

KamLAND2-Zen実験に向けた 新液体シンチレータの性能測定

新学術領域 A班若手研究会@京都大学

2018/11/8~9

東北大学 ニュートリノ科学研究センター

和田 佳樹

Motivation

将来計画：KamLAND2-Zen実験

目標

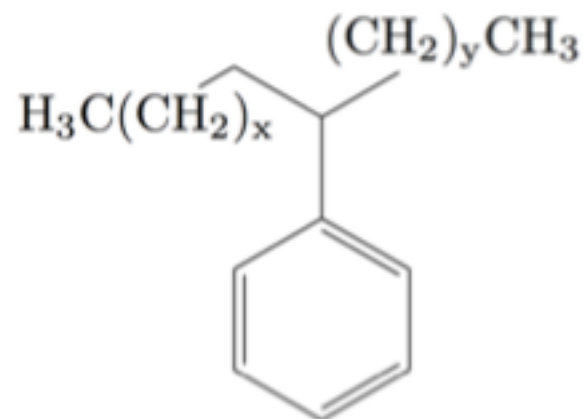
$$\Delta E/E \sim 2\%$$

$$\langle m_{\beta\beta} \rangle \sim 20\text{meV}/5\text{years}$$

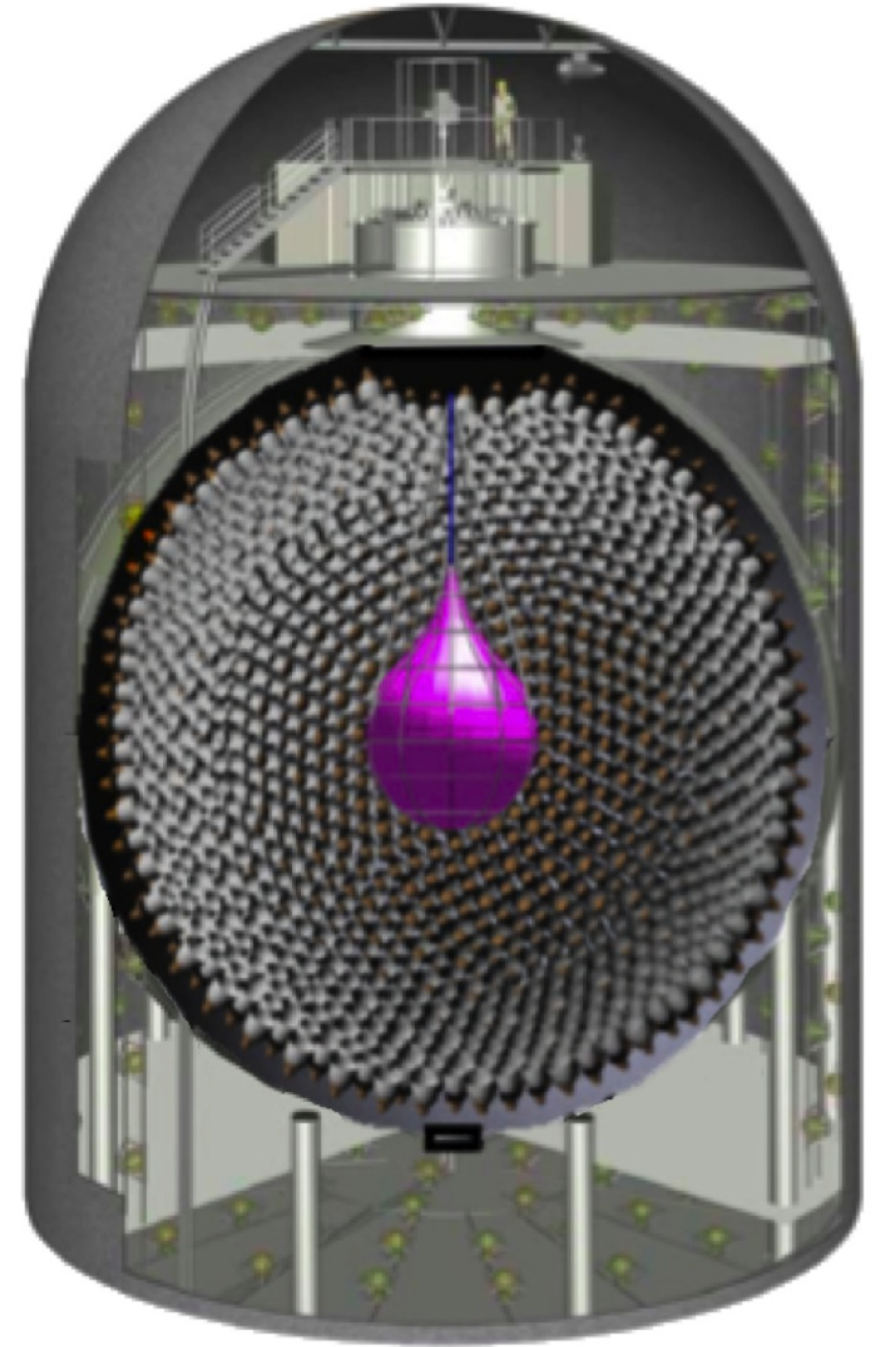
改善点

- ^{136}Xe の増量 $\sim 1000\text{kg}$
- High Q.E. PMT 集光量 $\times 2.1$
- 集光ミラー 集光量 $\times 1.8$
- 新液体シンチレータ 集光量 $\times 1.5$

候補：リニアアルキルベンゼン (LAB)



- 発光量が多い
- 透過率が高い



新液体シンチレータ候補

ミニバルーンフィルムによって分類

1. ナイロンフィルム

Outer-LS

- LAB + PPO (LAB-LS)
- PC + N12 + PPO (KamLAND-LS)

Xe-LS

- LAB + パラフィンオイル + PPO + Xe
- PC + パラフィンオイル + PPO + Xe

パラフィンオイル

- サンプル2 (B社)

