

XMASSと世界のダークマター (直接探索)の状況

東京大学宇宙線研究所
神岡宇宙素粒子研究施設
森山茂栄

2009年9月5日

高エネルギー物理学将来検討小委員会

- 世界の情勢の紹介
- XMASS実験の状況
- まとめ



ダークマター探索の10年

- 90年代後半: DAMAが信号の兆候
- 2000年: 大型液化希ガス検出器の提案(XMASS)
- 2003年: WMAPによりDMの存在に確信
DAMA/NaIが7年の季節変動を報告
- 2007年: xenon10, CDMSが制限を更新
- 2008年: DAMA/LIBRAが信号を確認
- 現在: 多数の実験が大型化へ向けて進行中
大型化、クロスチェックを求める状況は、今信号が見え始めたとしても今後5年以上は続くと思われる。

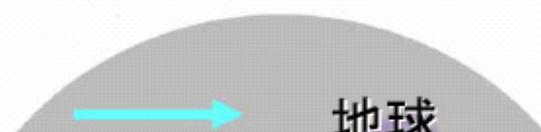
LXe: XENON100, LUX, XMASS

LAr: WARP, ArDM, DEAP/CLEAN

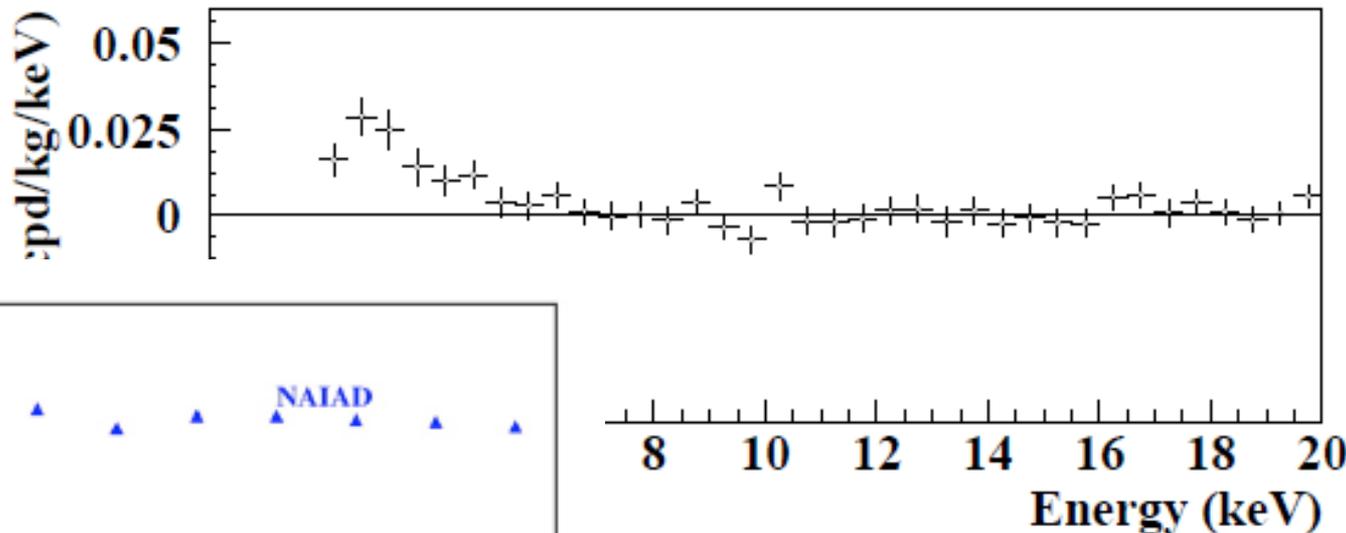
Ge: SuperCDMS

Bubble chamber: COUPP, PICASSO

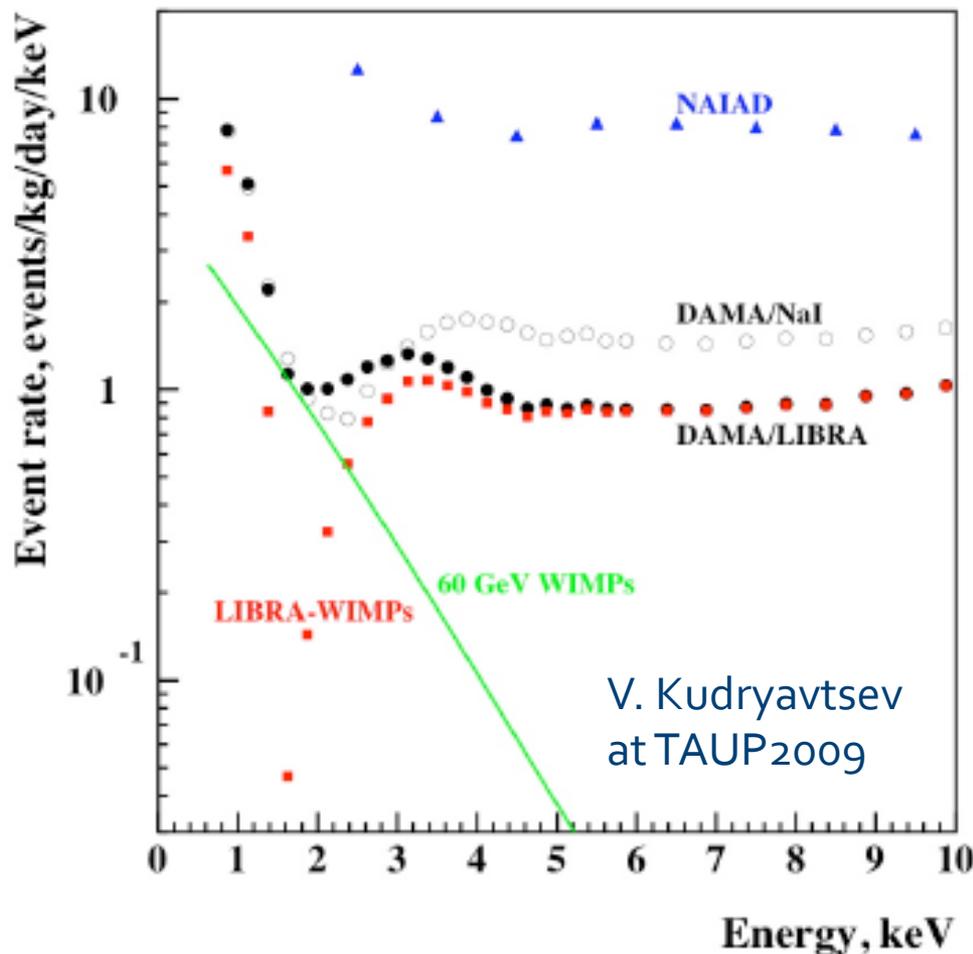
DAMA/NaI, DAMA/LIBRA @ GS



arXiv:0804.2741v1



0.1
0.08
DAMA/NaI
total set ml



- 季節変動を主張
- 8.2 sigma C.L. with 0.82 ton x year
- No BG rejection
- 通常ハローモデルの予言だと不思議なBG.
- High QEの玉を予定。

