

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 実験のための ビーム近傍光子検出器の開発

Tadashi Nomura (Kyoto U)

この研究は
京大院生の河崎くん、塩見くんが中心になっておこなったものです。

開発の動機

[物理の側面]

- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 実験では中性子起因のバックグラウンドのコントロールが重要 ← KEK-E391a実験の経験
 - バックグラウンド数を抑える有効な検出器を導入したい
 - 実験中に中性子数を測定し続けられる検出器を導入したい

[技術の側面]

- 結晶シンチレータ読み出しスキームの開発
 - 純CsI結晶をベースにした検出器にしたい
 - 場所の制限に対応できるWLSファイバーで読み出したい

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 実験の検出器

■ $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 信号の特徴

□ 2つだけの光子

- 電磁カロリメータでエネルギー、位置等を測定
- π^0 を再構成し運動学的条件を要求

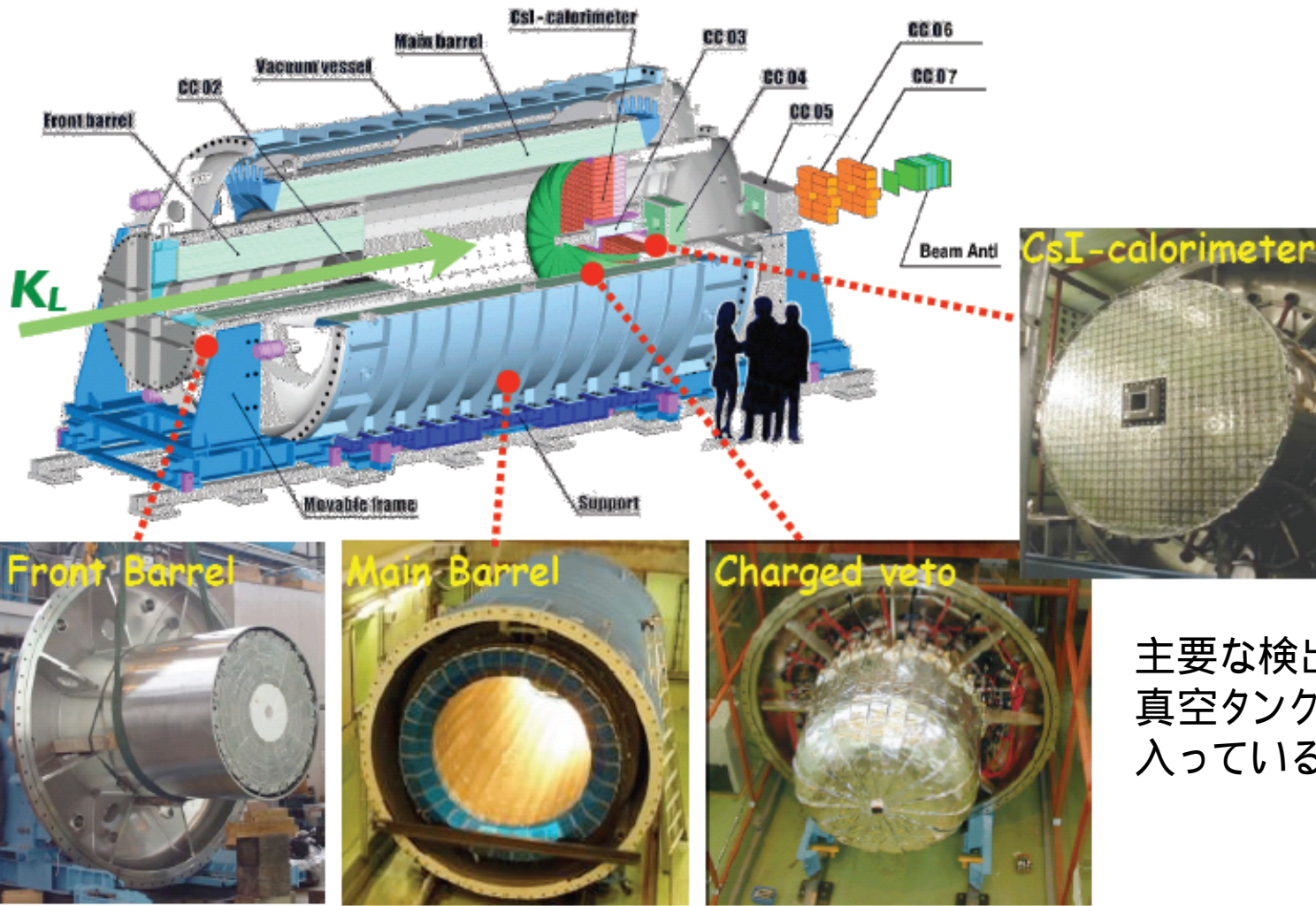
□ 他には何もない

- K_L 崩壊領域全体を検出器でカバー

□ 分岐比は非常に小さい： $O(10^{-11})$

- バックグラウンド事象の抑制が命

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 実験の検出器 (E391a)



