

高圧液体キセノンを用いた $0\nu 2\beta$ 探索の基礎研究

宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究

2015領域研究会 神戸大学

2015年5月16日

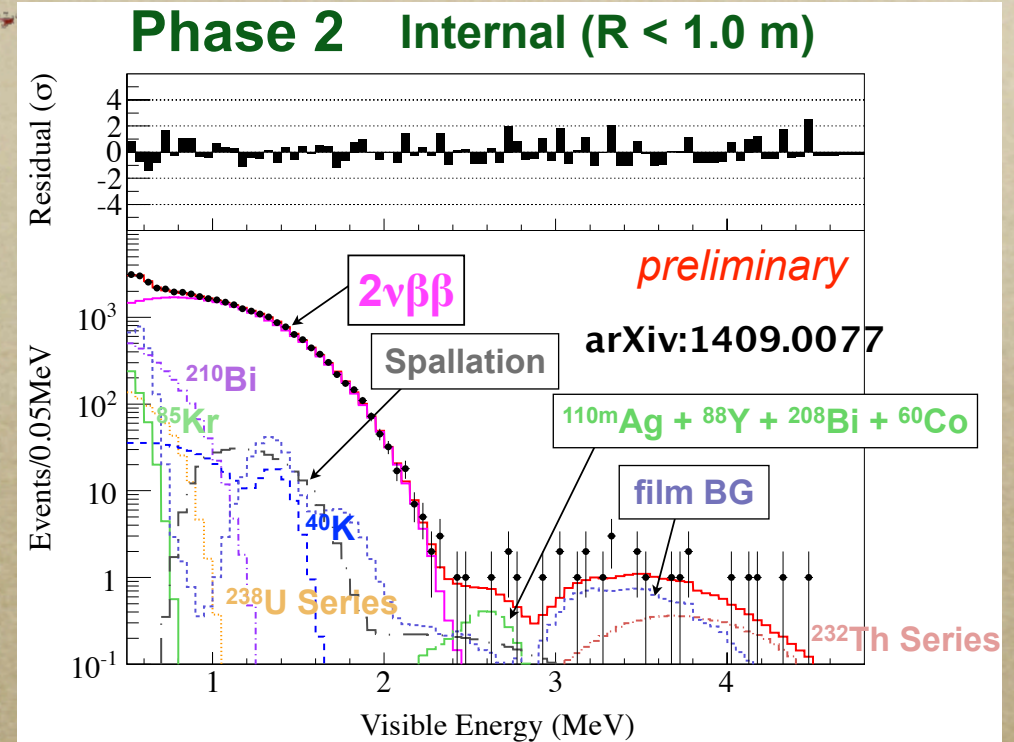
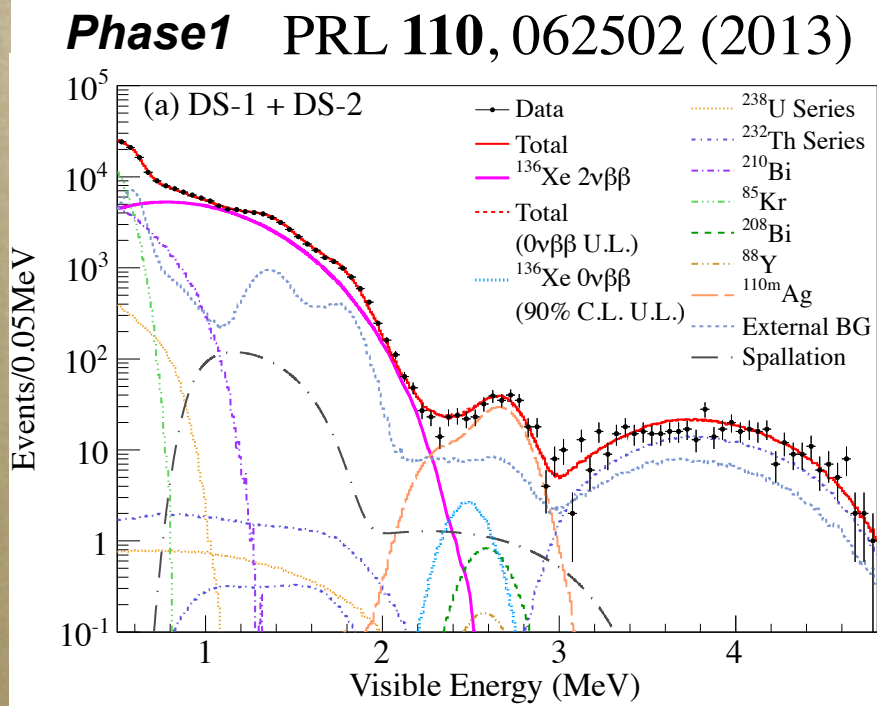
東北大RCNS 上島考太

内容

- 研究目的
- 研究計画
- プラスチックシンチレータ容器の開発、
試験の状況
- まとめ

KamLAND-Zen

KamLAND-Zen実験



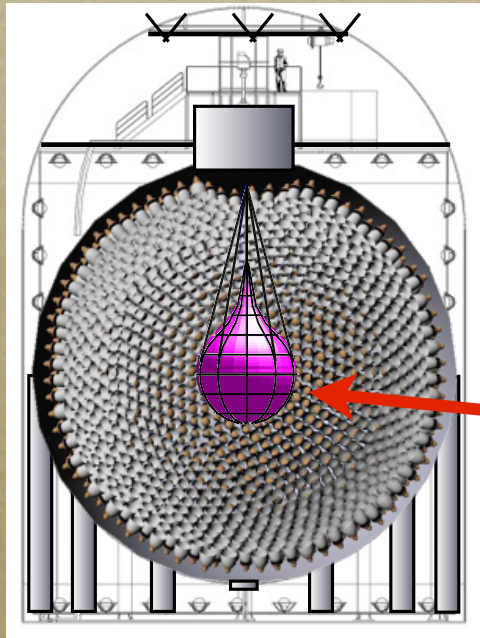
純化により銀を1/10以下に低減し、

世界最高感度での0ν2β探索を継続中!!