その解釈は？

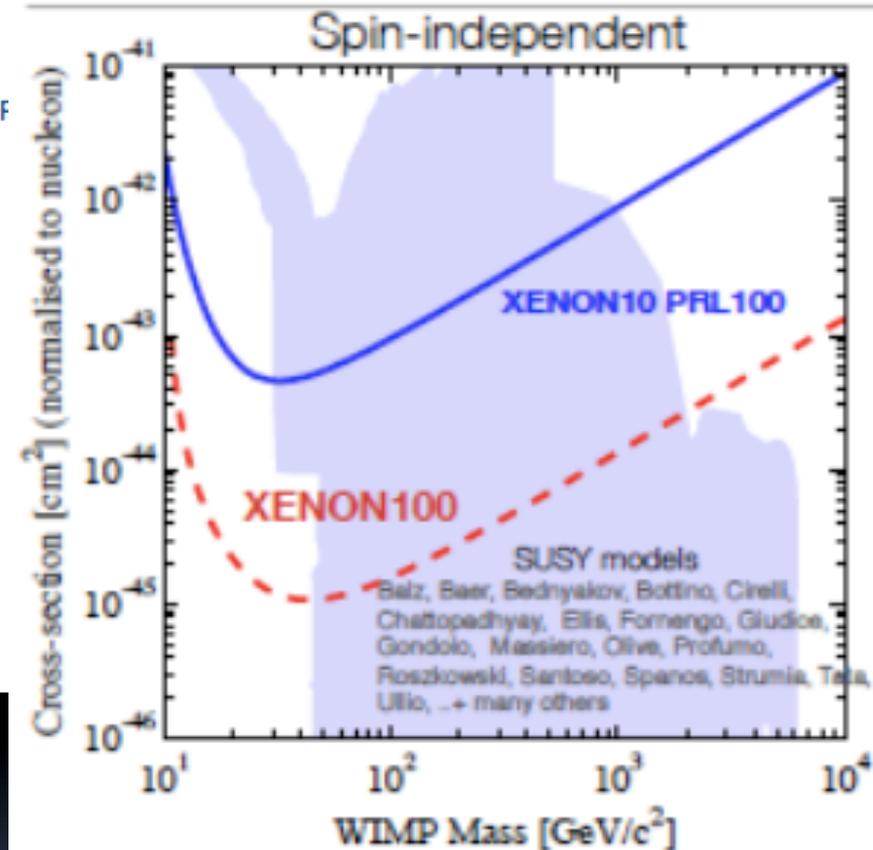
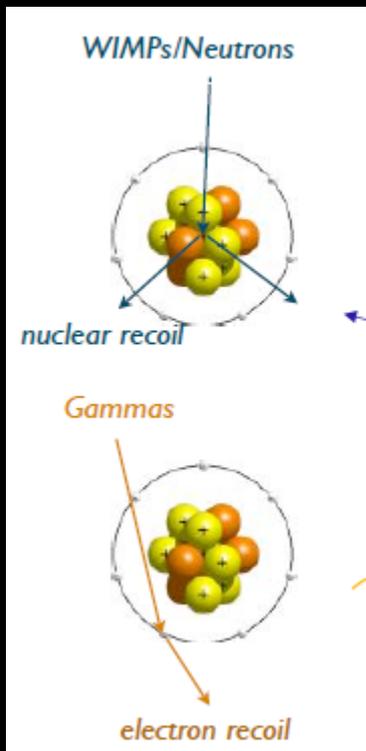
- 電子散乱（DAMA以外は原子核反跳のみ観測）：軽くて大きな断面積必要。CMBと矛盾
- スピン非依存相互作用(SI)：軽いDMでもスペクトルがよく説明できずほぼ排除。
- スピン依存相互作用(SD)：チャネリングを考慮すると軽いDMが残っている。
- 非弾性散乱：DMが励起状態になる場合はうまく説明できる。(苦し紛れか。。。)
- ハローモデルをいじる、等々
疑わしくも、考えられる可能性が調査。

CDMS II, SuperCDMS @ Soudan



- CDMS II: 4.75kg of Ge, 1.1kg of Si (これで5 towers)
フォノンと電荷を使い、事象毎にPIDしBG rejection.
現在この一つをsuper towerに交換した。
Geの厚みを増し、250 gを4個→650 gを5個へ。
今年中にもう一つ、来年早くに5タワー全部交換
- Super CDMS: その結果Ge 16.25kgになる。~2012
- その後SNOLAB (or DUSEL) へ移動~2016で100kgを狙う。

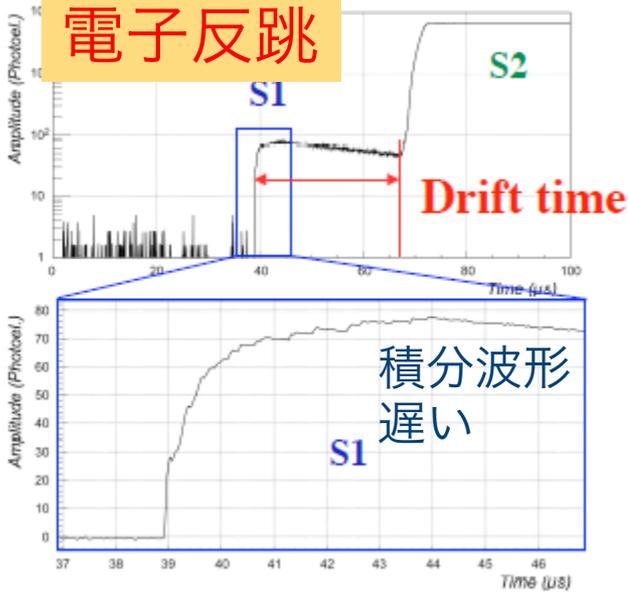
XENON10, XENON100 @ Gran Sasso



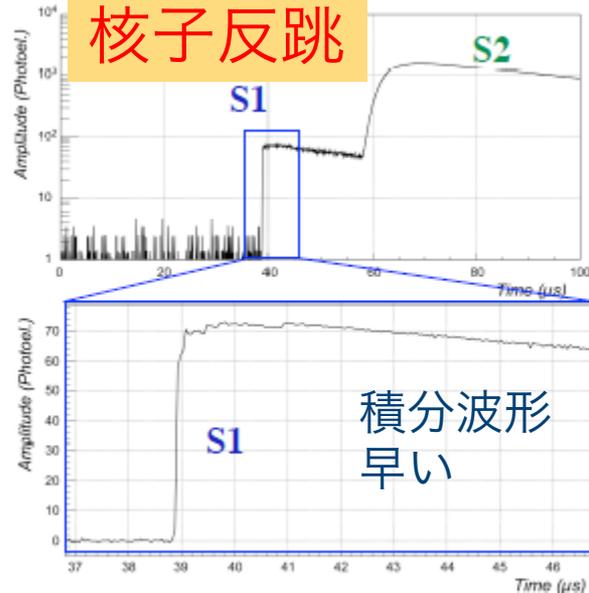
- XENON10: 5/15kg, XENON100: 70/170kg
- XENON100は現在調整中。年末から測定開始？
- 電子ドリフト寿命30cm到達。キセノン純化中。
- XENON100+ (>100kg) ~2012, XENON1T $<10^{-47}\text{cm}^2$ ~2015