主要な検出器は
真空タンク内に
入っている

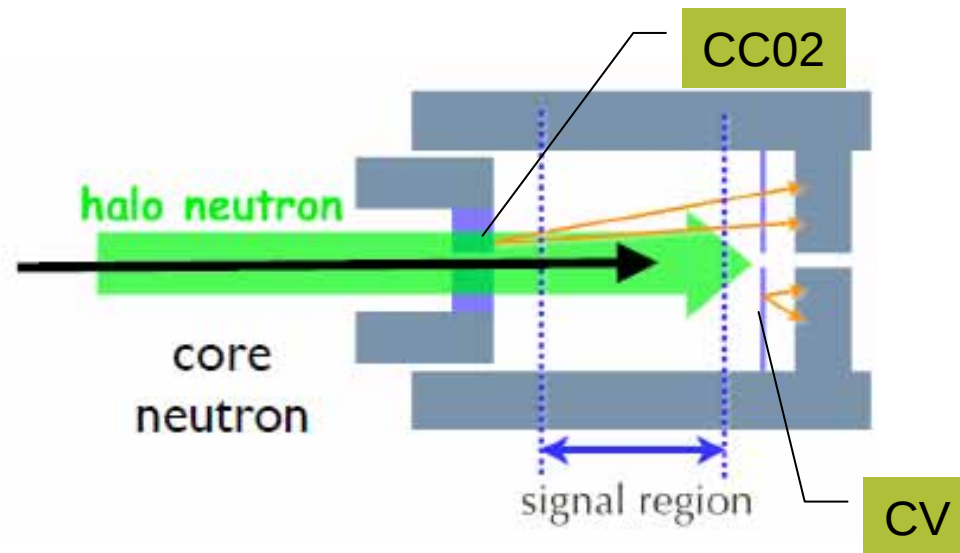
バックグラウンド事象の起源

■ K_L 崩壊

- $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ (余分な2つの光子を検出し損ねる)
- $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ (余分な2つの荷電 π を検出し損ねる)
- $K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu$ (π^- 荷電変換反応と e^+ 対消滅で光子ができる)

■ ハロー中性子

- ビーム近くの検出器と反応して π^0 などを作る
- E391a実験での
メインソース



J-PARCでの実験に向けて

■ KEK-E391a実験 → J-PARC E14実験

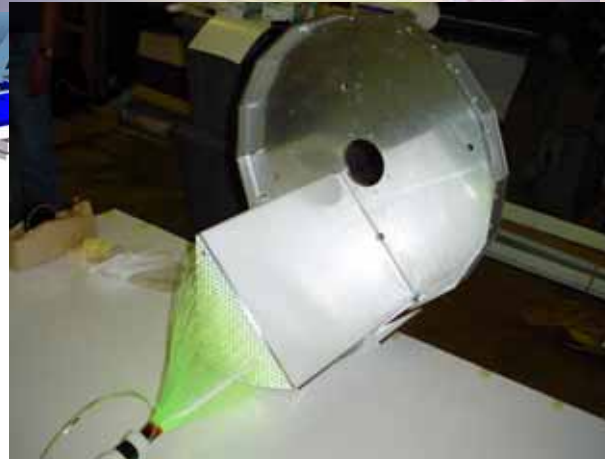
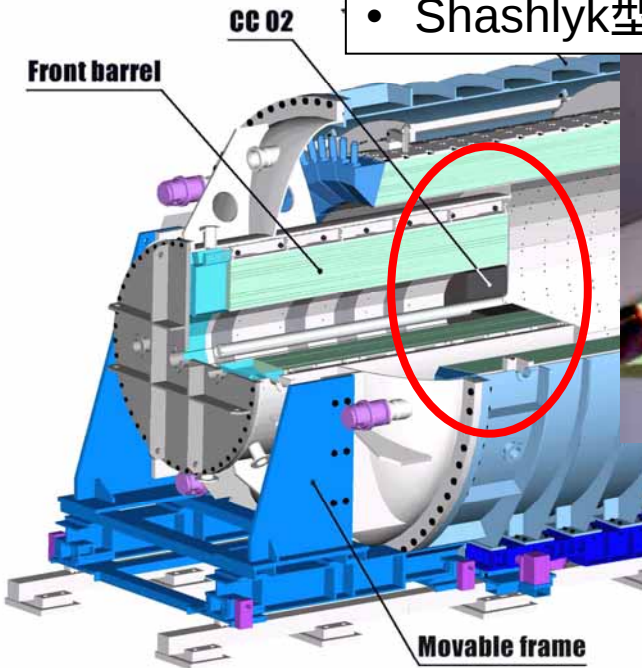
- 基本測定器は同じ
- アップグレード
 - カロリメータ、他