高透過率

Xe-LSに必要な条件

- Outer-LSと同じ密度
- 発光量が多い
- 透過率が高い
- Xe溶解度が高い

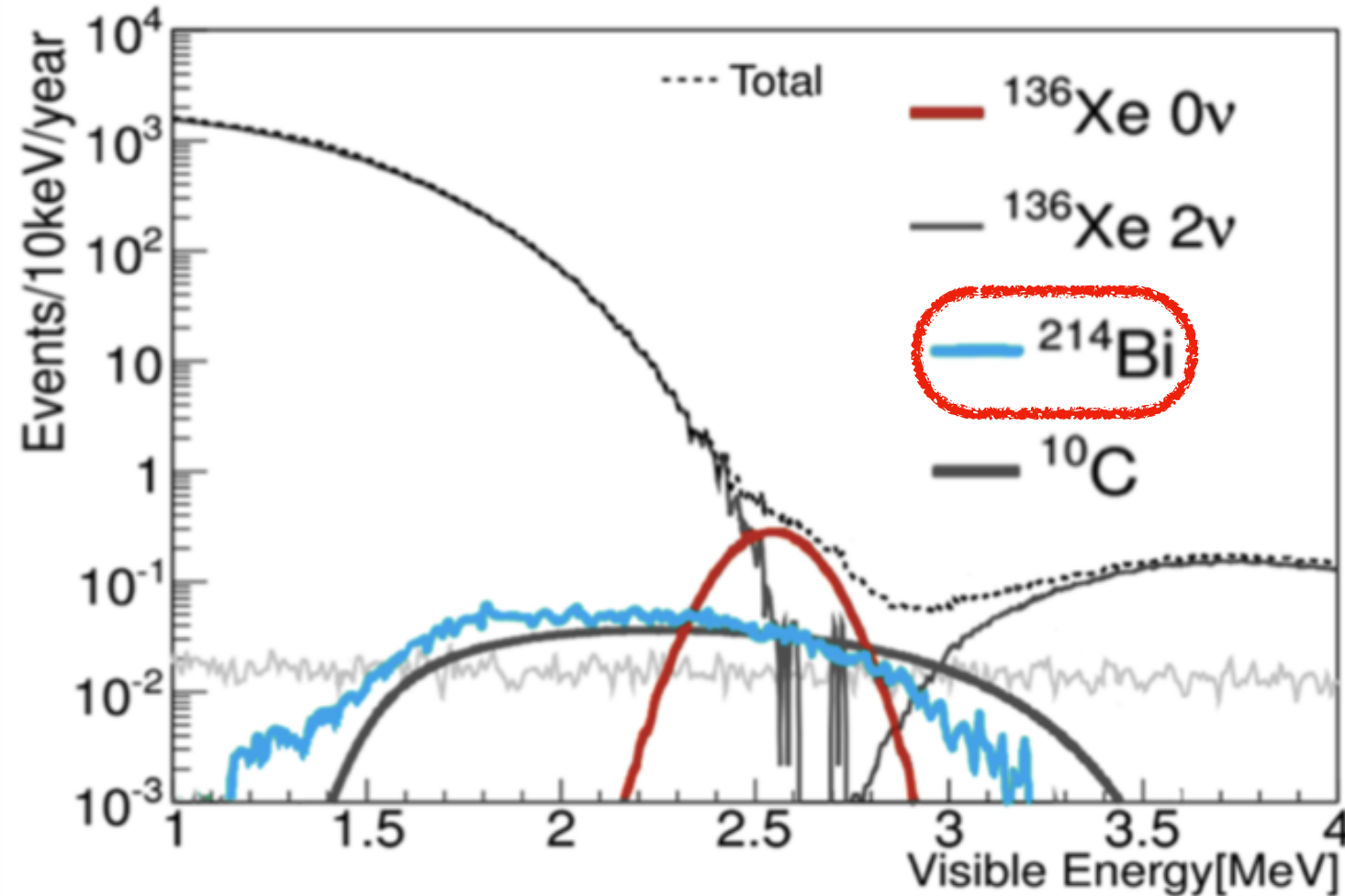
2. シンチレーションフィルム

PPO → PPO + Bis-MSB (波長変換剤)

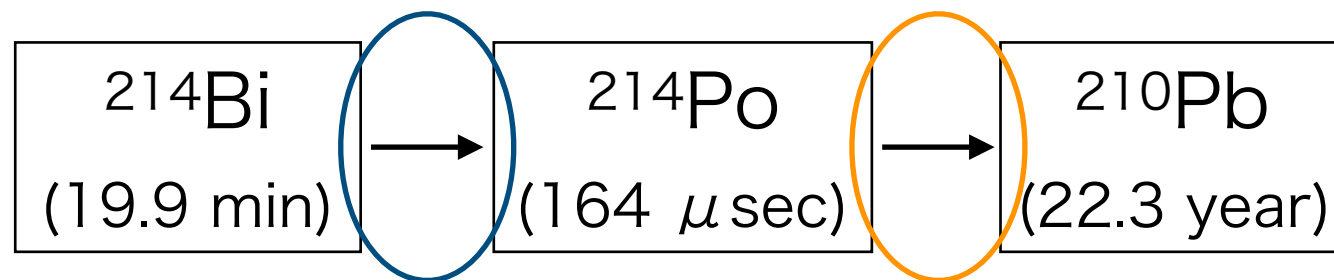
目標：LS組成の決定

シンチレーションフィルム

なぜ使うのか？



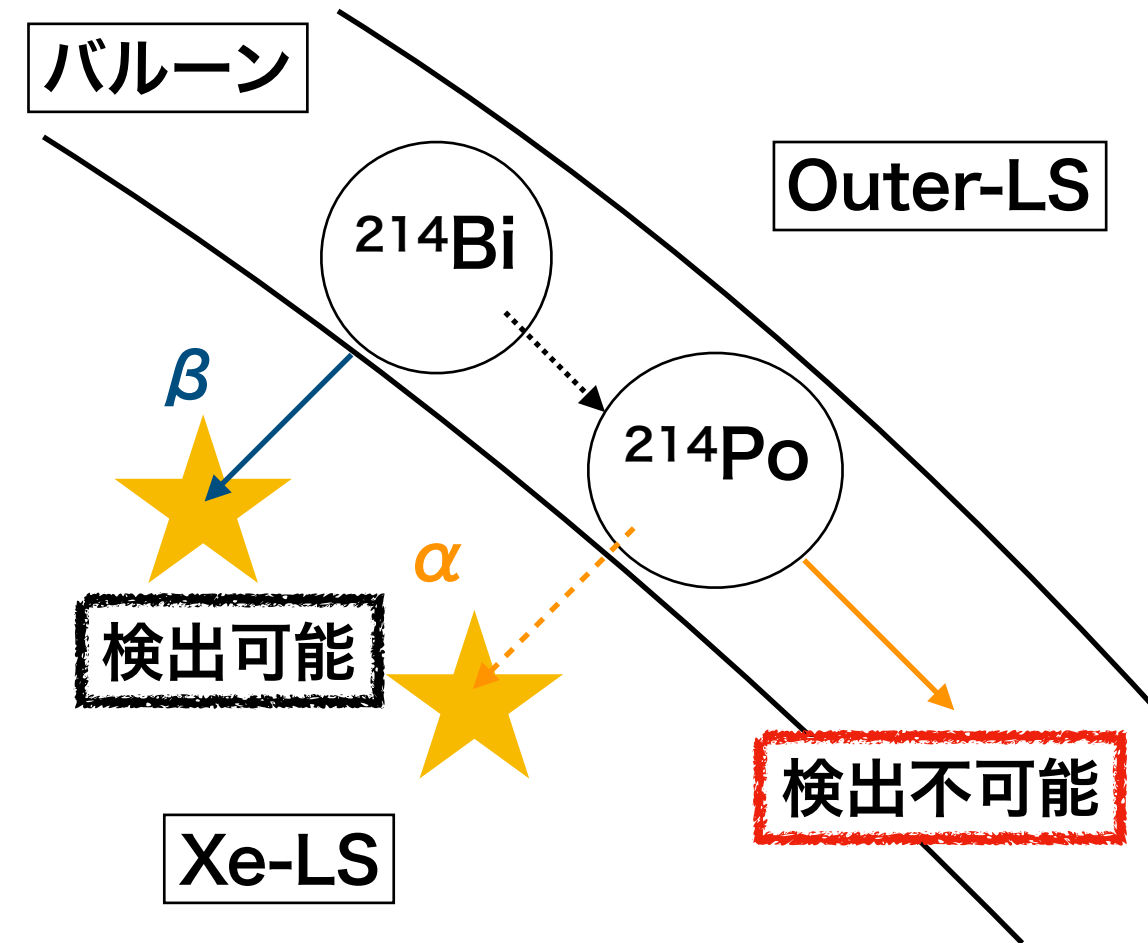
^{214}Bi はミニバルーン由来のBG



β 3272keV
Prompt signal

α 7687keV
Delayed signal

小原さんによる先行研究



バルーンが光れば、Bi-Poタグ効率増加

^{214}Bi バックグラウンド減少

解析で使える有効体積が広がる

シンチレーションフィルム

小原さんによる先行研究

候補：ポリエチレンナフタレート(PEN)



