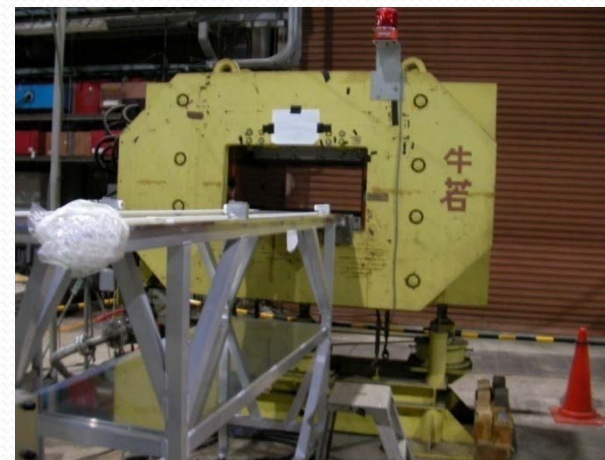
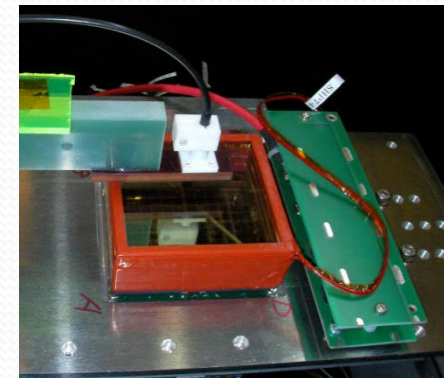
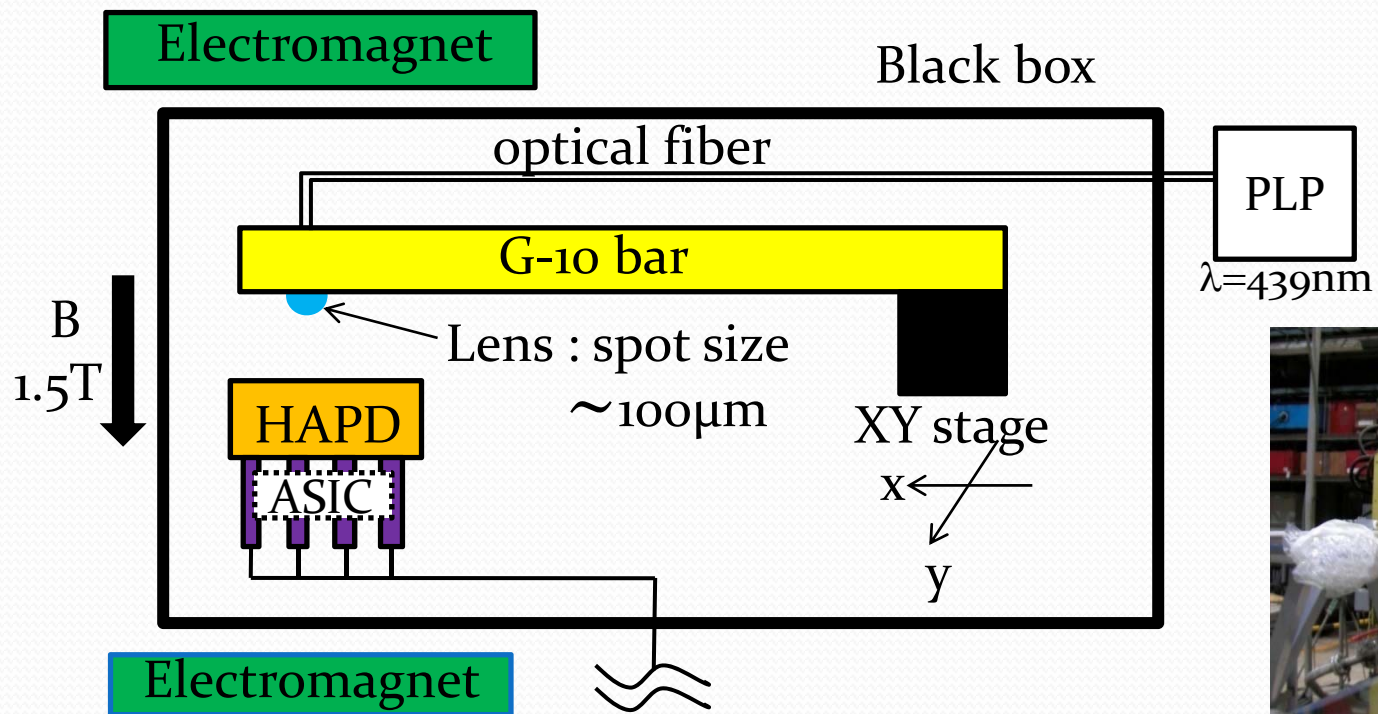