➔ 上流のビーム近傍光子検出器 (E391aではCC02と呼ばれた)
もアップグレードし、

- バックグラウンド事象をさらに減らせる検出器にしよう
- ハロー中性子を測定できるようにしよう

(参考) E391a CC02検出器

- 鉛とシンチの
サンドイッチカロリメータ
- Shashlyk型



デザイン方針 1

- バックグラウンド抑制能力を高める
 - 放射長 X_0 が短く、反応長 λ_I が長い材質を使う
(またはその比が優れている物を使う)
 - 中性子反応を減らす
 - 反応でできた π^0 からの光子を止める

Counter	material	X_0 (cm)	λ_I (cm)	Density (g/cm ³)
CC02	Pb-scint*/ sampling	6.54	57.8	2.75
NCC2	pure CsI/ full active	1.85	36.5	4.53

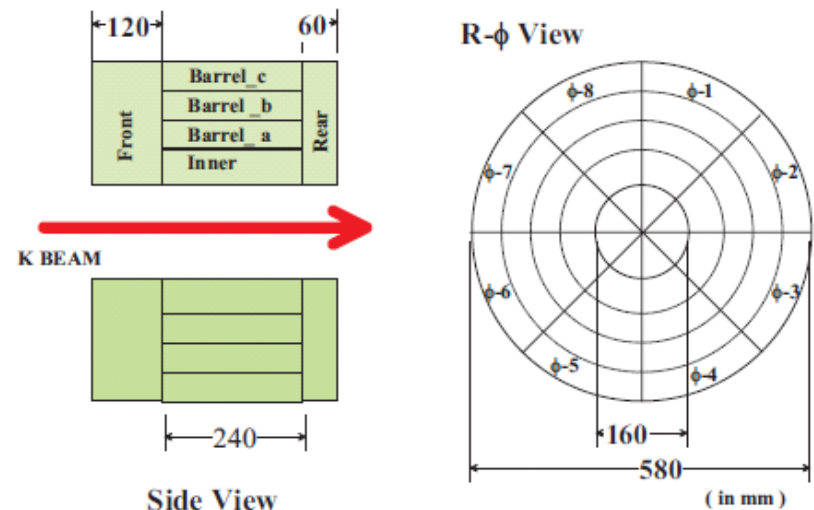
- ➔ Csl結晶をベースにする
(E391aのカロリメータに使用していたものが再利用できる)

デザイン方針2

- 中性子数を測れるデザインにする
 - K_L 崩壊から来る粒子によるヒットが支配的 (約1桁上)
 - 中性子信号を光子などから弁別しなければならない

→ セグメント化する

- 光子は表層から反応を起こしやすく、中性子は一様である
- K_L 崩壊は複数の粒子を伴い、2個以上ヒットしやすい
- ...