WArP, ArDM

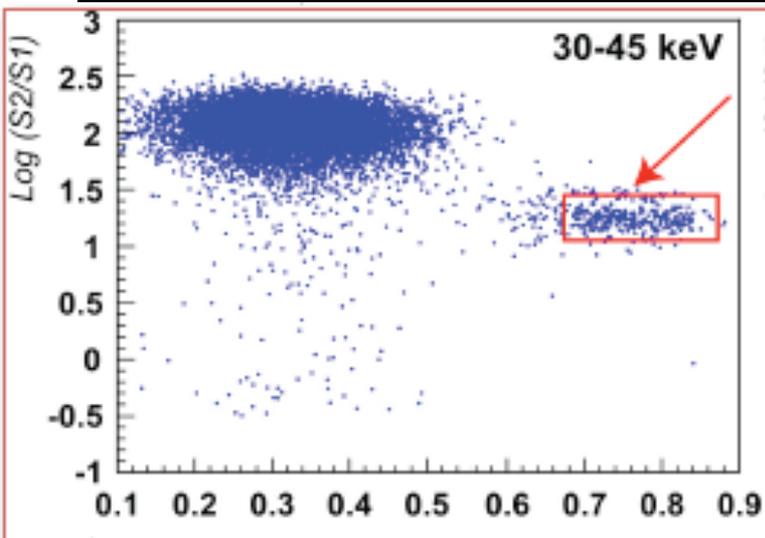
電子反跳



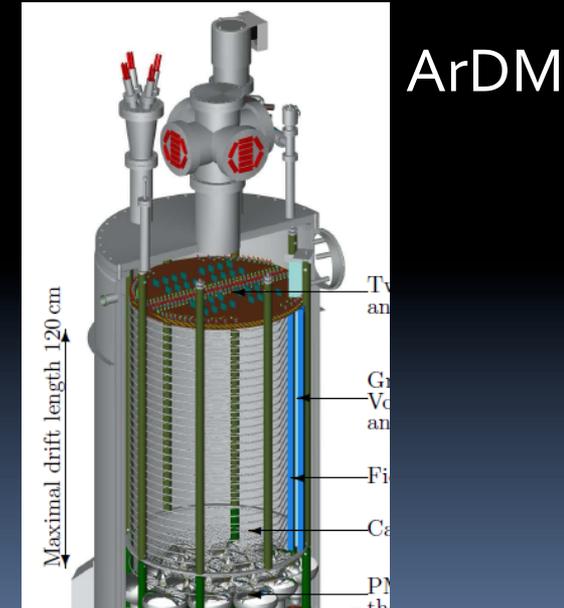
核子反跳



- 波形時定数の違いと、 S_1/S_2 の違い。
- ^{39}Ar の問題
($\sim 1\text{kHz}/1\text{kg}$, 地下産でもnが効く)



GSに建設して液入れ。放電中。



ArDM

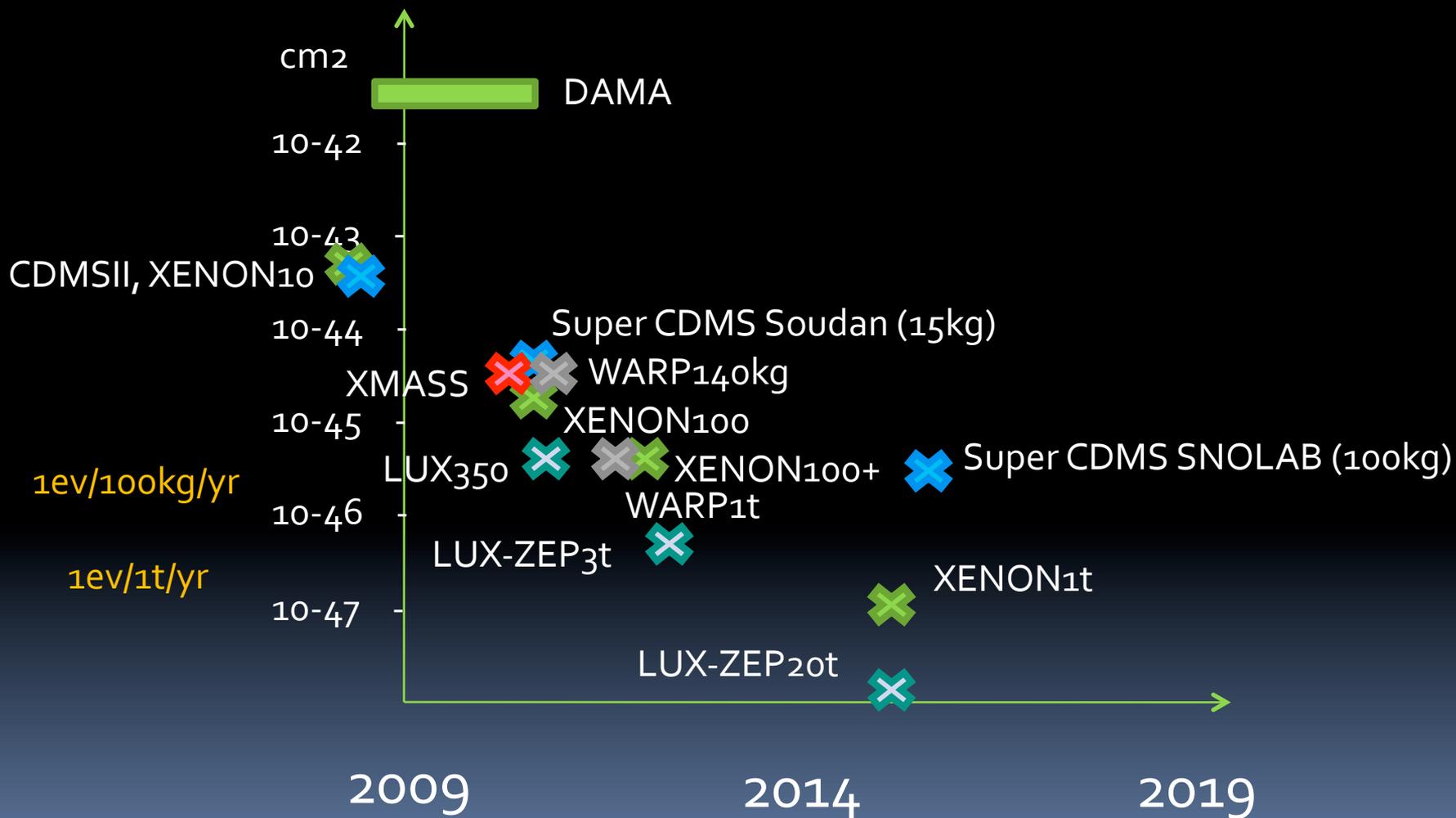
CERNで製作中
LEM増幅率 $10 \rightarrow 10^4$

各種実験グループのまとめ

名称	target	SI/SD	Status	FV/total	特徴
CDMS	Ge	SI/SD	Running		確立。拡張性低。
DAMA/ LIBRA	NaI	SI/SD	Running	250kg	信号発見？ PIDなし。
PICASSO	C ₄ F ₁₀	SD	Running	2kg- ¹⁹ F	Dropletの破裂
COUPP	CF ₃ I	SD	Running	2→60kg	Bubble chamber
XENON100	Xe	SI/SD	Testing	70/170kg	xenon10の経験あり。
WArP	Ar	SI	Testing	140kg FV	PID 2種。Ar ₃₉ , 敷居値
XMASS	Xe	SI/SD	Constructing	100/800kg	Single phase
LUX	Xe	SI/SD	Constructing	100/350kg	xenon10から。4850FT
ArDM	Ar	SI	Constructing	850kg FV	PID 2種。LEMを使う。
miniCLEAN DEAP	Ar	SI	Planning	150kg FV 1000kg FV	Single phase 光量
EURECA	various		Planning	>100kg	Joint in Europe

