

XMASS

極低バックグラウンド素粒子原子核談話会
2013年4月23日 富山商工会議所

竹田敦 東京大学宇宙線研究所神岡施設
他 XMASS Collaboration



Contents

1. Introduction: XMASS project

2. XMASS-I のまとめ

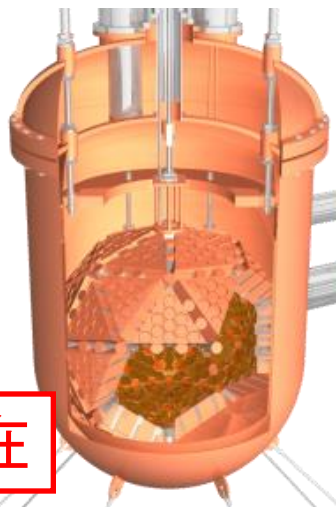
3. XMASS-1.5 及び 2 の戦略・展望

- (1) 今後の展開、どのように「本実験」として実現してゆくか。
- (2) 「本実験」実現に向けての問題点は何か。
- (3) 実現するのに必要な人員、経費
- (4) 年次計画
- (5) 国際競争力、他の実験に比べての実験の長所

4. Summary

XMASS project

XMASS-I

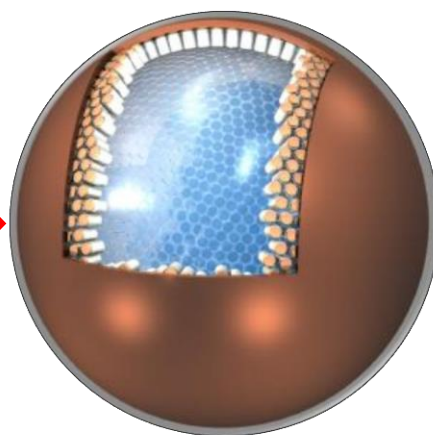


現在

835 kg,
100 kg 有効質量
φ80 cm, 642 PMTs
2010 Nov. ~
現在改修 (Refurbish) 中

- ・ 暗黒物質探索

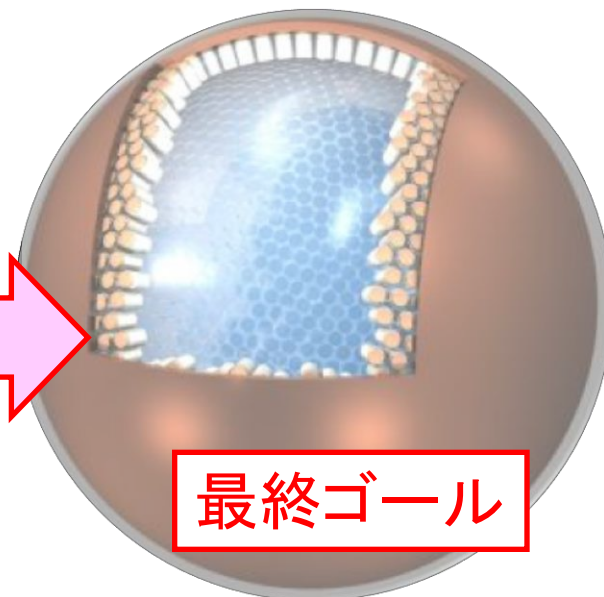
XMASS-1.5



暗黒物質探索に特化
早期の実現を目指す
5 ton,
1 ton 有効質量
φ1.5 m, ~1800 PMTs

- ・ 暗黒物質探索

XMASS-II



最終ゴール

25 ton, **10 ton 有効質量**
φ2.5 m

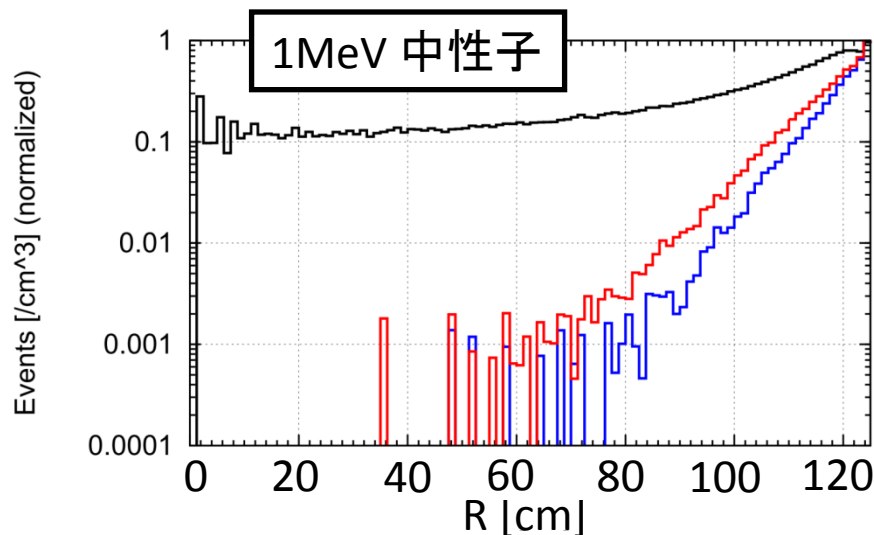
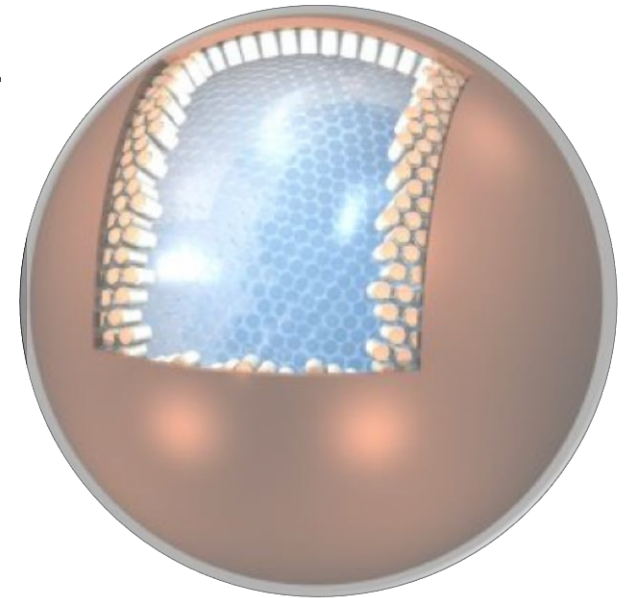
多目的検出器

- ・ 暗黒物質の詳細研究
- ・ pp 太陽ニュートリノ
- ・ $0\nu 2\beta$ 崩壊探索

Y. Suzuki, hep-ph/0008296

XMASS の特徴

- 1-phase 検出器
 - 自己遮蔽でバックグラウンド(BG) を除去
 - しきい値を低くできる。
 - e/γ 事象が捉えられる
 - **Good scalability**
 - 2-phase は、大きさが HV で制限される
(XENON100 で 30kV, 1T で 100kV 必要)
 - **中性子BG (究極のBG) も落とせる**



XMASS-2 ($\phi 2.5\text{m}$)