磁場下では巻きつきによっ
て軽減される可能性



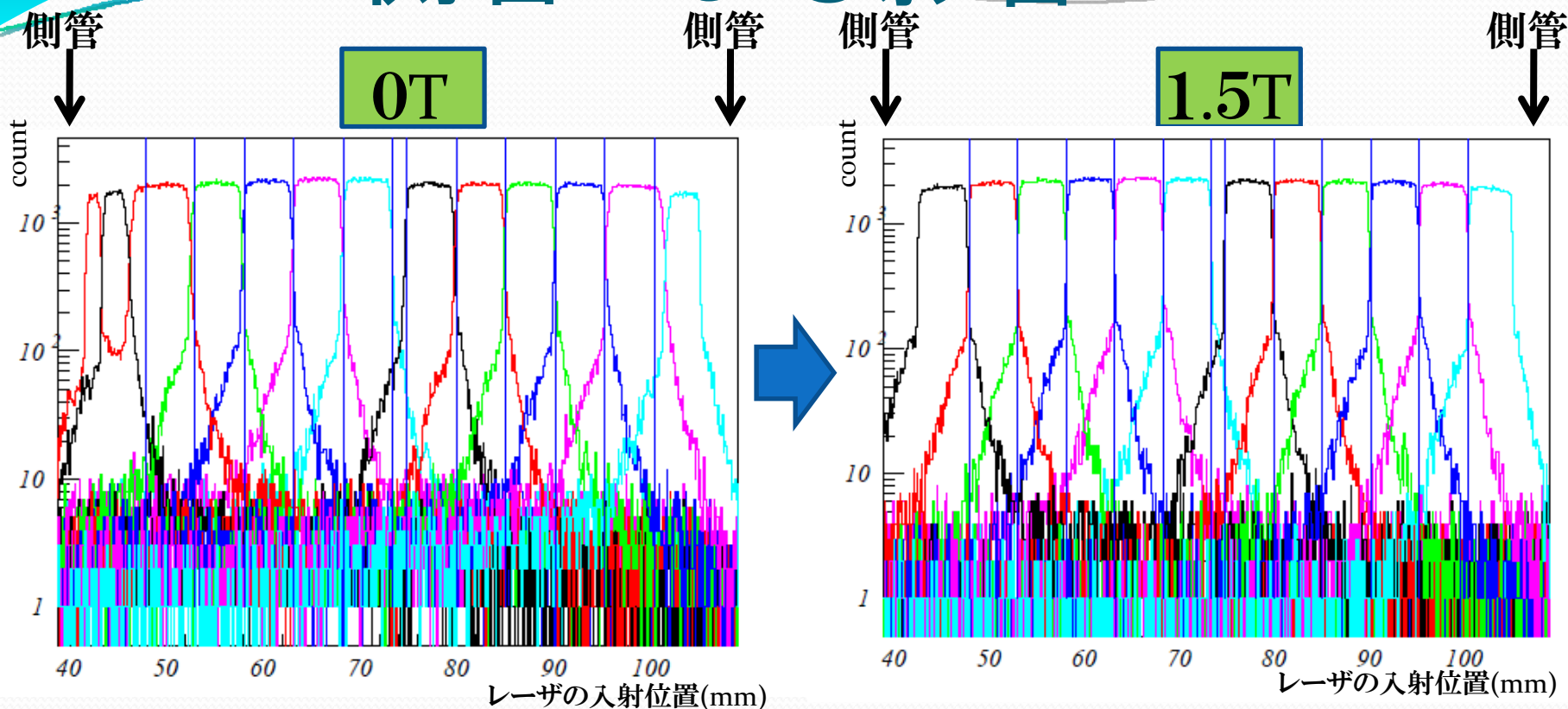
磁場への巻きつきにより半径
150 μ mの螺旋運動を行い、
同じAPDで測定される。