感度は質量とBGによる。今後10-100倍改善 10^{-45} - 10^{-46} pb目指す。

感度向上「計画」





XMAS

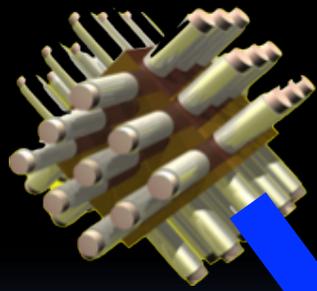
Xenon MASSive Detector

- 低エネルギー太陽ニュートリノ(pp)の観測。
- 二重ベータ崩壊探索実験(^{136}Xe)
- 暗黒物質探索実験

100kg Prototype
(FV:30kg、~30cm)

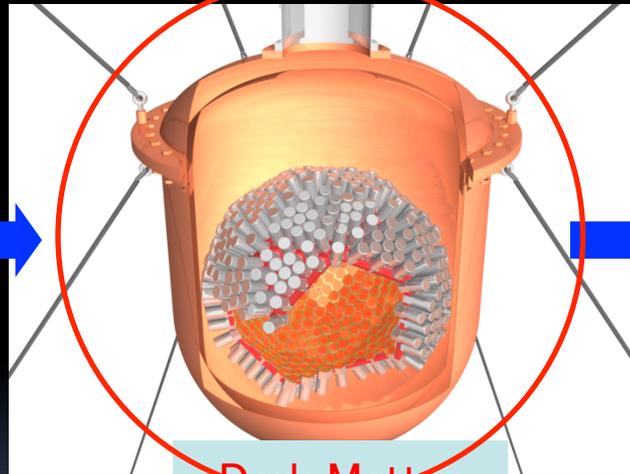
1ton Detector
(FV:100kg、80cm)

20ton Detector
(FV:10ton、~2.5m)