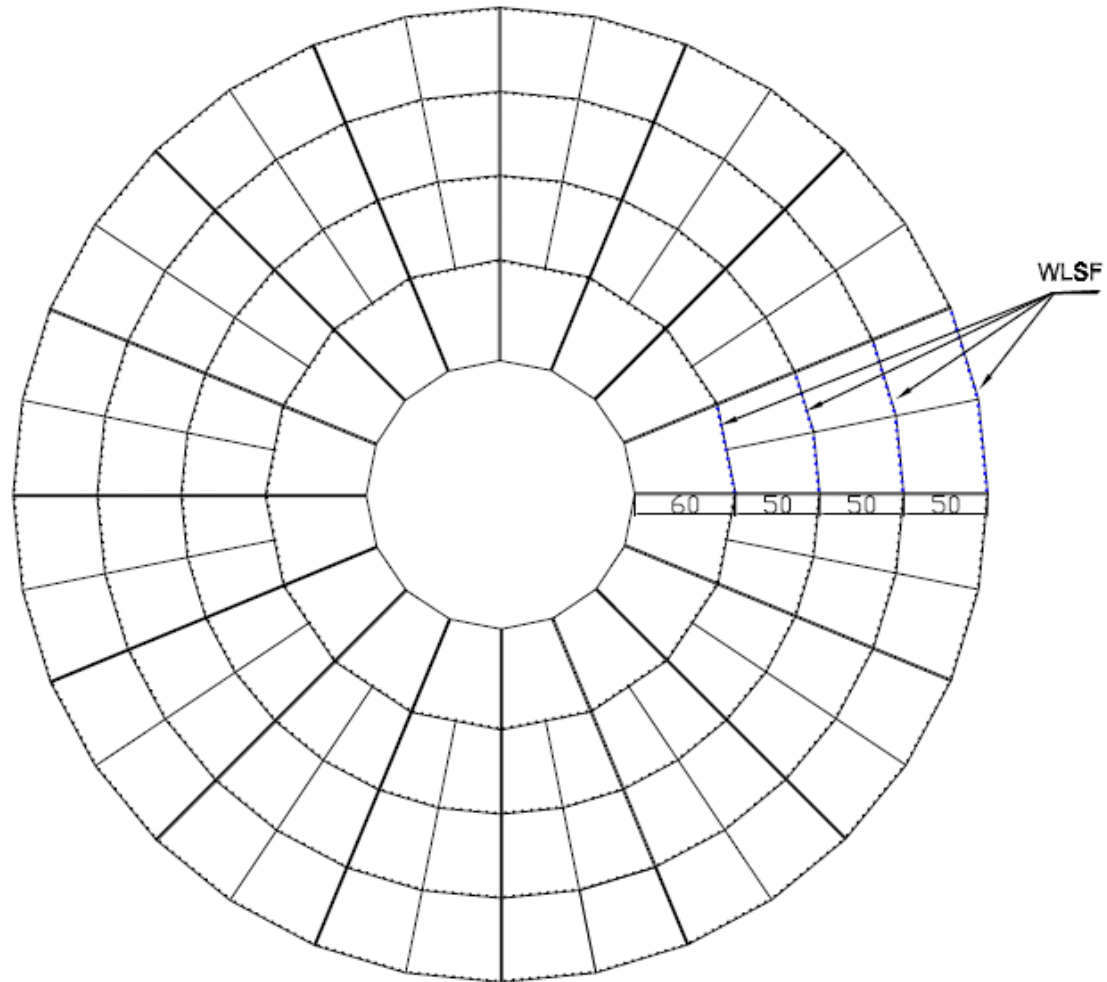
デザイン方針3

- 純CsI結晶シンチレータをWLSファイバーで読む
 - 設置場所の制約を満たしやすい
 - 数本の結晶を一つのPMTでまとめて読める
 - ファイバーの吸収帯を利用すれば速い発光成分のみ選択的に使える
(高計数率下で使う場合、光学フィルターによって速い発光成分の波長域以外を排除して使われている)
- 十分な光量を得られるか？
→ ファイバーの選択(種類、径、本数など)が重要

技術開発の主題

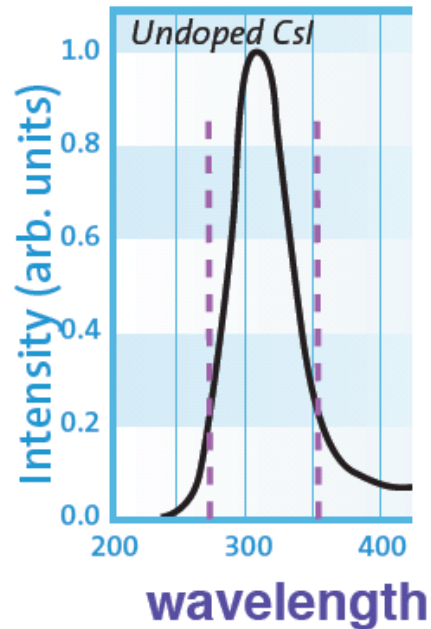
Barrel NCC

- 7cmx7cmx30cm
CsI結晶を加工
- 4レイヤー、オクタント
 - 第一レイヤー
 - 2ブロックで1オクタント
 - 第二～第四レイヤー
 - 4ブロックで1オクタント



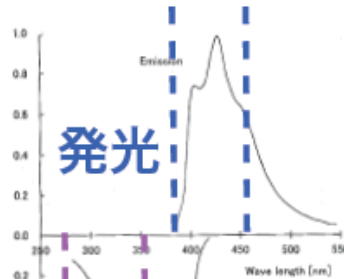
CsI結晶シンチレータ + WLSファイバー読み出しのテスト

CsI $\rightarrow$ WLSF $\rightarrow$ PMT



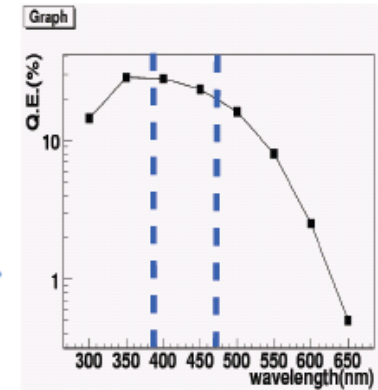
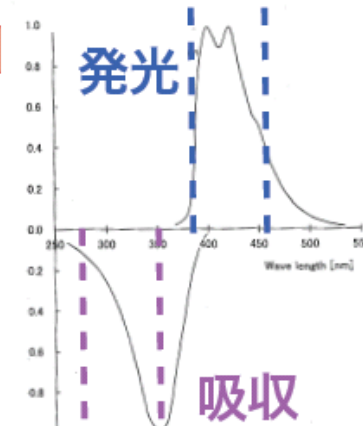
CsIの発光波長