磁場テスト セットアップ



電磁石「牛若」 in KEK

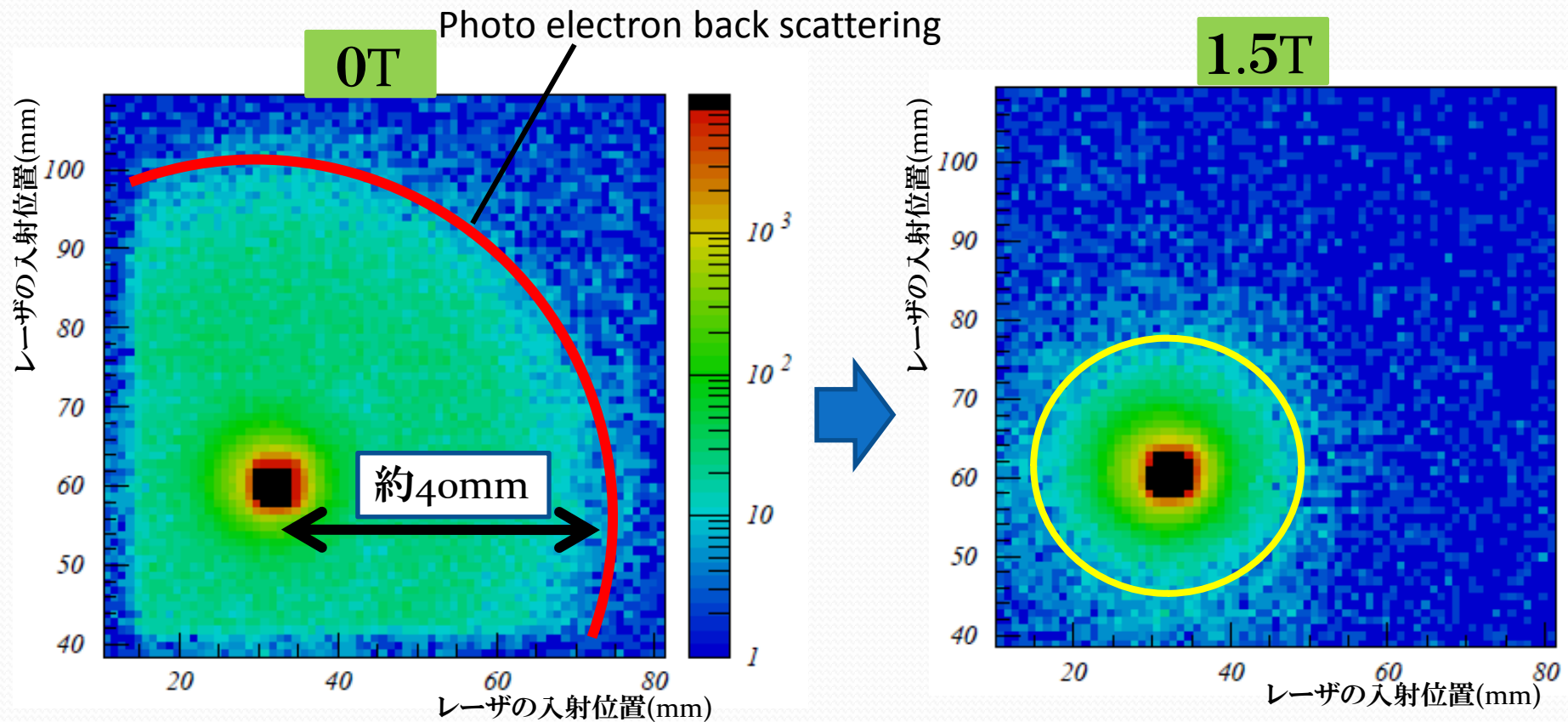
側管による影響



- 側管の影響を受ける端のチャンネルが改善されている。
- 1.5Tでも0Tと同様のcount数であり、磁場下での検出性能の低下は見られなかった。

1.5T磁場下で、高い位置分解能を達成

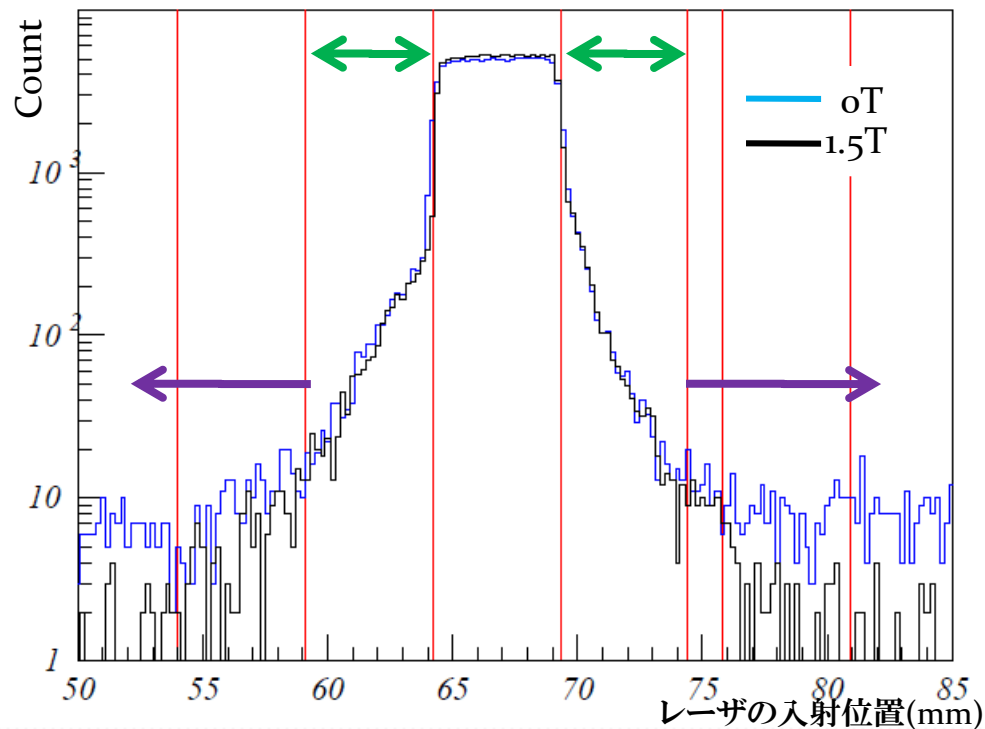
Photo electron back scattering: 2次元測定



- 1.5T磁場下でのBackscatteringの改善がみられた。
- 1.5Tにおける分布はAPD面上での光の反射であると考えられる。

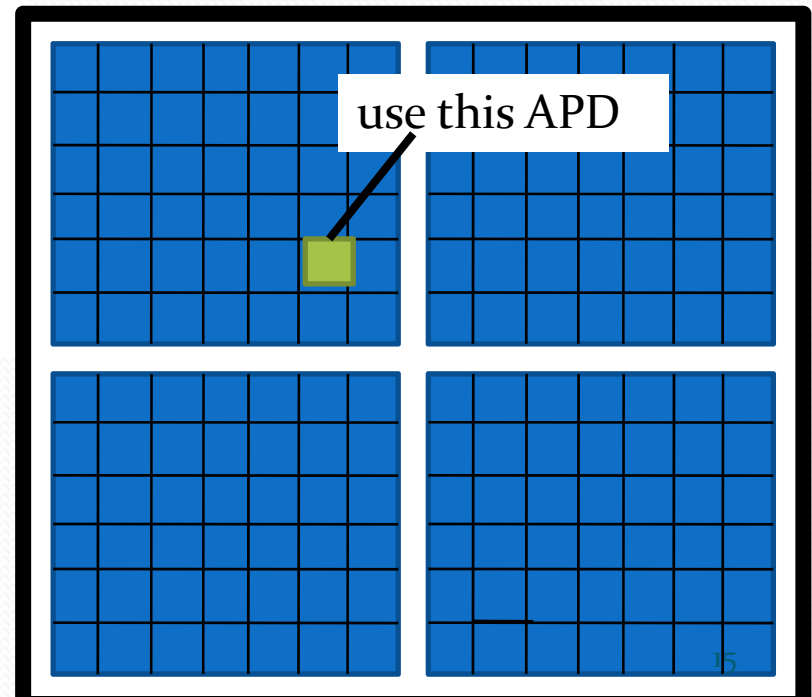
1.5T磁場下でのBack scatteringの減少が確認できた

Photo electron back scattering: 1次元測定



- テールの分布に違いがみられる。
- \leftrightarrow の範囲からテールに磁場による変化がみられず、光の反射であると考えられる。
- \rightarrow の範囲では磁場中で分布が減少していることから back scattering を表していることが分かる。