R&D

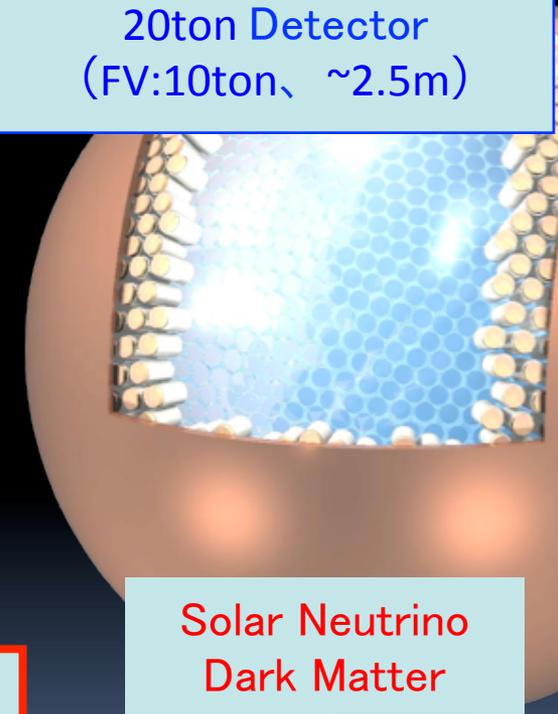
Completed



Dark Matter

2007: Project was funded.
2009: Construction

Double Beta Decay

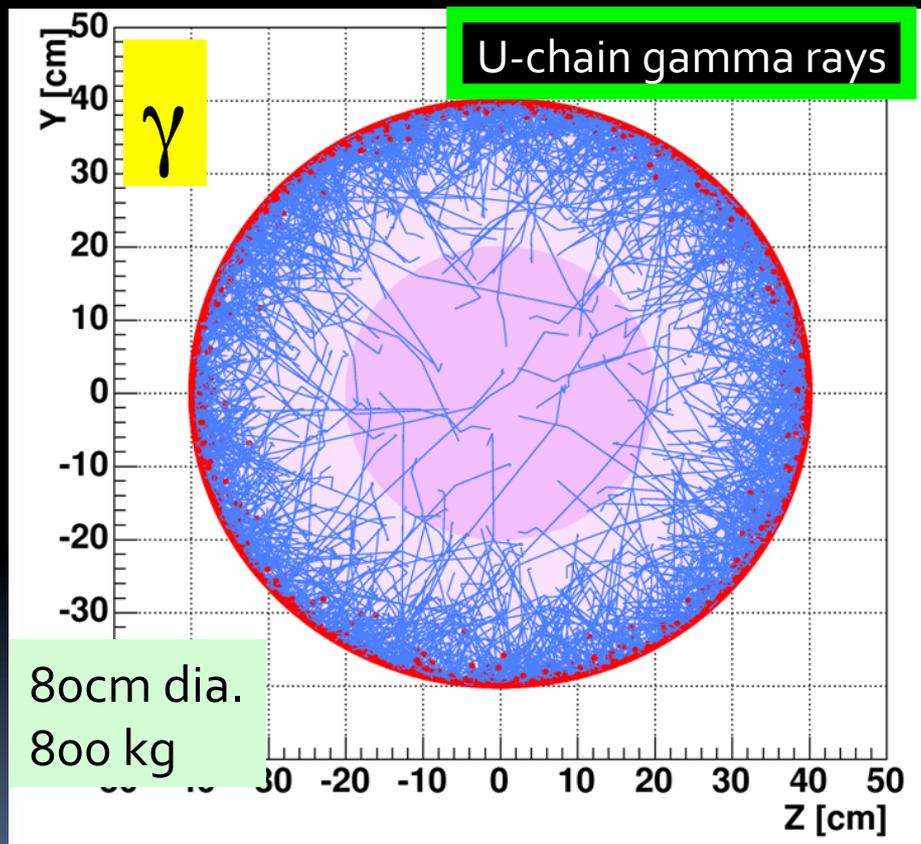


Solar Neutrino
Dark Matter

バックグラウンド低減の手法

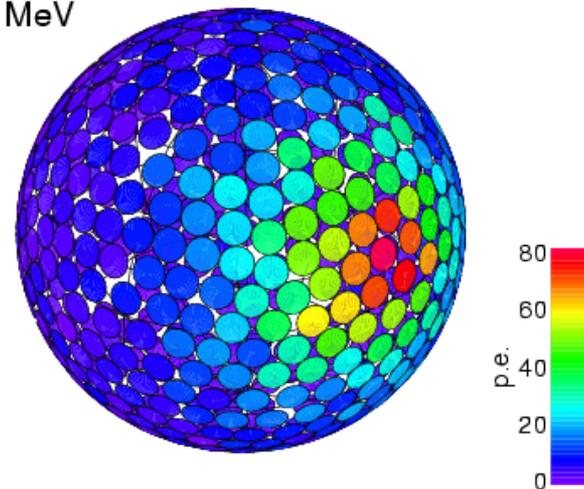
Zの大きなキセノンにて、外来放射線を自己遮蔽。

発光量が多く (~NaI(Tl)) マイナス100度で 3g/cm^3 の液体

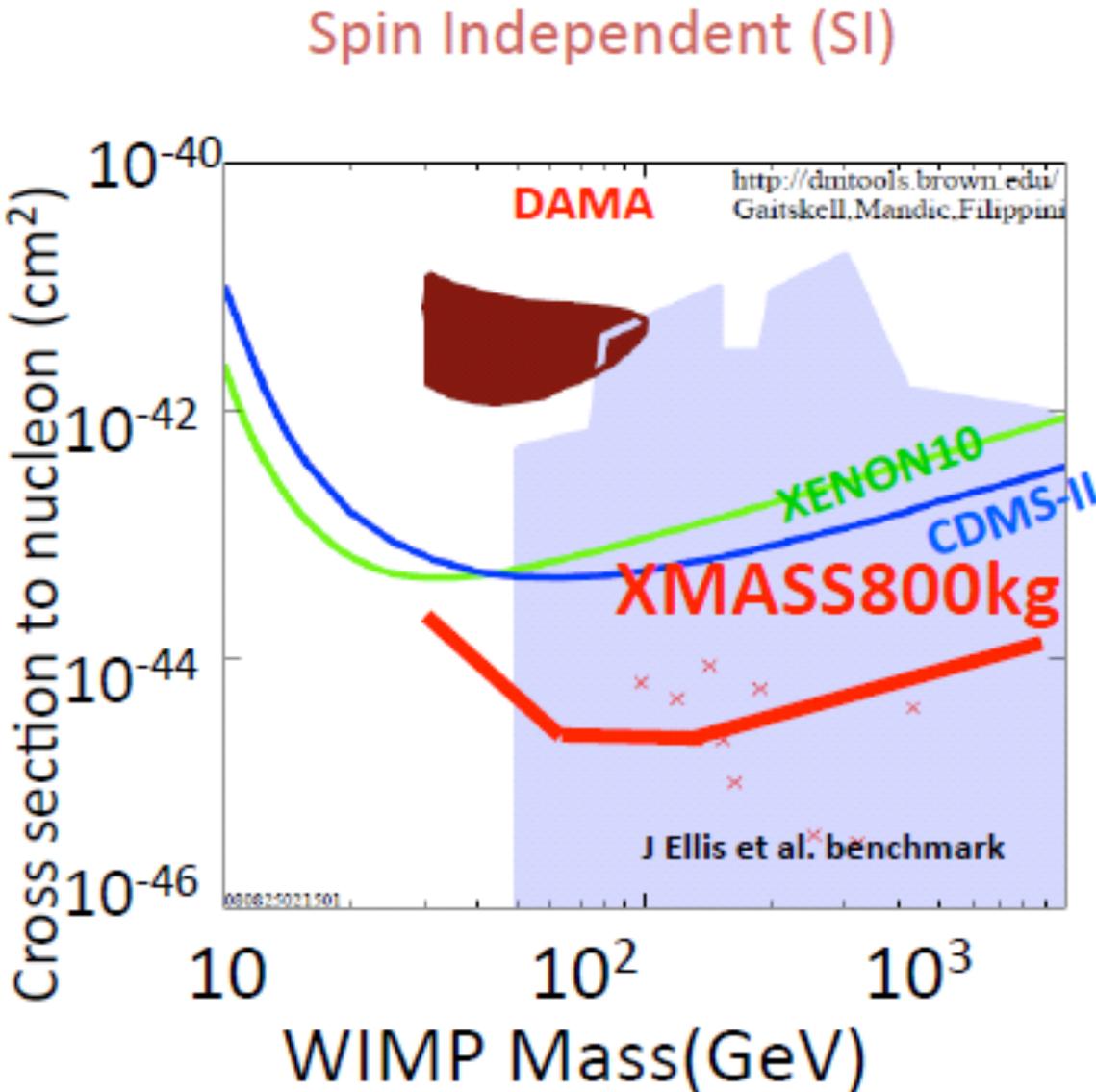


- 中心部の事象を選び出すことにより、BGの低減が可能。
- 大型化により外部由来放射線を強く低減できる。

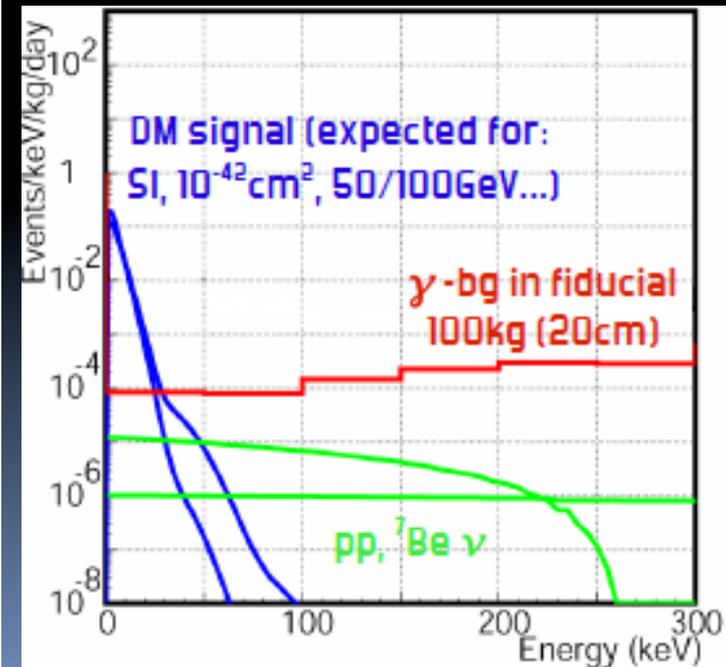
Pos: (20.0, -10.0, 10.0)
E: 1.00 MeV



第一フェーズの物理：DM探索



- 4p.e./keV程度以上、5keV以下 敷居値を狙う。数10hitのデータが重要。