B2



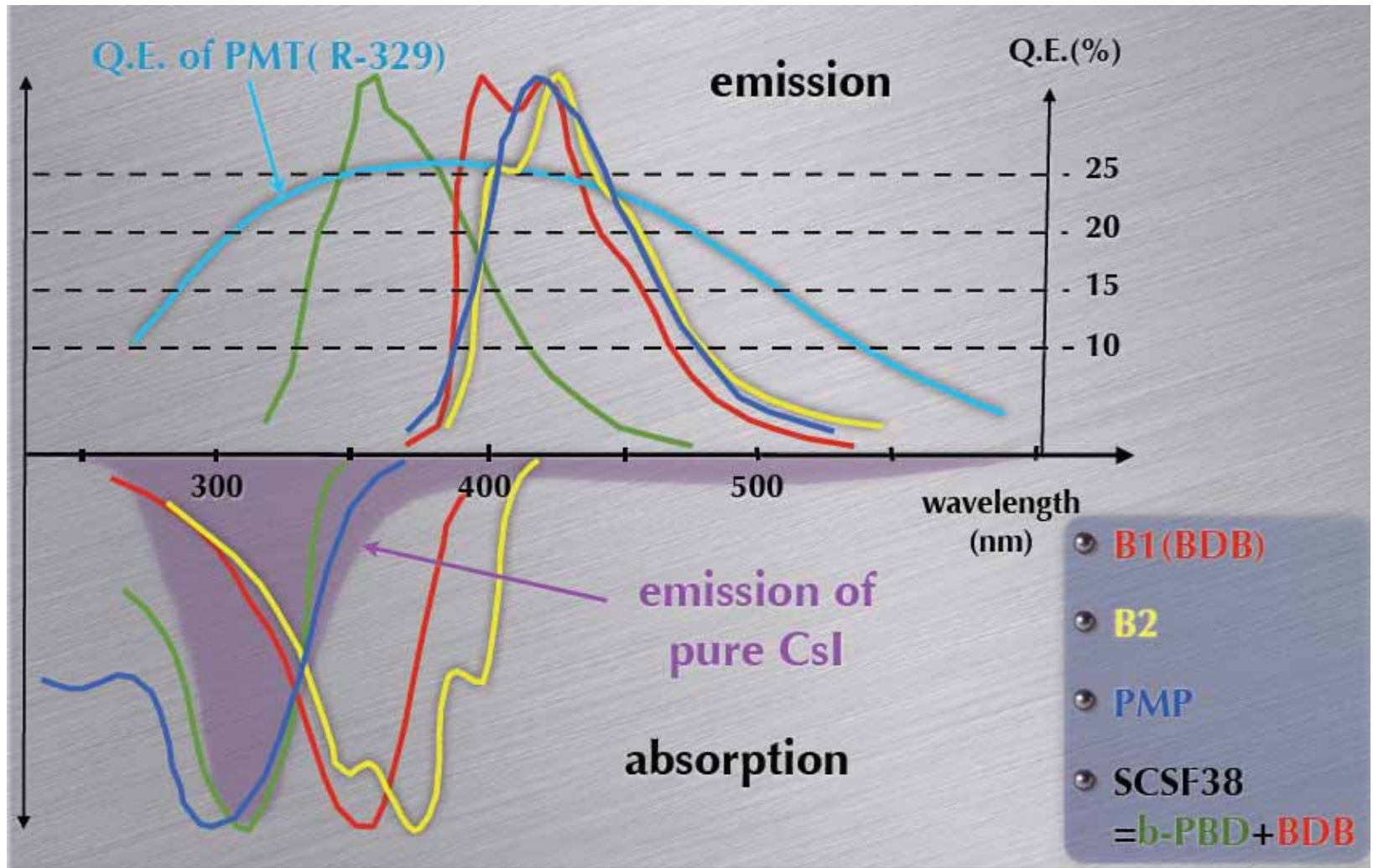
WLS-Fiberの
吸収・発光波長

B1



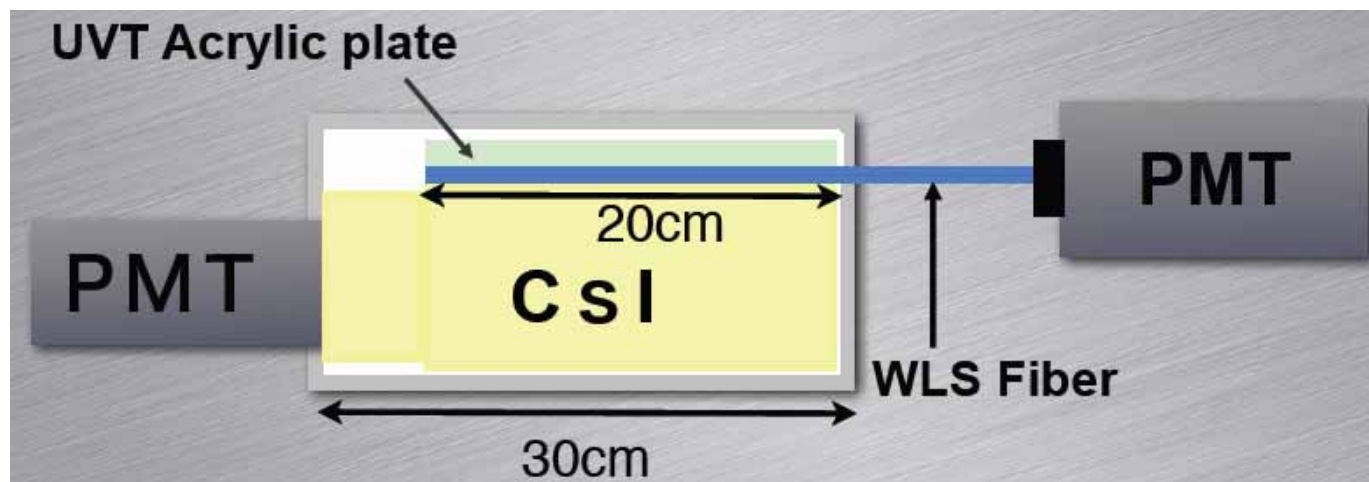
R329の
量子効率

発光→吸収→再発光スペクトラム

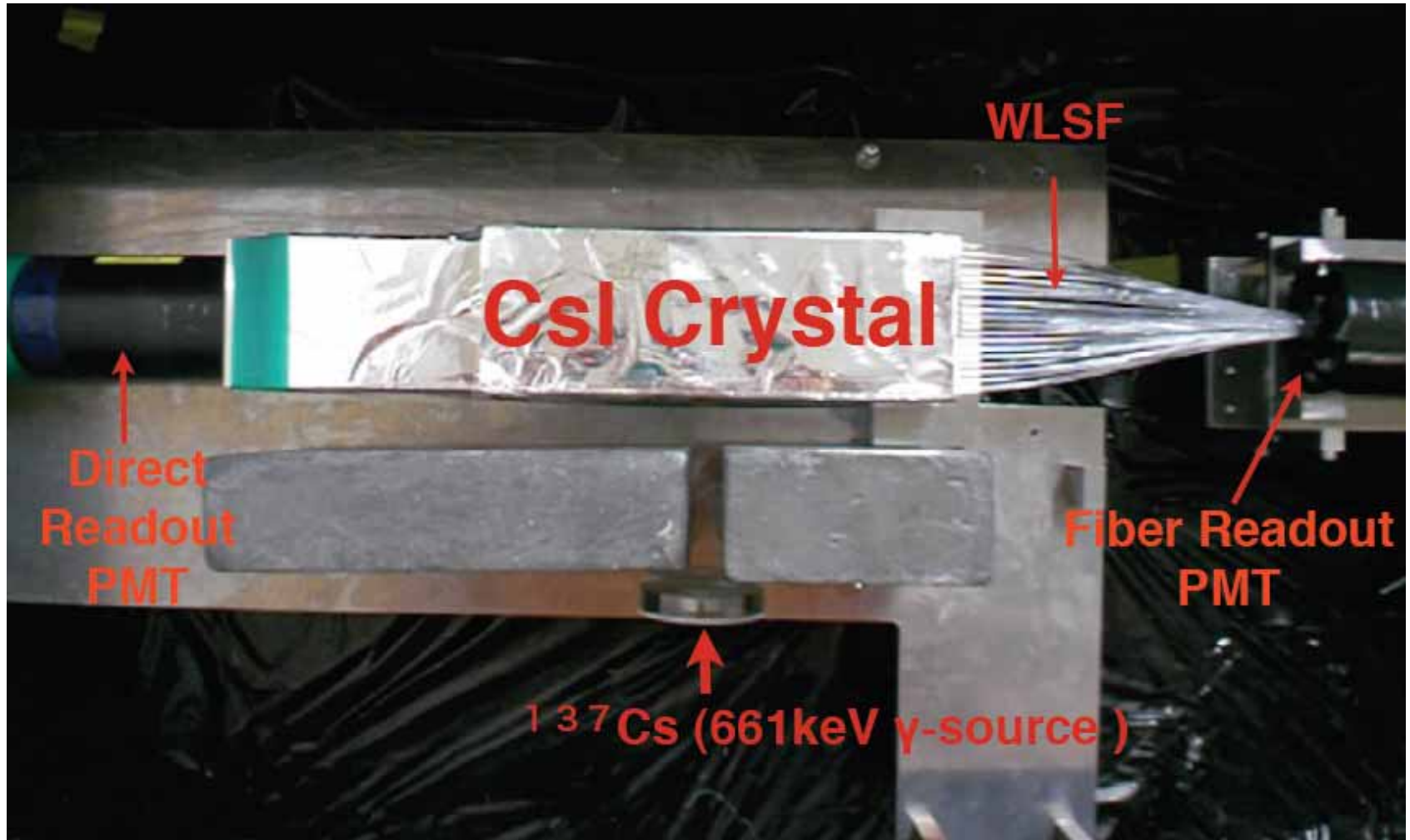


光量の評価

- アクリル板に溝を切り、WLSファイバーを埋め込んだものをCsI結晶側面からあてがって試験をする
 - ファイバー本数
 - ファイバー直径
 - ファイバー種類などを最適化する



光量評価セットアップ



比較結果ダイジェスト ファイバー種類

B1 2.0mm
vs
B2 2.0mm
(19 fibers)

Fiber type	light yield(/MeV)
B1 2.0mm	5.53 ± 0.01 p.e.
B2 2.0mm	3.40 ± 0.01 p.e.