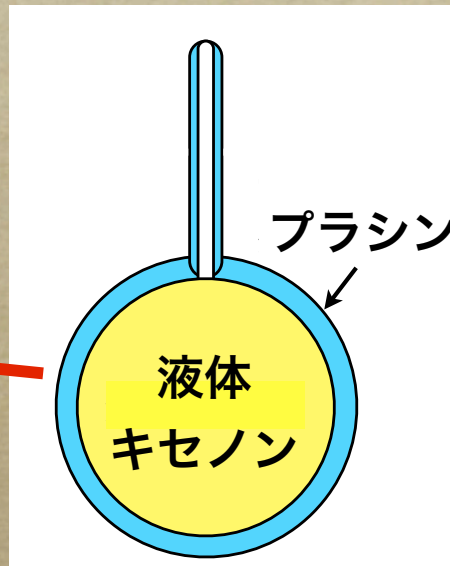
- 。さらに高感度な0ν2β探索へ向けての基礎研究
(+ 多目的な検出器を開発)

研究目的

KamLAND2-Zen
1000kg ^{136}Xe



ターゲット原子核の周りにエネルギーの付加による不感領域を無くし、**極低バックグラウンド環境**である *KamLAND2* の中心に高圧液体キセノンを設定する。



1000kg 液体Xe

直径~*100cm*

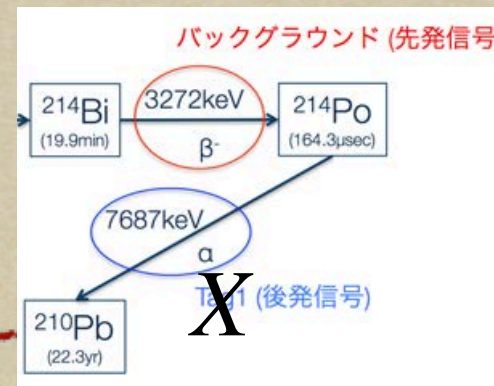
46000 photon/MeV

wave length : 175nm

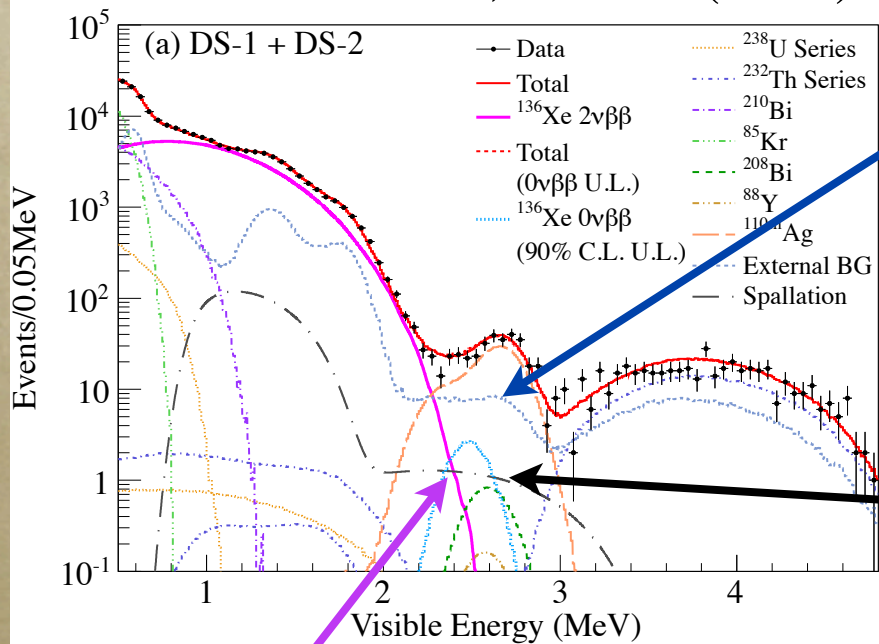
液体キセノンのシンチレーション光をプラシンで可視光に変換し、遠くにあるPMTで読み出す。

+ α 液化希ガスとプラシン容器を組み合わせ多目的な(DM,太陽 ν)検出器

BG低減



Phase1 PRL 110, 062502 (2013)



^{214}Bi mini-balloon中のウラン起源

^{214}Po の α がタグできなかつたものが原因
プラスチックシンチレータを液体キセノンの容器に用いエネルギー付加の不感領域をなくす。
(純化により低内部BG化は必要)