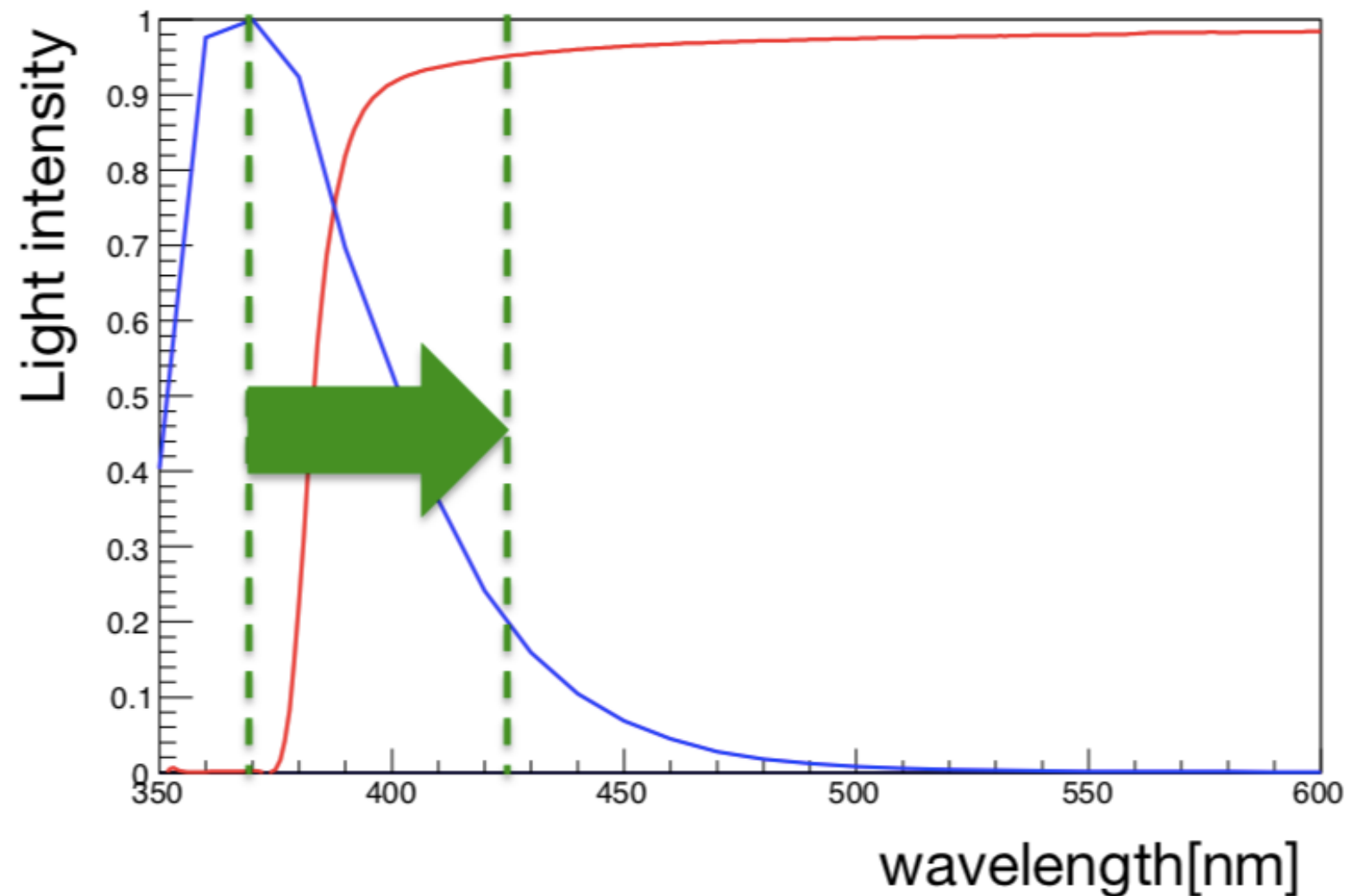
実験結果まとめ

実験	結果	コメント
α 線による シンチレーション	○	
発光量	○	
PC 耐性	○	ダメージ なし
透過率	△	LSの発光ピークで 低い
溶着	○	漏れなし