↑ ×1.63

B1 2.0mm
vs
SCSF38 2.0mm
(one fiber)

B1 2.0mm	0.506 ± 0.012 p.e.
SCSF38 2.0mm	0.551 ± 0.005 p.e.

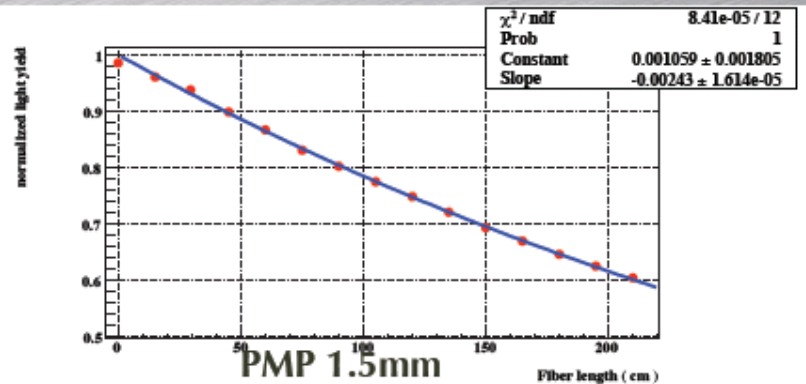
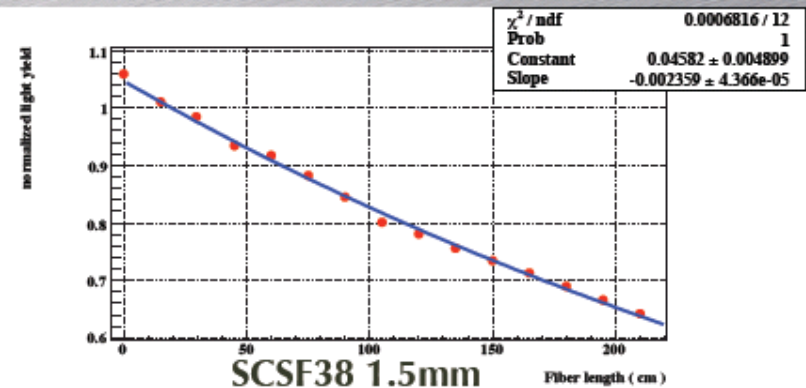
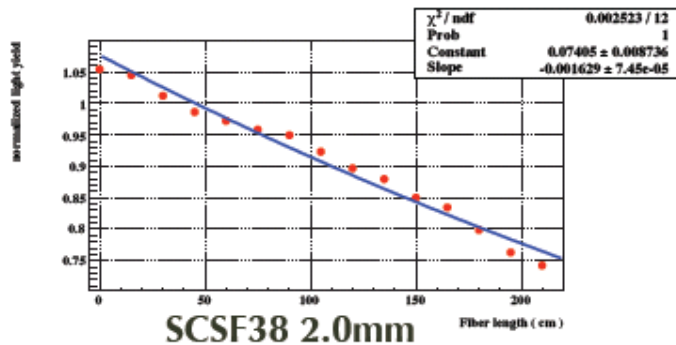
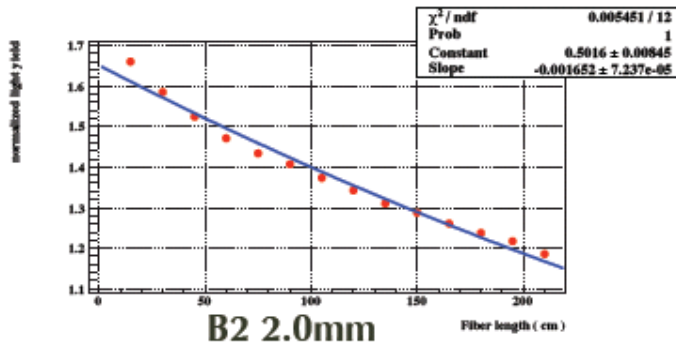
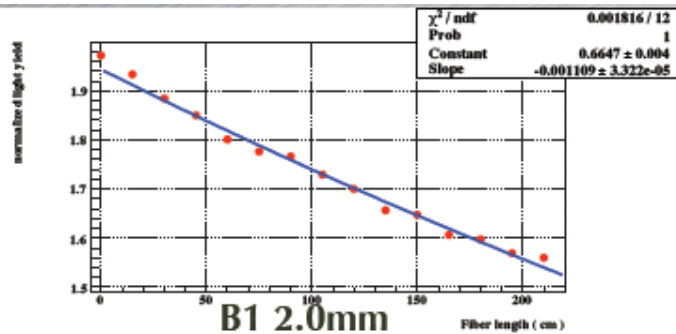
↓ ×1.09

SCSF38 1.5mm
vs
PMP 1.5mm
(one fiber)

SCSF38 1.5mm	0.353 ± 0.011 p.e.
PMP 1.5mm	0.423 ± 0.008 p.e.