- 2桁近い感度の向上を目指す。



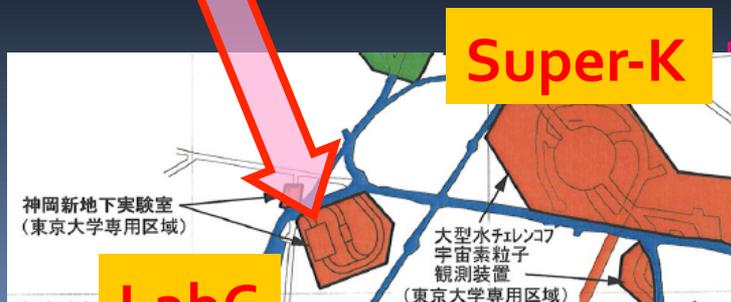
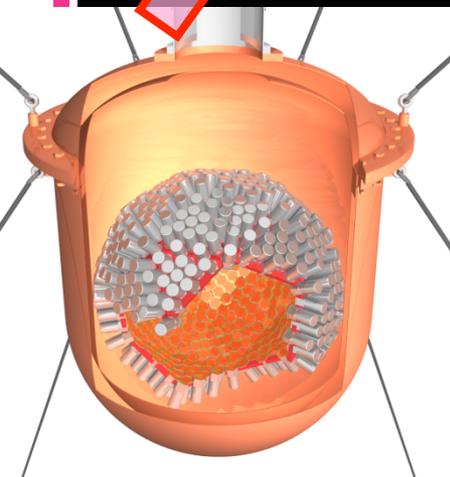
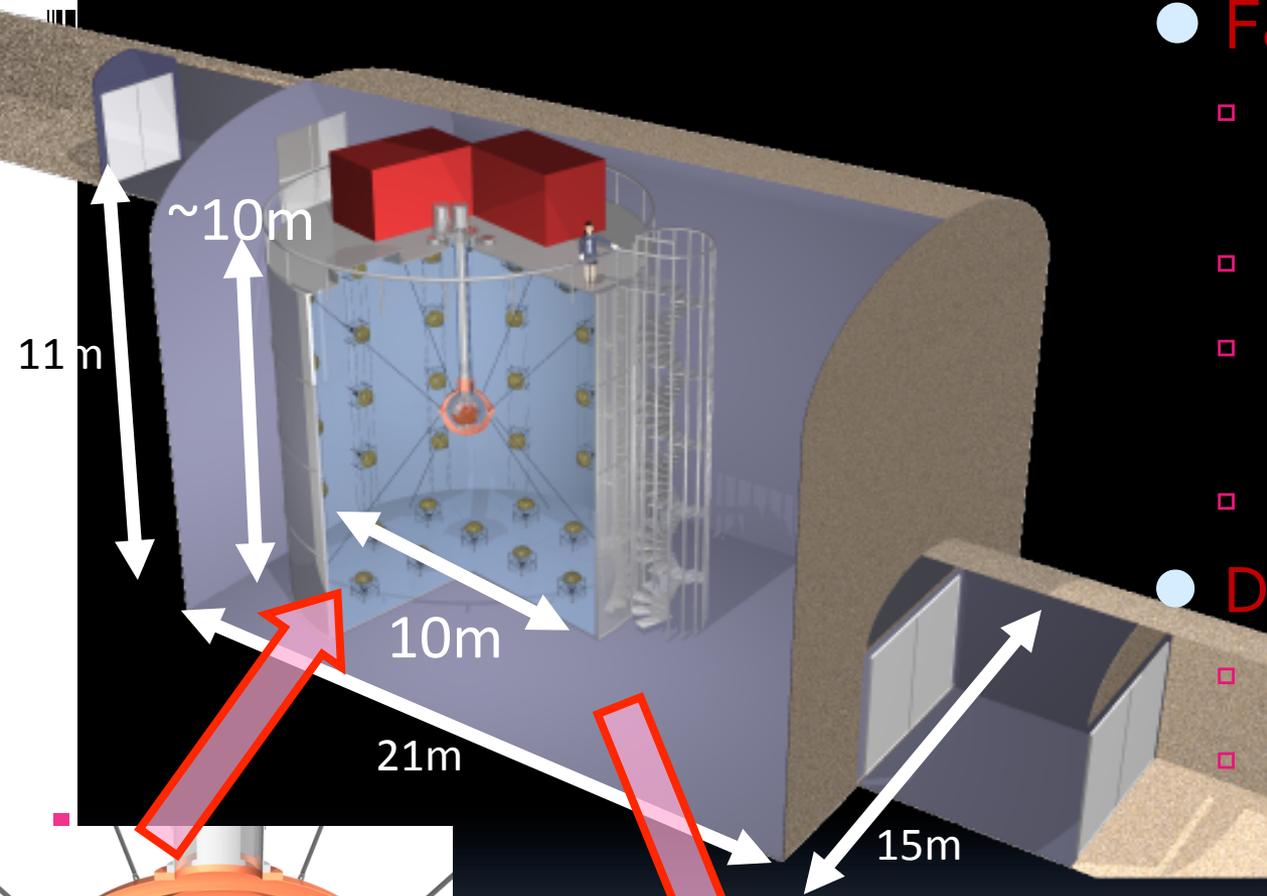
1トン検出器の建設状況

- Facility (completed)

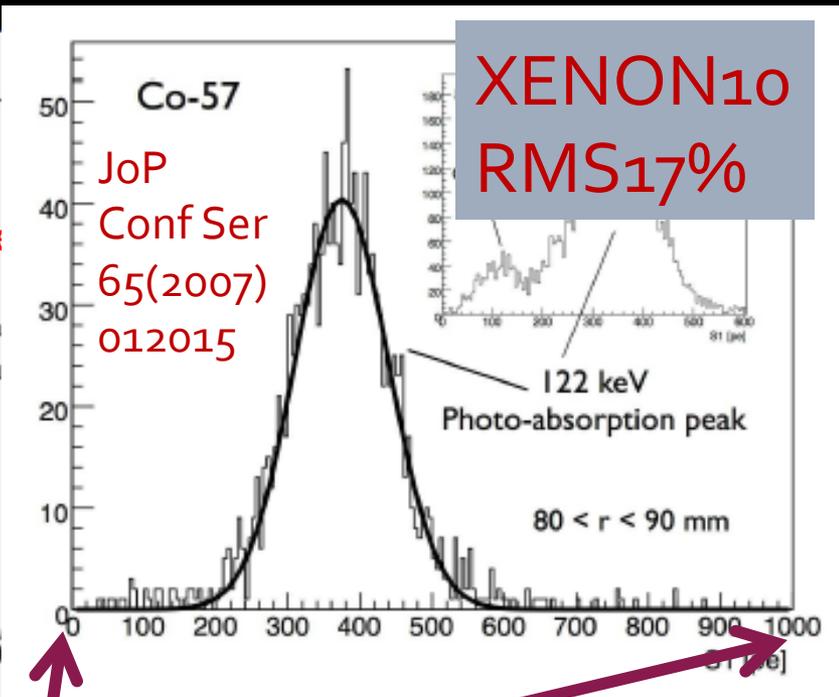
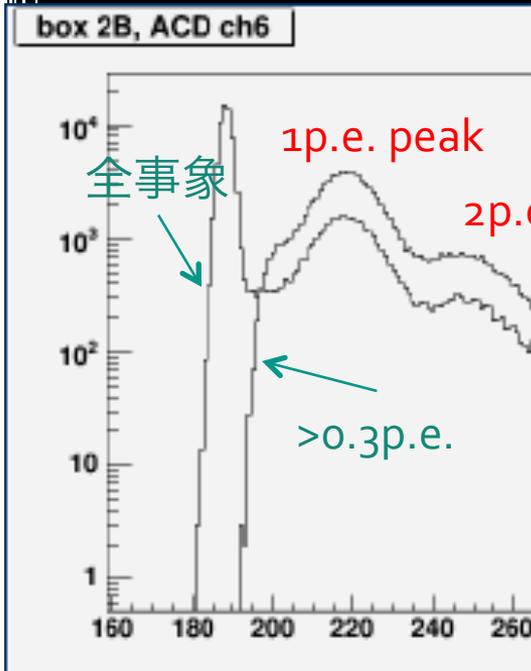
- Experimental Hall (1000m underground)
- Water Tank
- Water purification system
- Radon free air system

- Detector (~Dec. 2009)

- Liquid xenon, PMT
- Gas/Liquid handling and purification system
- PMT Holder (OFHC)
- Inner Vacuum Chamber (IVC, OFHC)
- Outer Vacuum Chamber (OVC, OFHC)