Black: all events
Blue: $2 < E(\text{keVee}) < 5 \text{ keV}$
Red: $2 < E(\text{keVee}) < 10 \text{ keV}$
Green: F.V. (30cm from wall)

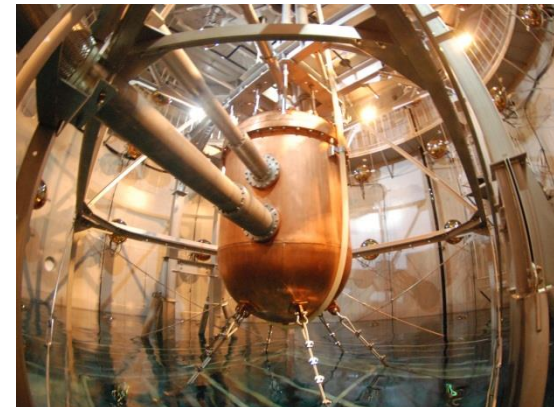
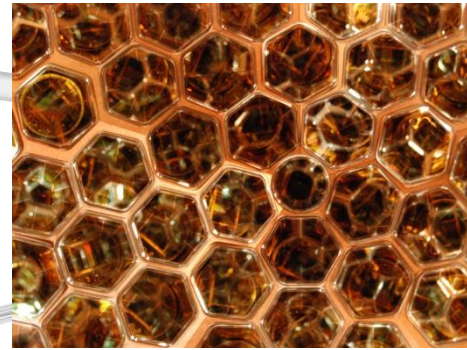
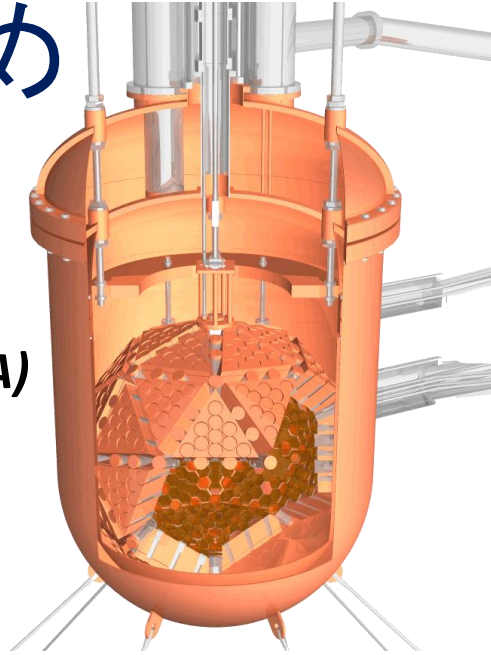
2. XMASS-I のまとめ

特徴

- 検出器詳細: *arXiv:1301.2815 (NIMA)*
- 835 kg の液体キセノンを用いた
 - ・ **世界最大**
 - ・ **最低エネルギー閾値 (0.3keVee)**
の暗黒物質探索検出器
($\leftrightarrow$ CoGeNT (0.5 keVee) よりも低い閾値)
- 2010/10 よりコミッショニング開始、2012/5 データ取得中断。
現在、装置の改修 (refurbishment) 中。

物理結果

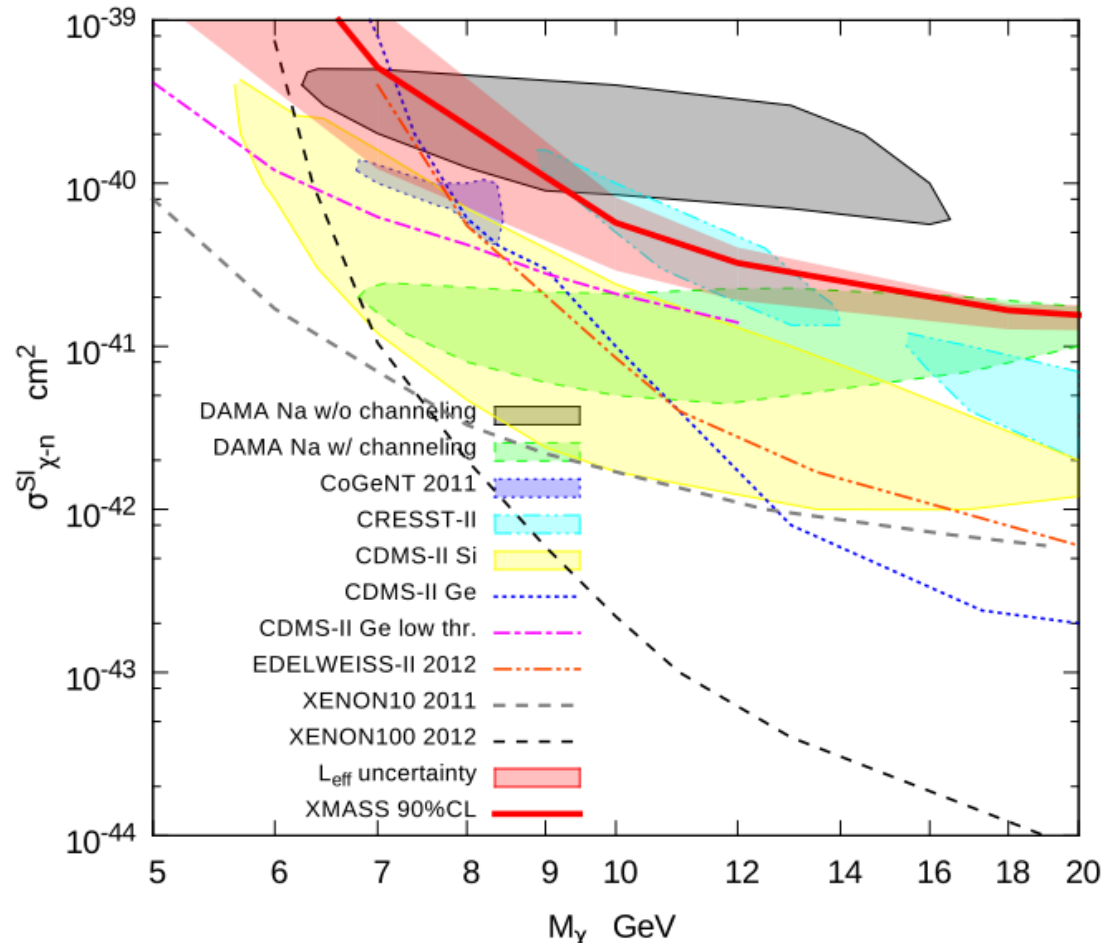
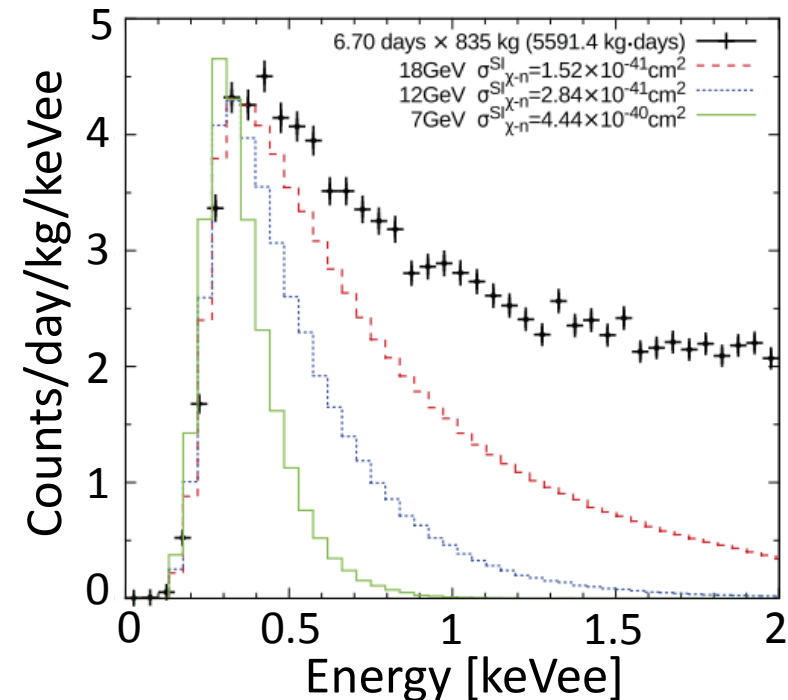
- Low mass WIMPs search: *PLB 719 (2013) 78*
- Solar Axion search: *arXiv:1212.6153 (to be published)*
- Seasonal modulation for DM search (解析中)
- Inelastic scattering DM search (解析中)