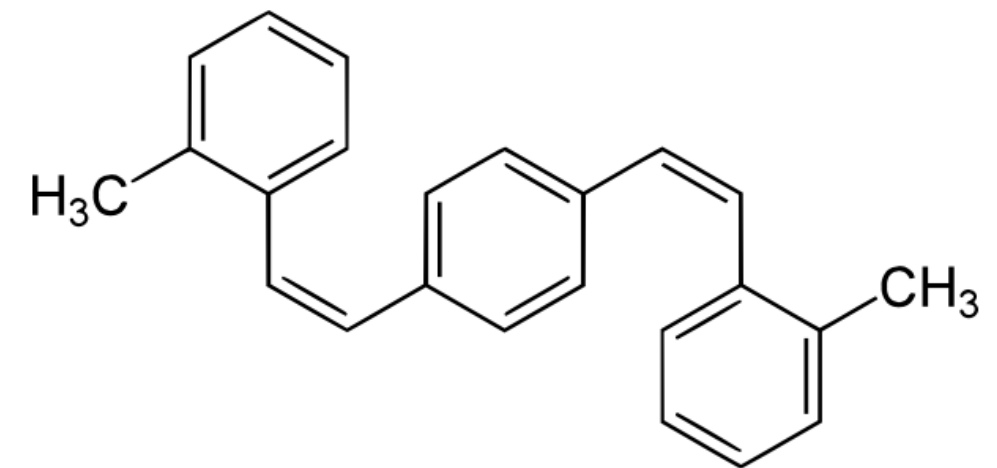
透過率に問題あり

波長変換剤

小原さんによる先行研究



Bis-MSB



- 吸収波長：375nm
@LSの発光ピーク付近
- 発光波長：420nm
@PENフィルムが高い透過率

— PEN film transmittance (50μm thickness)
— LS light emission spectrum

性能測定

シンチレータ性能

- 発光量
- 透過率
- 密度 (g/cm³)
- Xe溶解度
- 散乱
- 再発光

今回の発表

発光量、透過率は以下の4サンプルで測定
Xe溶解度はLABで測定

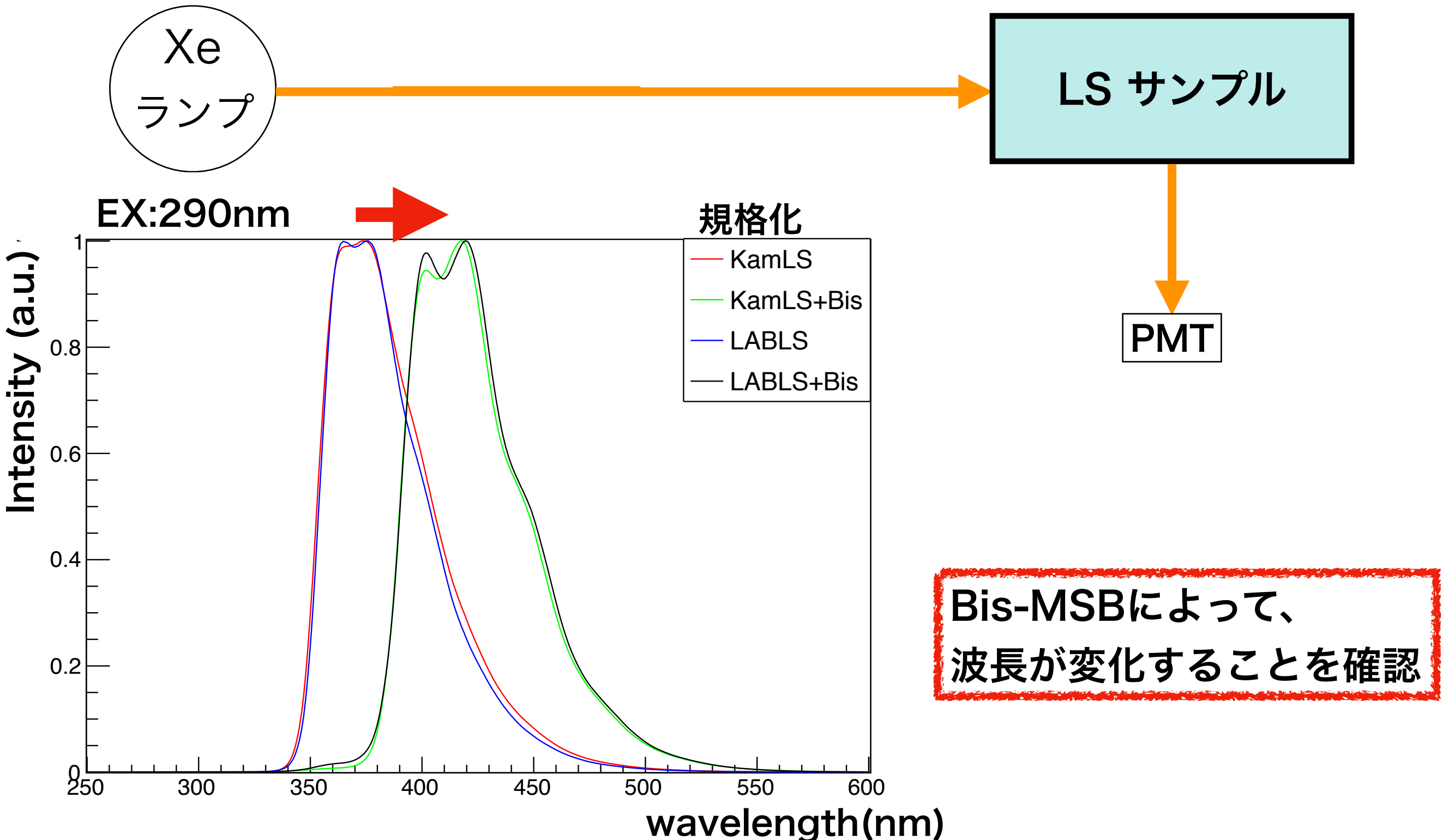
サンプル

1. KamLAND-LS PC 19.8% + N12 80.2% + PPO 1.36g/l
2. LAB-LS LAB + PPO 2.00g/l
3. KamLAND-LS + Bis-MSB
 PC 19.8% + N12 80.2% + PPO 1.36g/l + Bis-MSB 15mg/l
4. LAB-LS + Bis-MSB LAB + PPO 2.00g/l + Bis-MSB 15mg/l

Daya BayやJUNOに倣って、Bis-MSBは 15mg/L

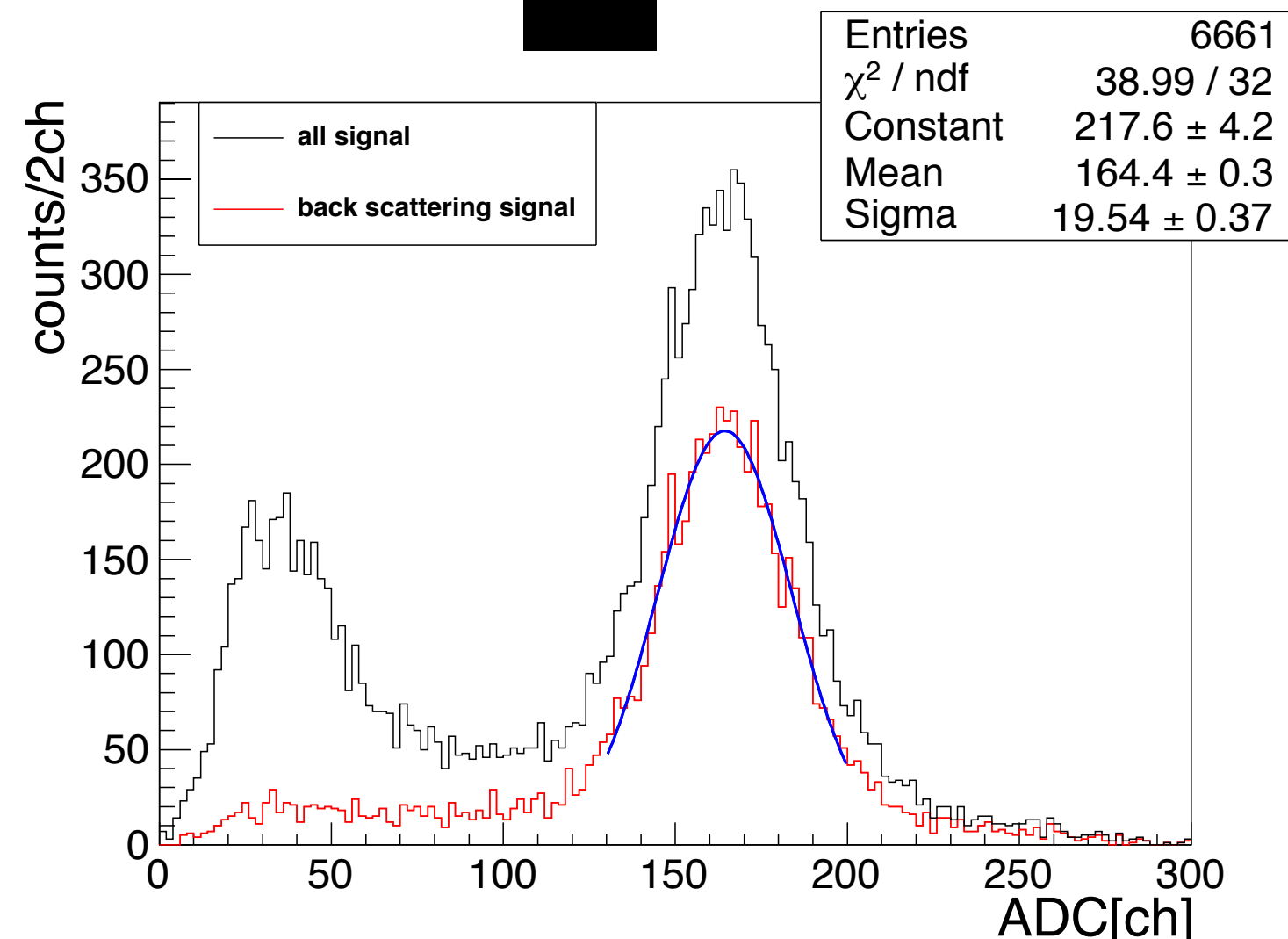
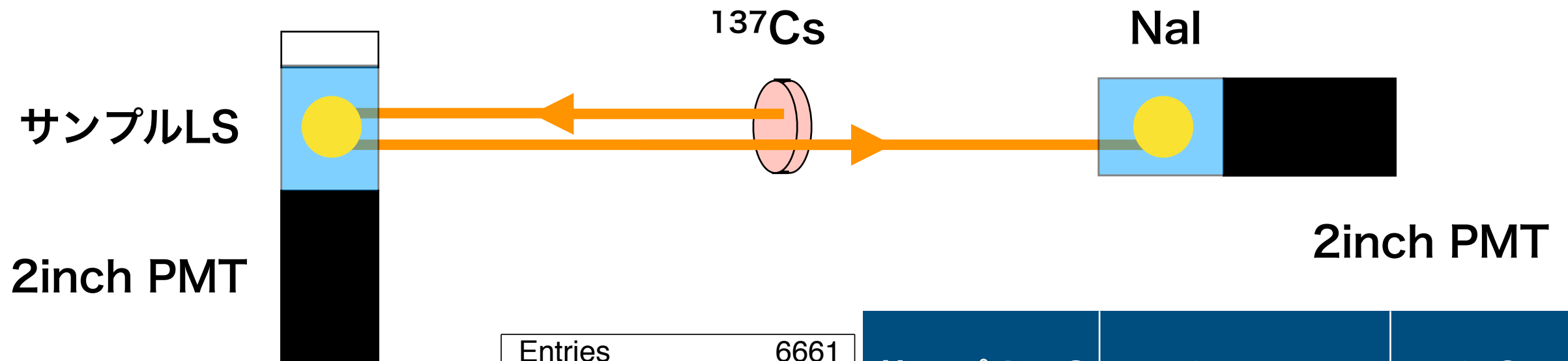
発光スペクトル