• 1次元測定でも Backscattering の改善が確認された。光電子検出能力の向上が期待され、今後も検証が必要。

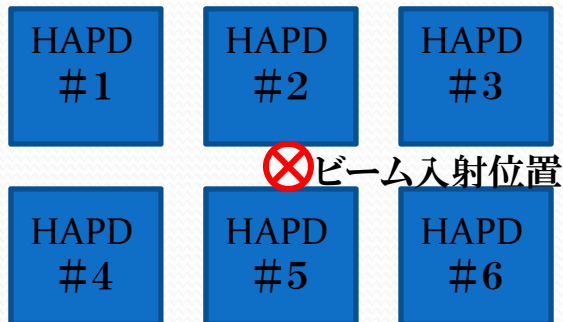


ビームテスト

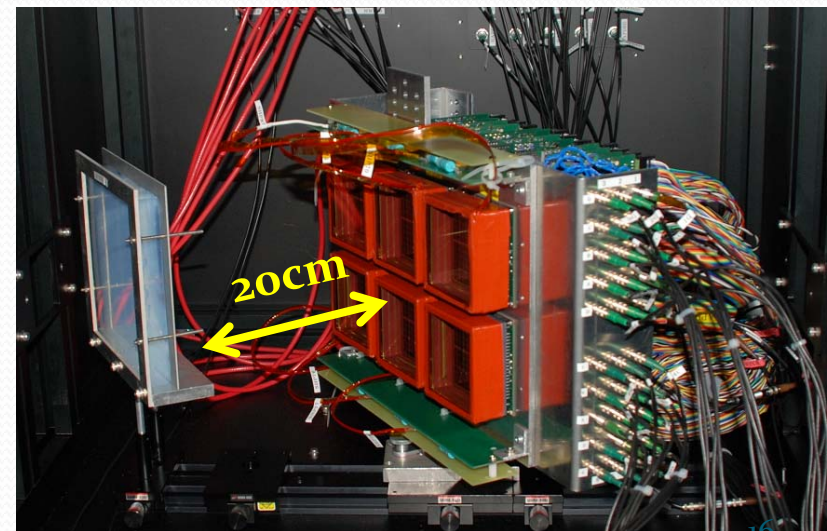
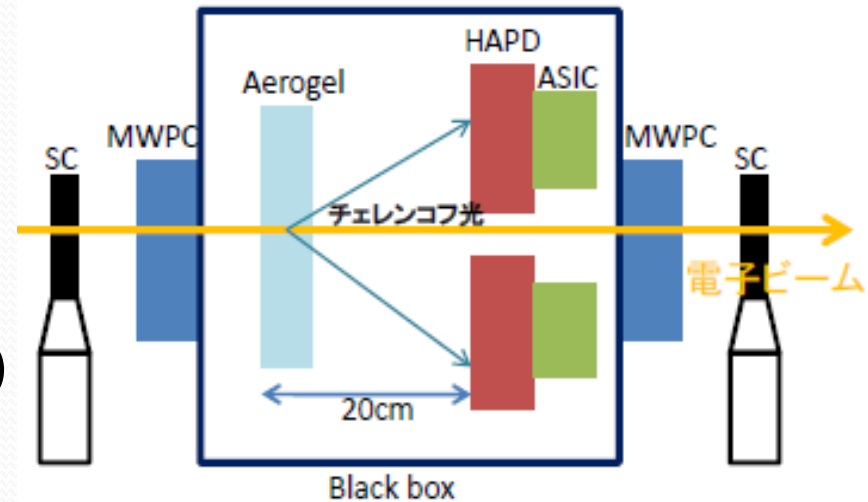
2008年6月にKEKでビームテストを行った。

目的：リングイメージの確認
Aerogel RICHの性能評価

- Beam: $2\text{GeV}/c$ の電子ビーム
(富士テストビームライン in KEK)
- 使用HAPD数: 6
- Aerogel: 屈折率 $n=1.0455 \sim 1.0560$

