

XMASS実験

平成20年度共同利用研究発表会
東京大学宇宙線研究所神岡施設
山下雅樹

共同利用-C01

査定金額 30万円(旅費)

使途 共同研究者のための神岡研究施設への旅費

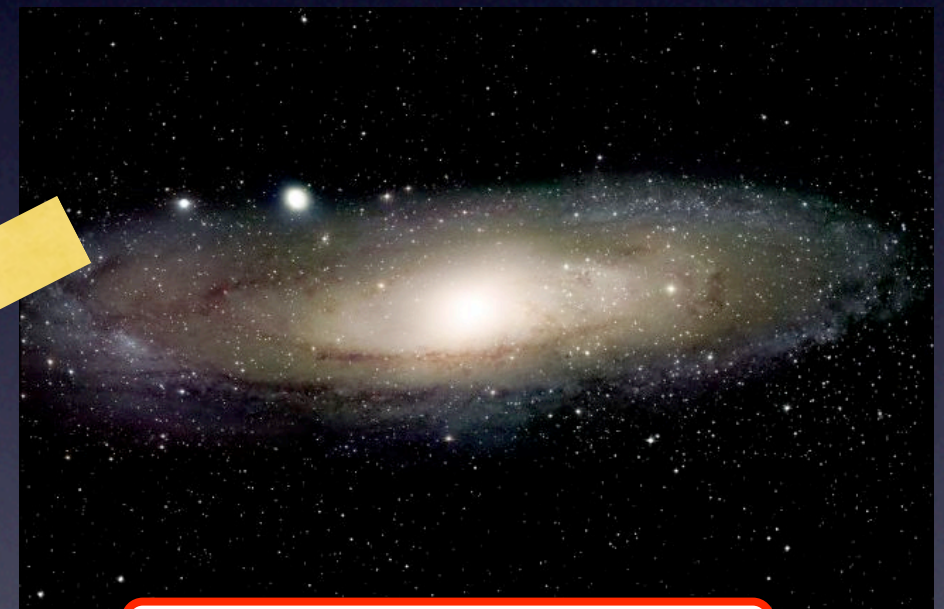
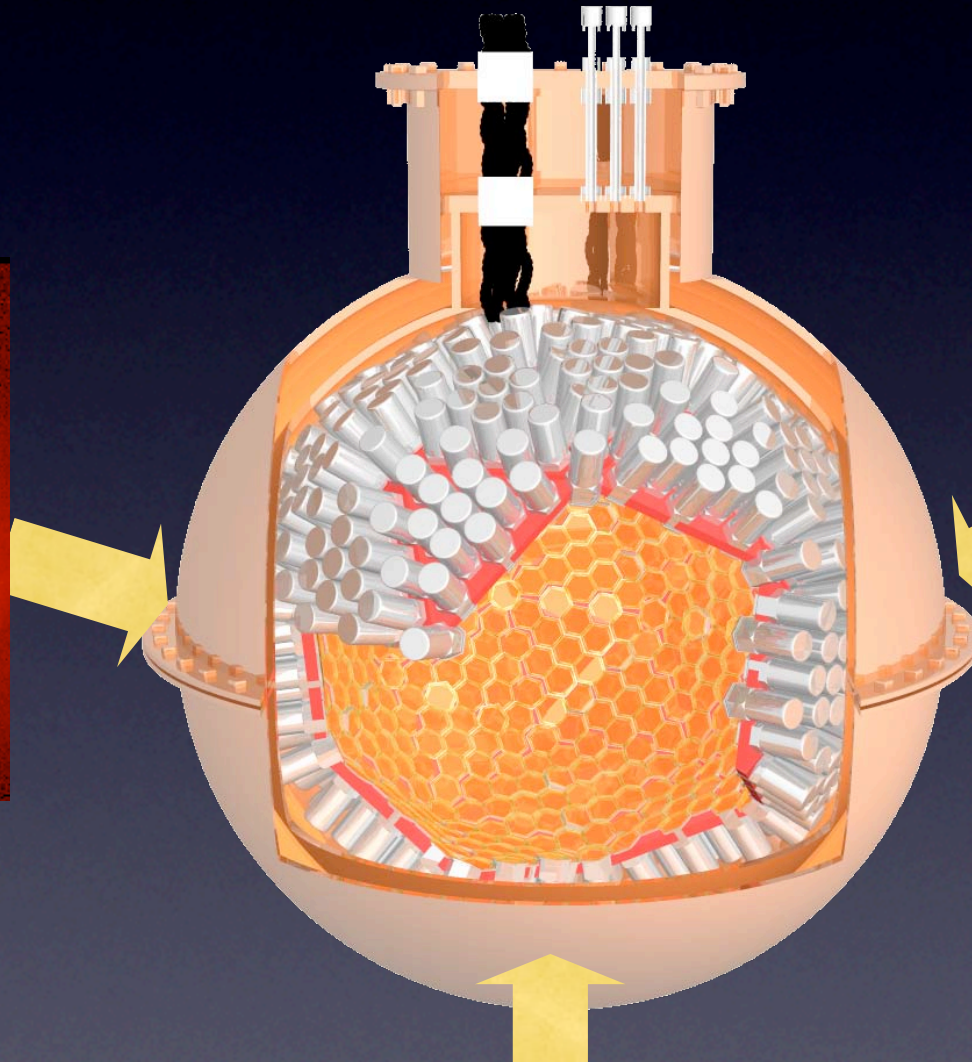
XMASS Experiment

- XMASS

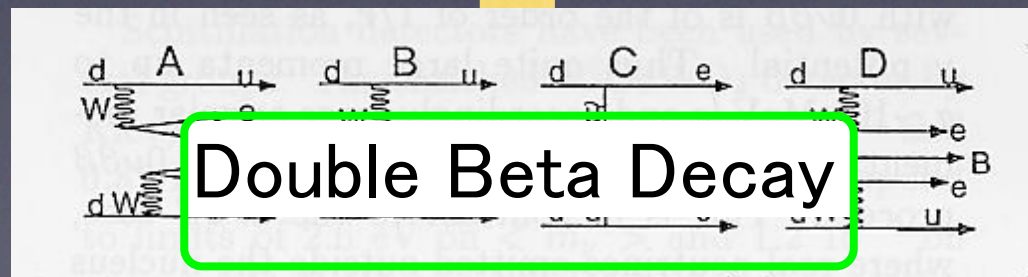
- ◎ Xenon **MASS**ive detector for Solar neutrino ($pp/{}^7\text{Be}$)
- ◎ Xenon neutrino **MASS** detector (double beta decay)
- ◎ Xenon detector for Weakly Interacting **MASS**ive Particles (DM)



Solar Neutrino



Dark Matter





XMASS Collaboration

Dark Matter Search Experiment

東京大学宇宙線研究所神岡施設： 鈴木洋一郎, 中畑雅行, 森山茂栄, 竹内康雄, 山下雅樹, 小汐由介, 竹田敦, 安部航, 関谷洋之, 小川洋, 小林兼好, 南野彰宏, 上島考太, 池田一得, 中島勇波

東京大学数物連携宇宙研究機構： Kai Martens

佐賀大学： 大隅秀晃

東海大学： 西嶋恭司, 本木大資, 西垣大理

岐阜大学： 田坂茂樹

早稻田大学： 鈴木聡, 道家忠義, 高橋智昭

横浜国立大学： 中村正吾, 佐藤友厚, 宮本健司, 藤井景子

宮城教育大学： 福田善之

名古屋大学太陽地球環境研究所： 伊藤好孝

ソウル国立大学（韓国）： Soo-Bong Kim

11 institutes and 34 researchers



XMASS

Masaki Yamashita

Dark Matter Search Experiment

+ visiting researcher



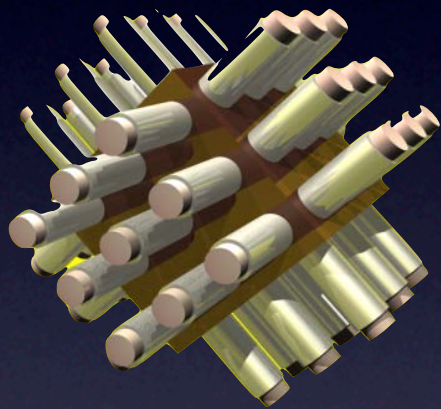
PhD student
Olivier Simard
Carlton University, Canada



Undergraduate student
Wiebke Thurow
TU Dresden, Germany

Phase

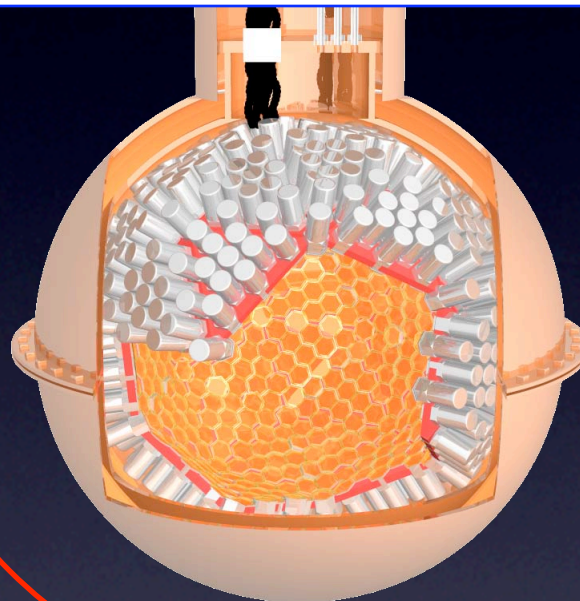
100kg プロトタイプ
(FV:30kg、~30cm)



R&D

完了

800kg 検出器
(FV:100kg、80cm)



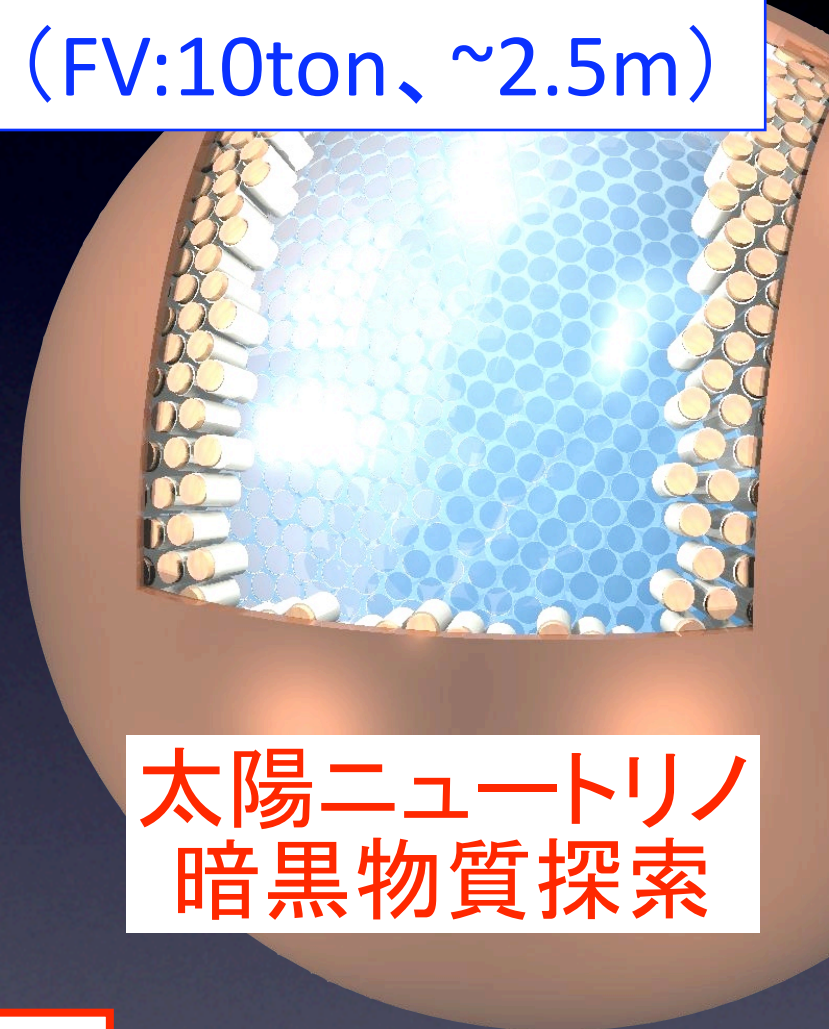
暗黒物質探索

2007年プロジェクト開始

2009年秋、探索開始を目指す

二重ベータ崩壊探索

20ton 検出器
(FV:10ton、~2.5m)



太陽ニュートリノ
暗黒物質探索



XMASS

Masaki Yamashita

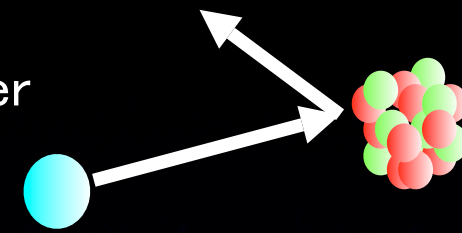
Dark Matter Search Experiment

Direct Detection Principle

WIMPs elastically scatter off nuclei in targets, producing nuclear recoils.