^{10}C spallation product after muon

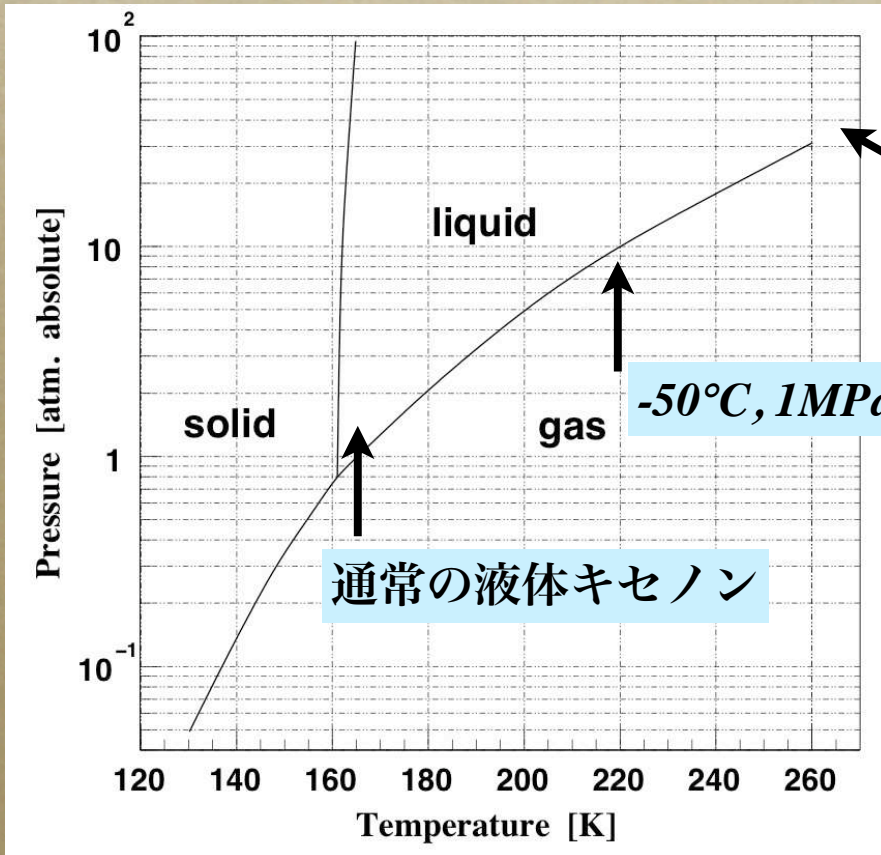
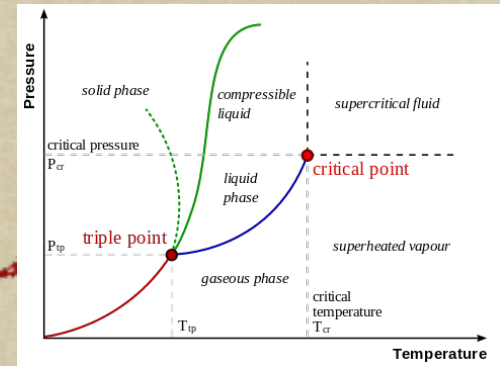
液体キセノンにすれば大幅に減少 ~ 0

$2\nu 2\beta$

液体キセノンが高発光量なシンチレータである事を利用し、収集光量を上げる。
 $\sim 46000\text{photon/MeV}$ (KL LS $\sim 8000\text{photon/MeV}$)