Low mass WIMPs search

PLB 719 (2013) 78-82

- Full volume (835 kg) analysis
- 6.80 days in 2012 Feb.
- 5591.4 kg day exposure
- 0.3 keVee threshold

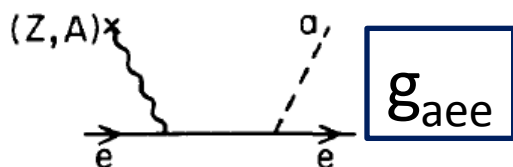


Solar Axion search

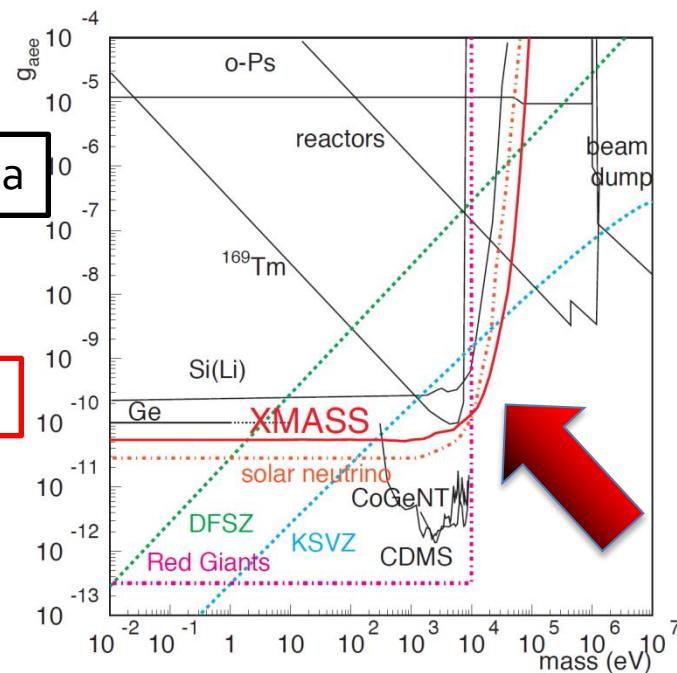
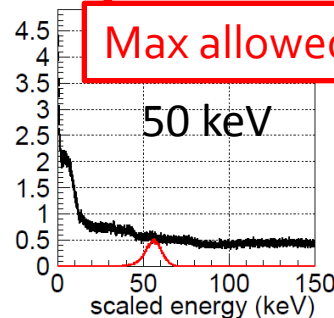
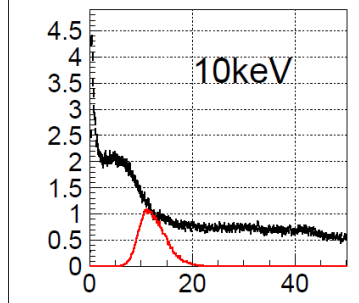
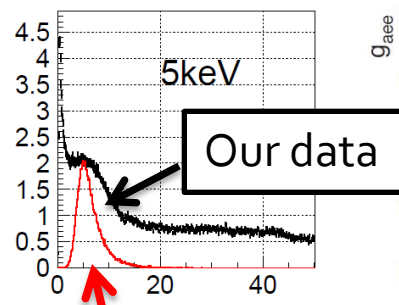
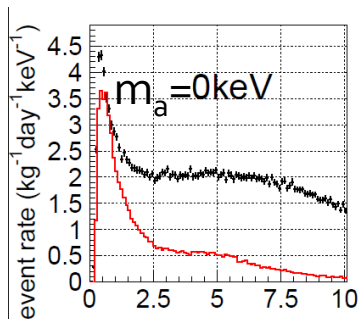
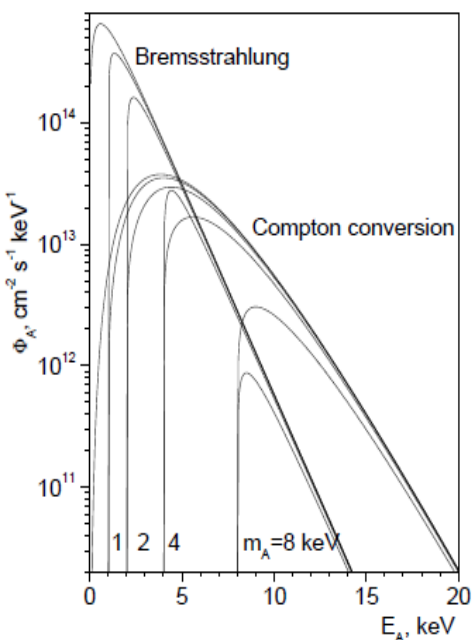
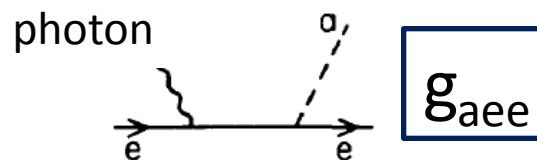
arXiv: 1212.6153