方法



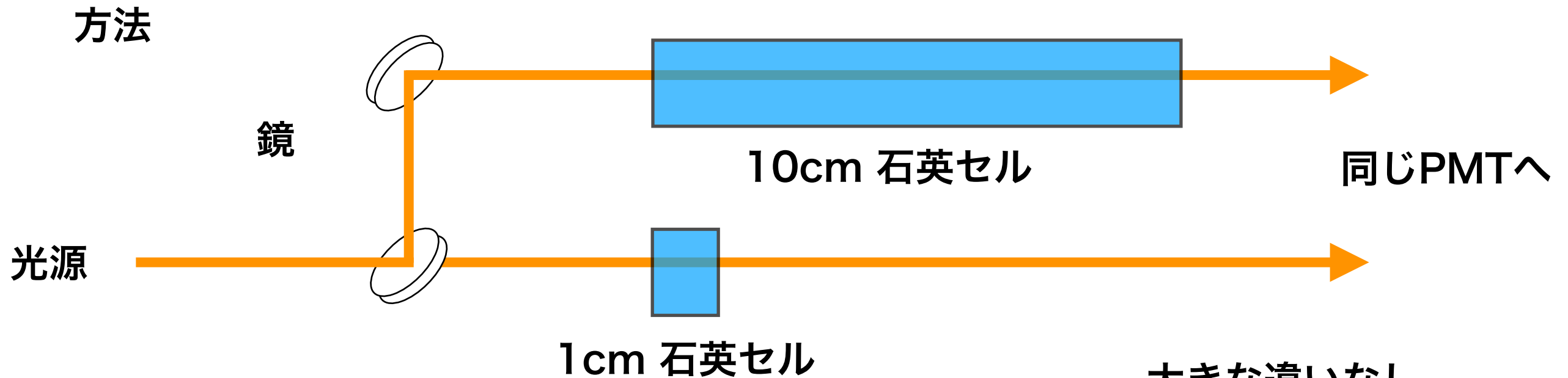
発光量測定

方法：同時遅延計測を用いた後方散乱測定 (線源： ^{137}Cs)



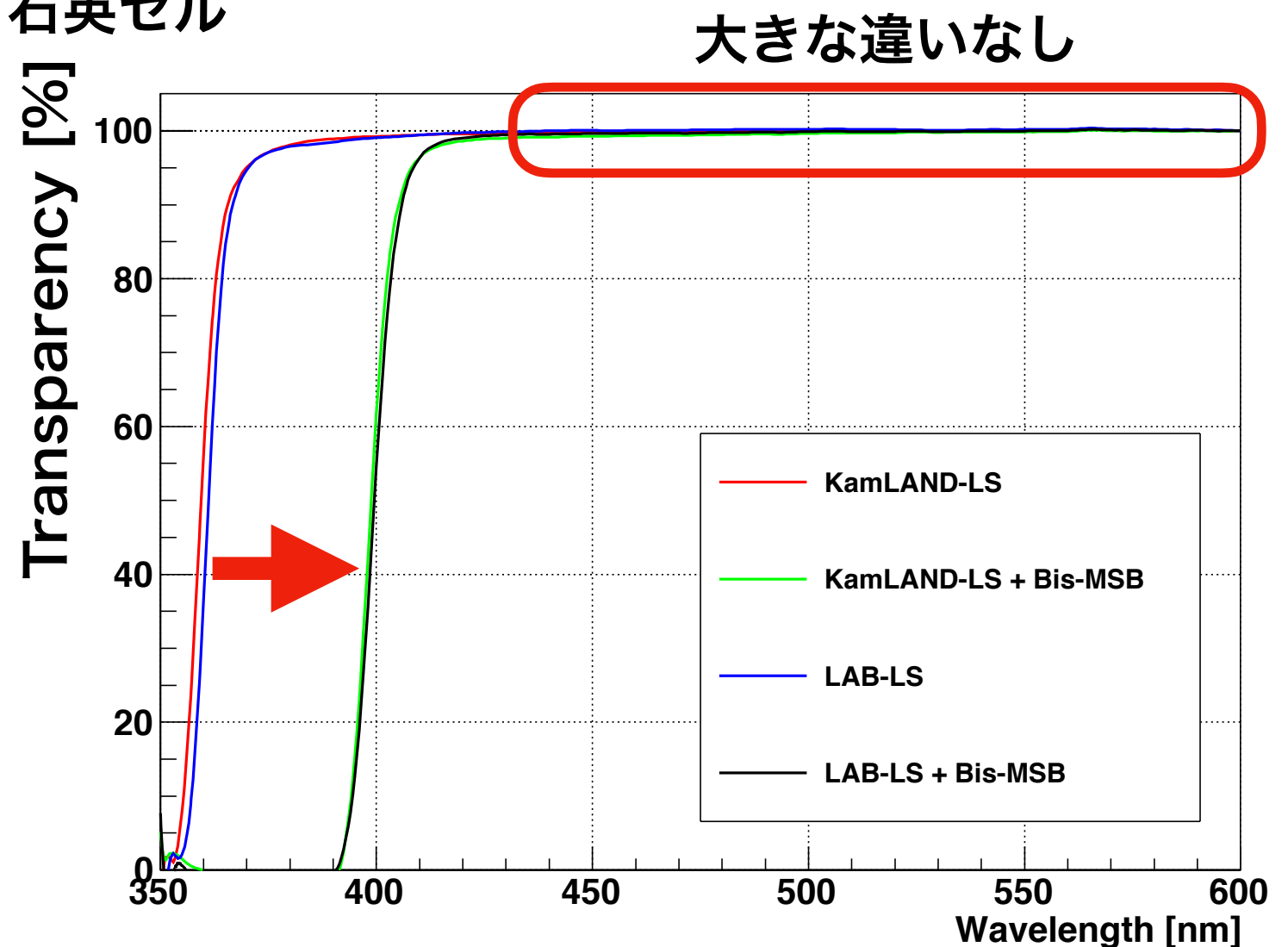
サンプル LS	Ratio	ADC-ch
Kam-LS	1.000	142.3±2.3
LAB-LS	1.002±0.023	142.6±2.3
Kam-LS + Bis-MSB	1.124±0.025	159.9±2.6
LAB-LS + Bis-MSB	1.126±0.025	160.2±2.6