液体キセノンとプラスチックシンチレータの波形弁別によるBG低減
 $0\nu 2\beta$ のシグナル確認: 濃縮キセノンと通常のキセノンを入れ替え可能

高压液体キセノン



キセノン 臨界点 ~17°C

1°Cの高压液体キセノン ~4.5MPa

-10°C程度の高压液体キセノン ~3MPa

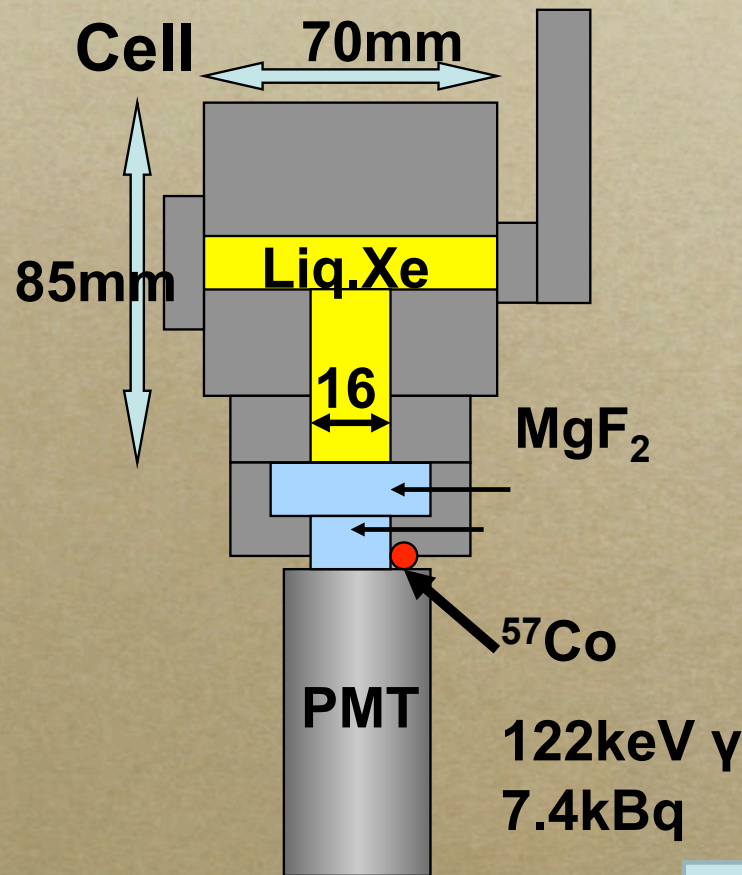


高压液体キセノンの利点

- 耐圧容器を作れば取り扱いが簡単
- 断熱真空層が不要

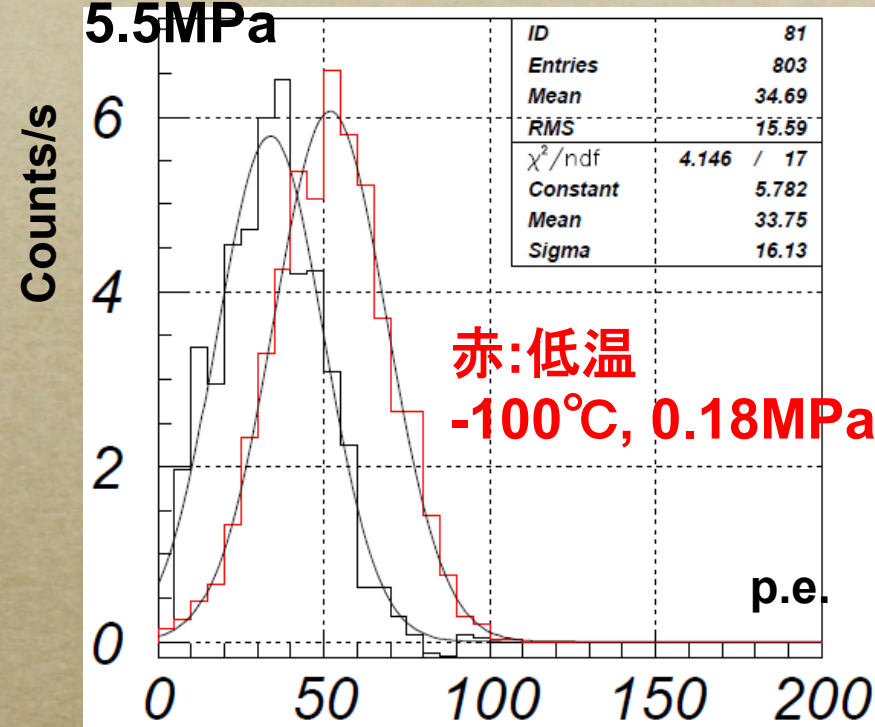
常温高压液体キセノンの発光量

NIM.A.594(2008)148



15ccの液体キセノンを用いて発光量の測定を行った。

黒:常温高压 1°C,
5.5MPa



(常温高压)/(-100度、0.18MPa) の発光量の比

$$Ratio = 0.64 \pm 0.02(stat.) \pm 0.06(sys.)$$

波長変換材

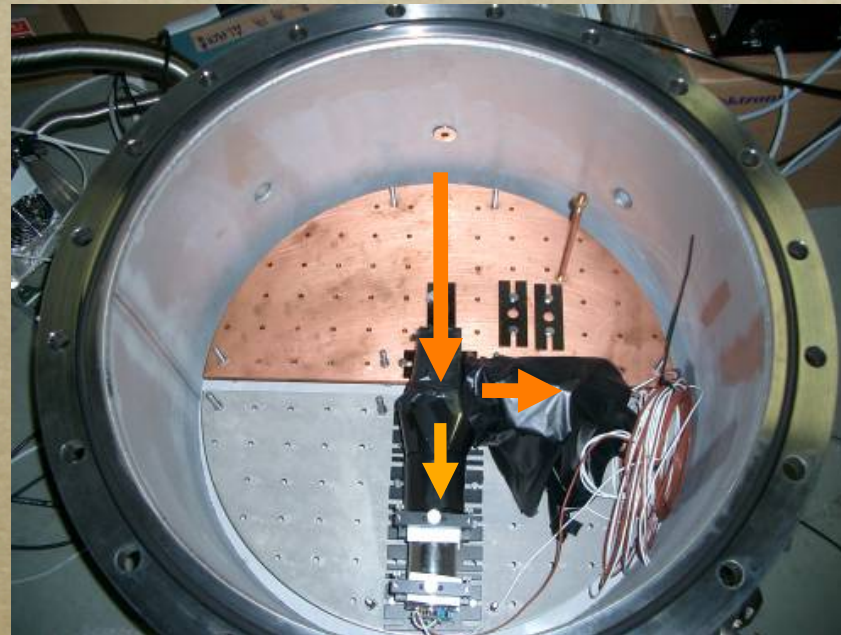
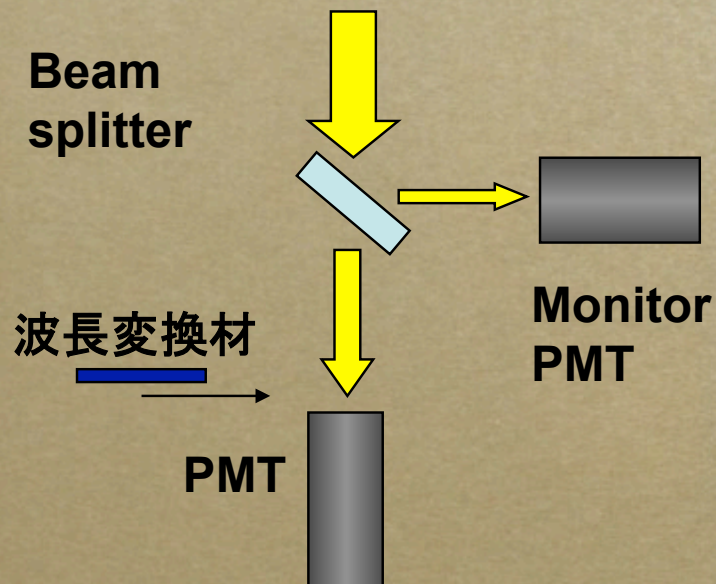


エキシマランプ
165~179nm



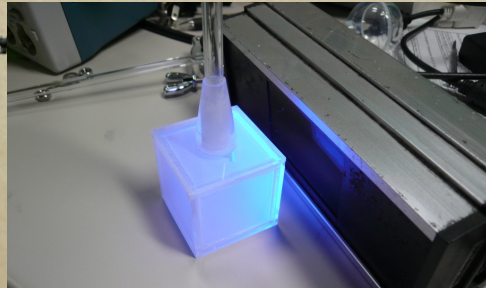
TPBをポリスチレンに4%混ぜた

波長変換材

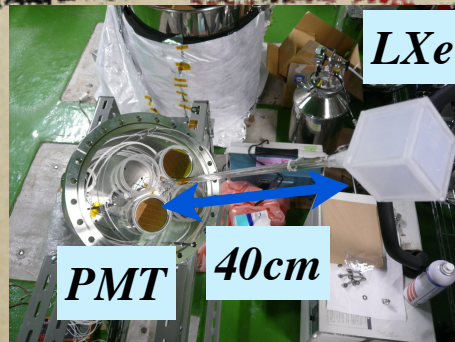


波長変換効率**60%~70%**の波長変換材の開発に成功した。

アクリル+波長変換剤(TPB)