- 強い相互作用のCP問題を解決する模型が预言する粒子、及び類似の粒子群 (ALP)
- Axion-電子-電子結合を利用して検出する。

アクシオン制動輻射

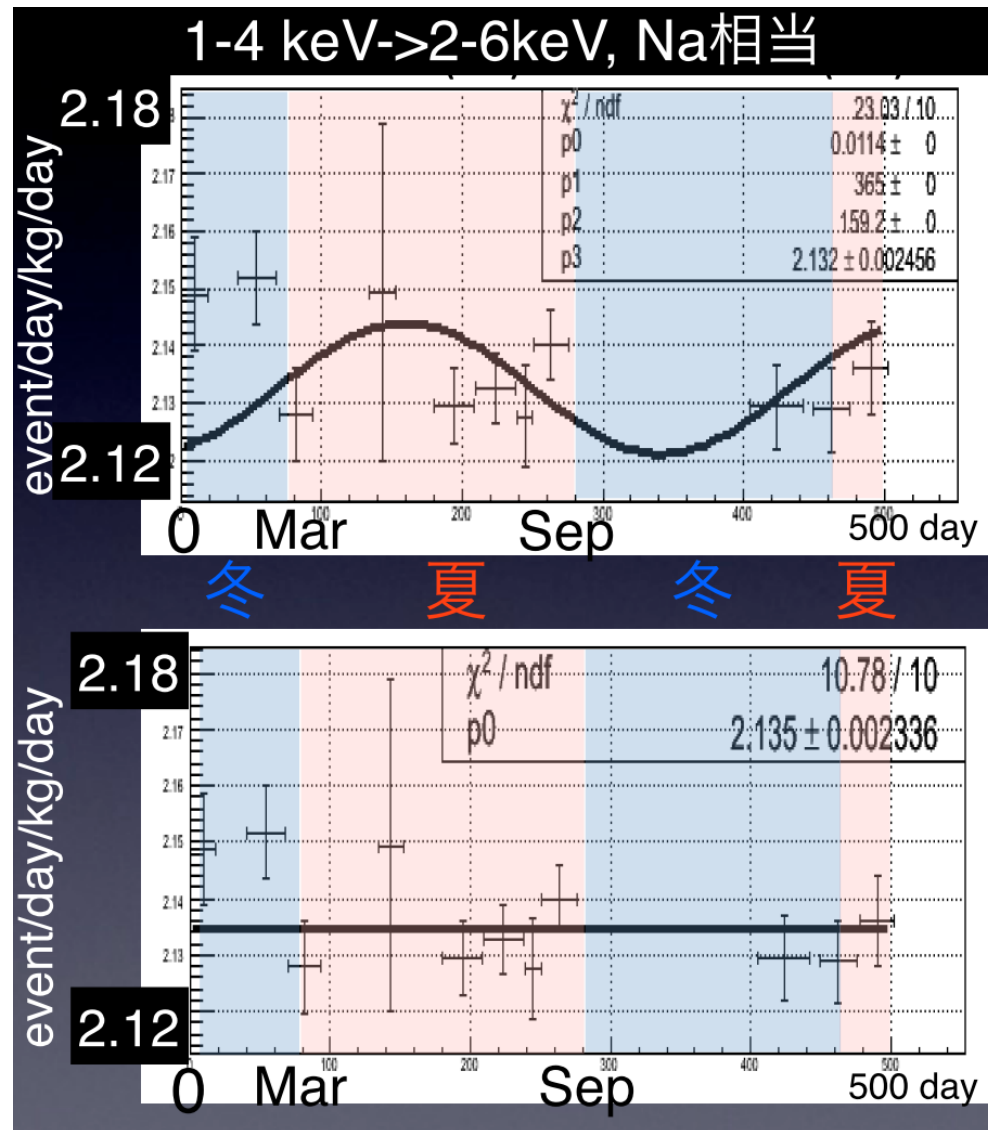


アクシオン・コンプトン散乱

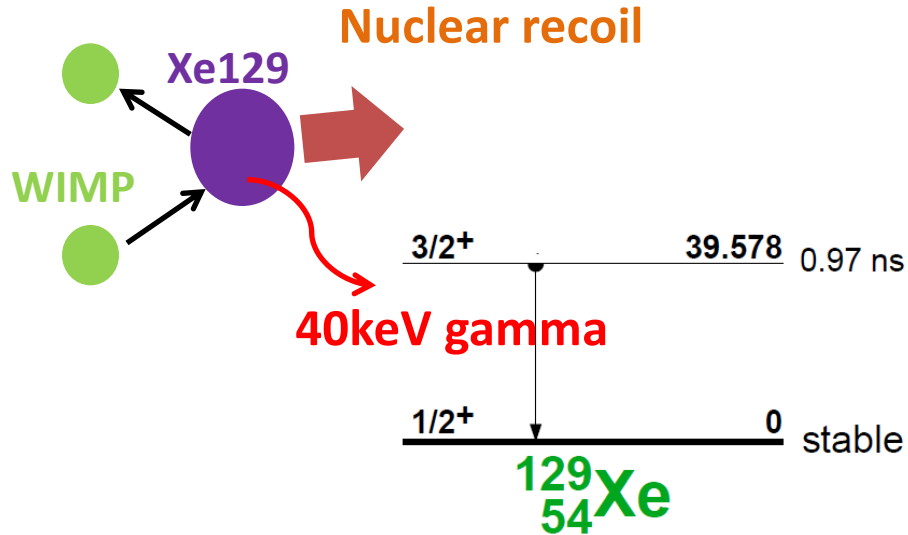


Seasonal modulation for DM search

- 約160日 × 835 kg のデータ (Preliminary)
- Commissioning run では検出器理解のために様々な条件のもとでデータを取得したため、同じコンディションのデータのみを用いた。
- χ^2 : 23.03 DAMA modulation (A=0.014, T=365, Phase=159.2)
- χ^2 : 10.8 for flat

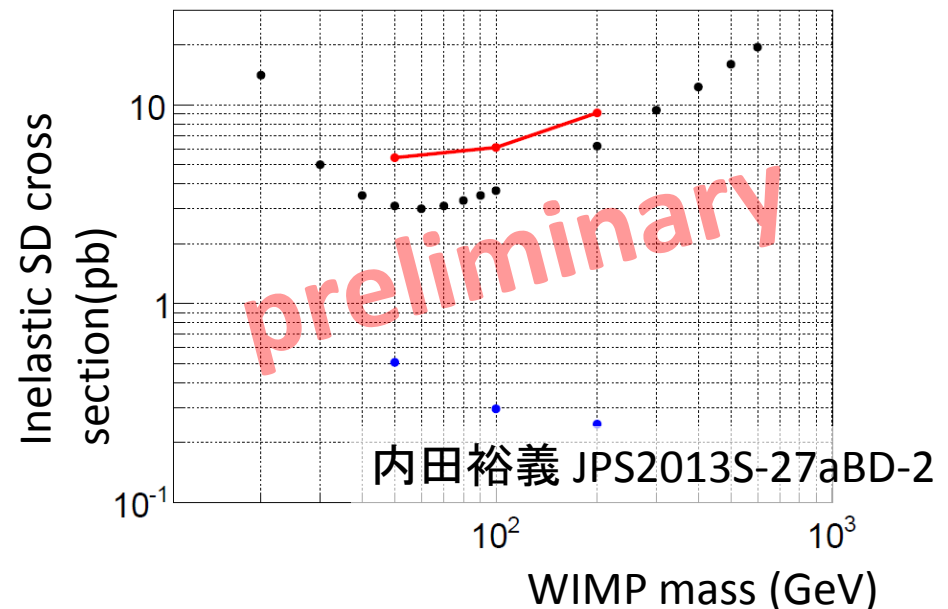
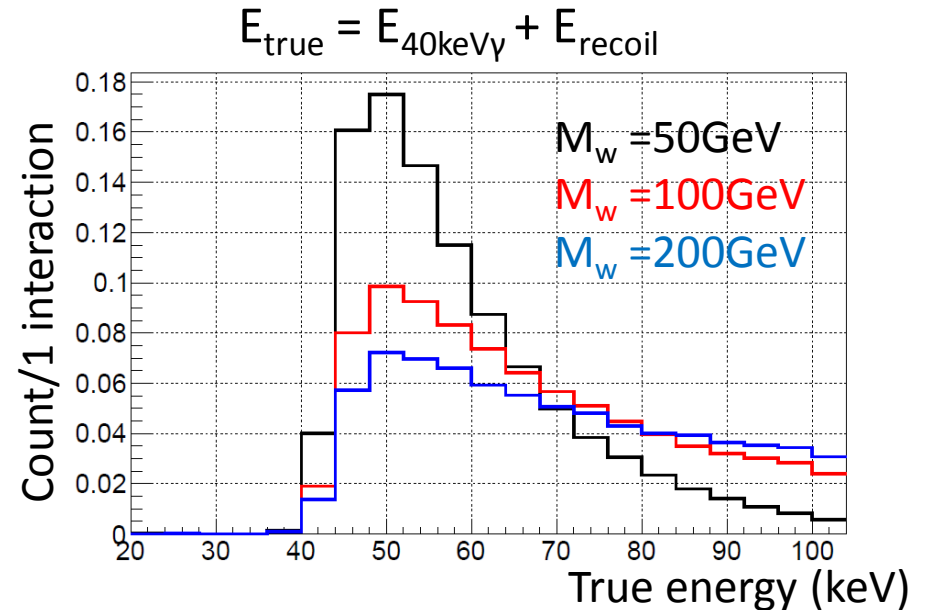