9cm 透過率測定



各セルにおける相対強度から、
比をとって透過率を求める。

Bis-MSBによって、
波長が変化することを確認



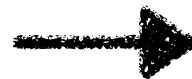
Xe溶解度測定

PENフィルムを使うには、Xe-LSにもBis-MSBを添加しなければならない

Xe-LS 候補

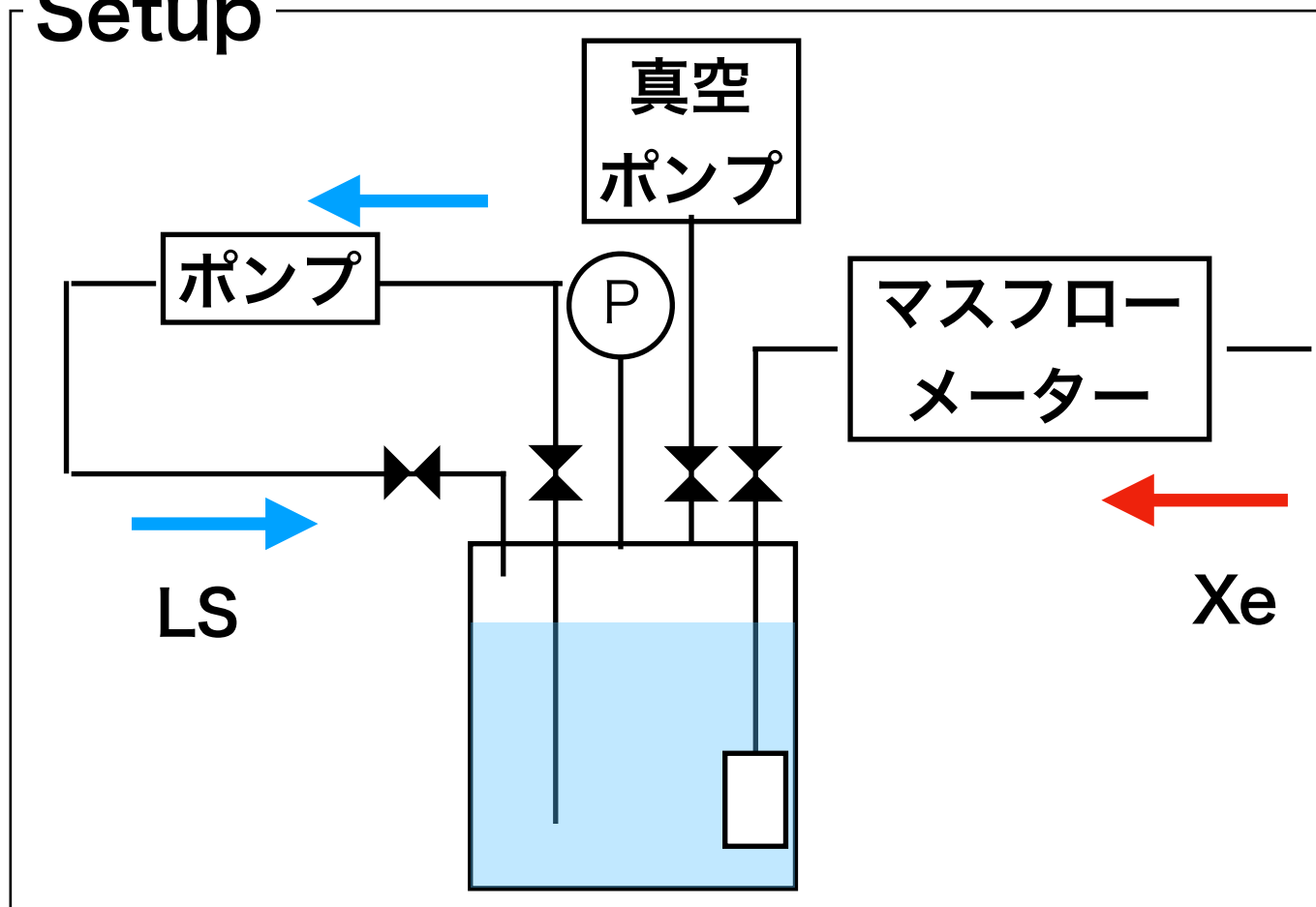
- Xe-LS LAB or PC + パラフィンオイル + PPO
- Xe-LS + Bis-MSB LAB or PC + パラフィンオイル + PPO + Bis-MSB

Xe-LSはXe溶解度が重要



各溶媒のXe溶解度測定が必要

Setup



Preliminary result

LAB : 2.13 ± 0.04 wt.%

($T = 25^\circ\text{C}$)

先行研究より

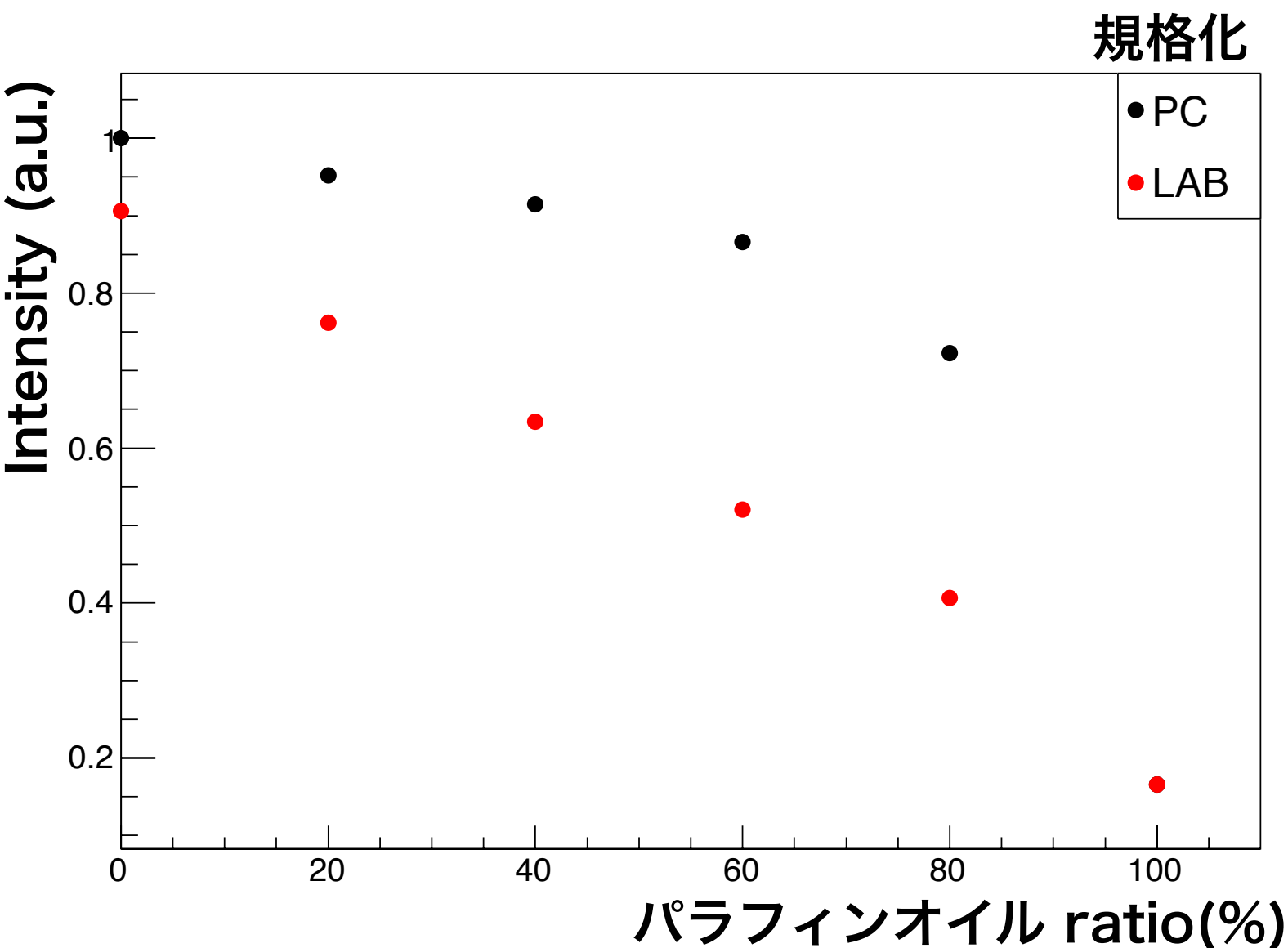
LAB : 約1.7 wt.%

PC : 約2.3 wt.%

発光量のパラフィンオイル依存性

Xe-LS候補 PC + パラフィンオイル + PPO (2g/L)
LAB + パラフィンオイル + PPO (2g/L)