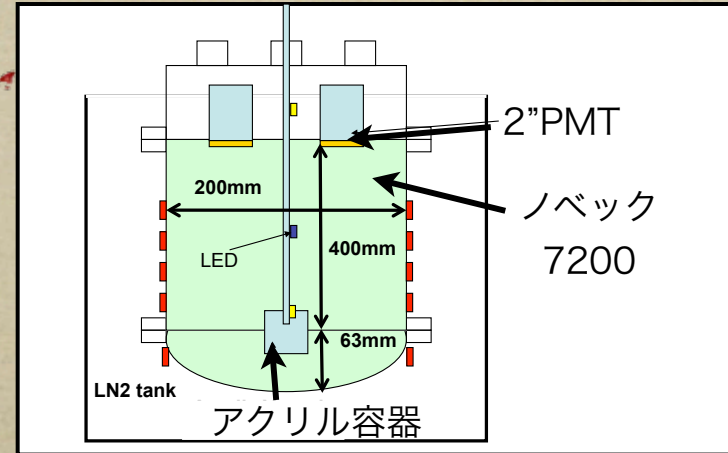
TPBを内面に真空蒸着



LXe

PMT

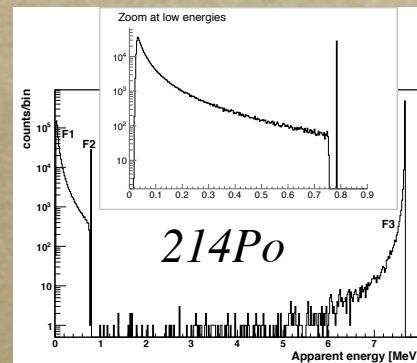
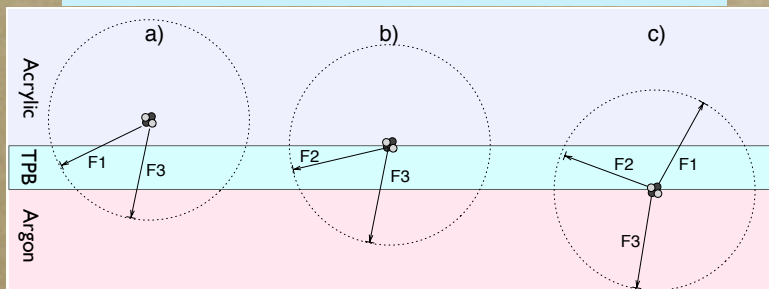
40cm



アクリル,TPBの内に含まれる ^{214}Bi がBGとなる。(0 ν 2 β)

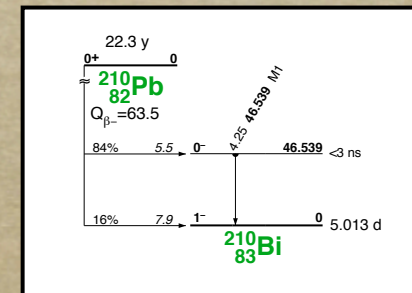
表面BGの問題 (DM)

液体アルゴン： ^{214}Po , ^{210}Po α



Astroparticle Physics 62, 178-194 (2015)

液体キセノン: ^{210}Pb

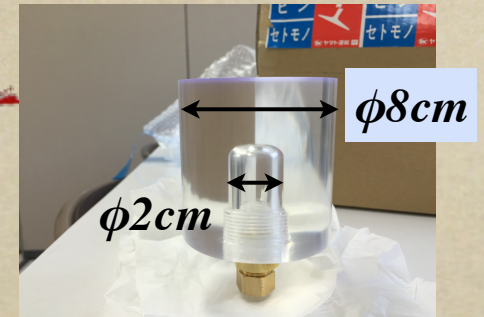


プラシン容器はDM探索にも有効

研究計画

- 耐高圧プラシン容器の開発(かつ耐薬品性)
- 高波長変換効率を有するプラシン容器の開発
- 高圧液体キセノンをプラシン容器に導入し、シンチレーション光を可視光に変換して読み出す。
- (低温液化希ガスにした場合の多目的検出器の研究開発)

プラスチックシンチレータ容器



高圧用プラシンサンプル

プラスチックシンチレータ

- ベース: ポリスチレン, ポリビニルトルエン等
- 波長変換剤: パラタフェニル, *POPOP* 等

+*TPB*を添加したものを開発する(3wt%)

*TPB*の添加量, 他の波長変換剤の配合を変え、真空紫外領域に対して高い波長変換効率を目指す。

純化

名称：スチレンモノマー(SM)