- From the density of dark matter in the galaxy:
- Every liter of space: 10-100 WIMPs,
- moving at **1/1000** the speed of light
- Less than 1 WIMP/week will collide with an atom in 1kg material

Dark Matter
(WIMP)



Deposit Energy

$$\frac{dR}{dE_R} = \frac{R_0 F^2(E_R)}{E_0 r} \frac{k_0}{k} \frac{1}{2\pi v_0} \int_{v_{min}}^{v_{max}} \frac{1}{v} f(\mathbf{v}, \mathbf{v}_E) d^3\mathbf{v}$$

R_0 : Event rate
F: Form Factor
should be calculated in
each nuclei

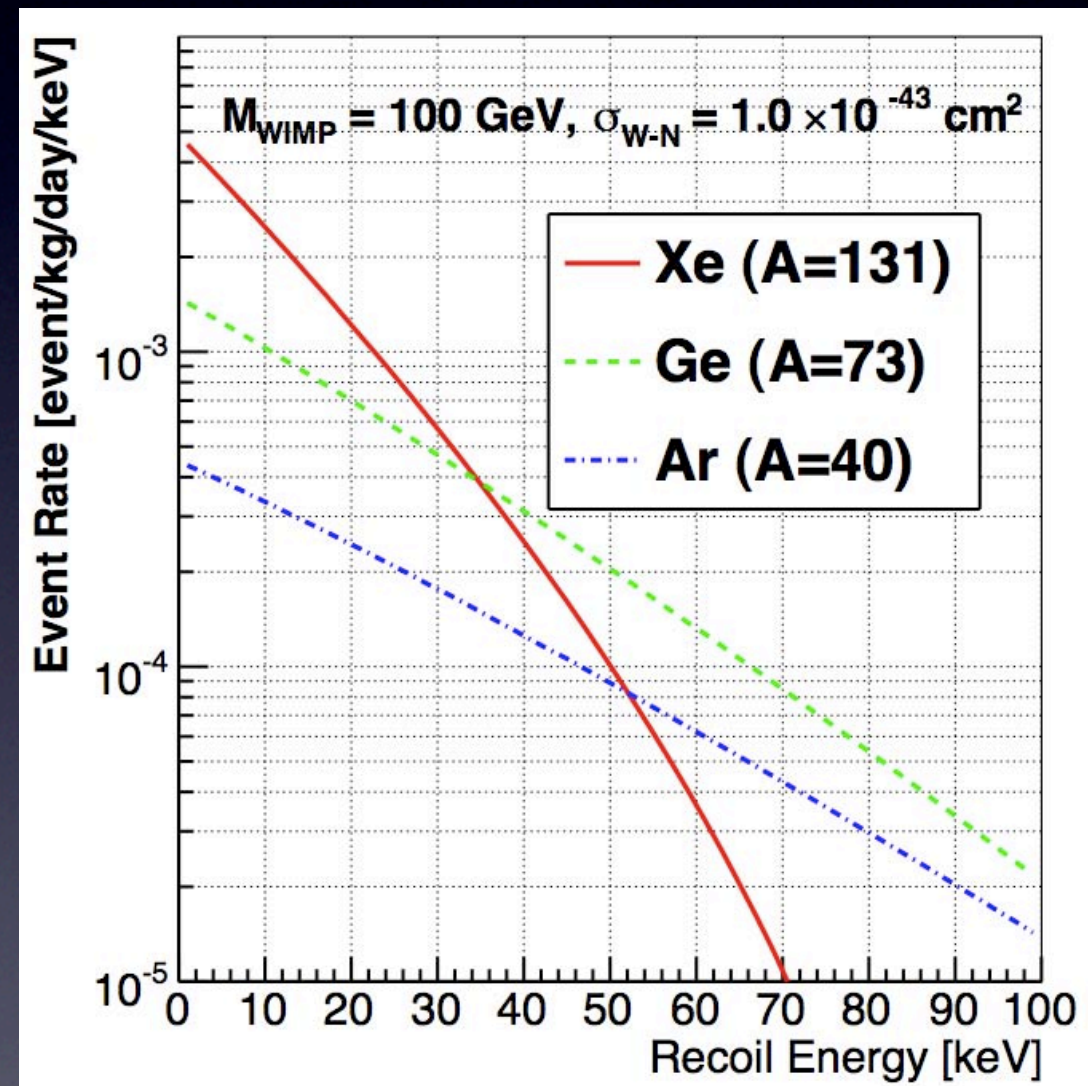
Maxwellian distribution for DM
velocity is assumed.
 v_0 : dispersion
 $\mathbf{v}$: velocity onto target,
 $\mathbf{v}_E$: Earth's motion around the Sun

$$R_0 = \frac{377}{M_\chi M_N} \left(\frac{\sigma_0}{1\text{pb}} \right) \left(\frac{\rho_D}{0.3\text{GeVc}^{-2}\text{cm}^{-3}} \right) \left(\frac{v_0}{230\text{km s}^{-1}} \right) \text{kg d}^{-1}$$

Spin independent case:

$$\sigma_0 = A^2 \frac{\mu_T^2}{\mu_p^2} \sigma_{\chi-p} \rightarrow \text{Large } A$$

Xe (A=131) is one of the best target.



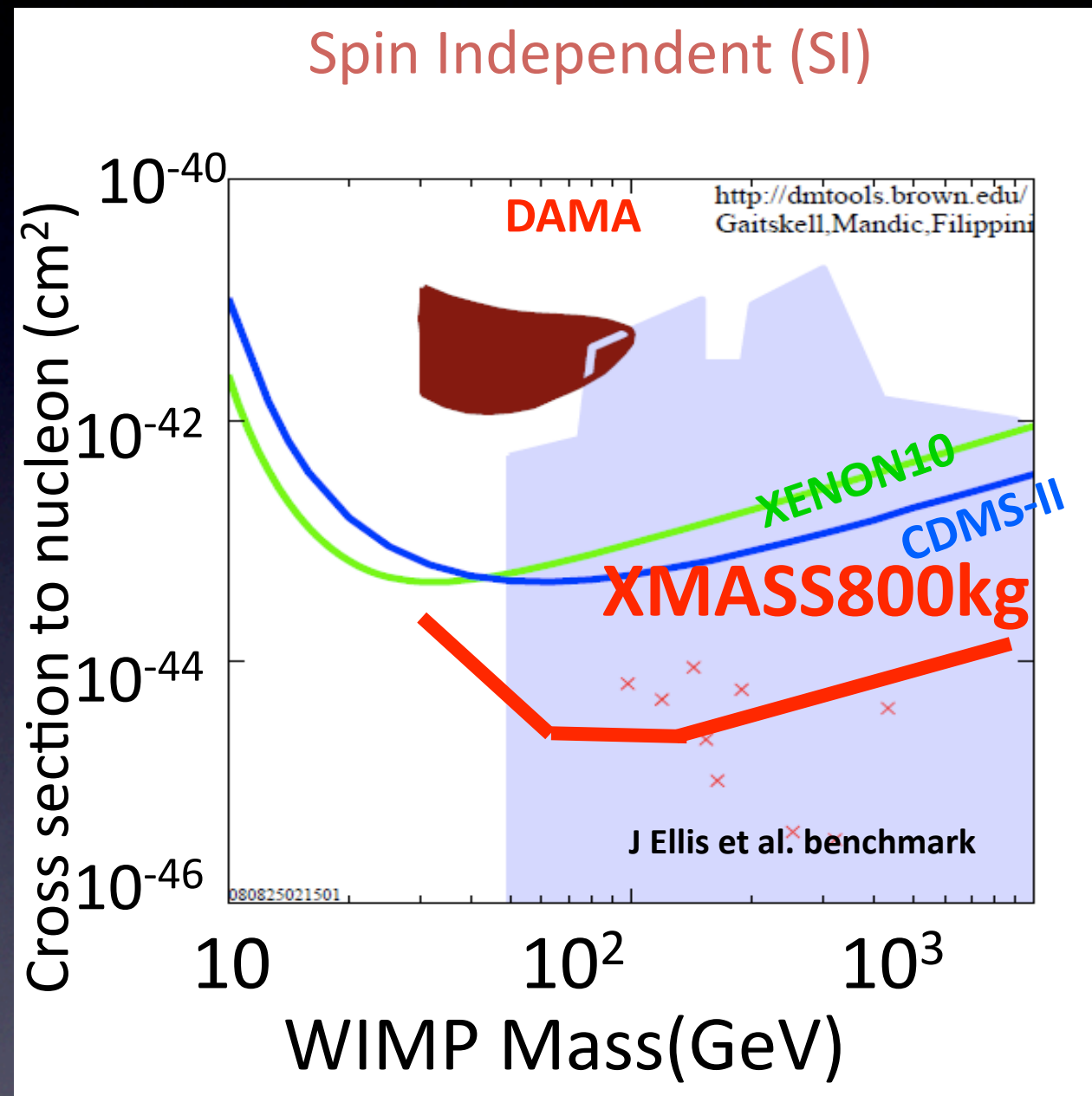
XMASS

Masaki Yamashita

Dark Matter Search Experiment

Cross Section: Spin Independent Case

0.5 ton·year exposure , 3σ discovery

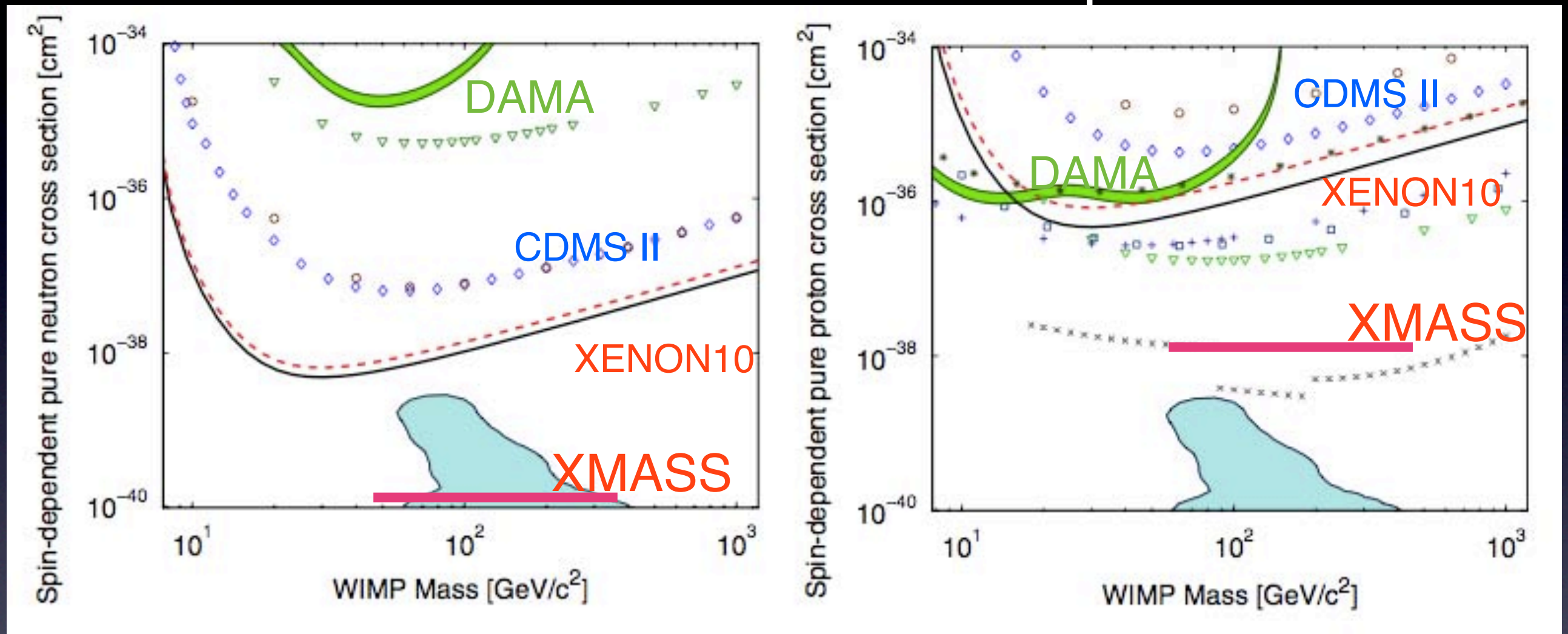


- 10^{-45}cm^2 (10^{-9}pb) for SI and

spin dependent case

neutron

proton



- natural Xe: ¹²⁹Xe, 26.4 %, spin 1/2, ¹³¹Xe, 21.2%, spin 3/2
- ⁷³Ge (spin-9=2) 7.73% , ²⁹Si (spin-1=2) 4.68%