パラフィンオイルの割合を変えて発光量測定



PCの方が発光量が落ちにくい



PCの方が良い候補

To do
パラフィンオイルのXe溶解度測定

まとめ

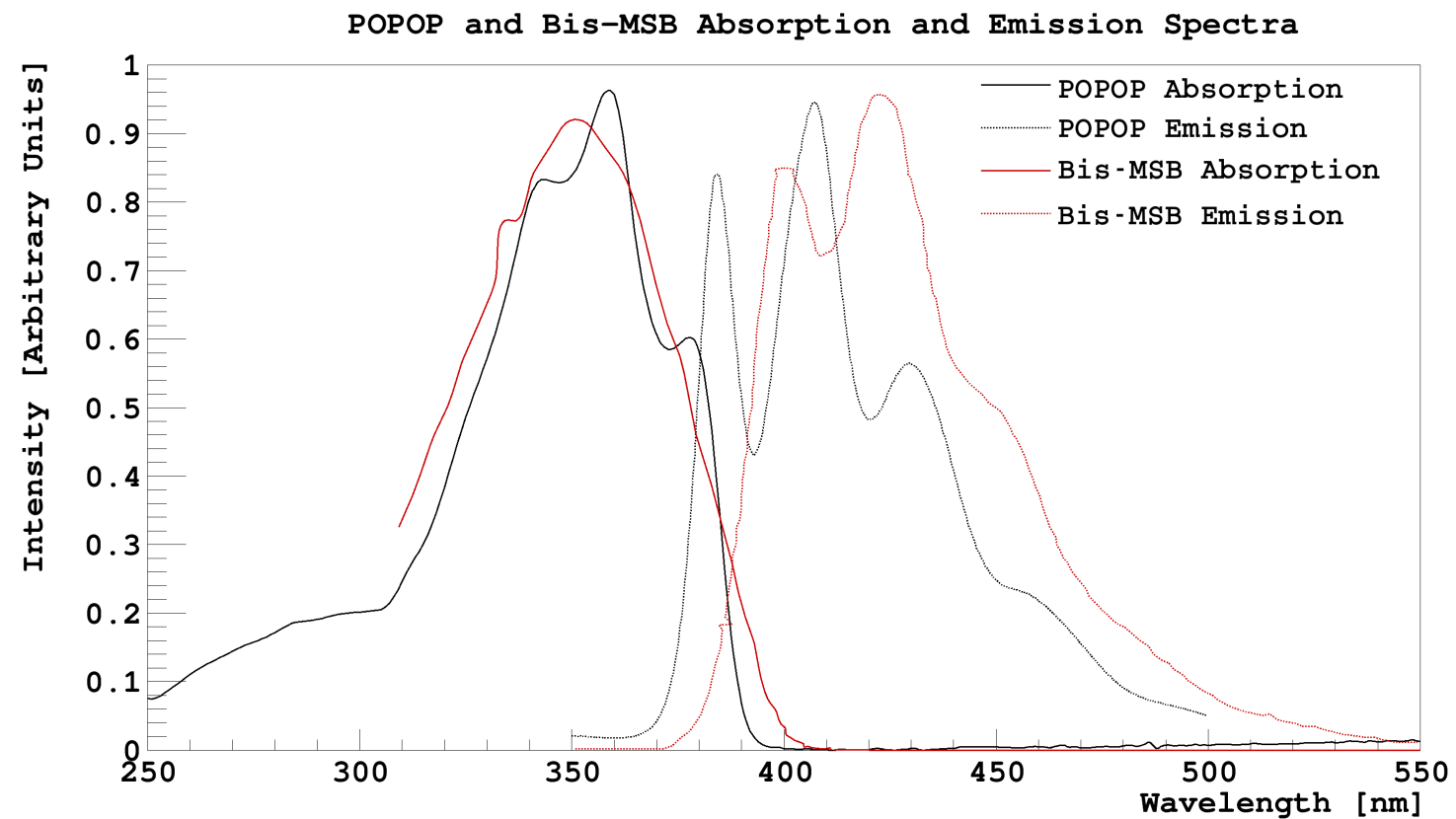
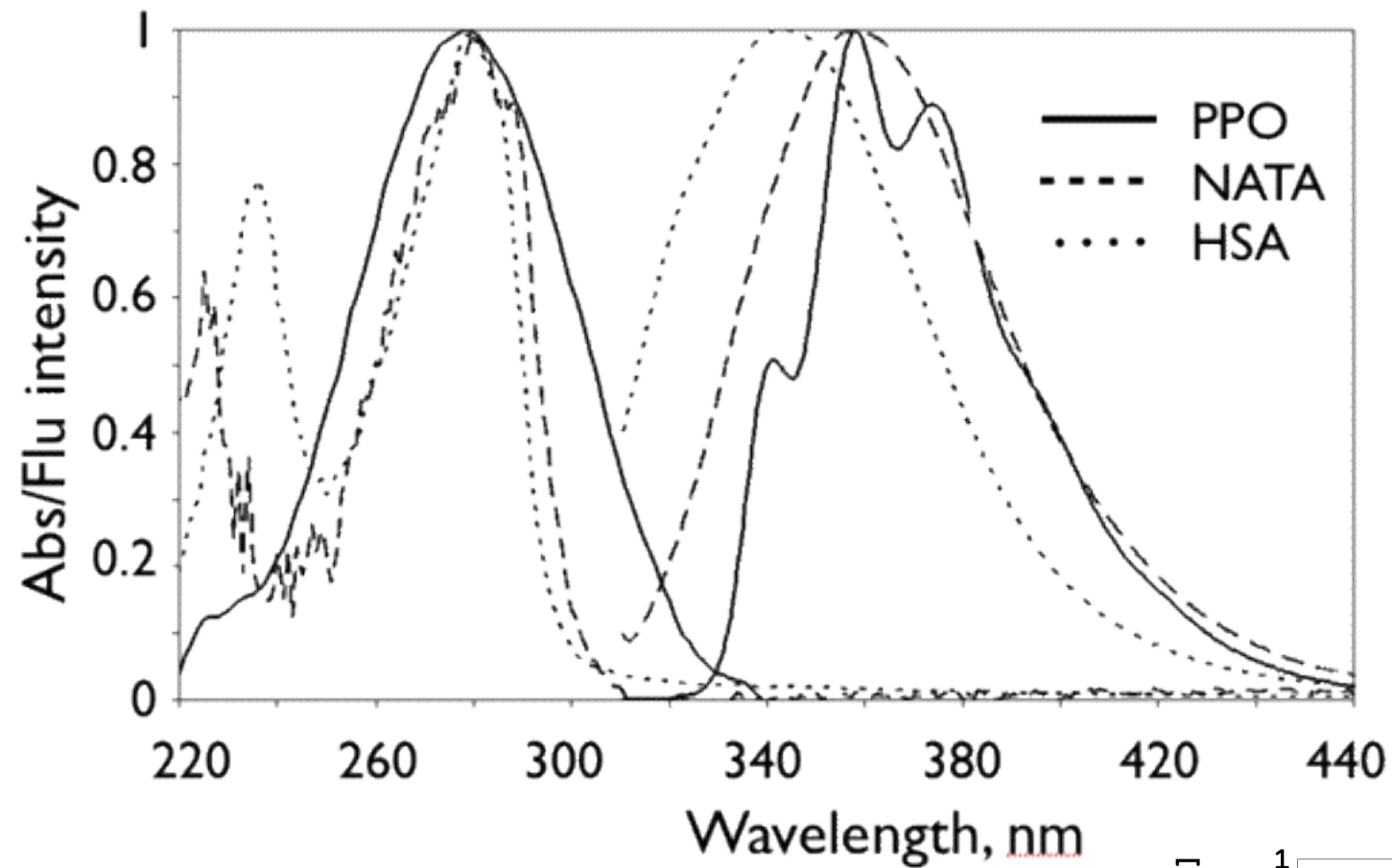
- Bis-MSBを含んだLSの方が、発光量が多い
- Bis-MSBによってLSの発光波長が、PENフィルム透過率の高い波長へと変化することを確認
- LABのXe溶解度
- Xe-LSの有力な候補はPCベース

To do

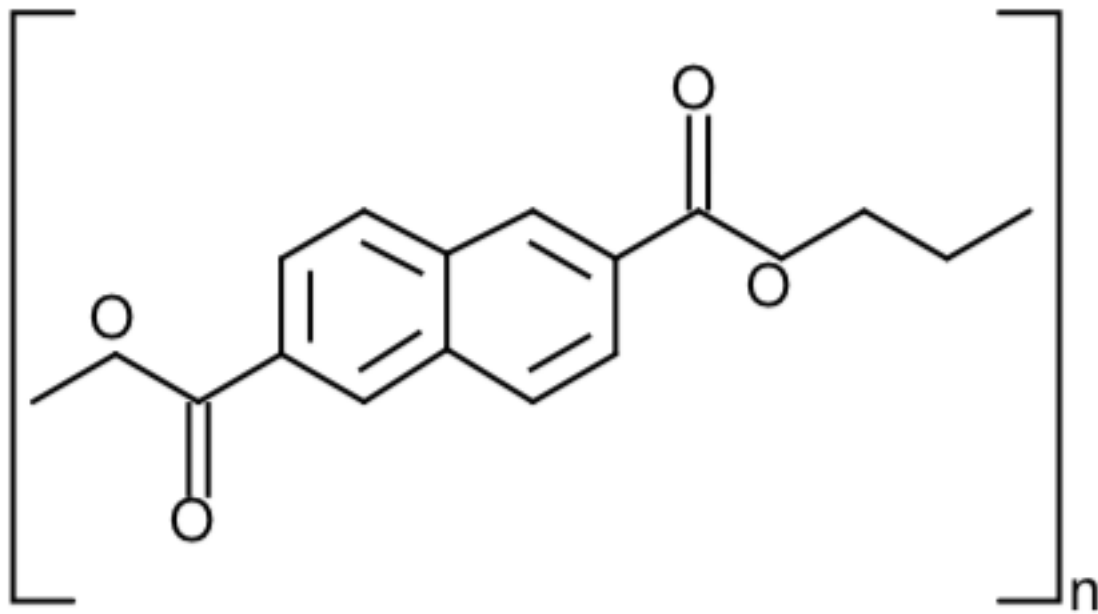
- 他のシンチレータ性能測定（再発光、散乱、密度）
- ナイロン、PENそれぞれの化学耐性、Xeガスの浸透性の検証
- パラフィンオイルのXe溶解度測定、Xe溶解度の温度依存性
- LS組成の決定