↓ ×1.20

各ファイバーの減衰長



比較結果ダイジェスト ファイバー減衰長

Fiber type	attenuation length(cm)
B1 2.0mm	855 ± 30
B2 2.0mm	568 ± 32
SCSF38 2.0mm	613 ± 25
SCSF38 1.5mm	448 ± 5
PMP 1.5mm	416 ± 3

比較結果ダイジェスト 光量 × 減衰効果

fiber type (2.0mm)	Normalized L.Y. after 2.5m
B1	1.00
B2	0.53
SCSF38	0.97
PMP (if $\lambda=4.16\mu\text{m}$)	~ 0.95
PMP (if $\lambda\sim 6\mu\text{m}$)	~ 1.15

波形

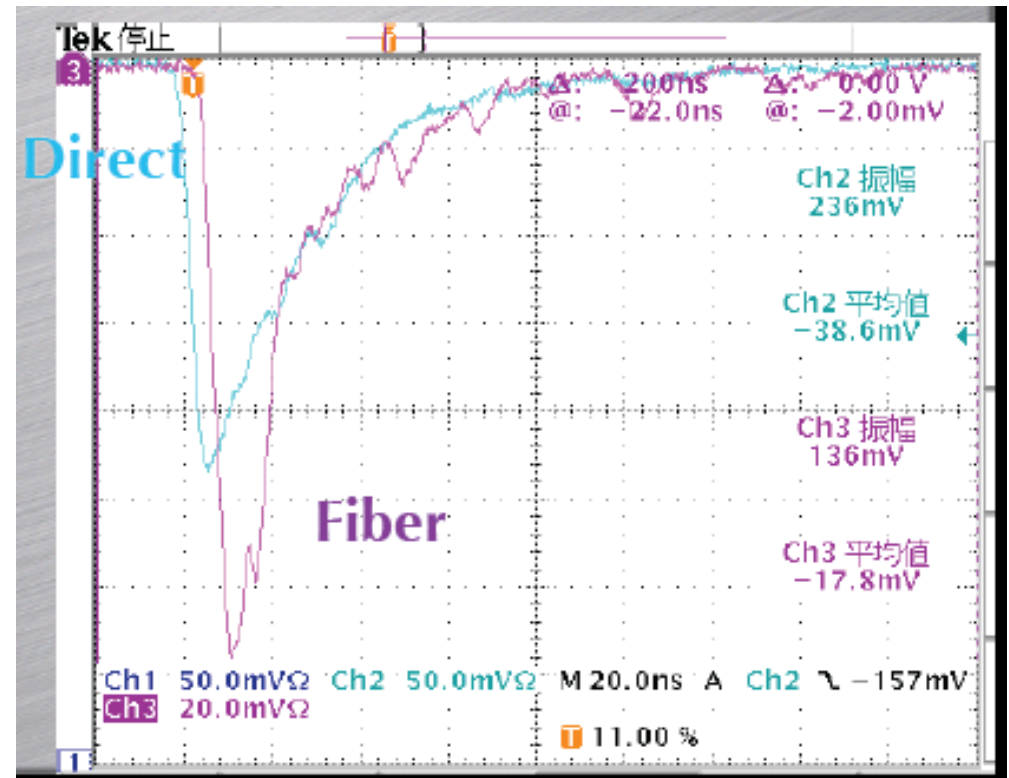
■ 宇宙線による波形

□ Direct

- CsIに直接取り付け
- PMT: R2256 (quartz窓)
- 光学フィルターなし

□ Fiber

- B1ファイバー19本
- PMT: R329



今回触れなかったその他のスタディ

- ビームテスト @フェルミ研 (2007年12月)
 - ミューオン・ラン
 - FADC読み出しの試験
(E14実験の標準読み出しスキーム)
- シミュレーションによる
中性子 / 光子弁別手法のスタディ
- シミュレーションによる
バックグラウンド事象削減効果のスタディ

まとめ

- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 実験用ビーム近傍検出器の開発
 - CsI結晶をベースとした検出器を提案
 - 高いバックグラウンド事象排除能力を持つ
 - 光子検出器と中性子測定器の機能を合わせ持つ
 - Z方向、 ϕ 方向に分割されたデザイン
 - CsI結晶の波長変換ファイバーでの読み出しを試験
 - 波形、光量などを評価
 - ファイバー種類、径、本数などを最適化
- ➔ 実用できる可能性が高いことが得られた

今後

■ さらなる最適化

- Csl結晶に直接溝を作ってファイバーを埋め込む
- 集光メカニズムの理解(シミュレーション)

ここまで今年度中

■ 試作

■ ビームサーベイ実験での試用

■ J-PARC E14実験への導入