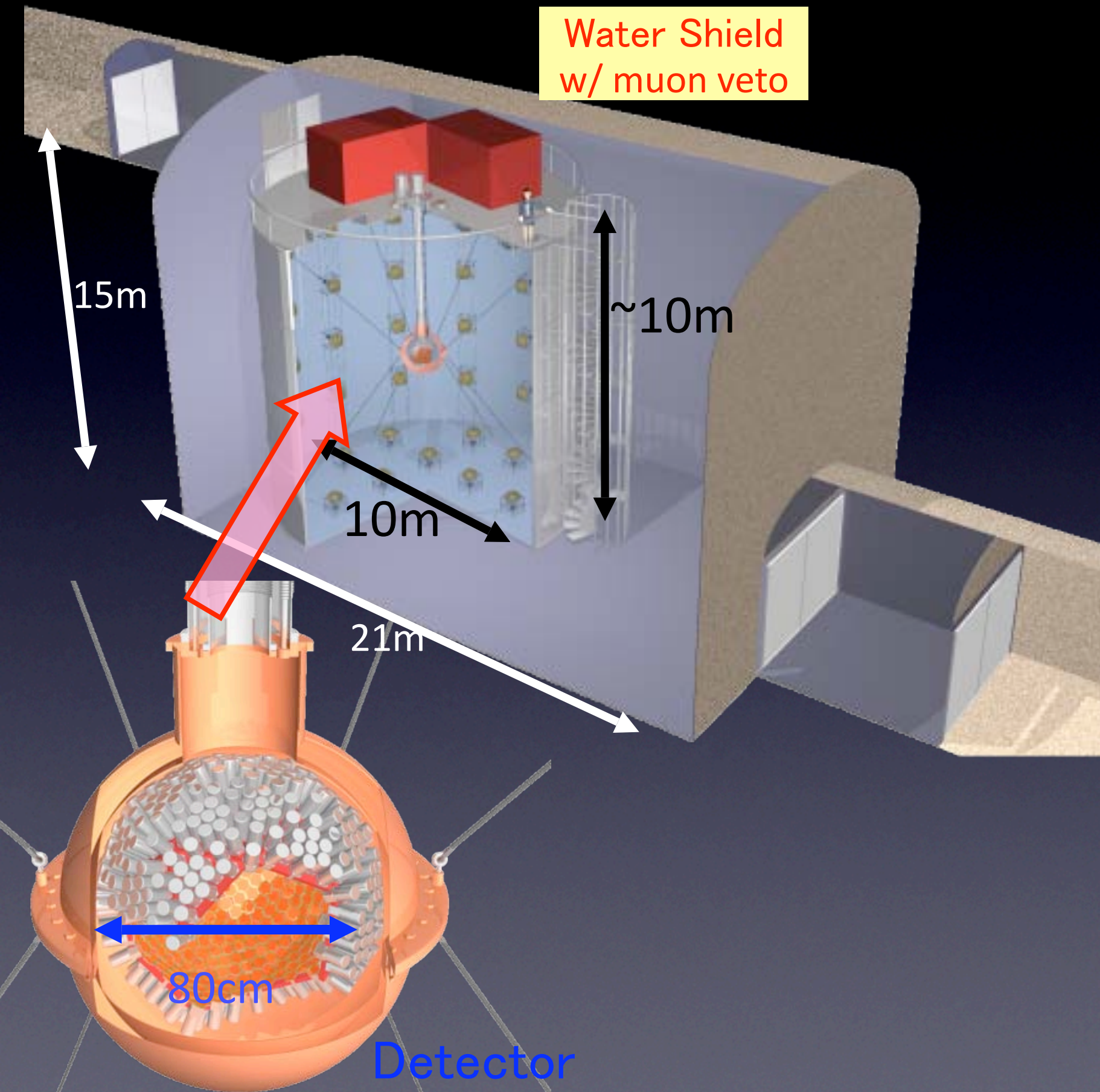


XMASS

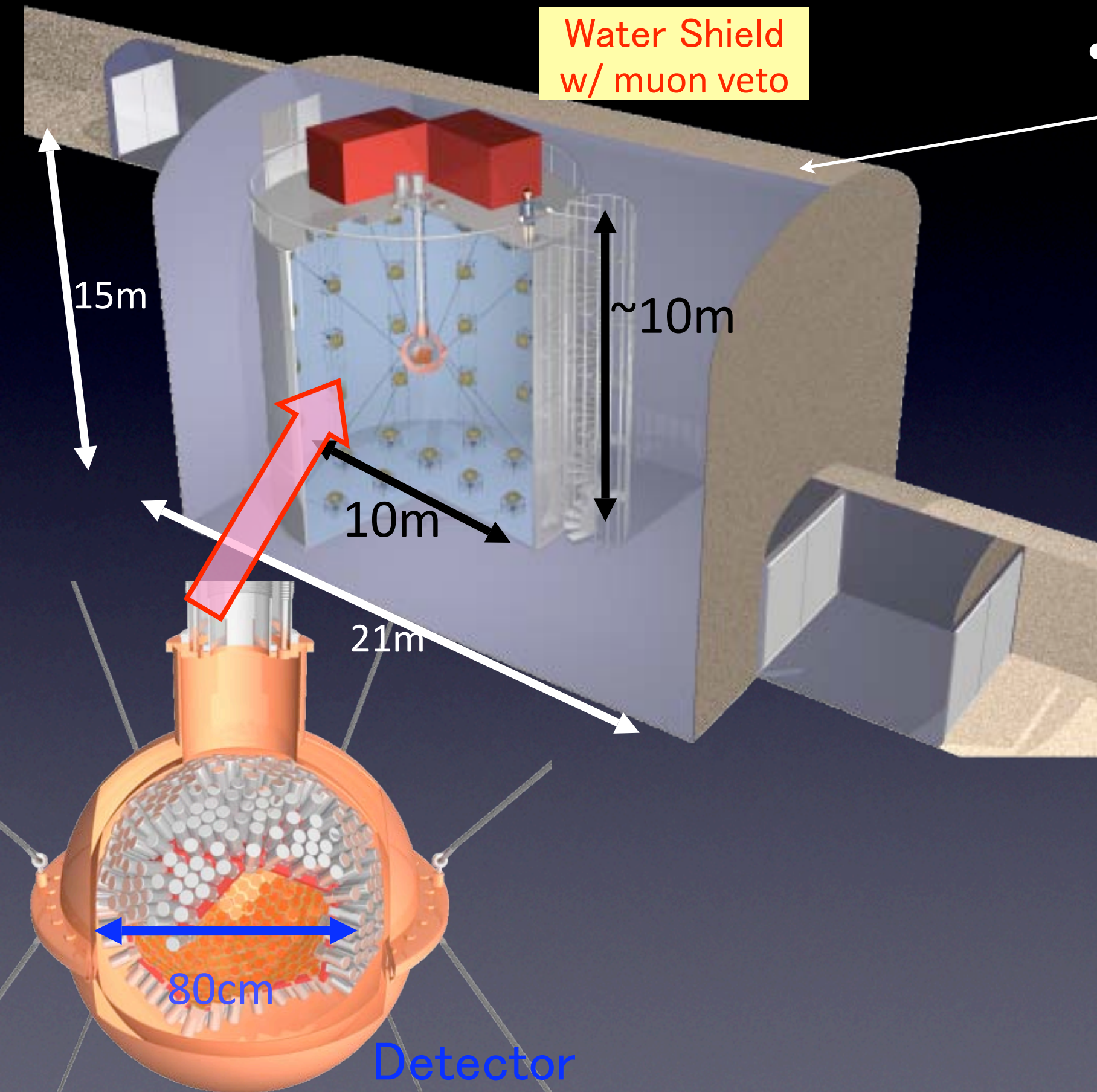
Masaki Yamashita

Dark Matter Search Experiment

XMASS Milestone

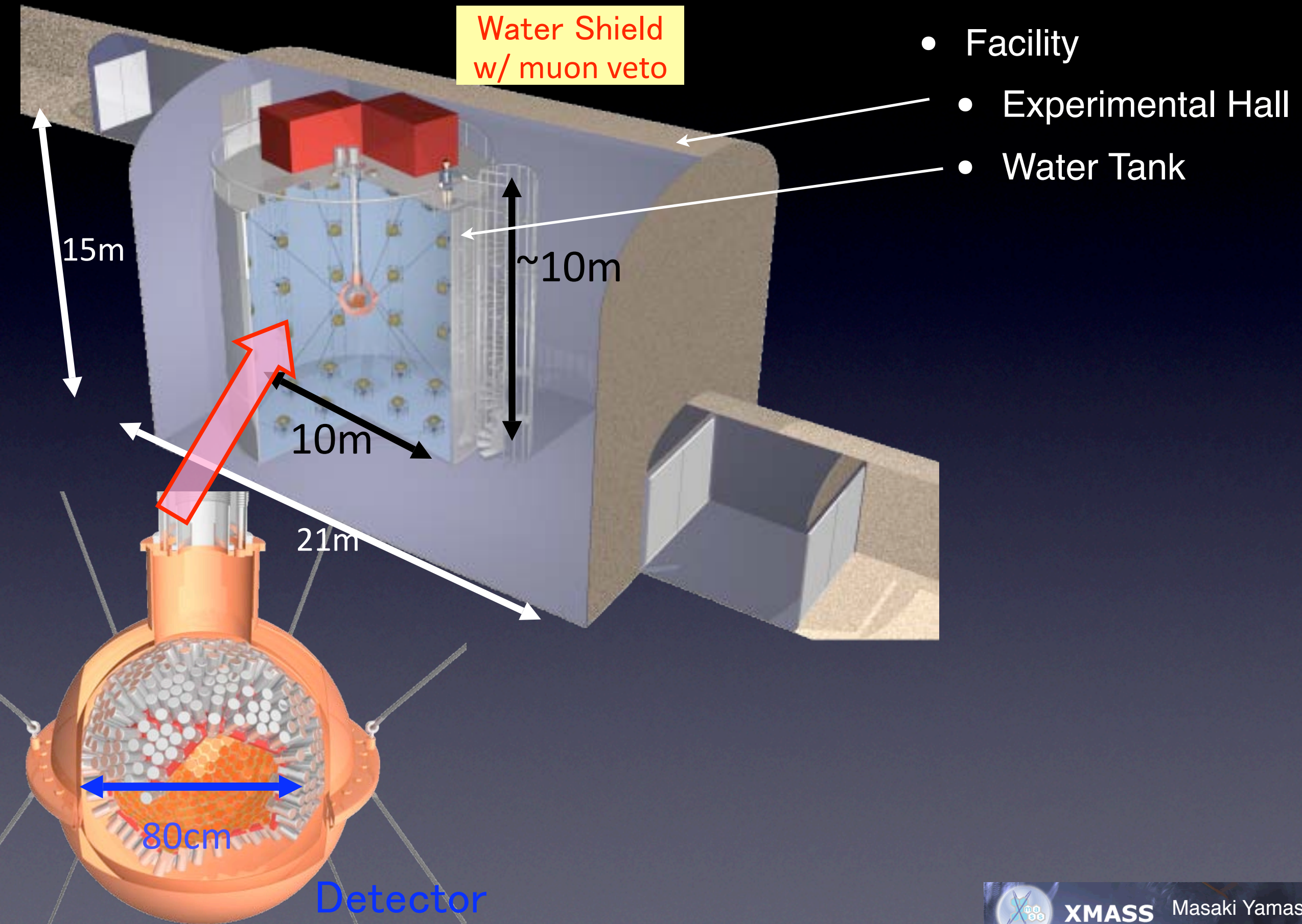


XMASS Milestone

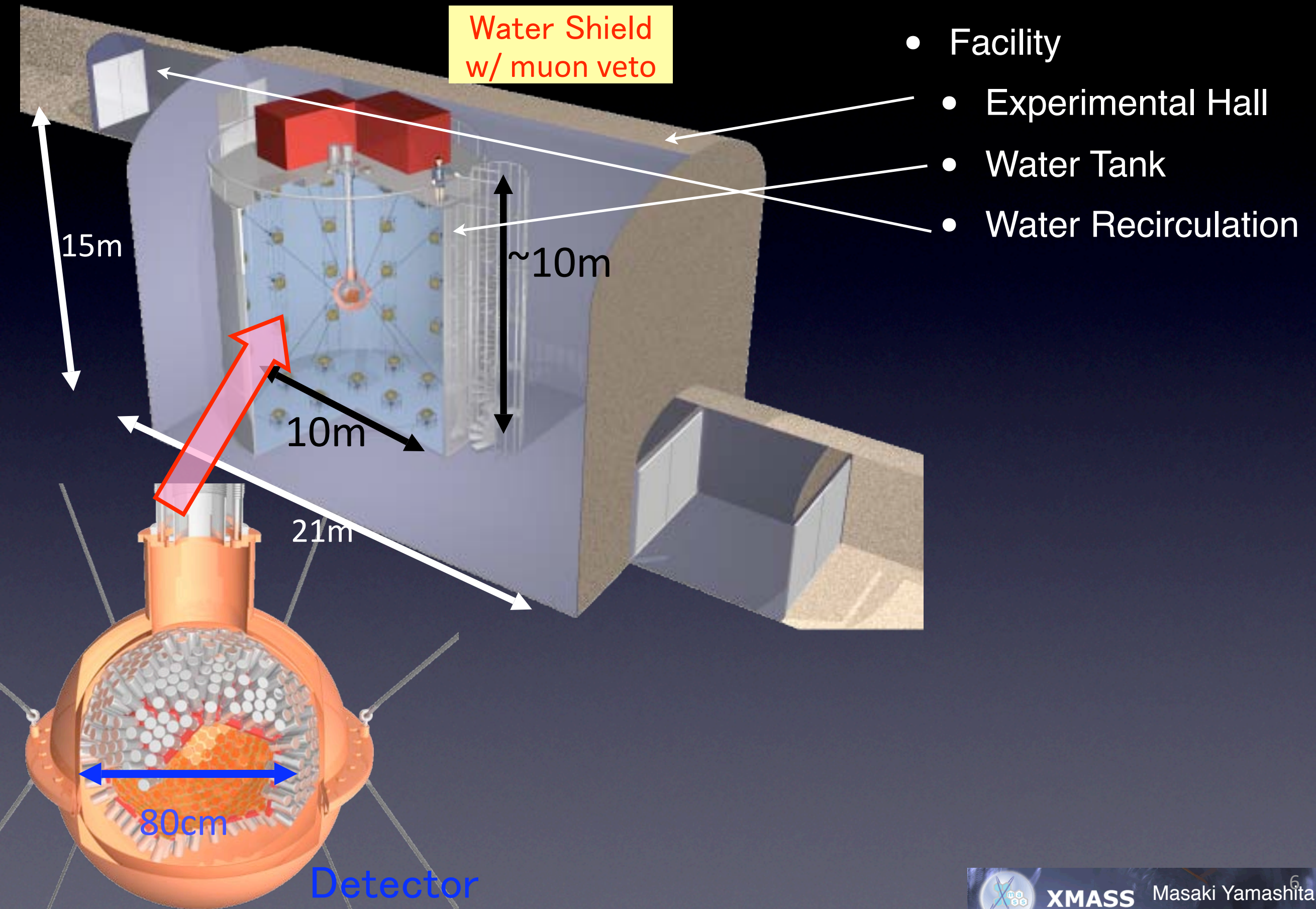


- Facility
- Experimental Hall

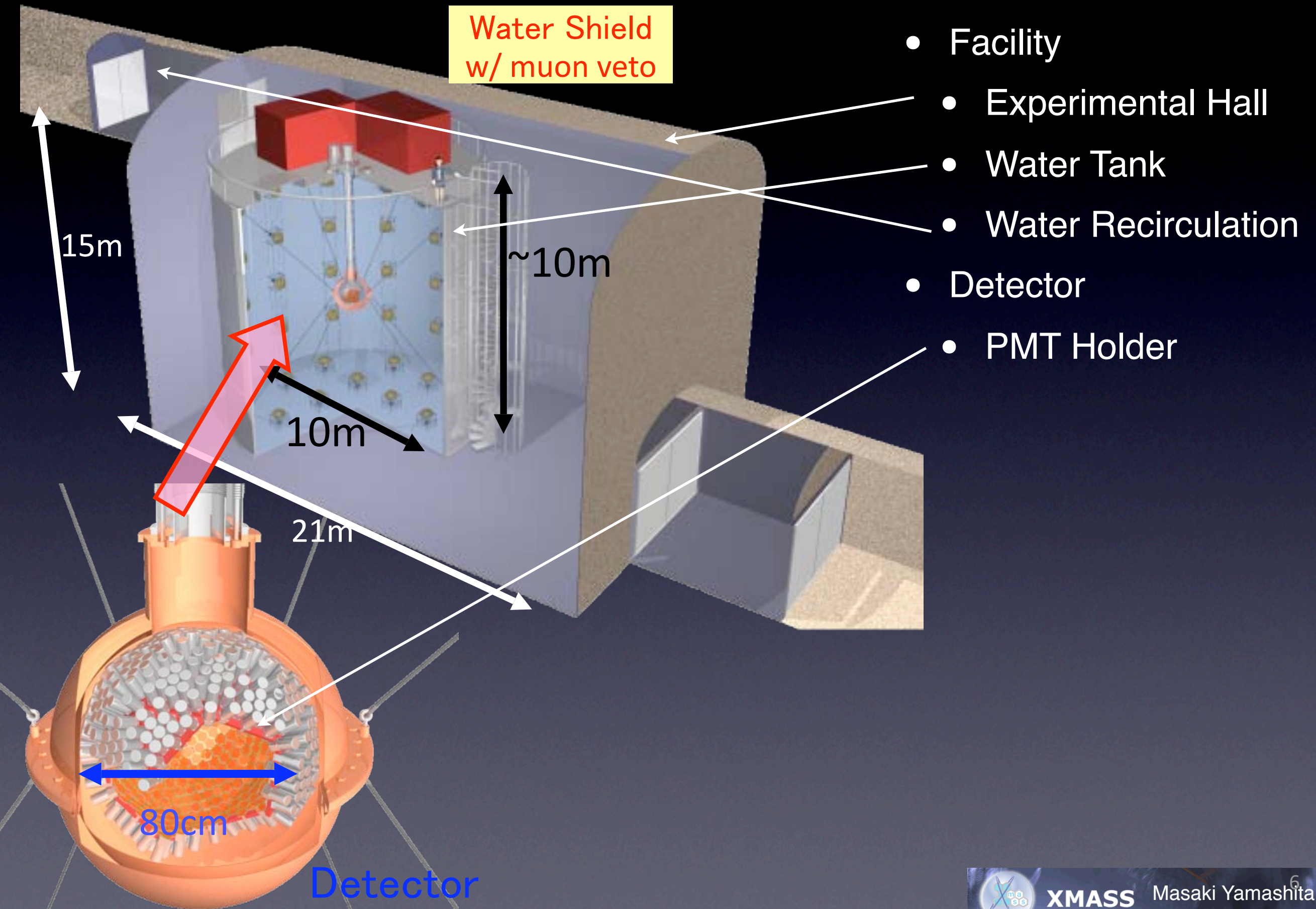