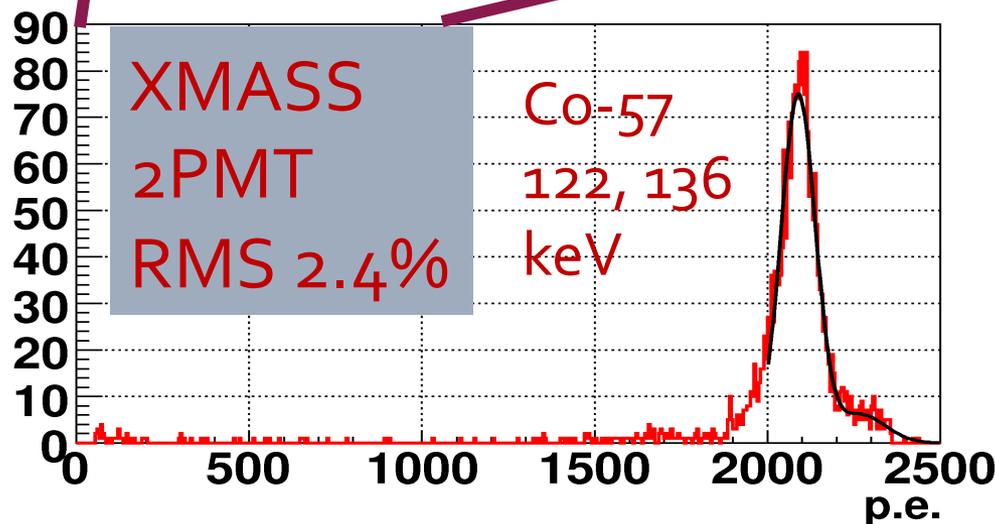
低バックグラウンドPMTの生産状況



松ホトニクスと
MASSが共同開発した
角2インチPMT

- すでに品予定
- 常温、
- 良い1p
- PMT2本

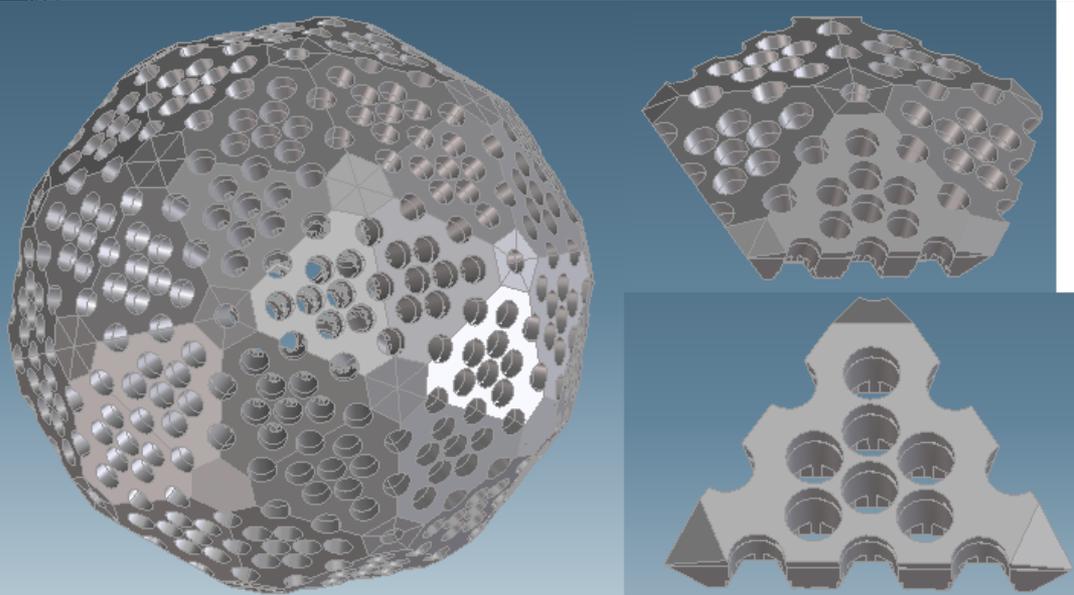
Events



(650本)納
なBG源。

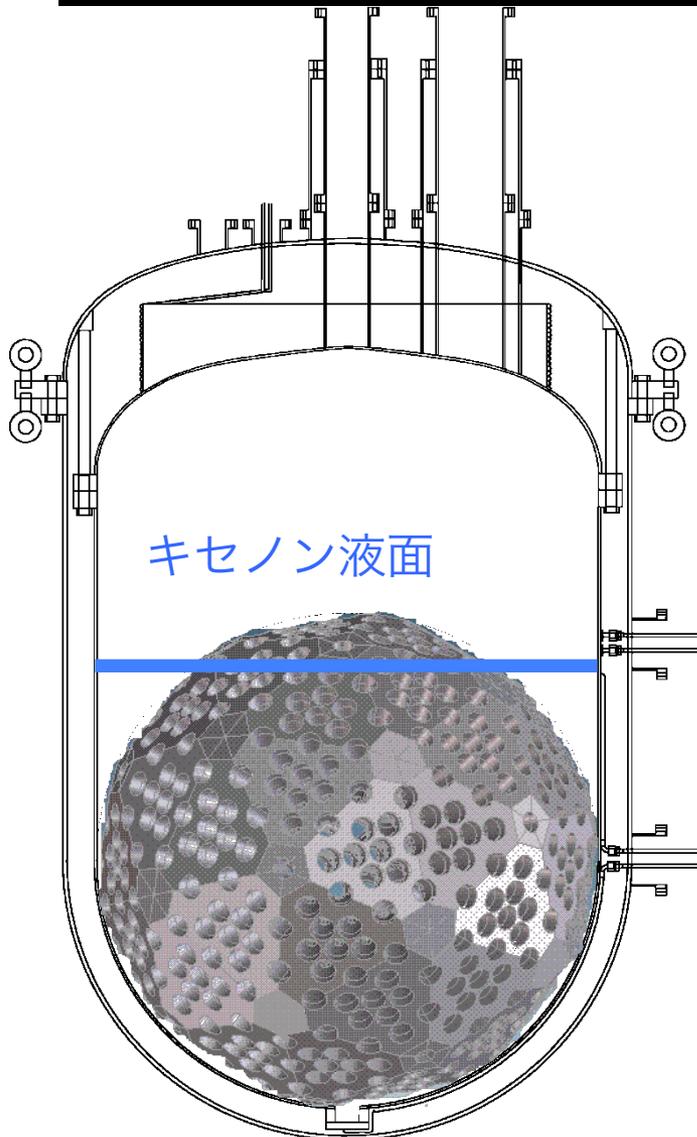
./keV!

PMTホルダーの設計、製作



- 検出器と同様に無酸素銅の特殊品（写真はアルミ）。
- 63%の光電面被覆率
- 液体キセノンを節約するために無酸素銅の詰め物を入れる。
- 検出器と併せて、全体で5トン。

検出器容器の製作



- 無酸素銅で製作。低U,Thが得られる。
- 宇宙線による破砕で ^{60}Co が発生する可能性があるため (max ~2mBq/kg)、電解精製直後の無酸素銅を購入(三菱マテリアルの協力)
- いったん地下に貯蔵し、加工時期にあわせて搬出。
- 11月末頃に搬入予定。

水タンク・支持構造の建設



- 検出器くみ上げ用の架台。
- この上部に、検出器支持構造が完成している。

クリプトン除去の精留塔、試験

クリプトンが沸点が低い
つまり蒸発しやすい



- PMT BGに比べて $1/10$ 以下の寄与にしたい。→ 1ppt Krが必要。市販品0.1ppm程度なので、5桁の低減能力が必要とされる。
- 1tonのキセノン进行处理するために、6kg/hrの処理能力を持つ必要がある。
- 2009年3月に製作し、試運転完了。
- 学会で報告予定。
- ラドン除去試験中。

For prototype : K. Abe et al.
Astroparticle Physics 31(2009), 290

現状の装置配置写真

循環装置

液体キセノン
リザーバ

800トン水タンク

蒸留塔

緊急避難20m³
第二種圧力容器

年末までに建設完了予定

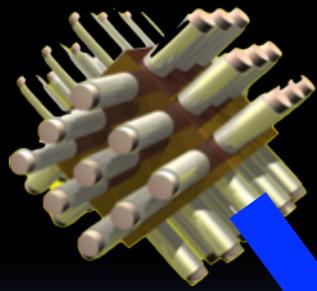
Xenon MASSive Detector

- 低エネルギー太陽ニュートリノ(pp)の観測。
- 二重ベータ崩壊探索実験(^{136}Xe)
- 暗黒物質探索実験

100kg Prototype
(FV:30kg、 $\sim 30\text{cm}$)