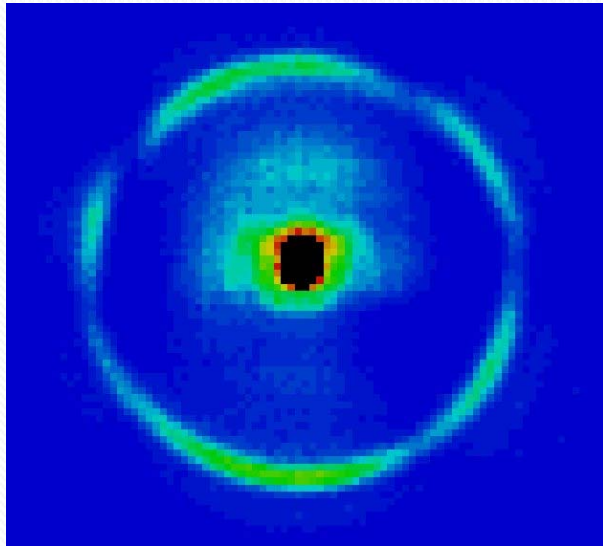


セットアップ



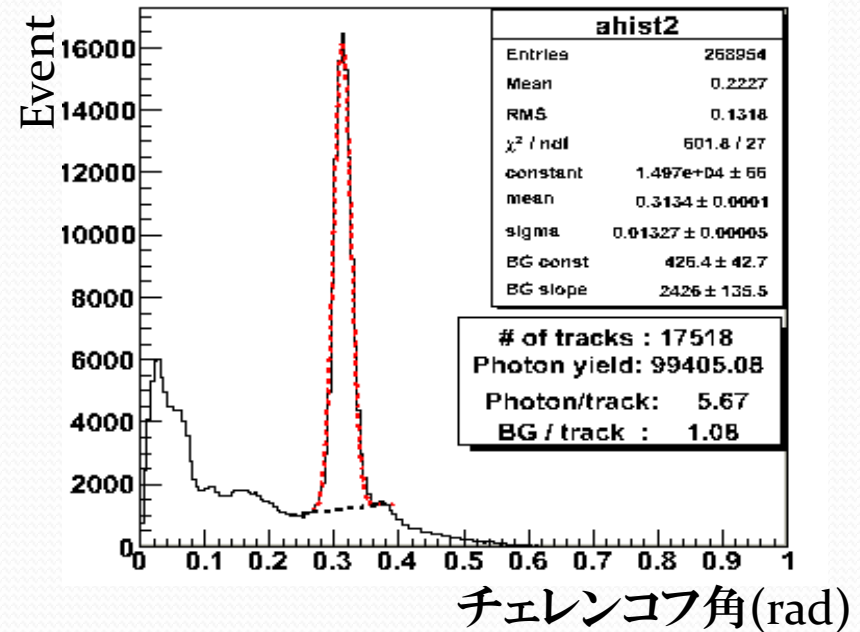
ビームテストの結果

リングイメージ



- リングイメージを確認
- K/ π 識別能力 4.1σ

チェレンコフ角度分布



Aerogel RICHの高いK/ π 識別能力を実現

検出光子数	5.7 photon
角度分解能	13.2 mrad
K/ π 識別能力	4.1σ

まとめ

•HAPDの性能評価を行い、Aerogel RICHへの適性を調べた。

1) 高い1光子検出能力

S/N比・・・15

Gain・・・ $10^4 \sim 10^5$

cross talk・・・1/100以下

2) 5×5mm位置分解能

リングイメージに十分な角度分解能を得られる。

3) 1.5T磁場下での動作確認

側管の影響の改善

Photo electron back scatteringの改善

•ビームテストでのAerogel RICHの性能

リングイメージを確認し、識別能力 4.1σ を達成できた

Aerogel RICHに使用できる十分な能力を確認

今後

- 検出光子数増加

検出光子数5.7Photonを更に増加させたい

➡ Ultra Bialkali光電面を用いたHAPD
を作成中。検出光子数を2倍にする。

- HAPDの放射線耐性の確認

特にAPDの中性子耐性の確認が必要


➡ 東大原子炉「弥生」を用いて確認



Back up

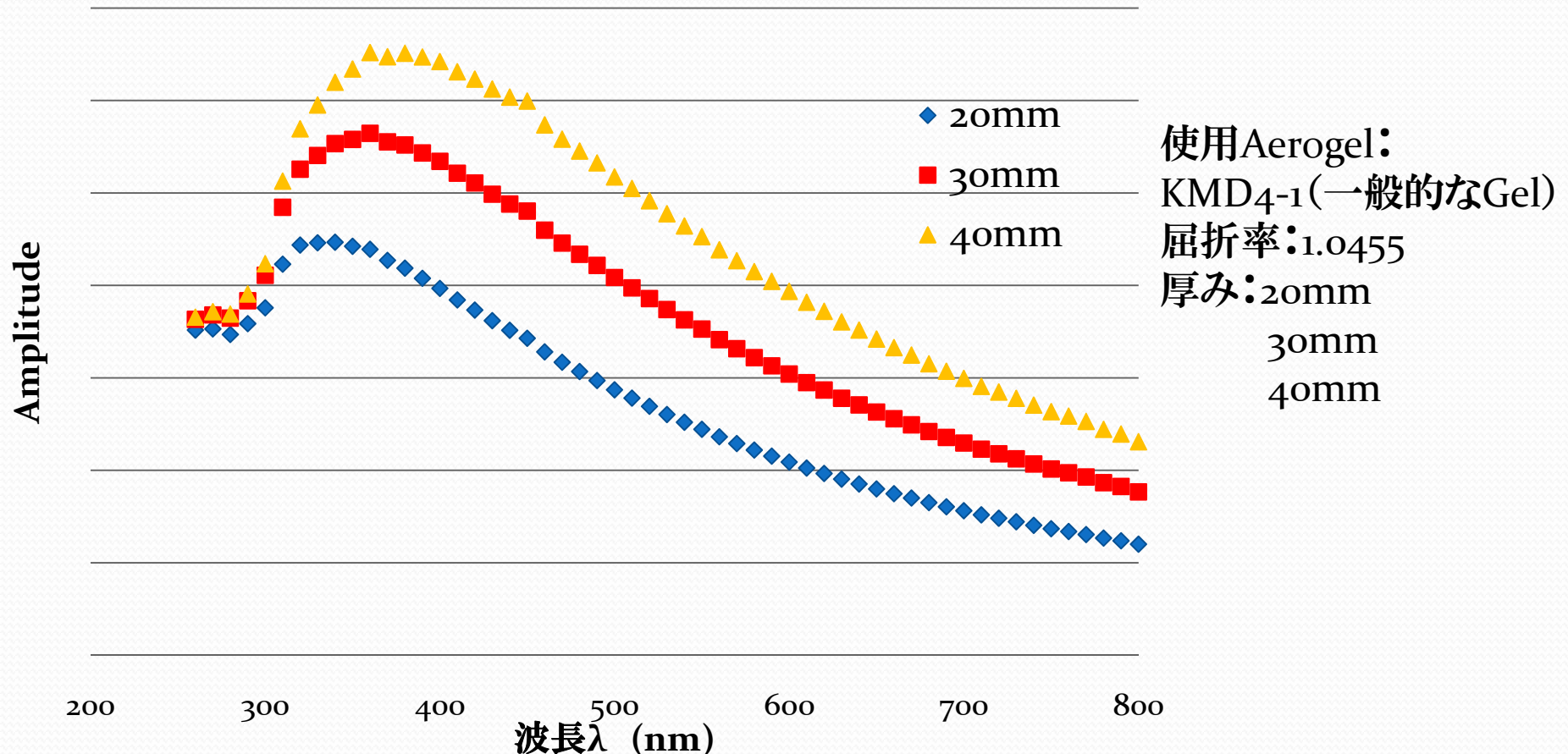
HAPDの課題：I

検出光子数の不足

- ビームテストにおける検出光子数は
最大：5.7 Photon → 不足
Finemesh PMT:9.6Pe MPPC:32Pe(w/ライトガイド)
MCP-PMT:15Pe
 - HAPD光電面：Bialkali 平均ピークQE 23%
検出光子数を増やすには光電面の改善が必要
- 
- 光電面をUltra bialkali (ピークQE:42%)へ
さらに検出光子数を増やす