Inelastic scattering DM search



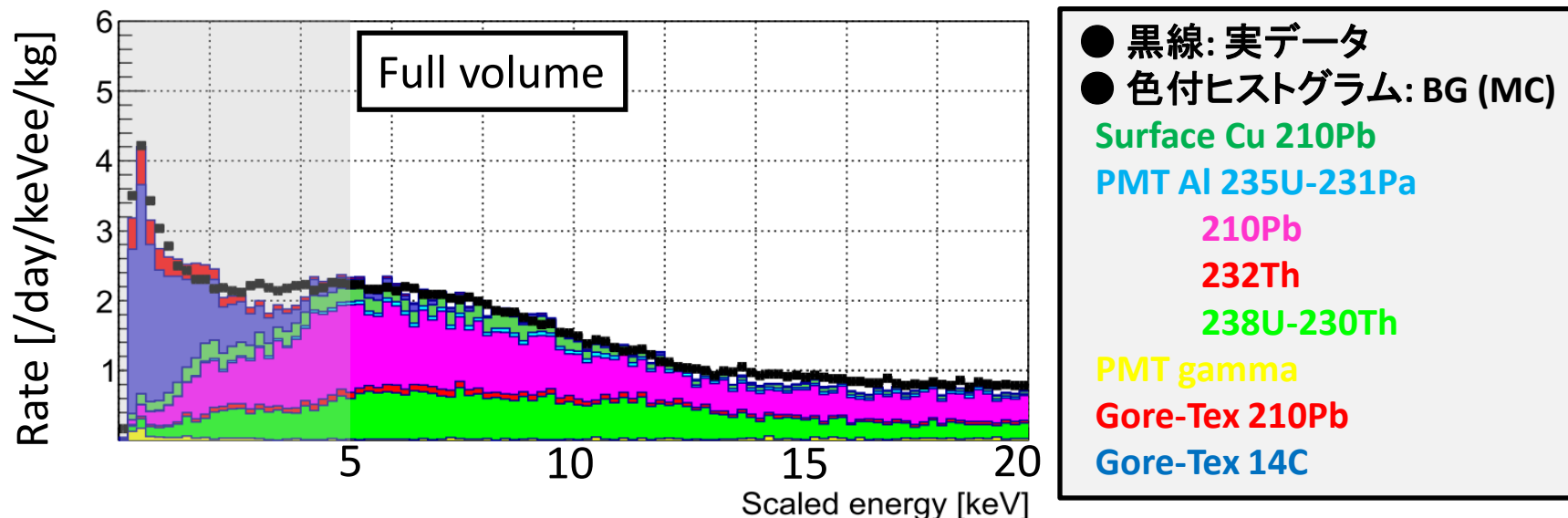
Black: LXeDAMA 2000(90%C.L.)
 Ref: NJP vol.2, 15 (2000), R Bernabei, et al
 Red: XMASS (90%C.L.)
 Blue: XMASS 0 event flat BG (90%C.L.)

- 現在、reduction の最適化
 系統誤差の評価を行っている。



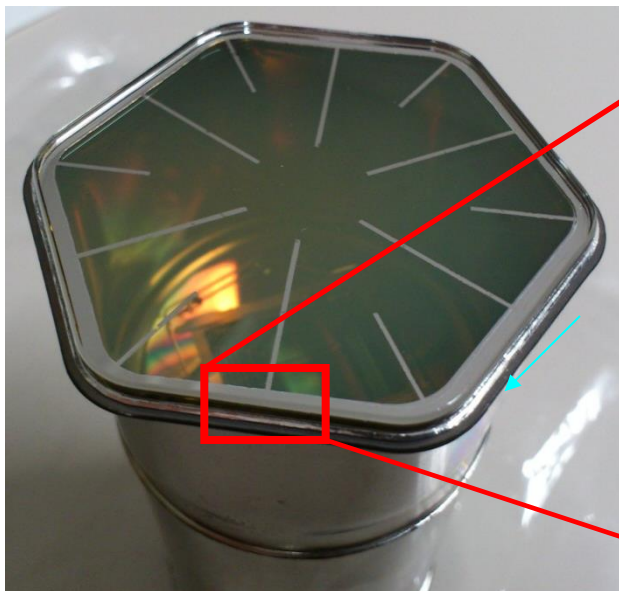
XMASS-I のバックグラウンド (BG)

- 当初想定していたBG (PMT gamma)より2桁以上多かった。
(ただし、それでもDAMA, CoGeNT と同定度)
- 5 keV 以上の原因は**ほぼ完全に同定**。→ MCで再現可能 (下図)
- 5 keV 以下についても有力な候補がある。(Gore-Tex)
- “**検出器表面からの事象 (surface events)**” がほとんどである。
これらを削減することが必要である。
- 早急にできる改良 (Refurbishment) が現在進行中。



BG源の部位と対策

- Main BG source ($\geq 5\text{keV}$)



- BG candidate ($< 5\text{keV}$)