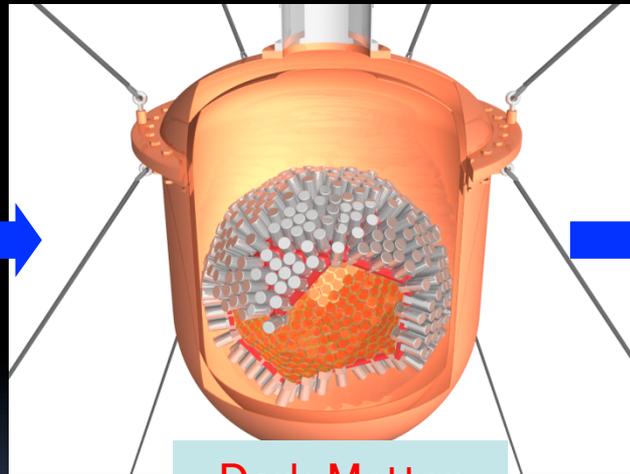
1ton Detector
(FV:100kg、 80cm)

20ton Detector
(FV:10ton、 $\sim 2.5\text{m}$)



R&D

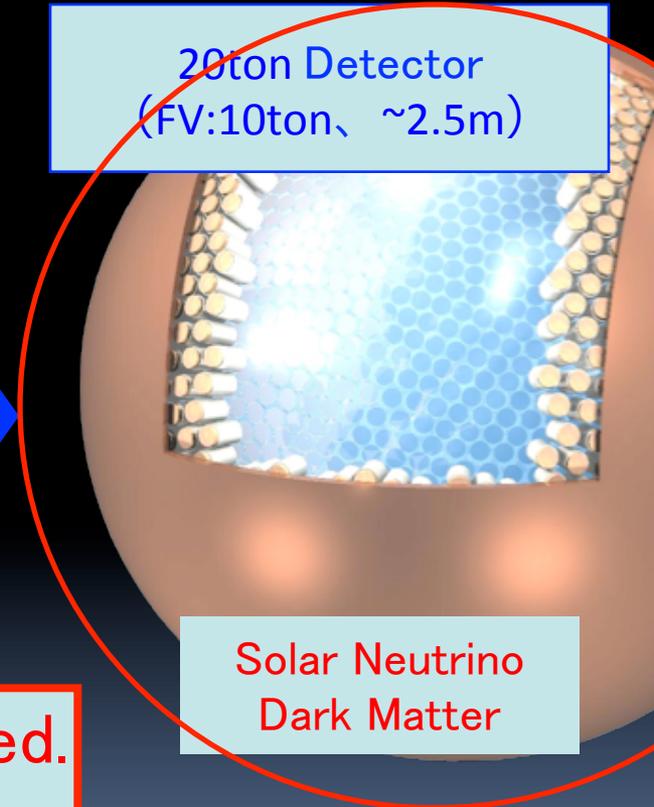
Completed



Dark Matter

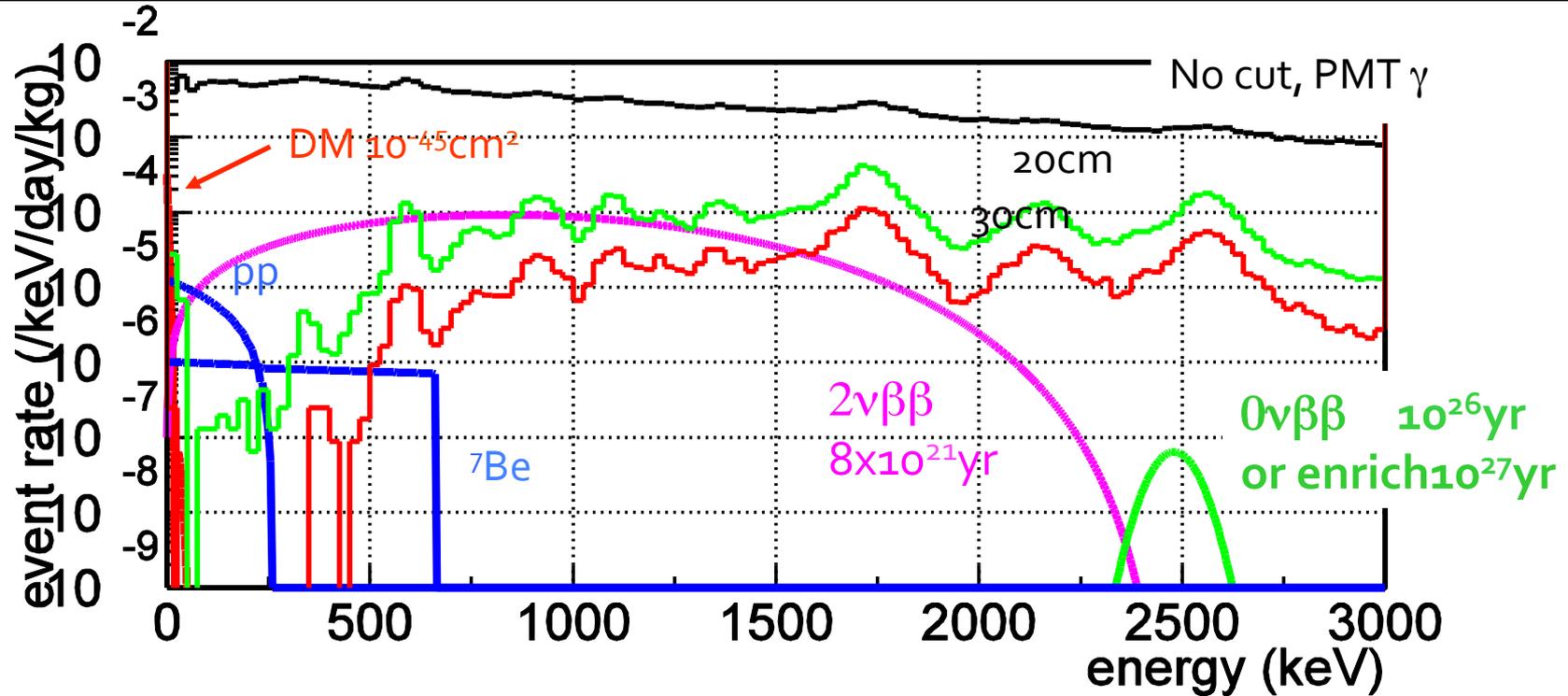
2007: Project was funded.
2009: Construction

Double Beta Decay



Solar Neutrino
Dark Matter

その先の高感度化：第二フェーズ 10tFV



- 低Eは内部BG (Kr~0.1 ppt, U, Th~ 10^{-16} g/g)で決まる。
KamLAND, Borexinoより緩い。pp, DMが遂行できる。
 - 純化、事象再構成の改善、同位体分離、別技術の導入？
- 5年でppを10000事象以上得るために10トンの有効体積を持つ
- 高EはセンサのBG。構造、センサ改善、コンプトン除去で $\beta\beta$ の遂行

まとめ

- DM探索はDAMA, WMAPにより動機付けが加速され、大型希ガス液体検出器の出現により観測の可能性が高まってきた。
- 世界各地で100kgFVスケールの検出器が動きだそうとしている。 10^{-45} - 10^{-47} cm²をこの10年狙ってゆく。
- XMASS実験装置は本年中に完成し、 10^{-45} cm²を狙い実験を開始する。