Backup

PPO & Bis-MSB



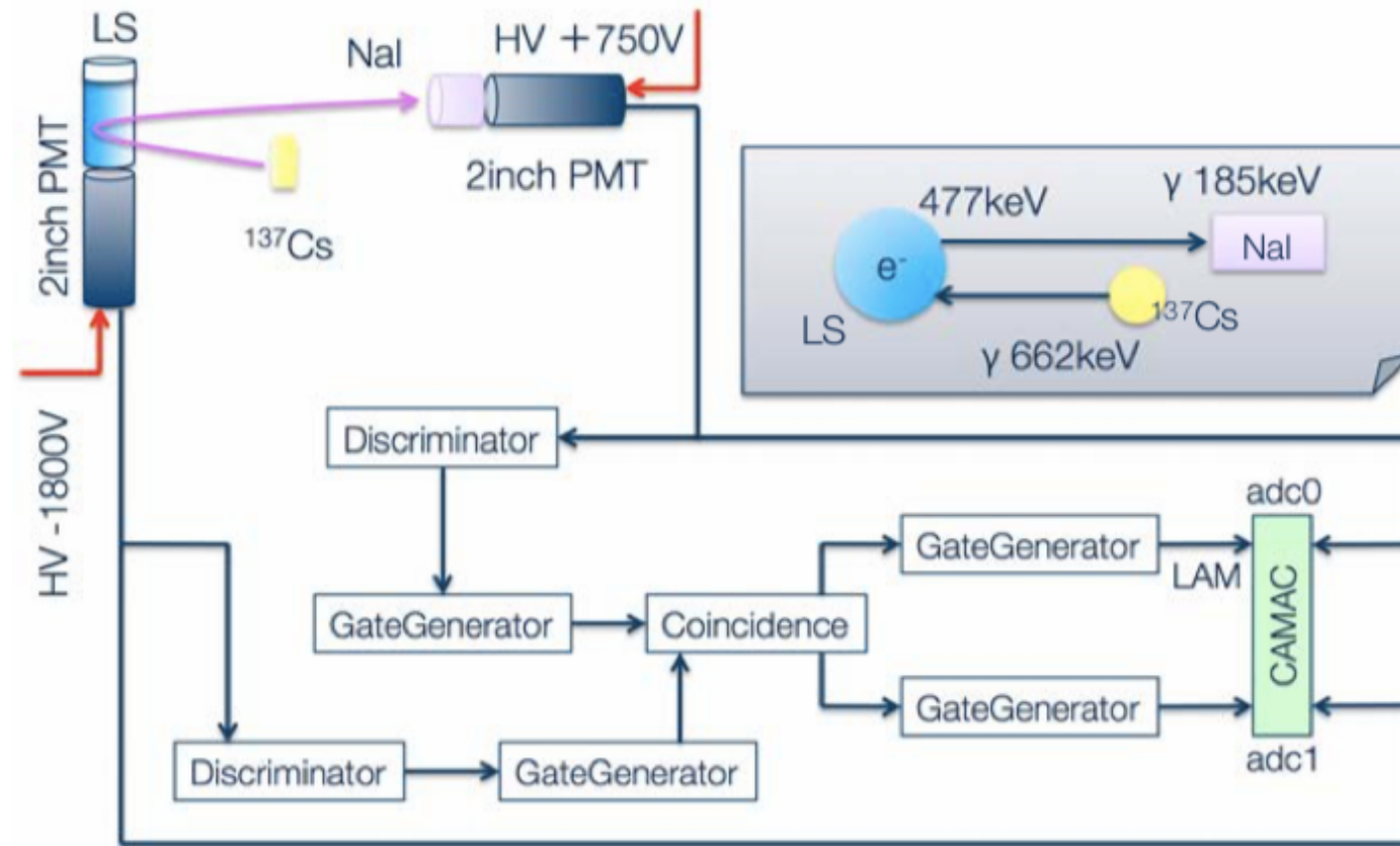
PolyEthylene Naphthalate



- Scintillator ability is found recently.
- Chemical resistance and gas barrier is better.

Experiment	Result	Comment
Confirmation of α -ray scintillation	○	
Light intensity	○	
Emission spectrum	○	
Waveform	○	
PC compatibility	○	
Transparency	△	
Welding	○	
Radioactive impurity	△	
Gas barrier	○	

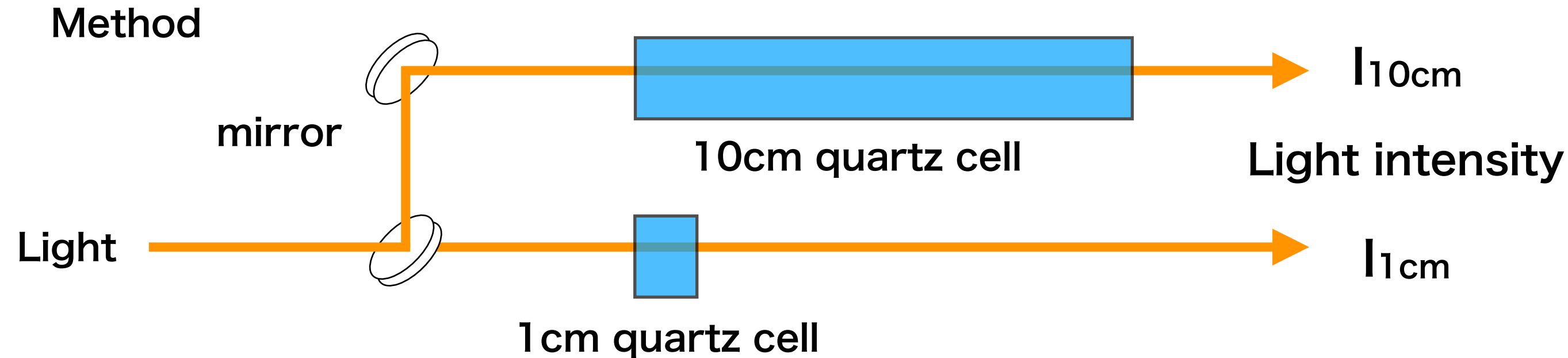
Amount of light emission



Due to setup, measurement is not back scattering ($\theta = 180^\circ$).
At this measurement, $\theta = 160^\circ$

Source	E of γ	Scattering e	Scattering γ
^{137}Cs	662keV	473.55keV	188.45keV

Transparency



Transparency : T

Relative value

$$T_{9\text{cm,relative}} = \frac{I_{10\text{cm}}}{I_{1\text{cm}}}$$

Cyclohexane use as baseline,
because its reflective index is almost
equal to the LS sample's one.

Absolute value

$$T_{9\text{cm}}[\%] = \frac{T_{9\text{cm,relative}}(\text{sample})}{T_{9\text{cm,relative}}(\text{baseline})} \times 100$$