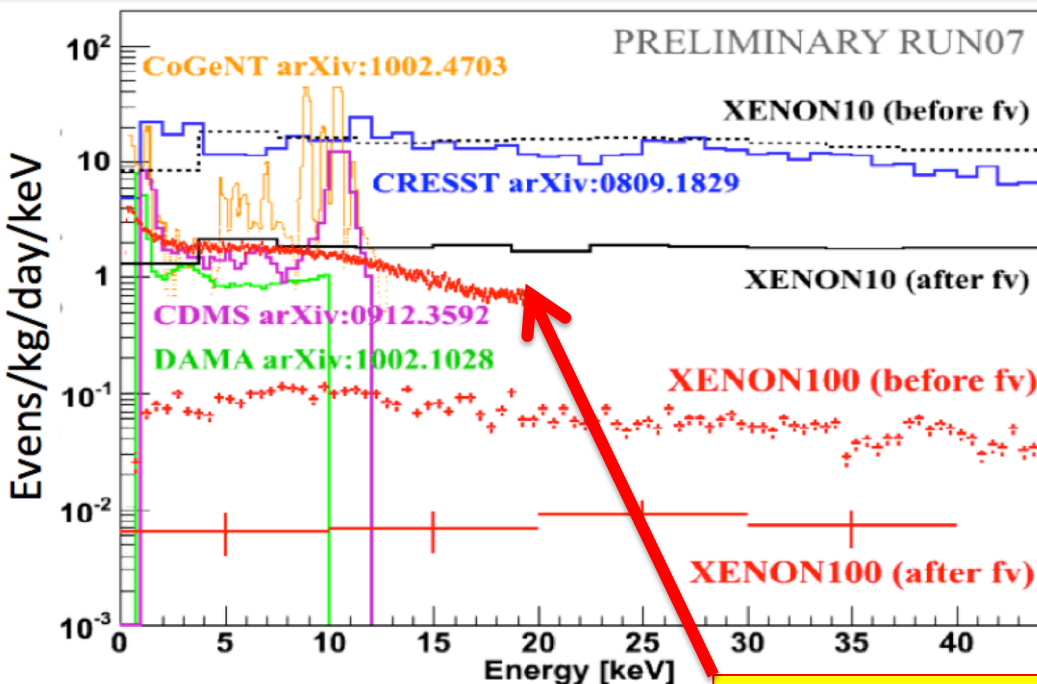


- Refurbishment では、アルミの周りを銅リングでカバーし、GORE-TEXは除去する。
- XMASS-1.5 では、高純度Al に交換する

他の暗黒物質探索実験との比較

- 有効質量: 世界最大(835 kg)
- Threshold: 最も低い (0.3 keV_{ee})
- Full volume のBGLレベルは、当初目標より2桁悪かったが、それでも他の実験と比べて低いレベルを達成している。

E. Aprile, 2010 @Princeton

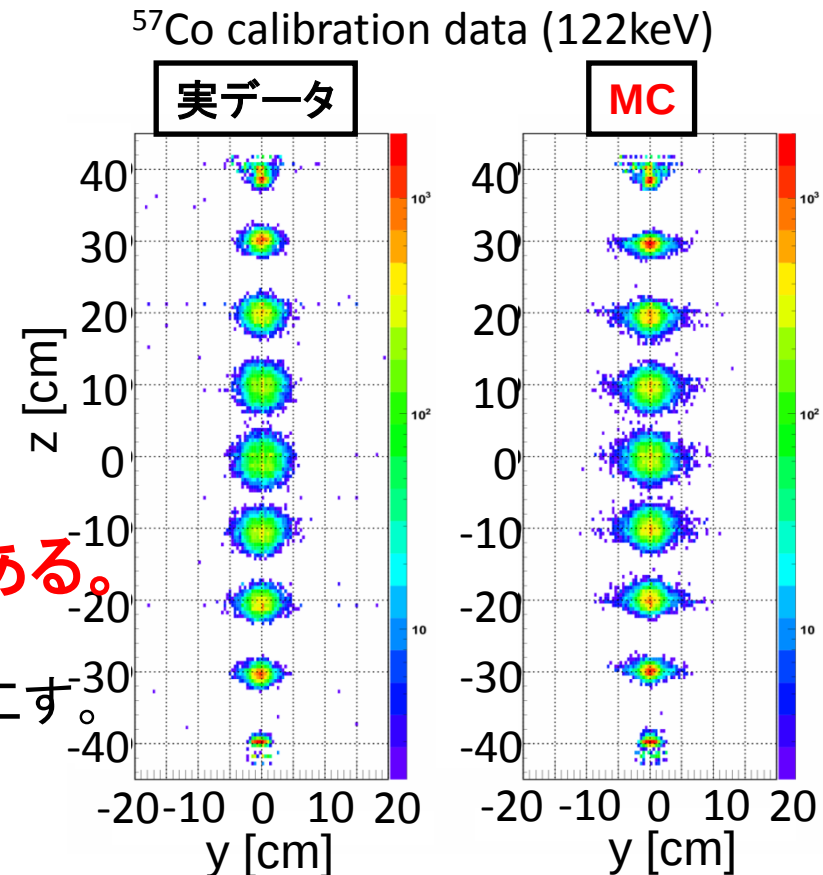


XMASS-I full volume

実験名	Threshold	有効質量
DAMA	2.0 keV _{ee}	250 kg
CoGeNT	0.4 keV _{ee}	0.4 kg
CRESST-II	10 keV _{NR}	10 kg
CDMS-II	10 keV _{NR}	4 kg
XENON100	8.4 keV _{NR}	48 kg
XMASS-I	0.3 keV _{ee}	835 kg

XMASS-I の有効体積カットとBG

- 位置再構成によって、有効体積100kgの事象を選択しBGを削減。
- 位置再構成が正しく機能している事は、calibrationにより確認されている。
- “Surface events” が誤って検出器内部に再構成され、有効体積内に染込む “leakage events” が問題となっている。
→ **Surface events の元を断つ必要がある。**
- PMT周辺構造が leakage events を引き起こす。
→ **構造の改造も必要。**

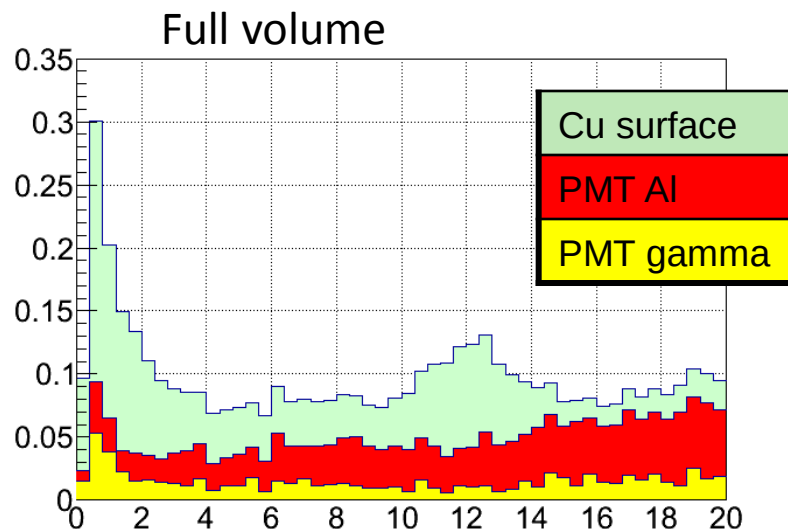


有効体積カットの解析についても、surface events の元を断ち、PMT周辺構造の改造が必要

XMASS-refurbishment

- Refurbishment の目的:
 - PMT AI 起源の事象を銅リングで遮蔽することで、BG が制御・削減できることを確認
 - PMT AI の次に大きな寄与をもつ銅表面の ^{210}Pb を電界研磨 や洗浄で制御・低減できることも確認
- 期待される BG レベル:
PMT AI 起源のBG レベルをPMT自身に含まれる不純物からの寄与と同レベルまで低減
- ただし、PMT AI の寄与を0にすることは無理なので、XMASS-1.5 では、AI は高純度なものに交換する。

