

OUTLINE / CURRENT STATUS / FUTURE PLAN OF XMASS EXPERIMENT

Summer School for Young Astrophysics Researchers

2012 Aug 3rd

Nagoya-U M2 Hiroki TAKIYA



CONTENTS

- About XMASS experiment
 - XMASS Experiment
 - Dark Matter
 - Detection principle
 - Detector
- Current status
 - Reconstruction
 - Background
 - Present Results
- Future plan
 - Problem solutions
 - Present work
 - Goal / Other experiments
 - Competitors / Future experiments



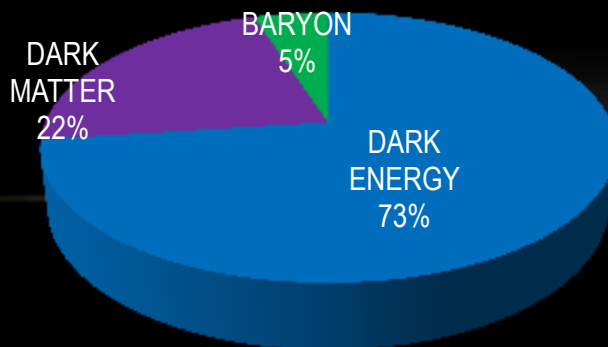
XMASS Experiment

- 岐阜県飛騨市神岡町、地下1000mで行われている**暗黒物質 (ダークマター) 直接探索実験**
- 液体キセノン(LXe)を用いたシンチレーション検出器であり、ダークマターとXe原子核との衝突によるシンチレーション発光をとらえる
- 最寄りのコンビニまで車で30分
- 実験のロゴがカッコいい



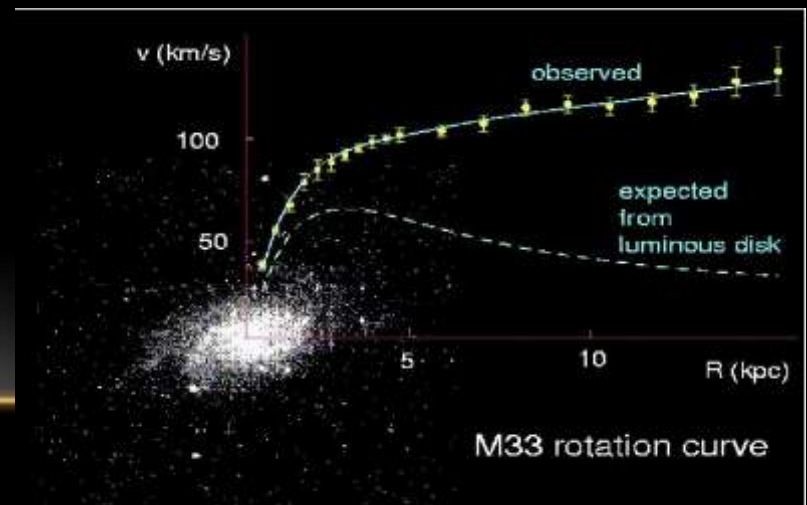
Dark Matter

- 宇宙の全質量の内、80%以上を占めていると考えられている、未知の素粒子
- 銀河回転曲線の観測結果などにより、その存在が理論的に予見されている
- 最有力候補は**WIMP** (= **W**eakly **I**nteracting **M**assive **P**article) と総称される粒子の内、超対称性理論から予言されるNeutralino
- 物質とほとんど相互作用をしないため、検出は極めて困難
- WIMP以外の候補も存在 e.g.) axion