XMASS Milestone



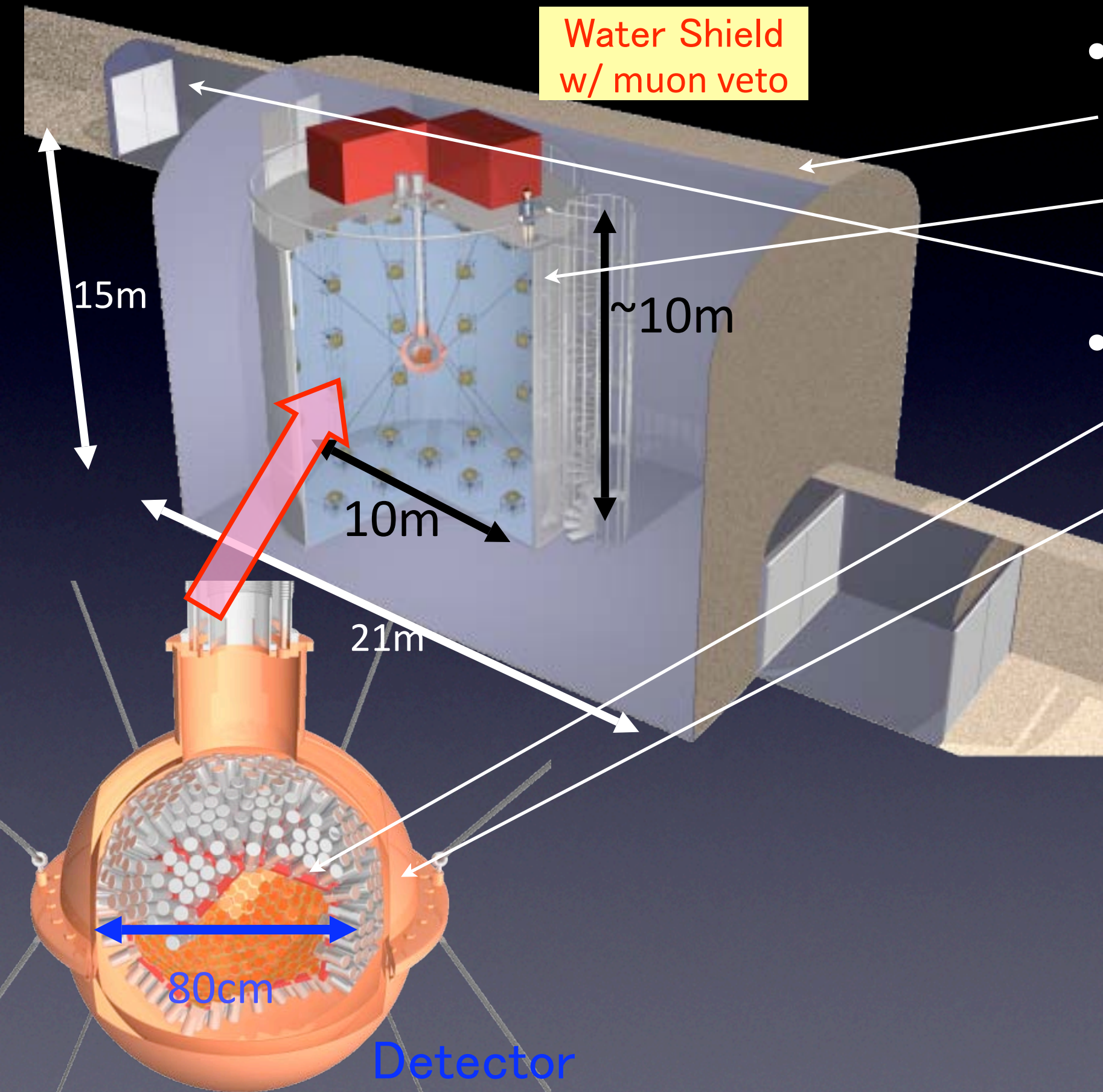
XMASS Milestone



XMASS Milestone

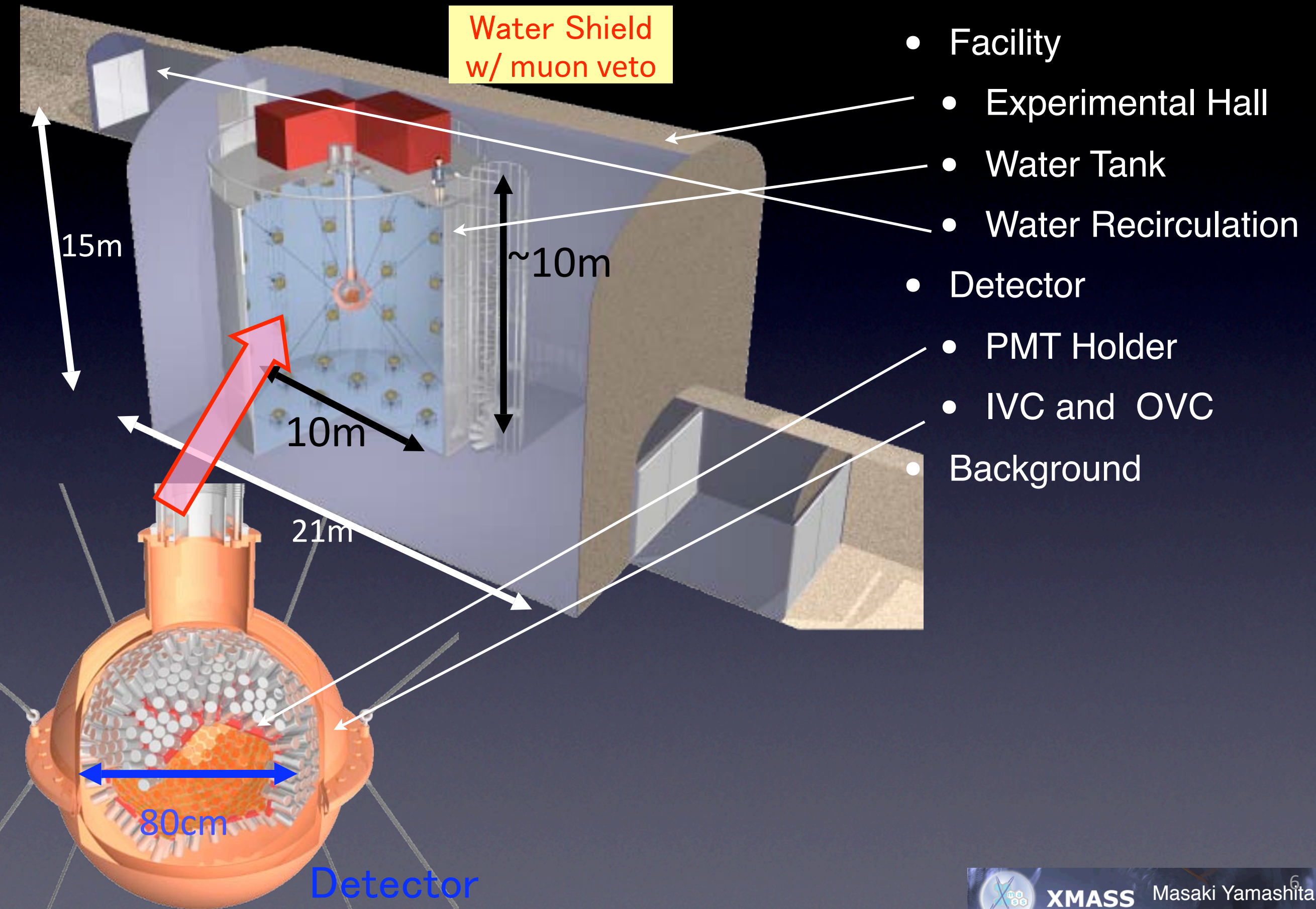


XMASS Milestone

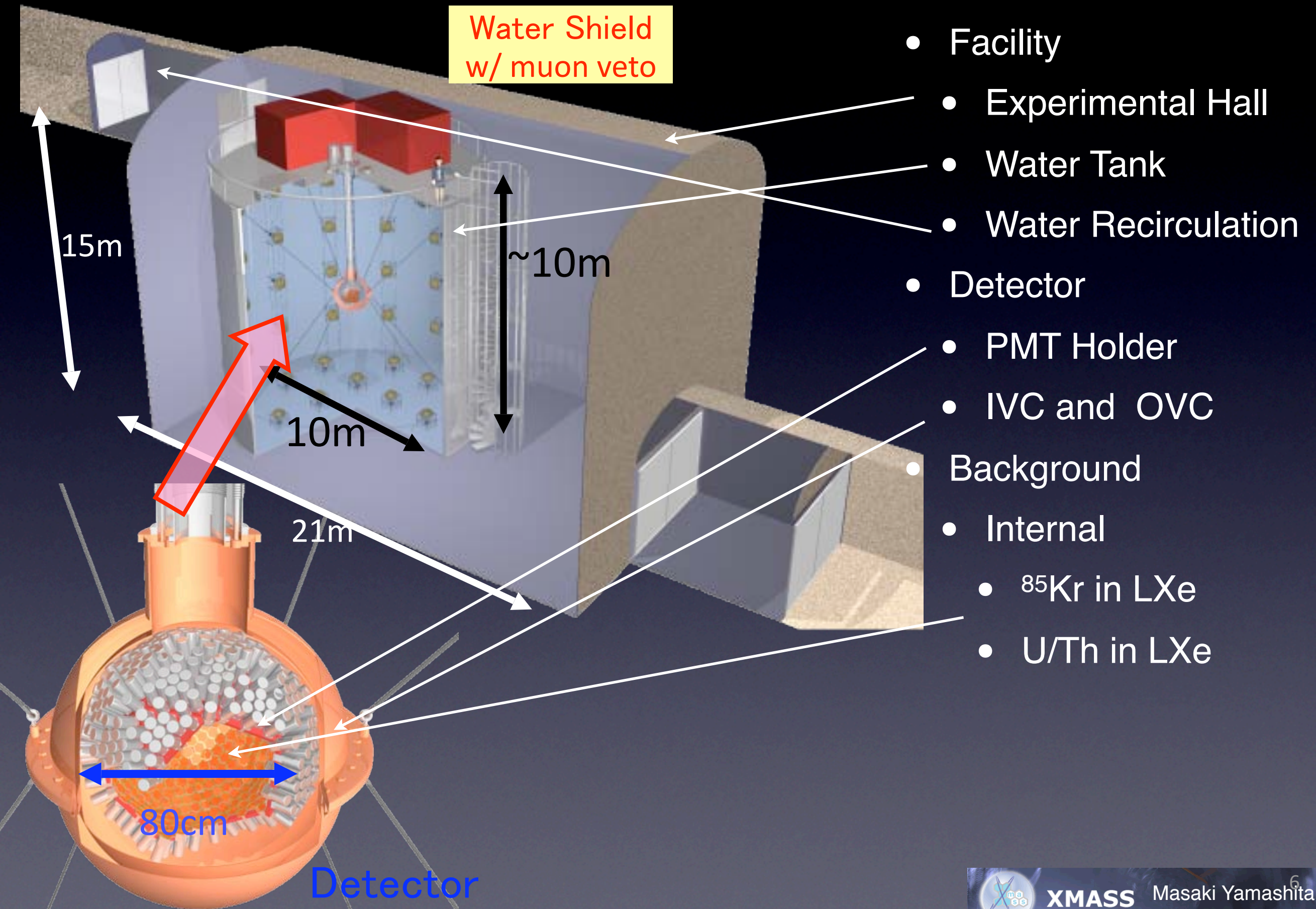


- Facility
- Experimental Hall
- Water Tank
- Water Recirculation
- Detector
- PMT Holder
- IVC and OVC