銅リングをつける前のPMT



銅リングをつけた様子

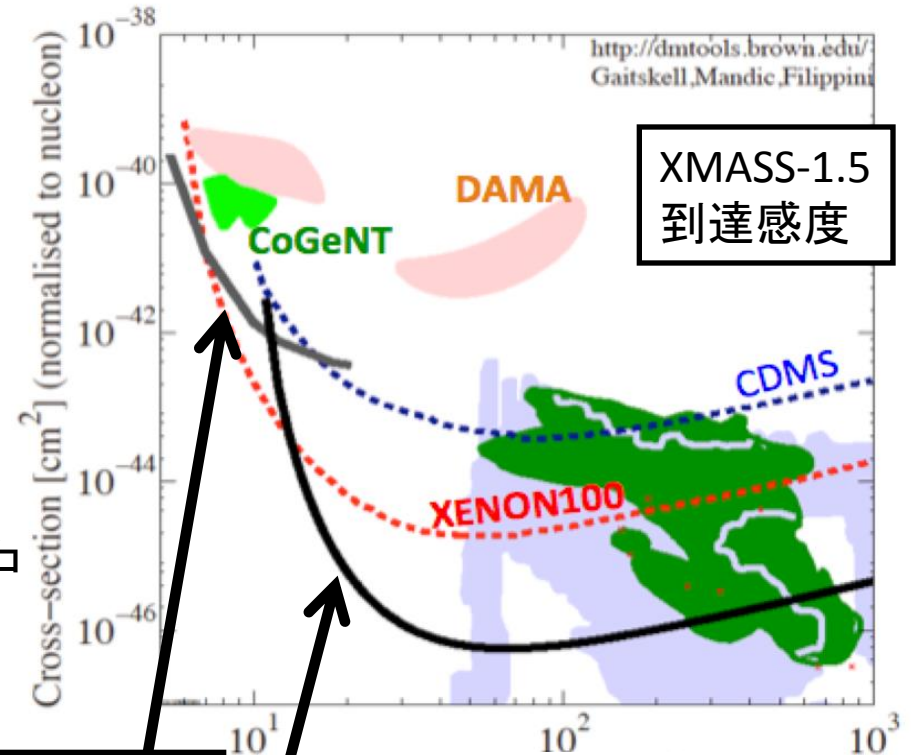


3. XMASS-1.5

- 全質量: 5 ton
- 有効質量: 1 ton
- バックグラウンドの削減:
 - No dirty aluminum
 - No GORETEX
 - Less surface ^{210}Pb ($< 1/100$)
- Surface events の同定
をよくするための新しいPMT
(round shape window、写真)を開発中



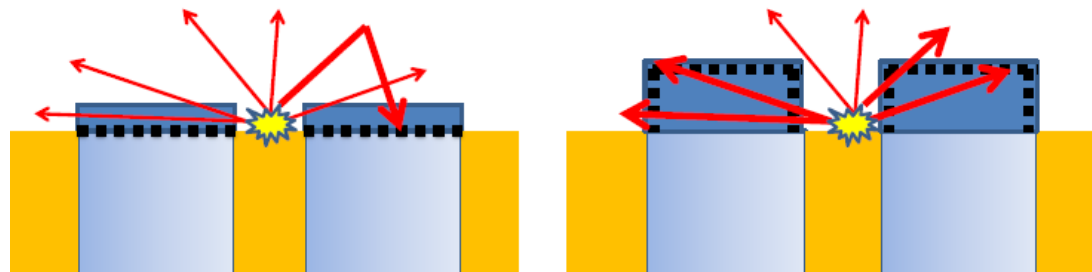
Round shape window



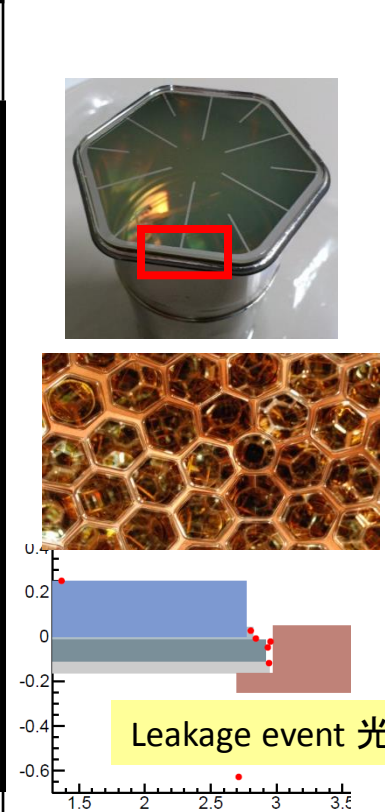
XMASS-1.5
full volume

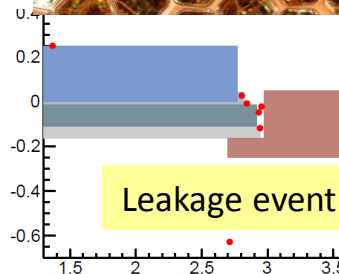
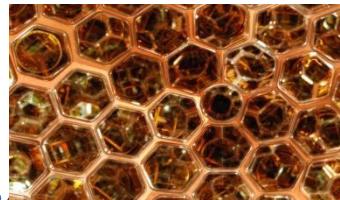
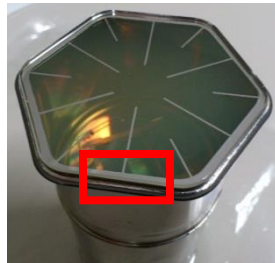
WIMPs mass [GeV/c²]

XMASS-1.5, 2keV threshold , 1yr



Refurbishment～XMASS-1.5 でのBG削減プラン

BG source		Refurbish	XMASS-1.5
PMT AI シール		リングでカバー	PMT交換
Surface ^{210}Pb		化学処理、暴露時間を減らす	
PMT周辺構造		リングで埋める	Gap構造をなくす PMTの改良
Gore-Tex		除去	



(3-1) 本実験をどのように展開、進めてゆくか

- 最終目的は、XMASS-2 (25 ton) による多目的検出器
- いきなり XMASS-2 は難しいので、まずは、XMASS-1.5 (5 ton) からステップを踏んで、段階的に大きくする。
 - 暗黒物質探索に特化した検出器
 - $< 10^{-46} \text{ cm}^2$ (100GeV) の世界最高感度での探索
 - 何らかの indication が見え始めれば、XMASS-2 実現への足がかりに