融点：-30.6°C

沸点：145~146°C

比重：0.906

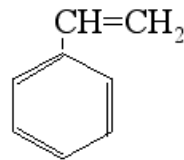
化学式：C₆H₅-CH=CH₂

分子量：104.16

引火点：31°C

自然発火温度：490°C

構造式：

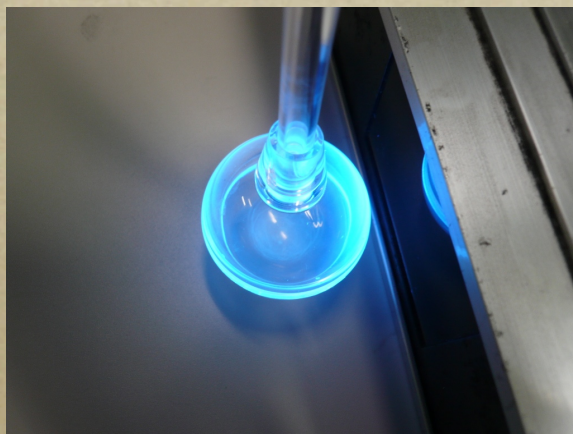


○スチレンモノマーに波長変換剤、触媒(カタライザー)、リケイ剤等を入れマントルヒーター等で加熱し、有機反応促進させ、プラシンが作成させる。

スチレンモノマーは常温液体で蒸留法等を用いて内部BGの低減方法を検討していく。

。 -100°C 、液体キセノンでの試験

プラシン容器

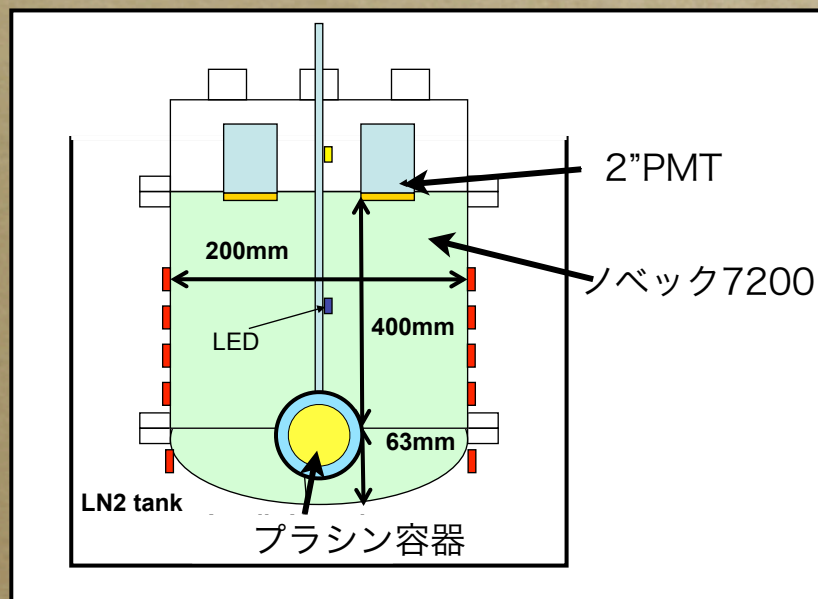


プラシン容器 内径 ϕ 4cm

ポリスチレンベース

①パラタフェニル, *POPOP*, *TPB* 3wt%

②*TPB* 3wt%

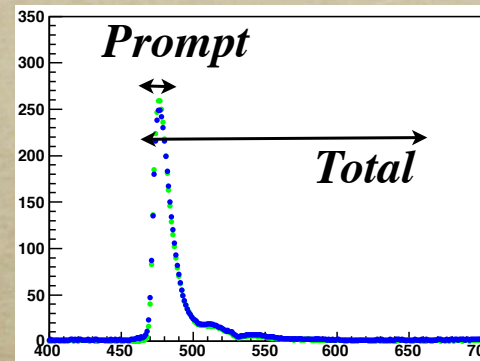
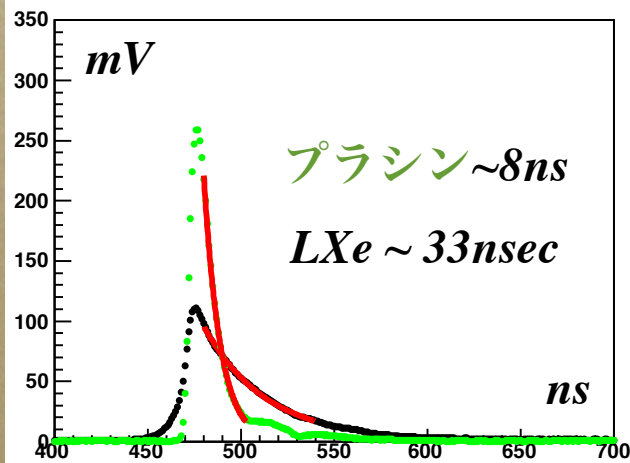


プラシンに -100°C の液体キセノンを入れ、 ^{137}Cs をあてて波形を評価

LXe シンチレーション光測定

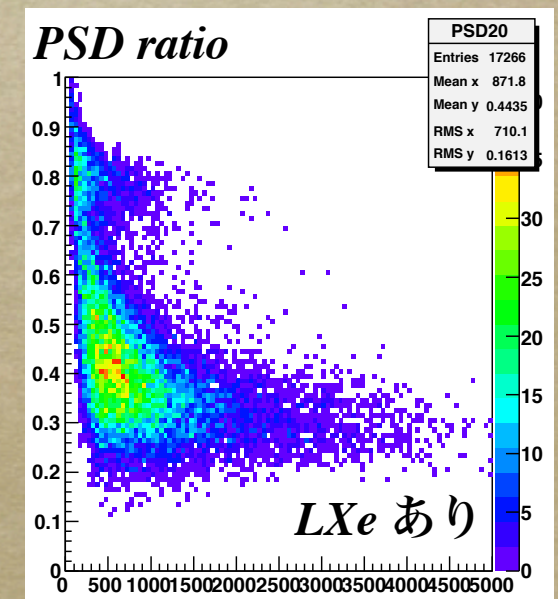
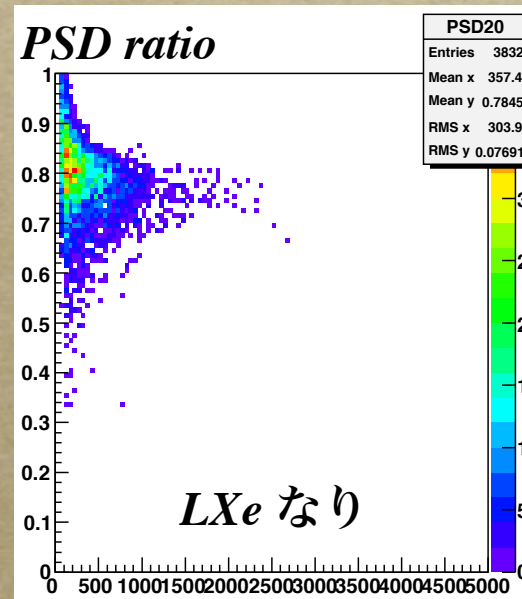
①パラタフェニル,POPOP,TPB 3wt%