光電面に到達する光子数比較

Aerogelの厚みによる変化



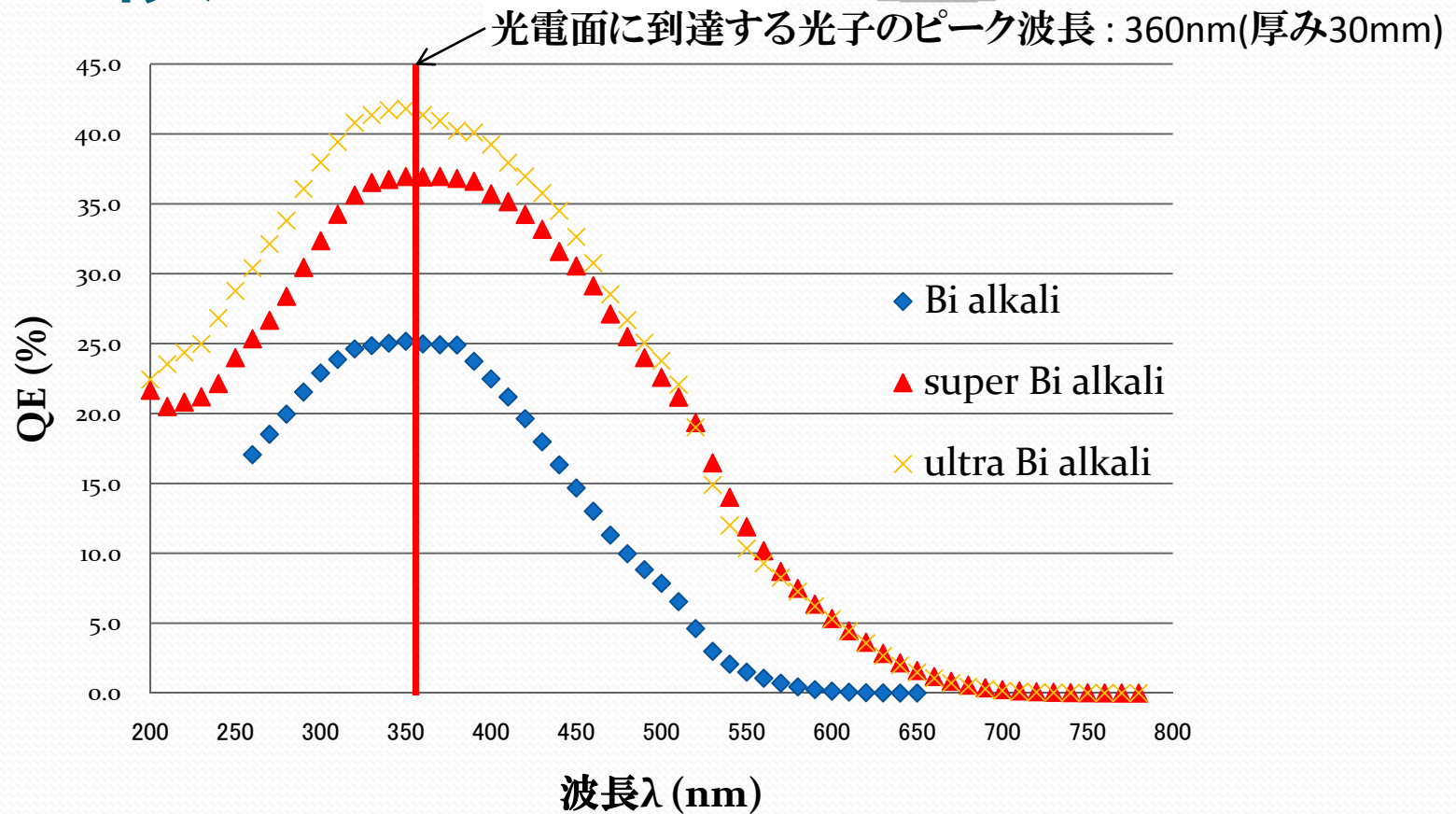
ピーク波長 厚み20mm:340nm

30mm:360nm

40mm:360nm

(Aerogelの透過率から計算した結果)