(3-2) XMASS-1.5 を実現するにあたっての問題点

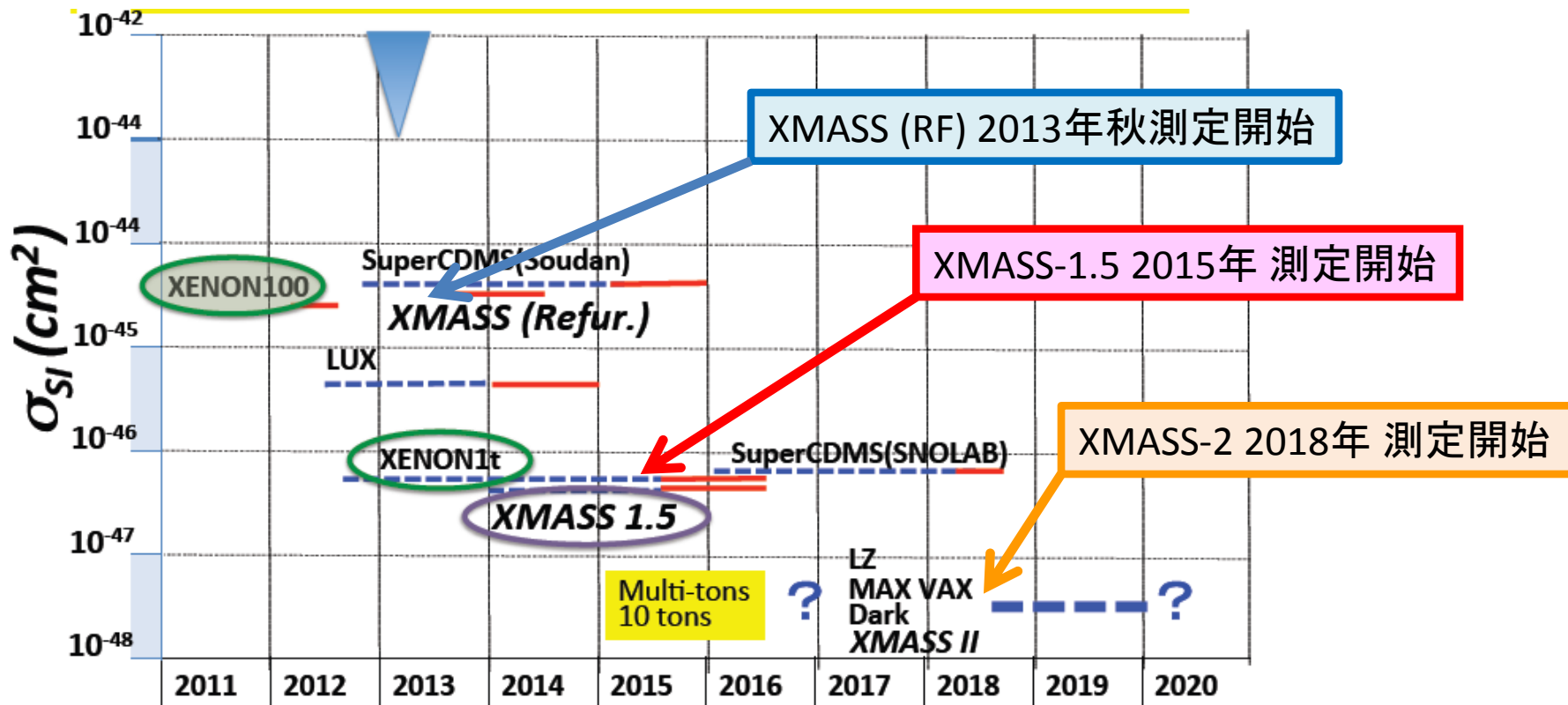
- Surface event が fiducial volume に染込む leakage event を低減するための round shape window PMT を開発。
MC による効果の確認をすぐに行う。
- 平行して、surface event の源自身も低減する。
検出器表面の ^{210}Pb の制御・低減は、refurbishment により確認する。
- 5 ton + α のキセノンガス($\sim 1000\text{m}^3$) を安全に取扱うための手法・設備の確立。
保持容器、緊急回収容器を設置する場所の確保。
(XENON-1T では、低温状態で回収して、常温・高圧で保持できるような容器を準備してコンパクトに)

(3-3) XMASS-1.5 の必要経費・マンパワー

- 2014–2016 の3年間 (2015年に設置・コミッショニングスタート) で、15億円。
 - 必要人員は、装置設計・製作・設置時に、少なくとも + 5人/年。コミッショニングから観測フェイズで、+ 4 人/年必要。
 - 15億円は、中規模計画の概算要求に提出。科研費等も積み上げる。
-
- XMASS-2 は、96億円規模。
 - 必要人員は、少なくとも + 16人/年。

(3-4) 年次計画

- 2013 秋 XMASS Refurbishment 完了、測定開始
- 2014 XMASS-1.5 建設開始
- 2015 XMASS-1.5建設完了, コミッショニングラン開始
- 2016–2018 XMASS-1.5観測
- 2018 XMASS-2 建設完了、コミッショニングラン開始



(3-5) XMASS の国際競争力、他実験との比較

- XENON 1Tが2015から1–2年で、 $< 10^{-46} \text{ cm}^2$ を目指しており、XMASS-1.5を2014–2015年にはスタートさせることが重要。
- 現実的なscalabilityは、1-phaseのXMASS-1.5が有利。
- Nuclear recoilだけでなく、 e/γ 信号にも感度がある (ALP)。

- XENON 1T (2-phase liq. Xe, 1ton)
 - Gran Sasso
 - 2015 からスタート 1–2 年で、 $< 10^{-46} \text{ cm}^2$
- LUX (2-phase liq. Xe, 300 kg)
 - Homestake: moved in July 2012
 - 2–3 年で、a few 10^{-46} cm^2
- LZ (2-phase liq. Xe, 7 ton fid.)
 - Plan, a few 10^{-48} cm^2
- Super-CDMS
 - SOUDAN (0.62 kg/結晶 $\times$ 18個 = $\sim 11\text{kg}$)
2012–2014: $\sim 5 \times 10^{-45} \text{ cm}^2$
 - SNOLAB (1.38 kg/結晶 $\times$ 144個 = $\sim 200\text{kg}$) $\sim 8 \times 10^{-47} \text{ cm}^2$

4. Summary

● XMASS-1 のまとめ

- 世界最大(835kg)、最低しきい値(0.3keVee) の暗黒物質探索検出器
- Low mass WIMP search
- Solar Axion search
- Seasonal modulation for DM search
- Inelastic scattering DM search

- XMASS-I では、BGレベルが当初予想より2桁多かったが、原因の特定はほぼされており、除去が可能。
- BG原因を除去し、さらに leakage event を低減できる PMT を開発し、本実験である XMASS-1.5 及び 2 を段階的に展開する。
- 国際競争から、2015年にもXMASS-1.5 をスタートさせる必要がある。
- XMASS-1.5 に必要な経費: 15億円/3年
マンパワー: 少なくとも +5人/年