同じcharge量での波形の違い



PSD ratio:
 $Prompt(20ns)/Total(200ns)$

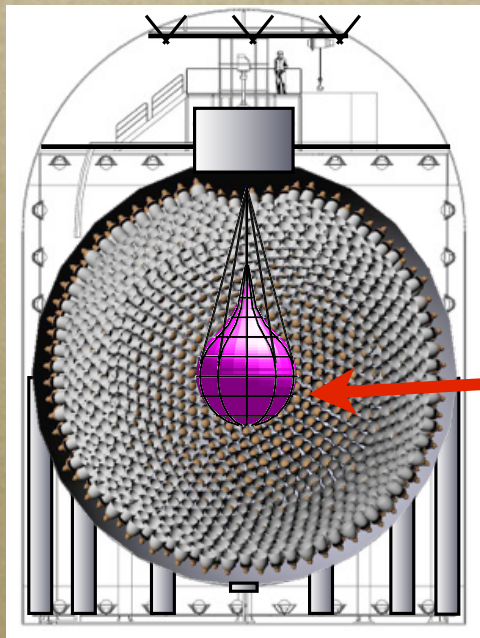
LXeのシンチレーション光を可視光に変換してPMTで読み出すのに成功した。



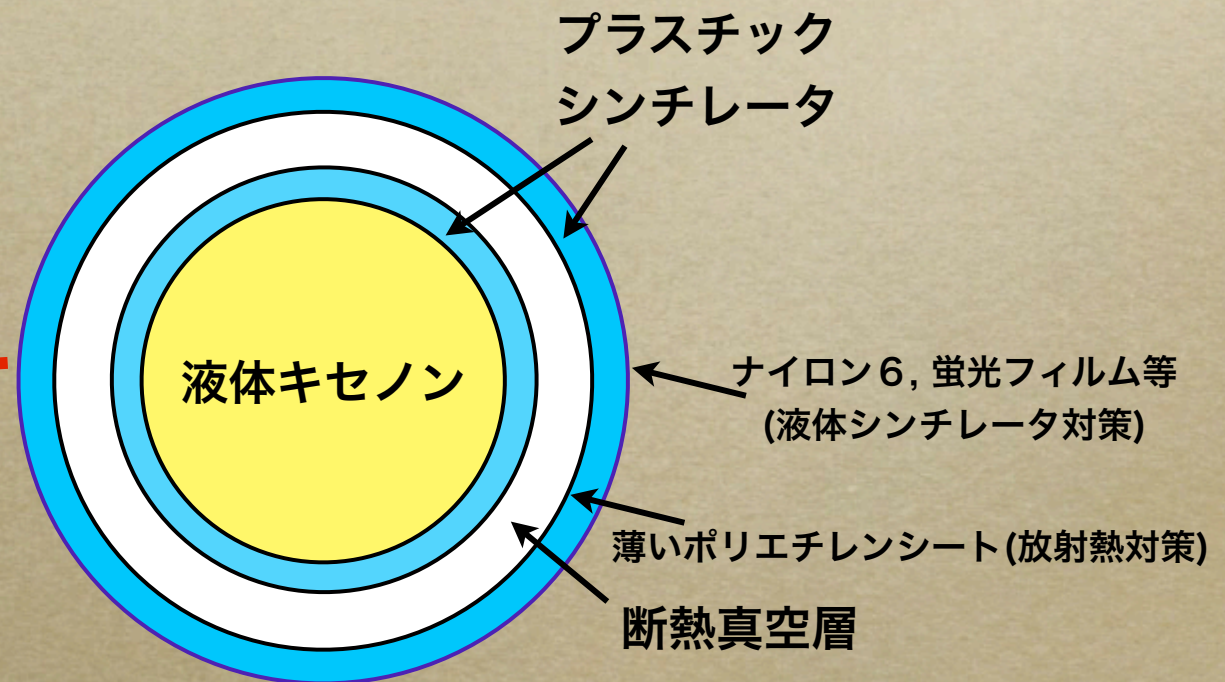
低温液体キセノンを KamLAND2に入れる場合は...

KamLAND2-Zen
1000kg ^{136}Xe

断熱真空層が必要 発光量は増加

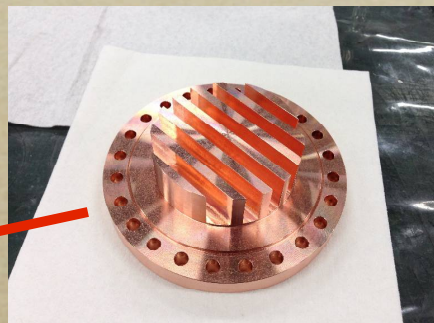
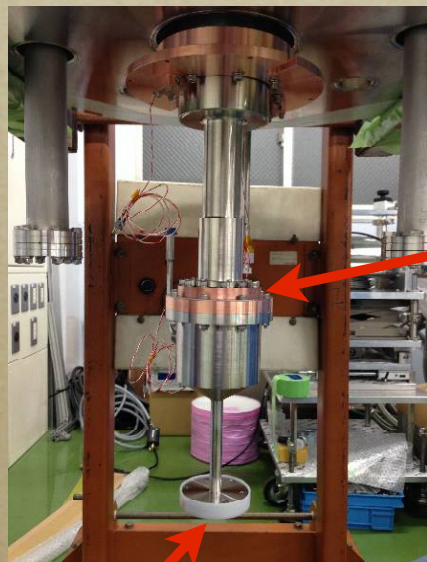