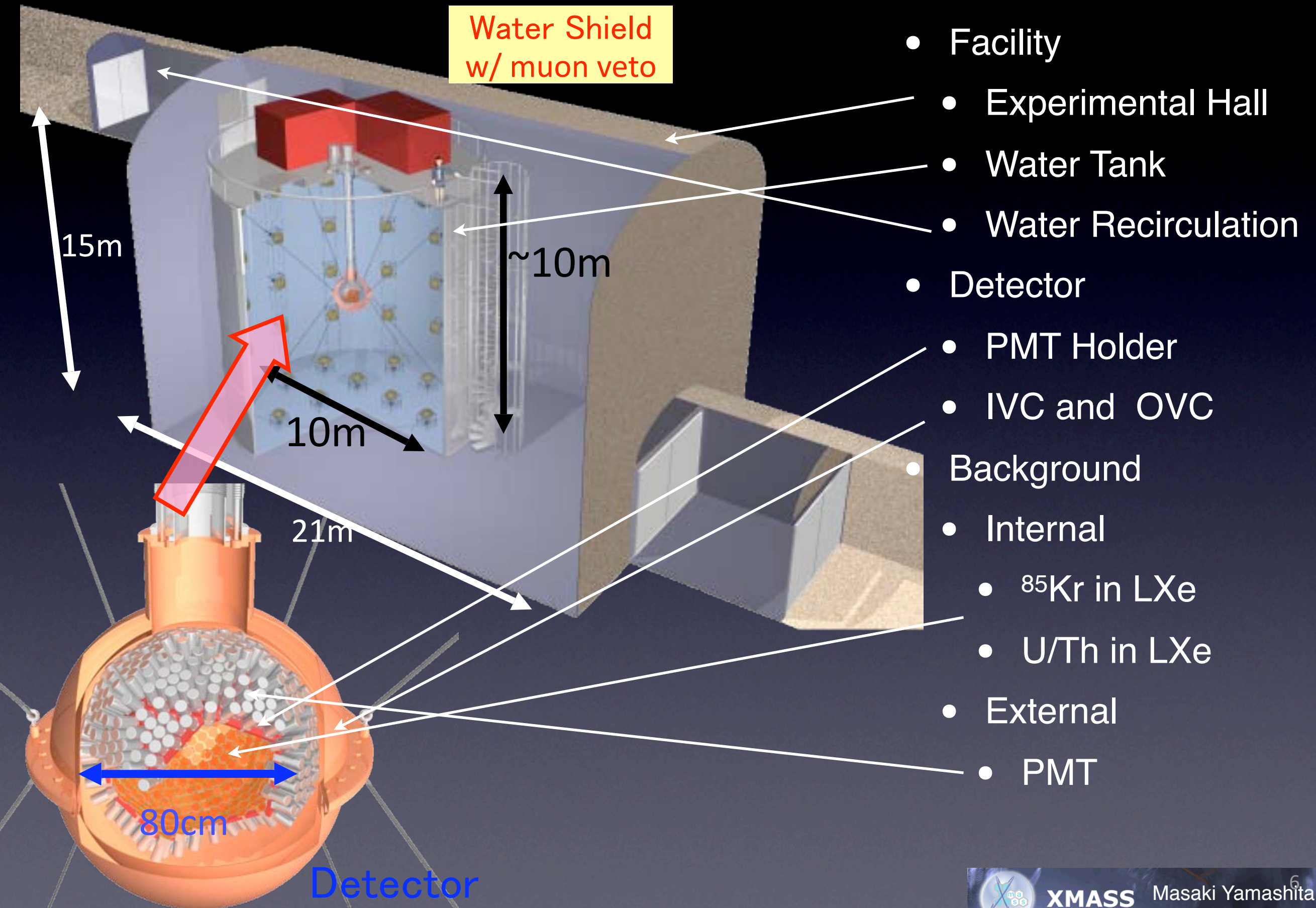
XMASS Milestone



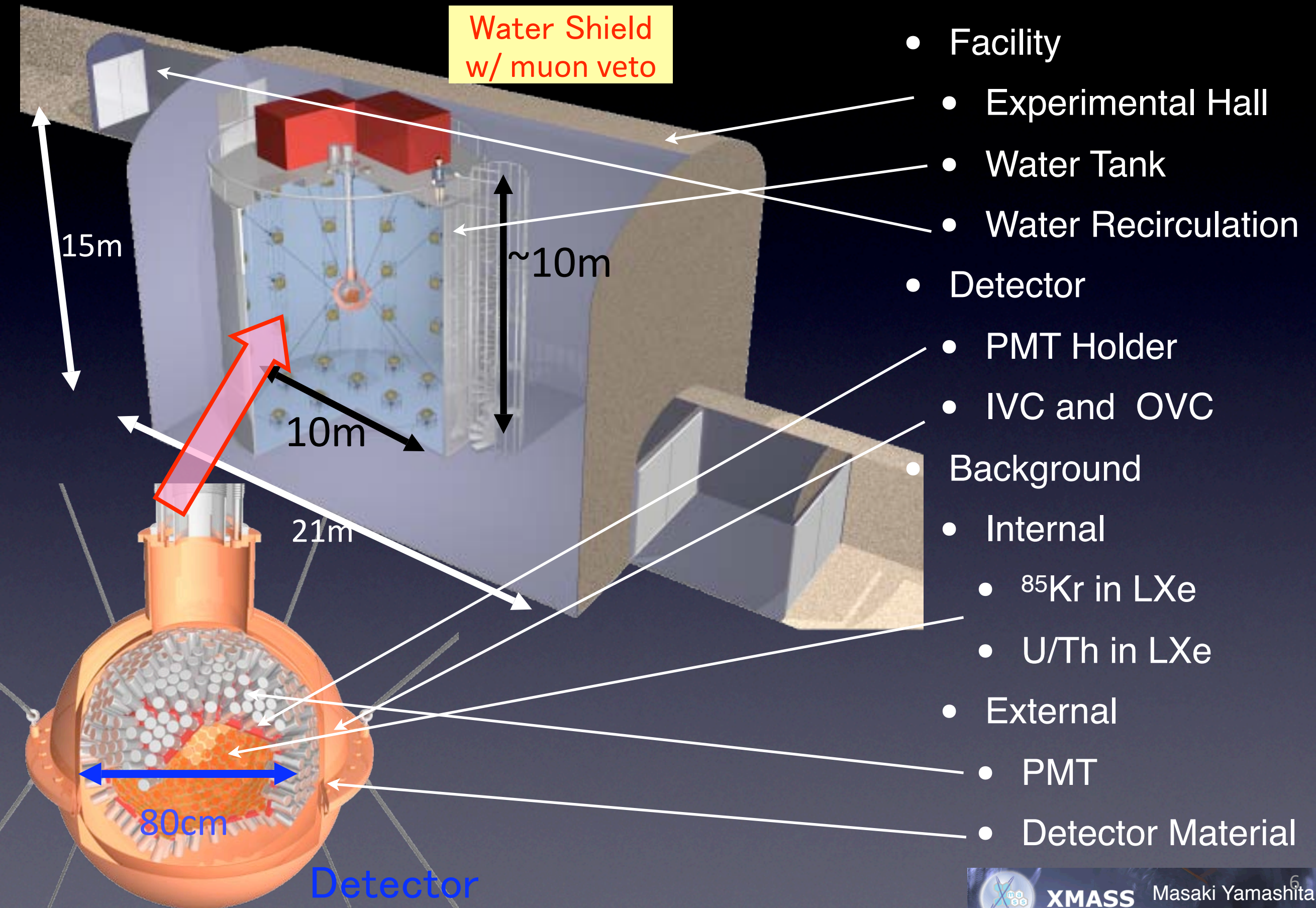
XMASS Milestone



XMASS Milestone



XMASS Milestone



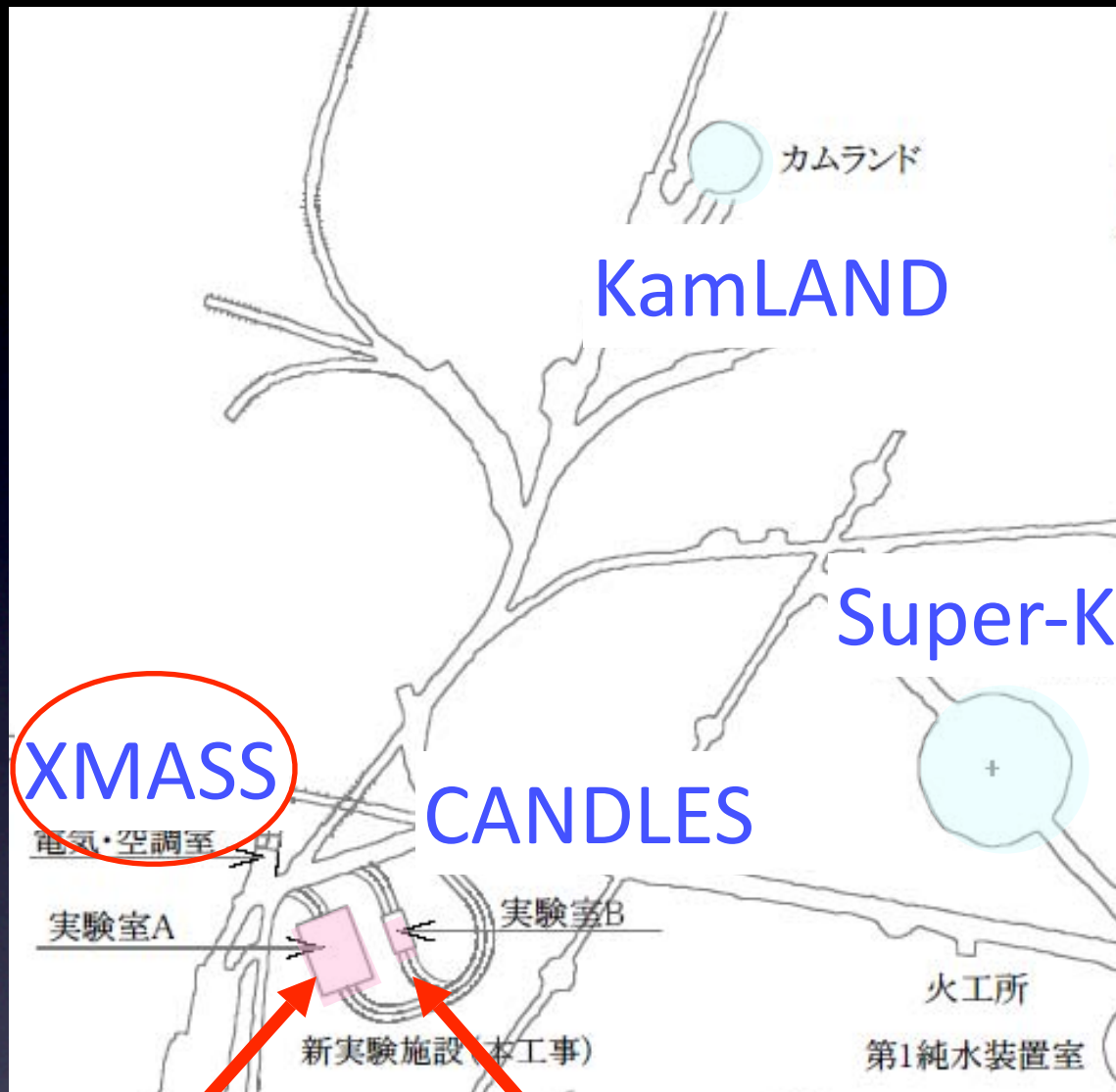
Facility



XMASS

Masaki Yamashita
Dark Matter Search Experiment

XMASS: Location and Facility



Hall C

Hall D

✓掘削が2008年3月に終了



掘削中の様子

XMASS: Location and Facility



HALL C 完成

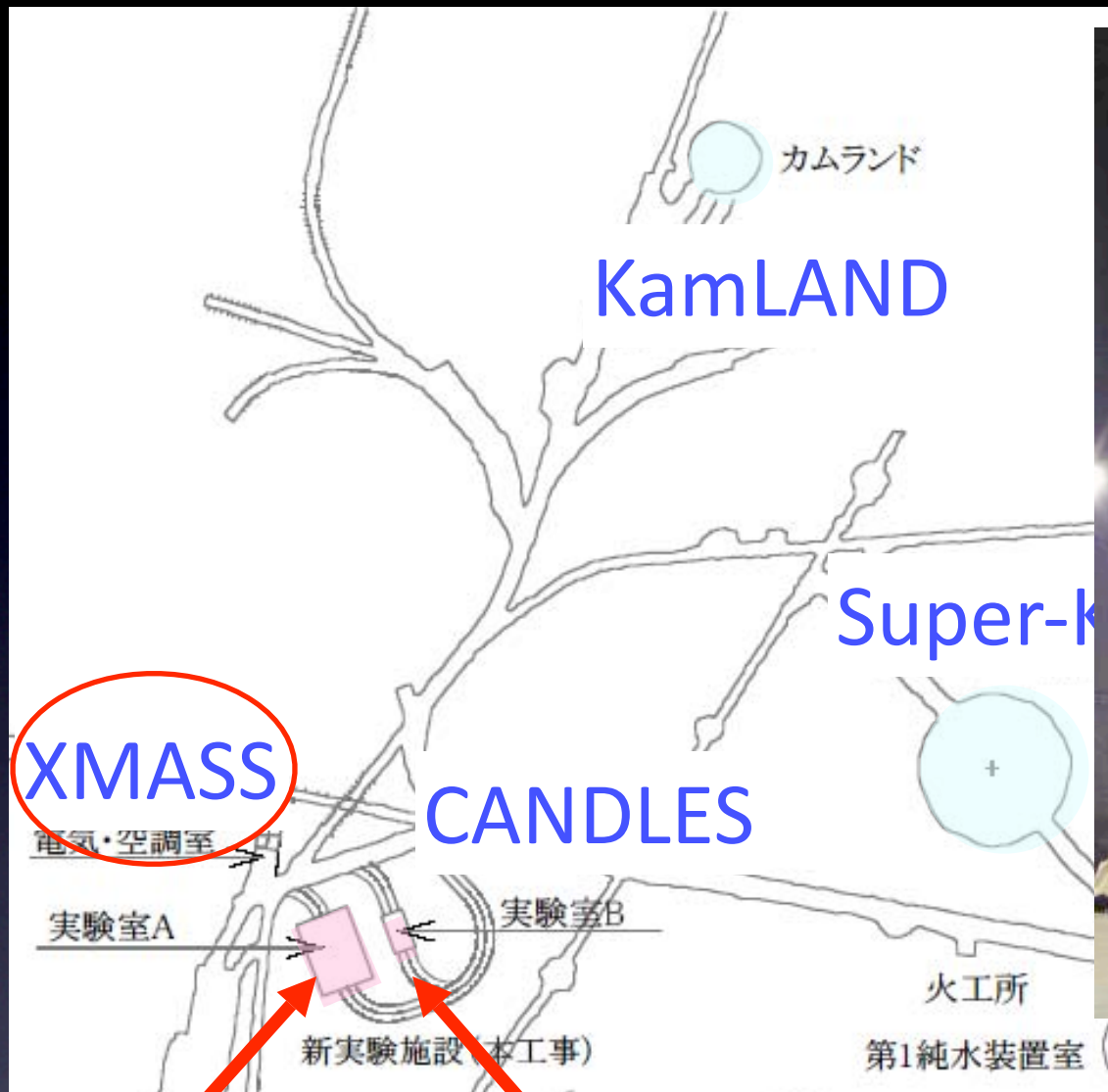
Hall C

Hall D

✓ 掘削が2008年3月に終了

✓ 2008年8月 ウレタン樹脂、抗外空気、その他設備

XMASS: Location and Facility



Water Tank 1段目

Hall C

Hall D

- ✓ 掘削が2008年3月に終了
- ✓ 2008年8月 ウレタン樹脂、抗外空気、その他設備
- ✓ 2008年9月 水シールドタンク建設開始

XMASS: Location and Facility



Hall C

- ✓ 掘削が2008年8月
- ✓ 2008年9月 水シールドタンク建設開始
- 2009年2月 完成予定。
- 2009年8月 純水循環装置 (5 ton/hour)



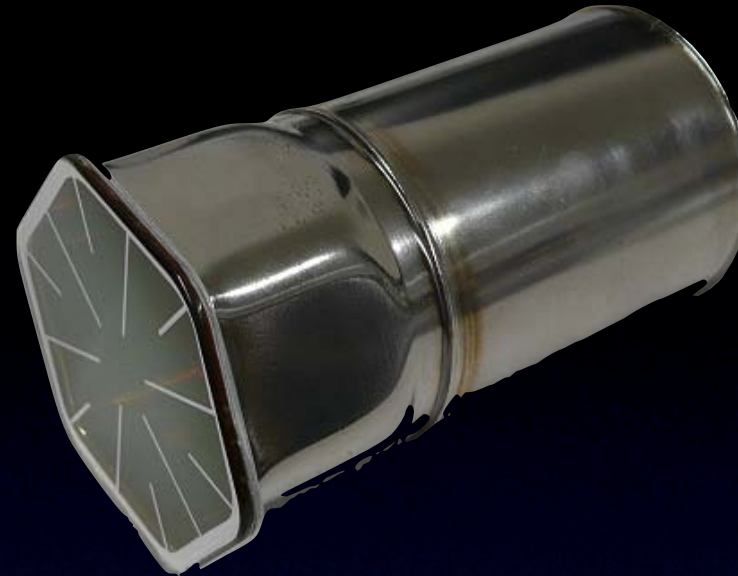
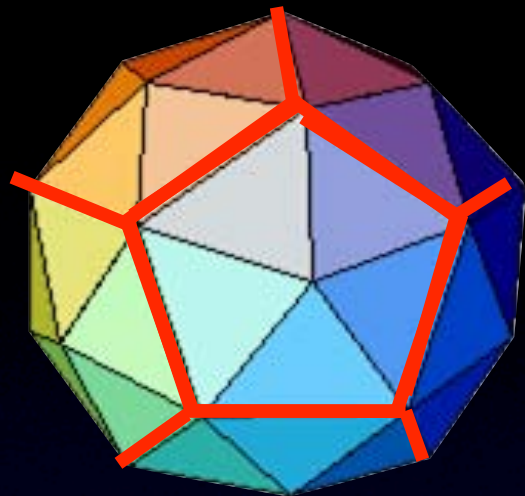