QE比較



•ピークQE

Bi : 25.2% super : 37% ultra : 41.8%

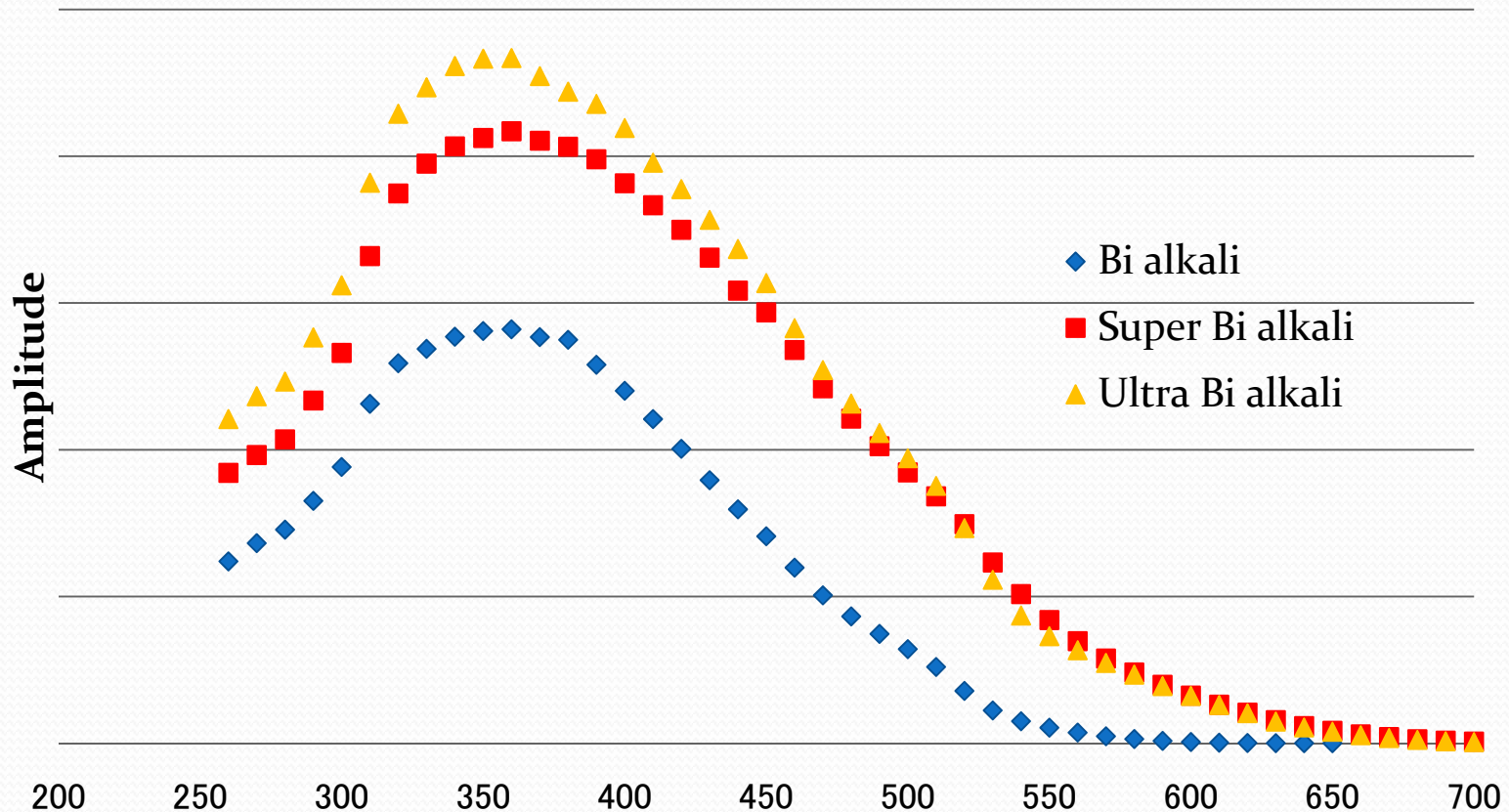
•ピーク波長

Bi : 350nm super : 350nm ultra : 350nm

(QEの分布をプロットしたもの)

計算による検出光子数の比較

gel厚み30mmでの各光電面を用いた比較



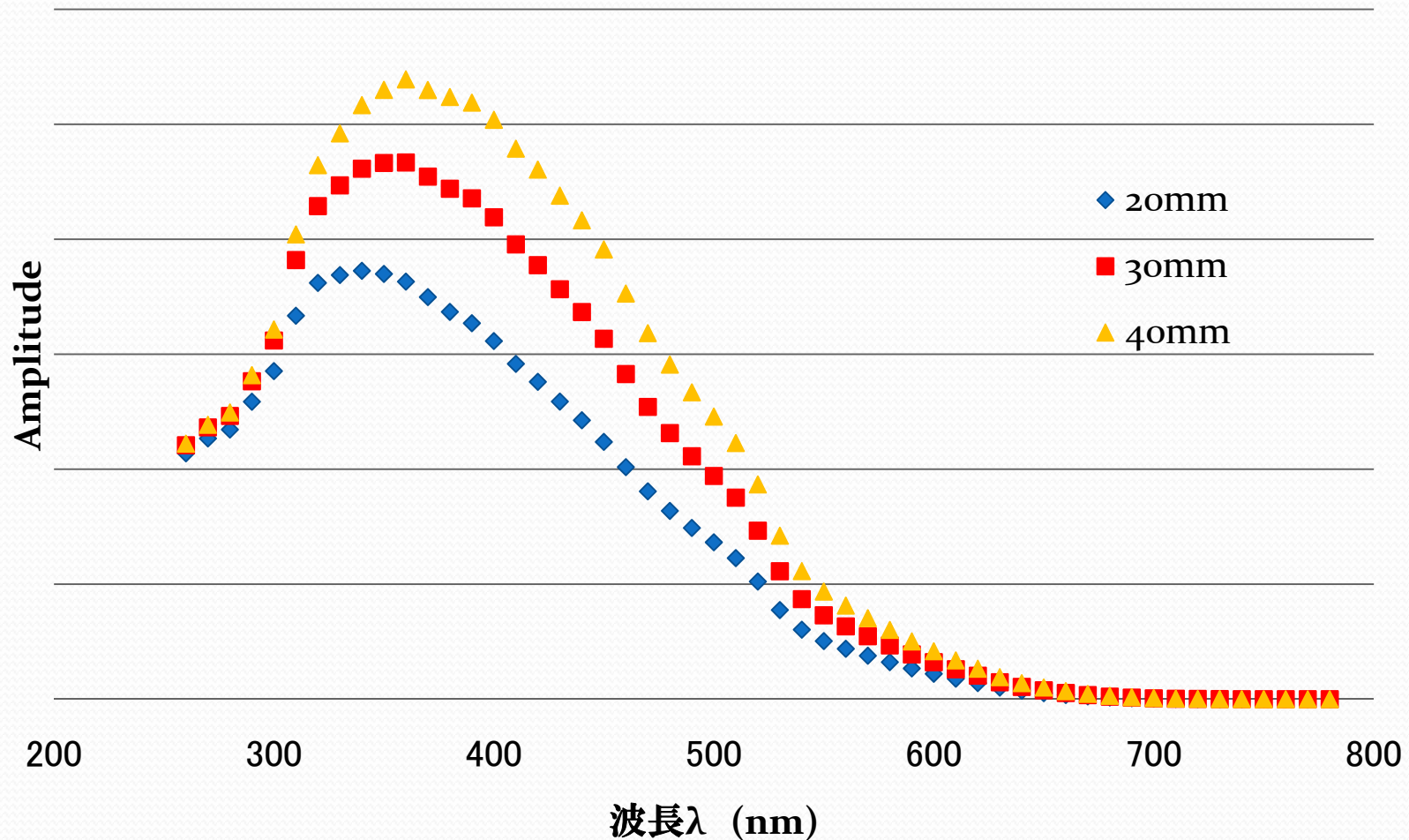
検出光子数比(270~650nm) 波長λ (nm)