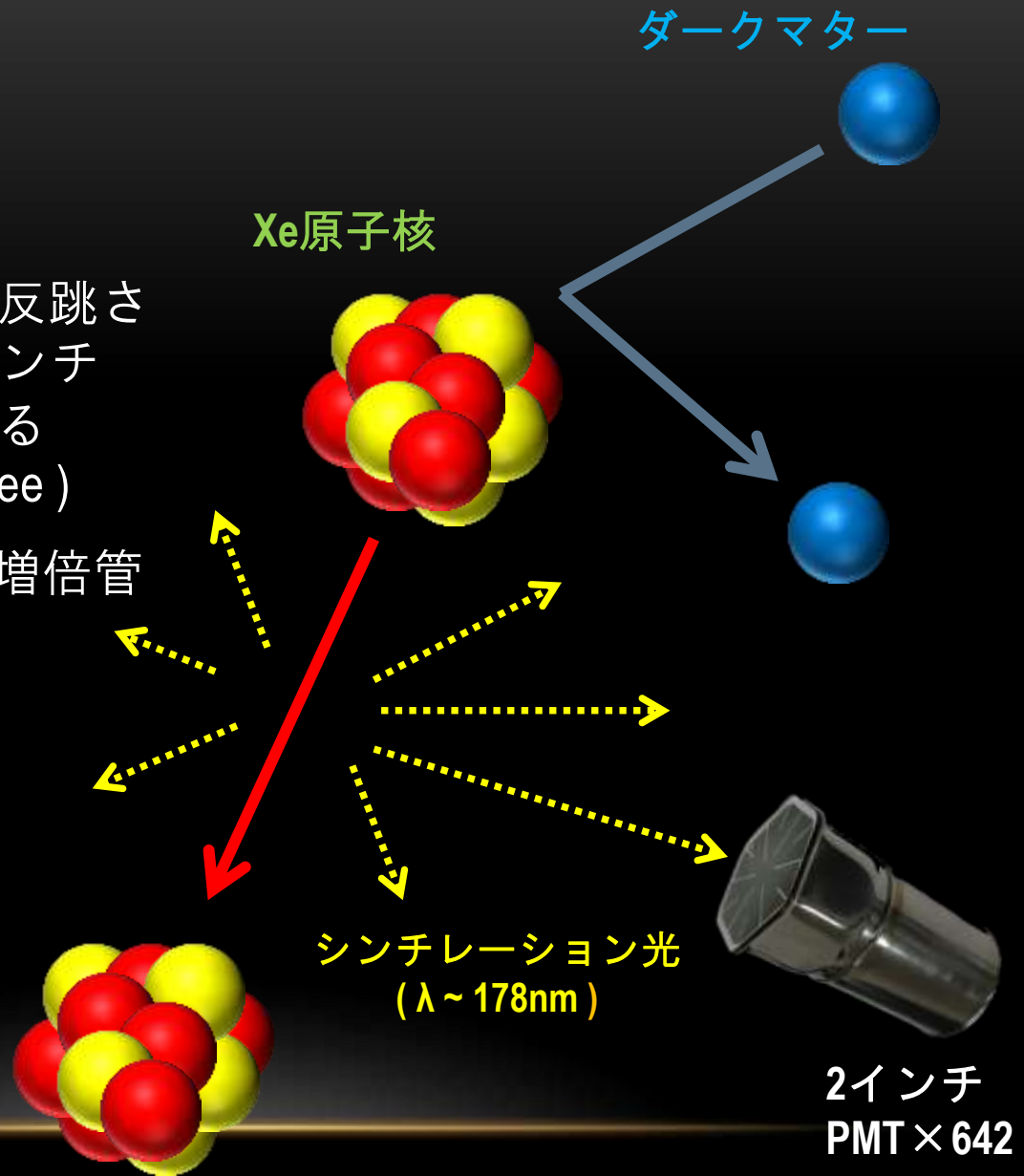
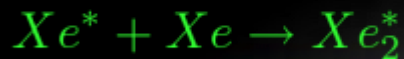
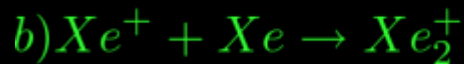
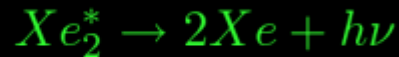
Expected Properties of DARK MATTER (Neutralino)

MASS	~100GeV ?
VELOCITY	220km/s
INTERACTION	Weak, Gravitational
CHARGE	0
SPIN	1/2
LIFETIME	stable



Detection Principle

- ダークマターと衝突し反跳されたXe原子核からのシンチレーション光をとらえる (14.7photo electrons / keVee)
- 642本の2インチ光電子増倍管 (PMT)を使用