Detector



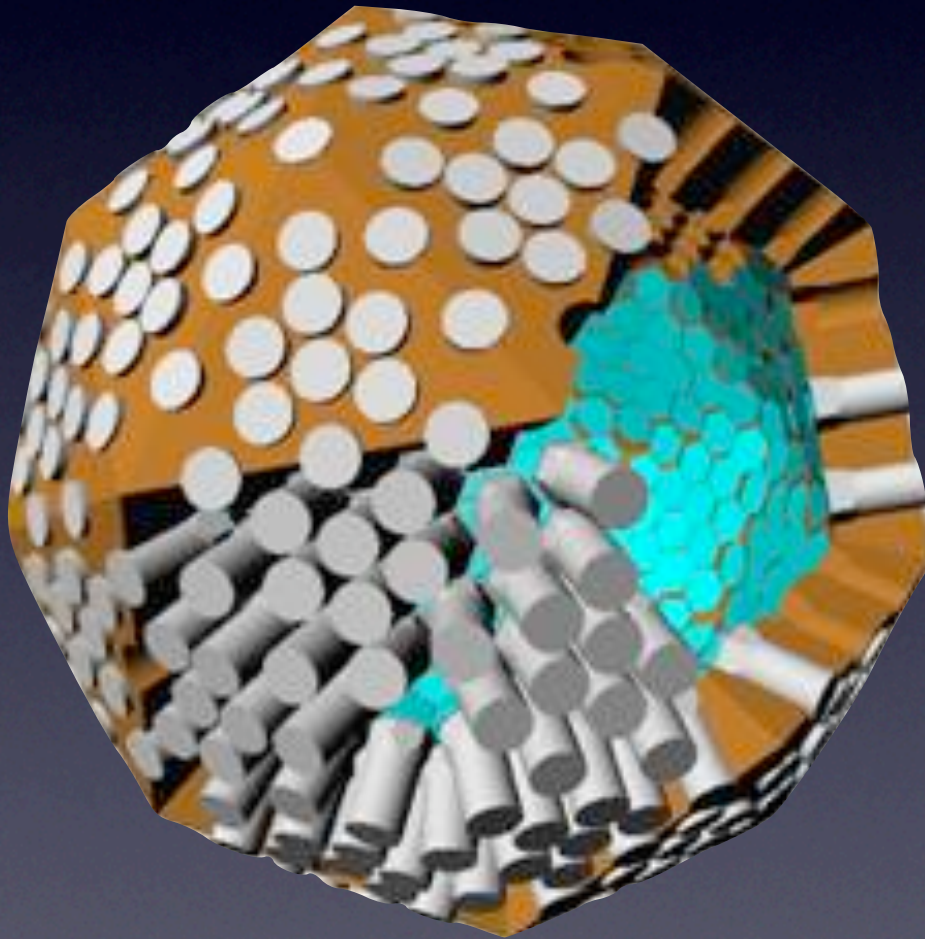
XMASS

Masaki Yamashita
Dark Matter Search Experiment

800kg 検出器のデザイン



六角型PMT
Hamamatsu R10789



- 合計60面
- 約10PMT/三角形×60面=600 PMT
- 三角形同士の境界部分にも 212本
- 合計: 642 PMTs
- Photo coverage: 62.4%

→ 十分な性能が期待

Detector (PMT Holder mockup)



- 測定器の詳細な設計が進行中
- 精度良くPMTを備え付けられることを確認
- PMT固定方法、ケーブル、IVCとの接続等を設計中

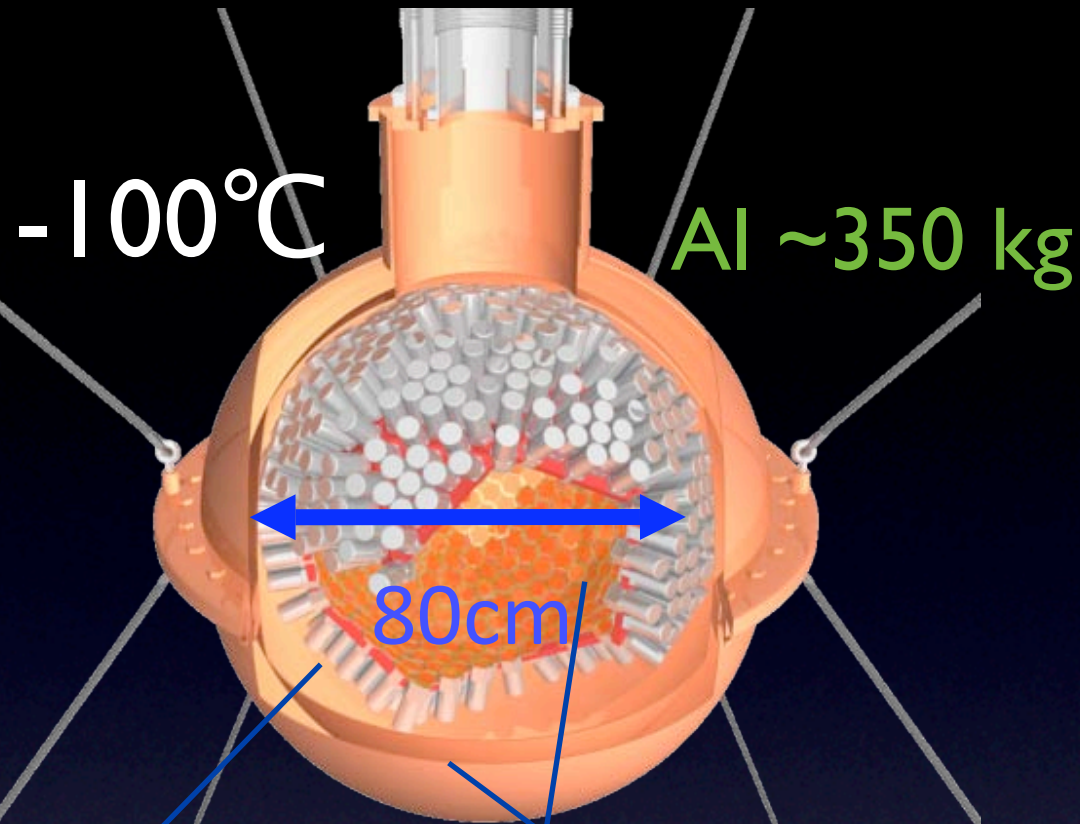
Background



XMASS

Masaki Yamashita
Dark Matter Search Experiment

Material Selection by ICP-MS



Outer Vacuum Chamber (OVC)

Inner Vacuum Chamber (IVC)

Al ~450 kg

Al ~200 kg

PMT Holder and Filler

- **PMT holder**: Holder to place 642 PMTs.
- **Filler**: to save the space for LXe.
- Inner Vacuum Chamber (**IVC**): to hold -100°C LXe
- Outer Vacuum Chamber (**OVC**): to hold vacuum insulation.