PMT 1900本 ~1200W



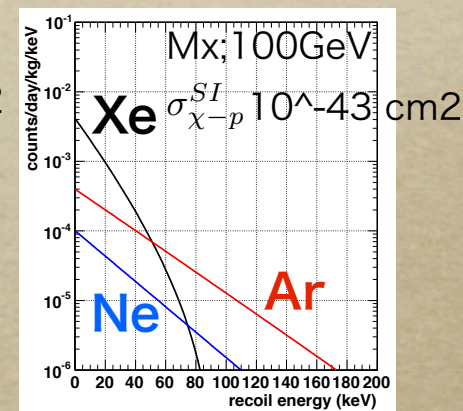
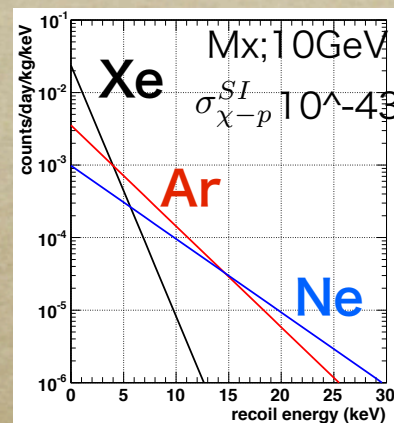
放射熱 -100°C , 1000kgの液体キセノン
~40W (放射率0.1の場合)
~600W (対策なし)

低温液体希ガスを用いた検出器



熱交換器

$0\nu 2\beta$ 探索, DM探索, 太陽 ν 観測
に向けた基礎研究



プラシン容器を取り付ける



9K, 6.3W



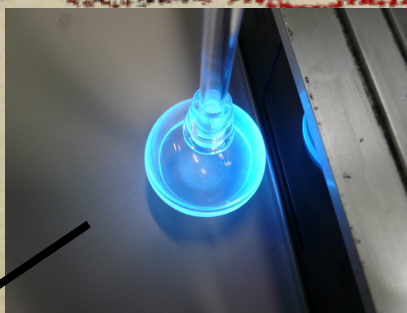
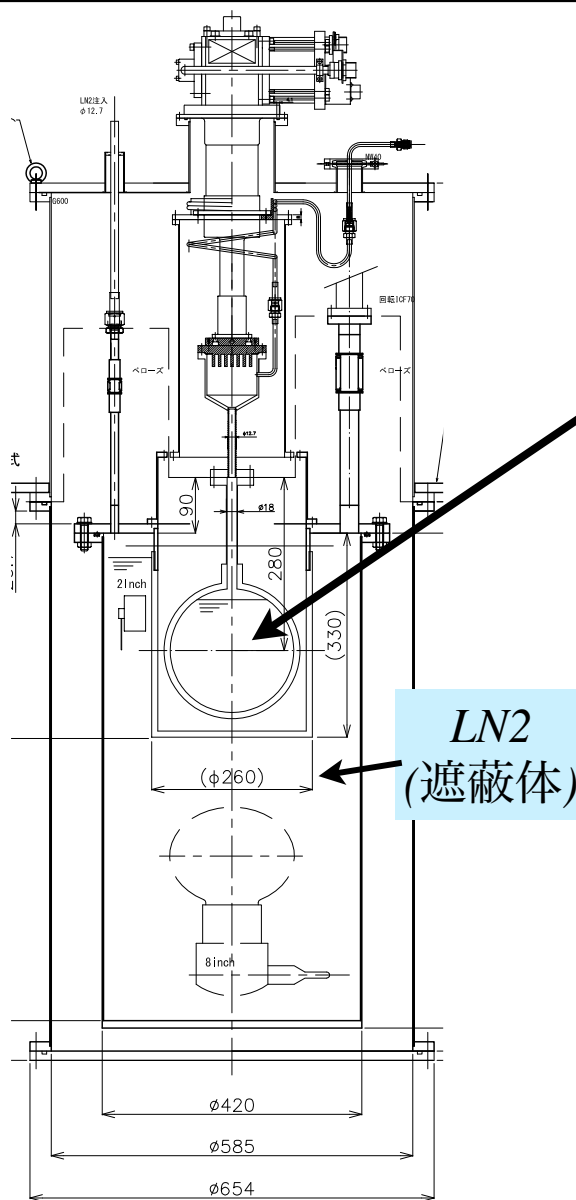
8inch PMT
R5912-02

	PSD	Rate	RI	L_{eff}
Ne	○	△	-	0.25
Ar	◎	○	^{39}Ar	0.25
Xe	△	◎	$^{134}\text{Xe}, ^{136}\text{Xe}$	<0.15

3種類の希ガスを利用できる

検出器概要

3層構造



プラスチック容器

φ4cm→φ20cmに大型化



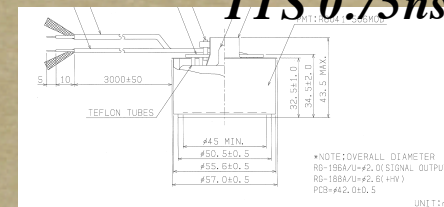
8inch PMT
R5912-02

U/Th ~2Bq/PMT
30cm離すと50mBq(立体角のみ考慮)



4inch PMT
U/Th ~6mBq/PMT
低温では光るおそれ...
高コスト...

2inch PMT
R6041
TTS 0.75ns



まとめ

- 2年間の公募研究で高圧液体キセノンを用いた $0\nu 2\beta$ 探索の基礎研究を行う。
- 高波長変換効率、耐高圧プラシン容器の開発
- 高圧液体キセノンをプラシン容器に入れ、波長変換されたシンチレーション光をPMTで読み出す。
- プラシン容器の低内部バックグラウンド化（純化）