Bi : super : ultra = 1 : 1.79 : 1.95

Ultra Bi alkaliではBi alkaliの約2倍の性能向上が見込める
(前に求めた2つの結果を使用)

計算による検出光子数の比較

Ultra Bi alkaliでのgel厚み比較



検出光子数比(270~650nm)

20mm : 30mm : 40mm = 1 : 1.29 : 1.51

検出光子数に関するまとめ

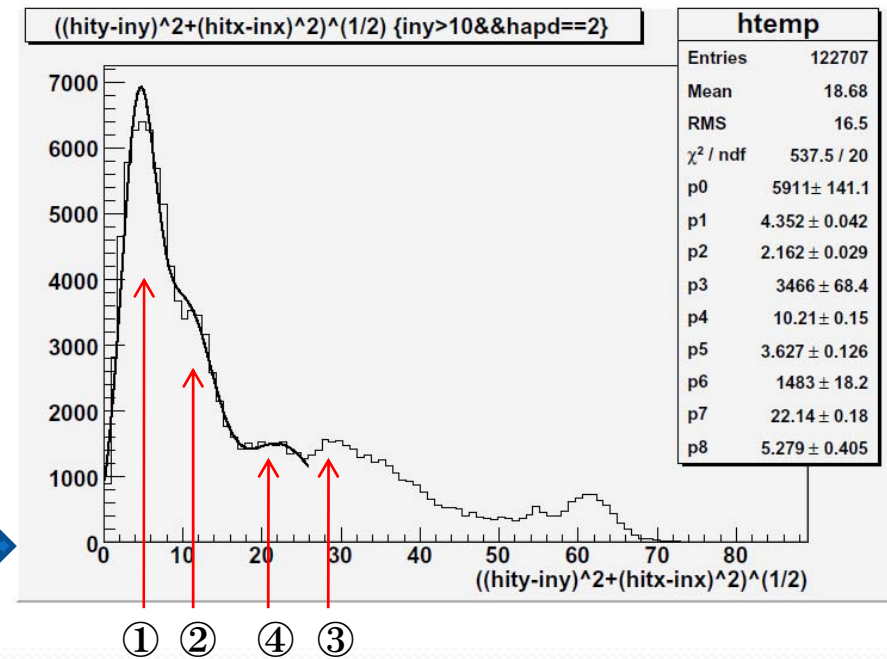
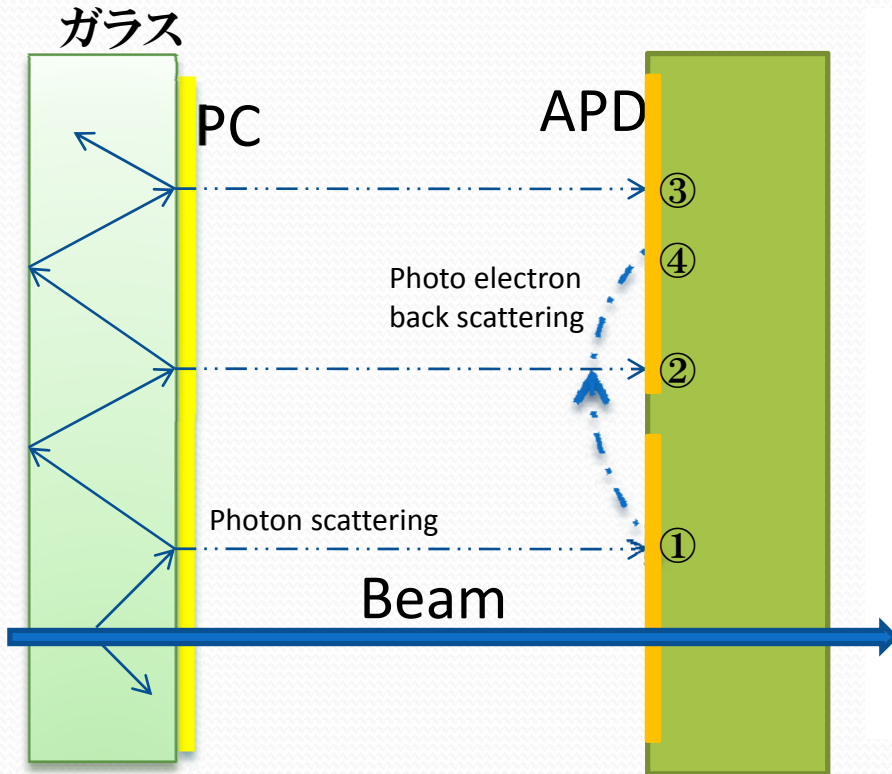
- 光電面をUltra bi alkaliに変更することで現在の2倍の検出光子数を得ることが予想される。
- このことで現在Bi alkaliで 4.7σ (4GeV、6.6Pe、12.6mrad)の識別能力が、 6.6σ まで改善することが見込まれる。
- 現在Ultra bi alkaliを使用したHAPDを作成中である。

HAPDの課題：Ⅱ

中性子耐性の確認

- HAPDの中性子耐性の確認が必要
 - 特にHAPD内のAPDが中性子の弱い可能性
 - 同じ半導体検出器のMPPCは中性子のより性能が低下することが確認されている
- 原子炉を使用した実験を計画
 - 原子炉を用いてBelle内部と同じ量の中性子を照射することで評価の行う

ビームテストでのBackground



- ①～③:ガラス内での光の反射
④ :Photo electron Backscattring