Requirement of Radioactivity Level

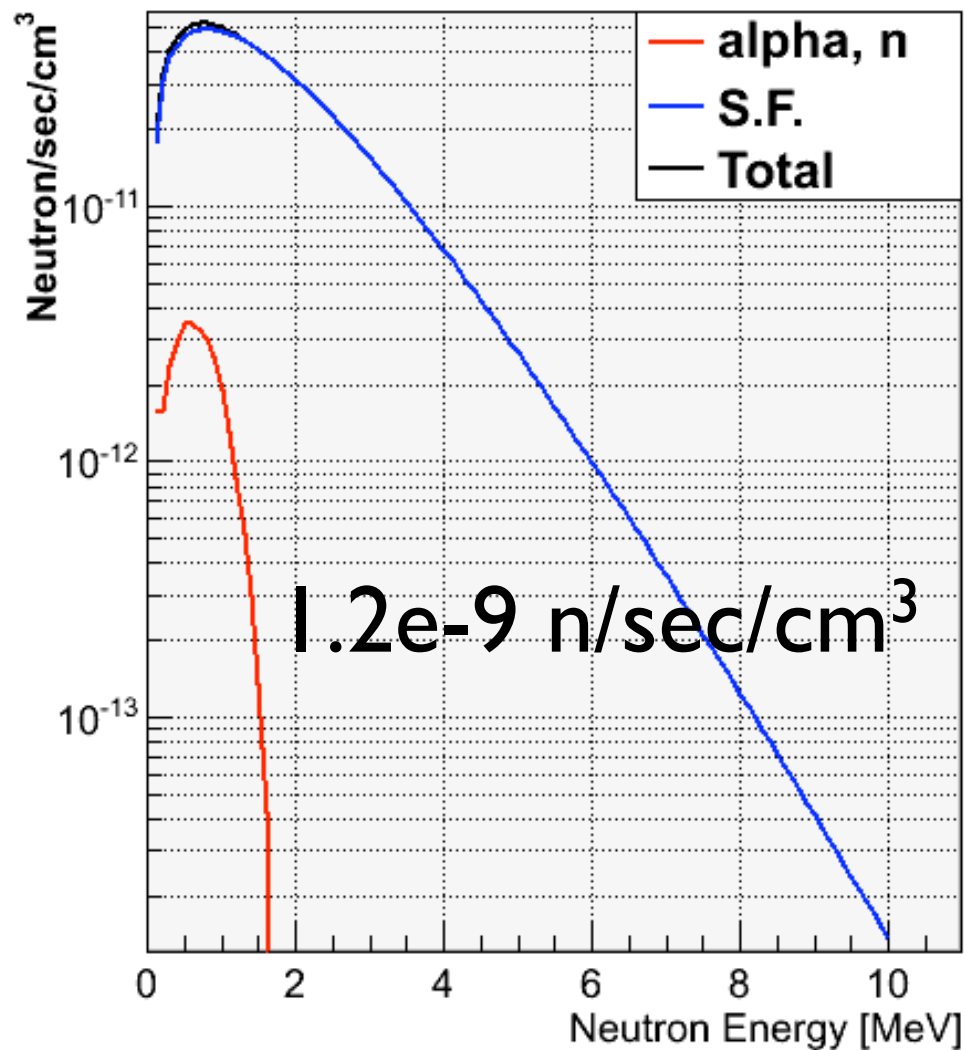
- Gamma: $< 1 \times 10^{-5}$ dru
 - below background level of PMTs.
- Neutron: $< 1 \times 10^{-7}$ dru
 - 2 order of magnitude lower than gamma because it behaves as “mimic WIMP signal”.
- Light weight
 - hanged by wires.
 - safety: maintained by researchers.

ICP-MS at Kamioka

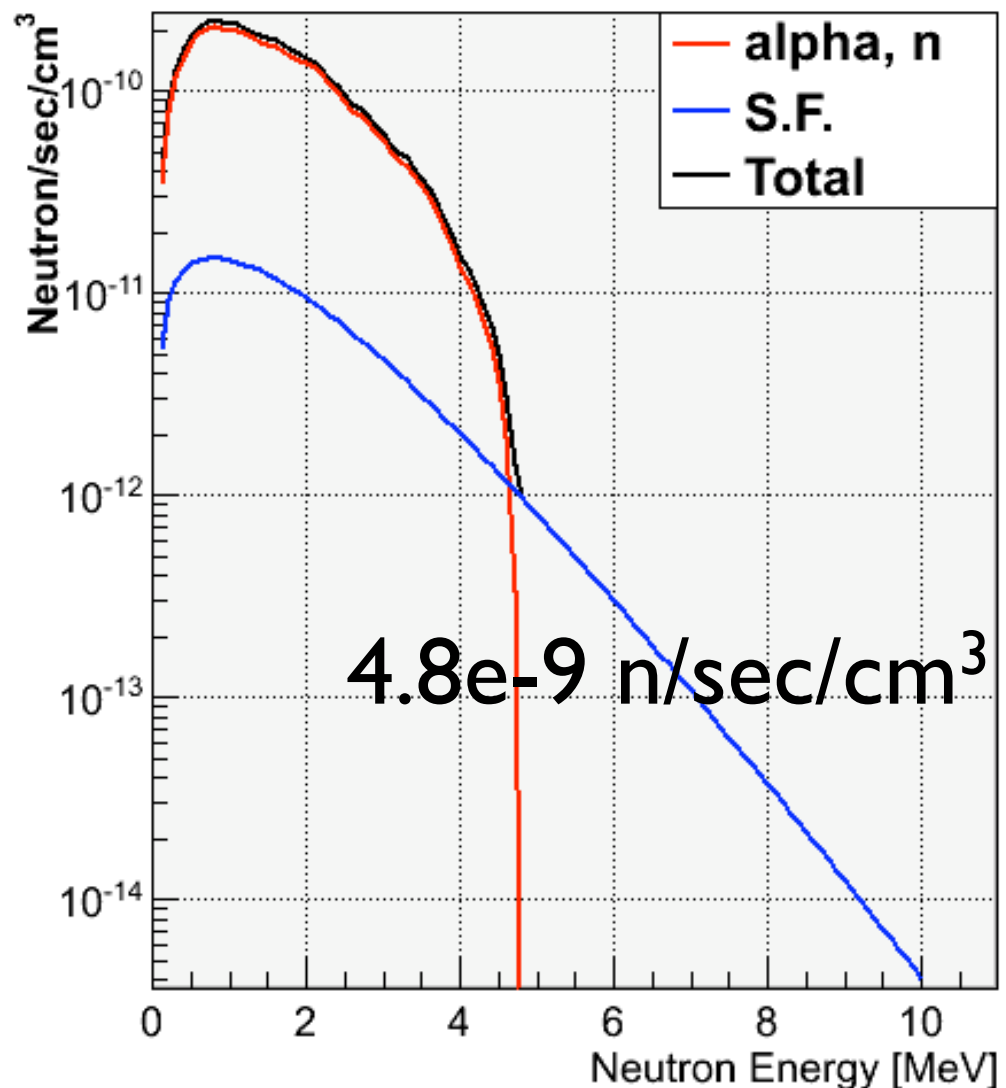
Requirement of Radioactivity

- Neutron flux from (alpha,n) or S.F. is estimated by using the modified SOURCES Code (NIMA595 (2008) 431).

Copper (U:10 ppb)



Al (U:10 ppb)



PMT

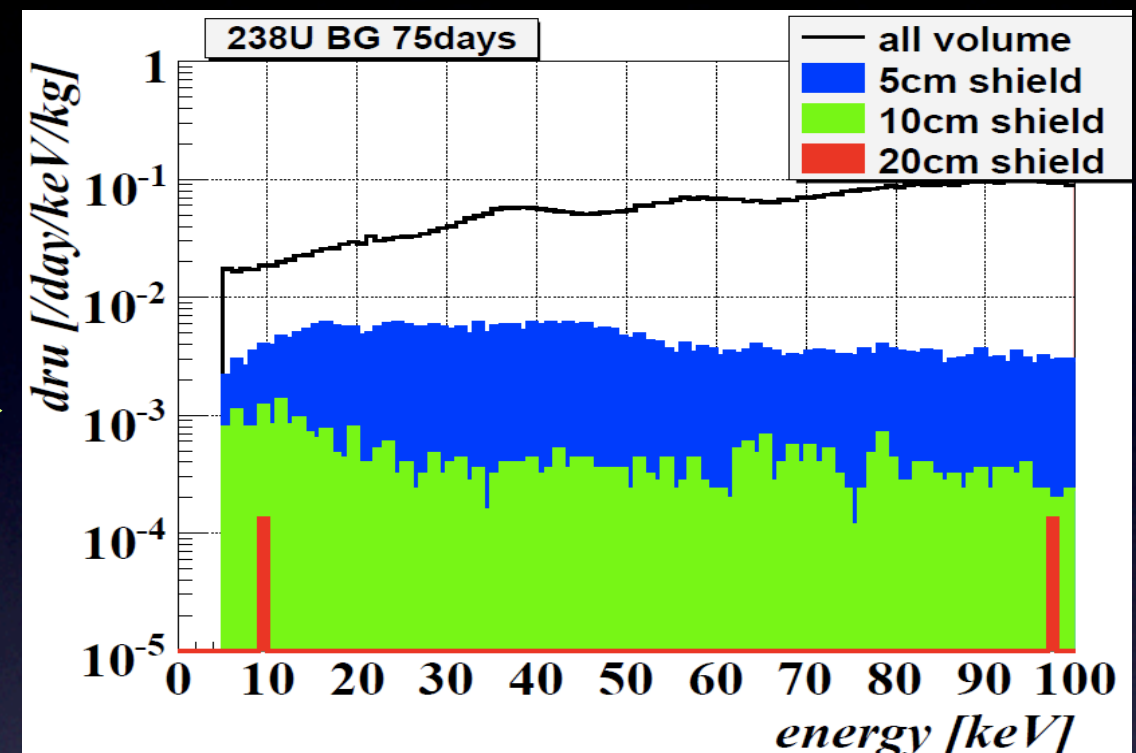
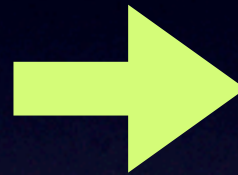
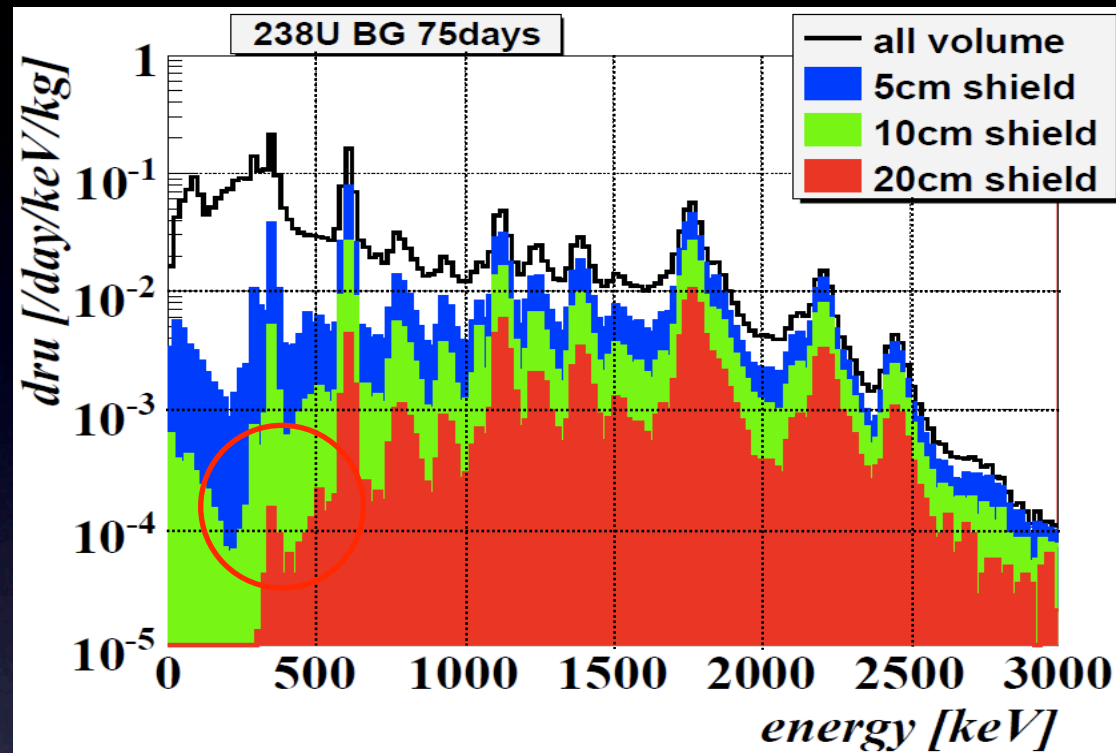
XMASS PMT HISTORY



YEAR	2000	2002	2008
Model	Prototype	R8778	R10789(R8778)
Material:Body	glass	Kovar	Kovar
QE	25%	25%	27-39%
RI:			
U [mBq/PMT]	50	18 ± 2	< 1
Th [mBq/PMT]	13	6.9 ± 1.3	< 0.94
^{40}K [mBq/	610	140 ± 20	< 9.68
^{60}Co [mBq/	< 1.8	5.5 ± 0.9	4.47 ± 0.34

- ✓ ^{60}Co 除き バックグラウンドを1/10にすることを目標として浜松ホトニクスと開発
- ✓ すべての材料をGe検出器でRIを確認する地道な作業
- ✓ 1/10にすることでバックグラウンドレベル $10^{-4}/\text{day}/\text{kev}/\text{kg}$ が達成できる
- > 2009年8月に完納予定

MCによるPMTからのバックグラウンドの見積もり



- ✓ PMTからのウラン $\sim 1.8\text{mBq/PMT}$
- ✓ 前と同様に30keV以下で目標である $10^{-4}/\text{day/kg/keV}$ を下回る
(U/Th/K/ ^{60}Co 合計で約3倍のバックグラウンド)

Distillation to reduce krypton

Motivation

For XMASS 800kg

improve production speed and reduction rate

Study for these

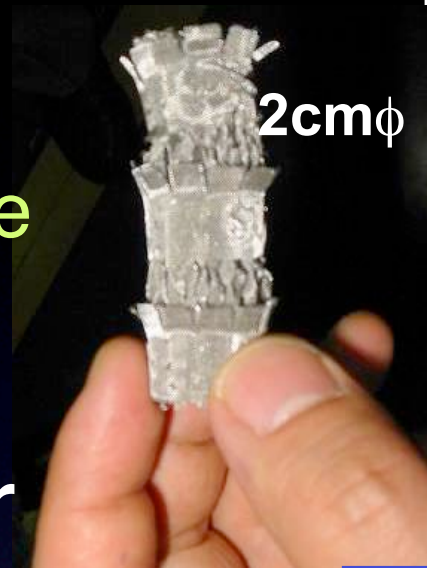
Parameters:

Production Rate

Reflux Rate

$178 \pm 2\text{K}$ in tower

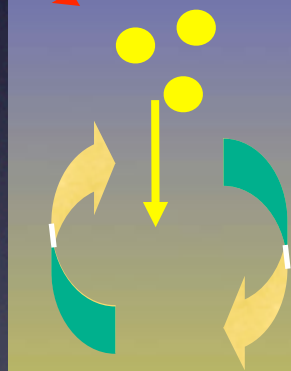
13 stage of



2cm ϕ

	Boiling point (@1 atm)
Xe	165K
Kr	120K

Lower
temp.



Higher
temp.



~3m

~1%

Off gas Xe:

$330 \pm 100 \times 10^{-9}$ Kr
(measured)

Operation: 2 atm(abs.)

Processed speed: 0.6 kg / hour

Design factor: **1/1000 Kr** / 1 pass

~99%

Purified Xe:

$(3.3 \pm 1.1) \times 10^{-12}$ Kr (by a high
sensitivity measurement
method)

Tuned Parameter and Final Design for Distillation Tower

Initial Kr in Xe = 60 ppm

Product [kg/hr]	Boiler[W]	Kr in Xe	Reduction
0.6	22	6.5 ppb	10000
0.6	5.6	3.1 ppm	20
1.2	22	3.0 ppm	20
1.2	44	< 3ppb	> 50000
1.7	66	< 3ppb	> 50000

original design

improved design

- Design of Reduction for Kr in Xe is **1/100000**.
 - **< 1ppt Kr in Xe from 0.1 ppm**
- more than **6 kg/hour** production rate.
 - X 10 higher rate than original design.
 - It takes one week for 1 ton Xe. If needed, we will do twice.
- The system will be installed in this **FY2008**.
- The purification will be performed in **spring 2009**.

Recirculation in Liquid Phase

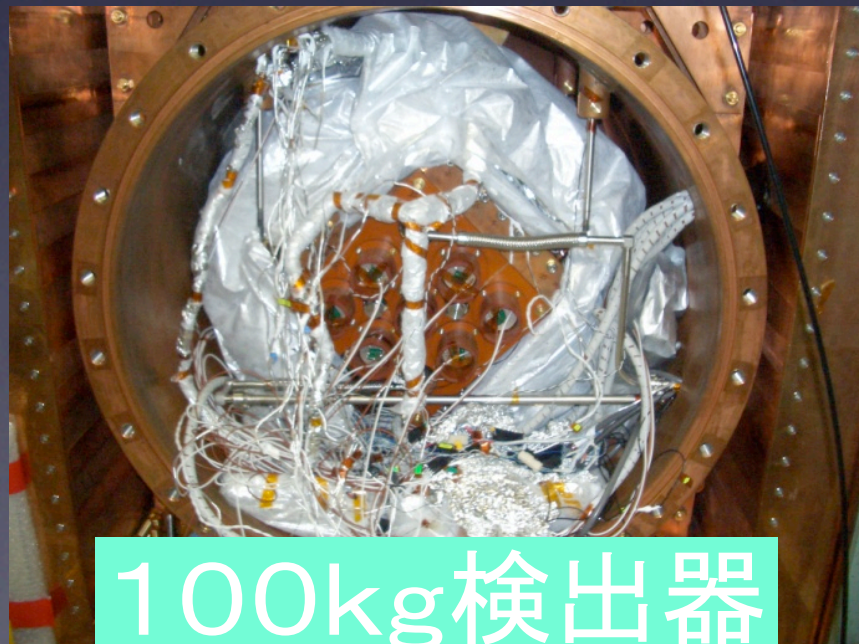
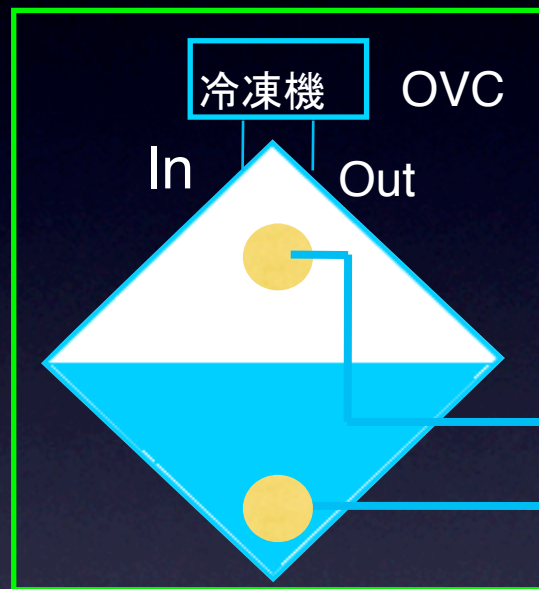
目的: キセノンからの水分、ラドン除去を液体の循環によって高速で行う。

100kg プロトタイプ検出器による循環試験を実施した。

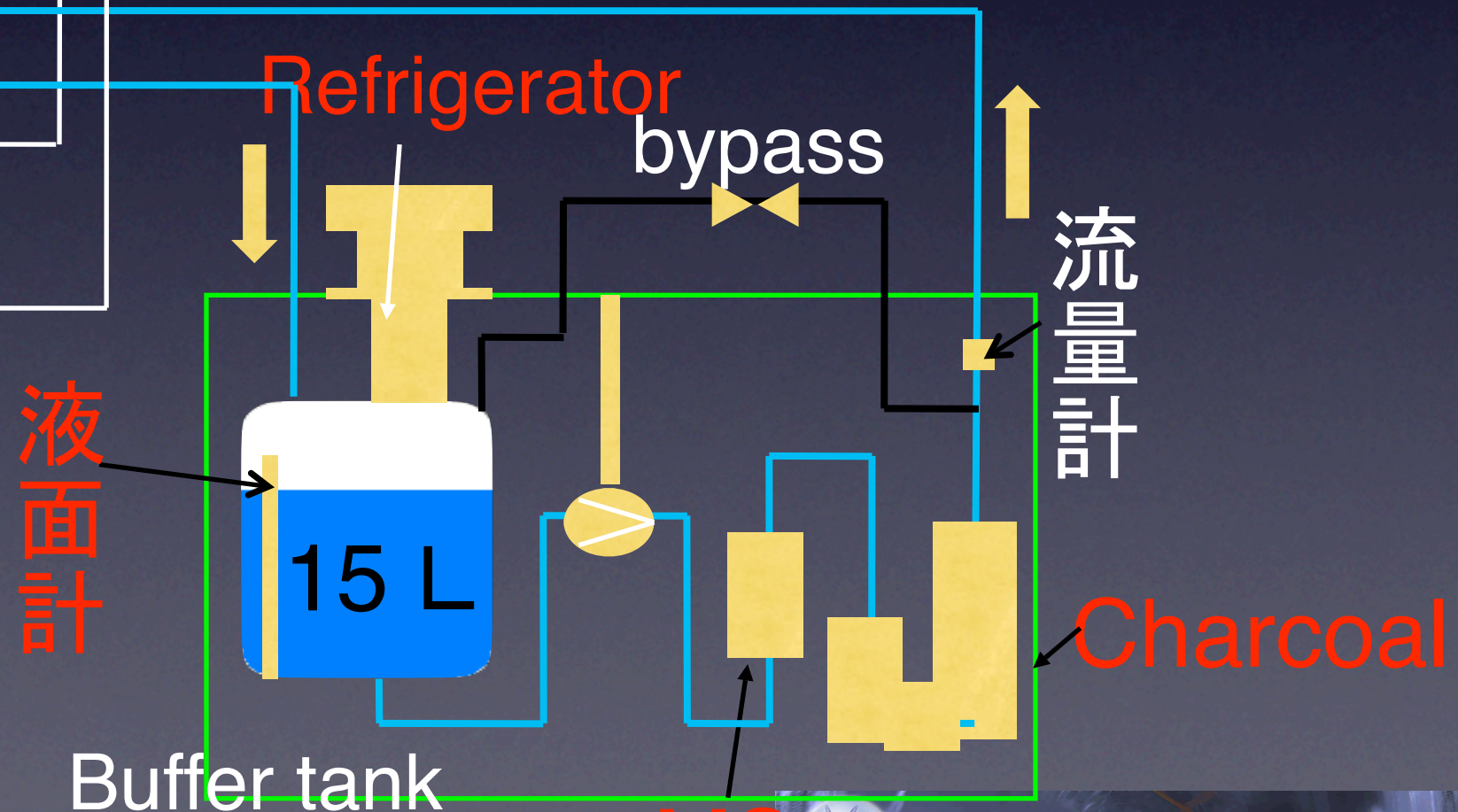
X100 faster than gas phase
(MEG succeeded for water)



循環器本体



100kg検出器



MS

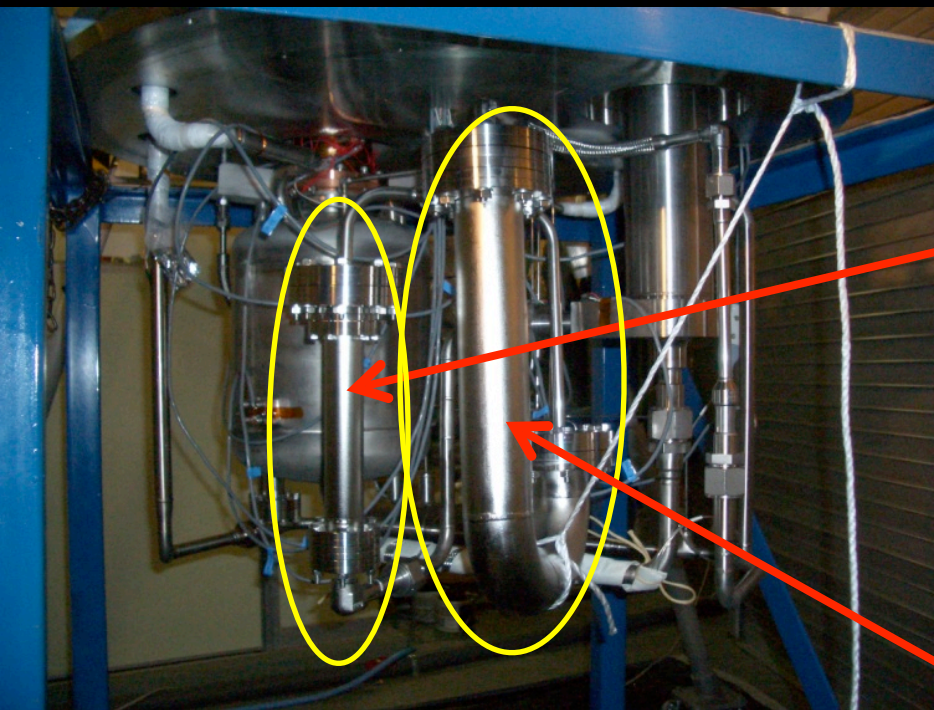


XMASS

Masaki Yamashita
Dark Matter Search Experiment

Filter

Molecular sievesにより水分を、活性炭によりRnを除去する。



Molecular sieves : 水分除去用。RIが少ない材料により自前で製作

標準品	目標値	合成品
445ppb	3ppb	10ppb

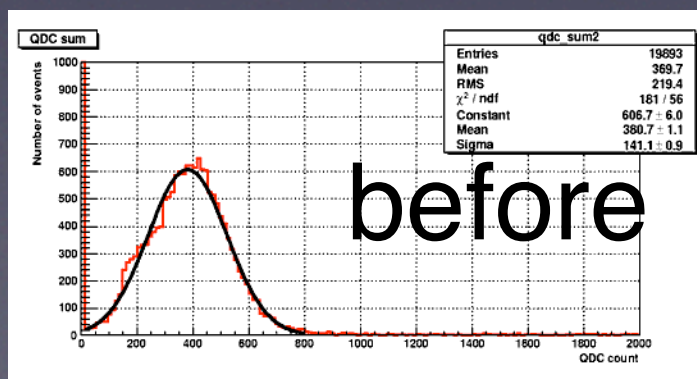
※ユニオン昭和株式会社との共同研究



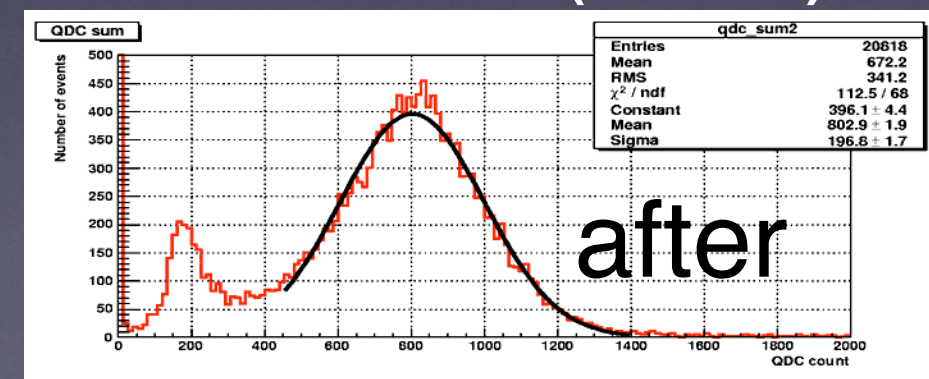
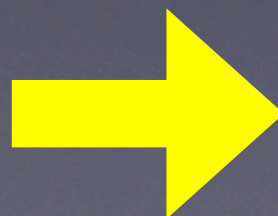
活性炭 : CarboAct (Borexino, GERDAで実績があるRadon emanationが少ないのを使用)

Radon emanation : 0.3 ± 0.1 mBq/kg

- 循環器での自己循環、循環器 $\leftrightarrow$ 検出器の循環に成功した。2L/minの流量を達成(目標 >1 L/min)
- 水分除去によるキセノン光量の増加を確認
- Radon 除去については現在解析中。



2倍の光量(数分で)



Summary

> on going

✓ finished

- Facility

- ✓ Experimental Hall

- > Water Tank -> (2009. Feb)

- > Water Recirculation -> (2009. Aug)

- Background

- Internal

- > ^{85}Kr in LXe ->(2009. May)

- > U/Th in LXe ->(2009. March)

- External

- ✓ PMT

- > Detector Material ->(2009. Jan)

2009年秋測定開始を目指す。



XMASS

Masaki Yamashita

Dark Matter Search Experiment