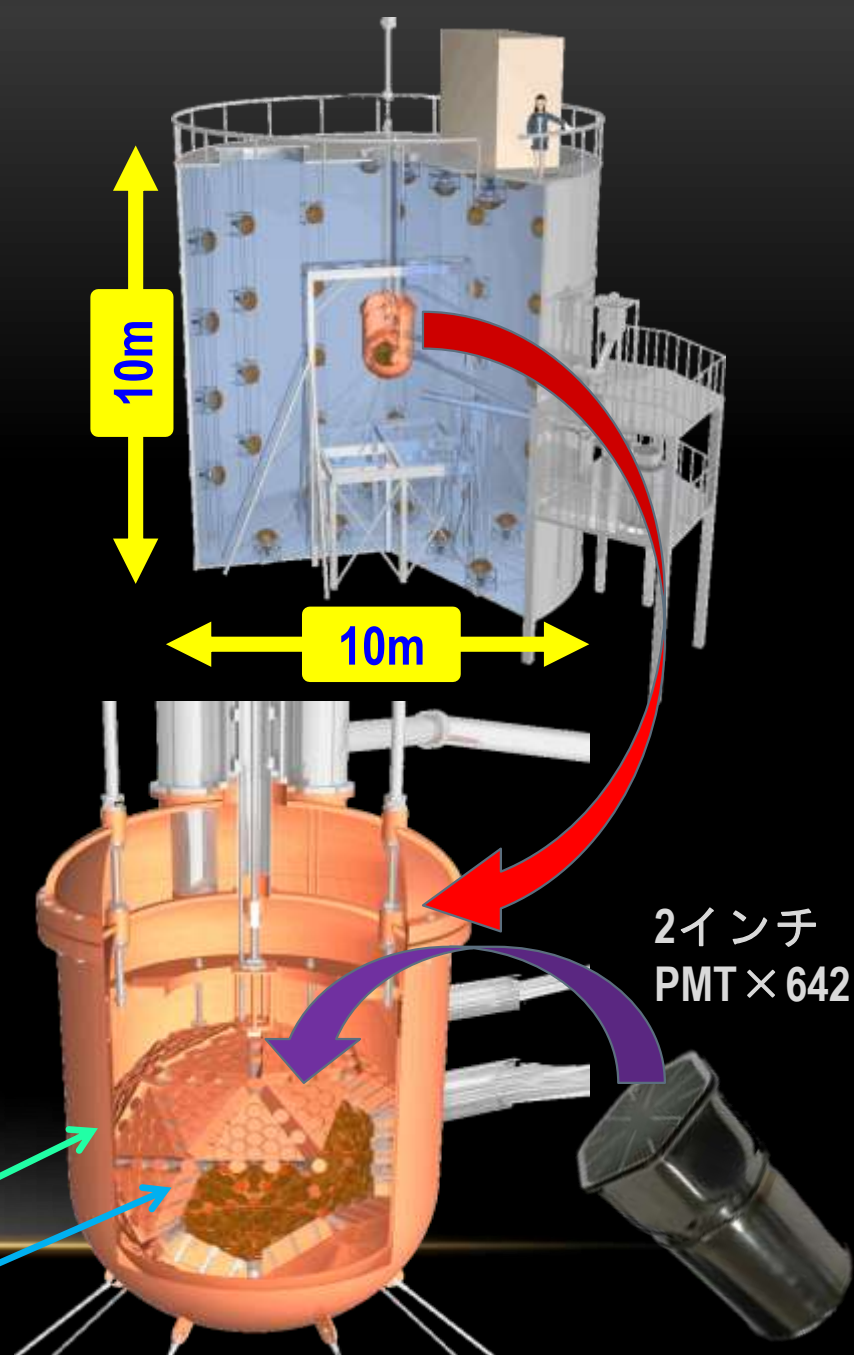


Detector

- バックグラウンド除去(中性子・ガンマ線遮蔽、ミューオンveto)のための超純水タンク内に検出器が置いてある
- 純水タンク内には72本の20インチPMTが設置されている
- 検出器本体は半径40cmの三角60面体(有効体積は検出器中心から半径20cm)で、ほぼ球形
- 642本の特製2インチPMTで微弱なシンチレーション光を捉える

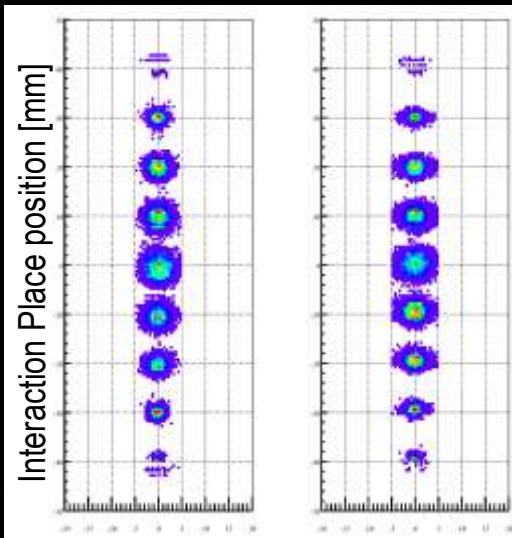
真空断熱容器

検出器

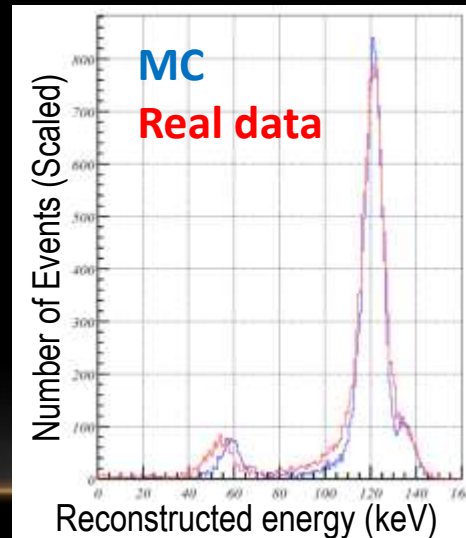


Current Status ① - Interaction Point Reconstruction

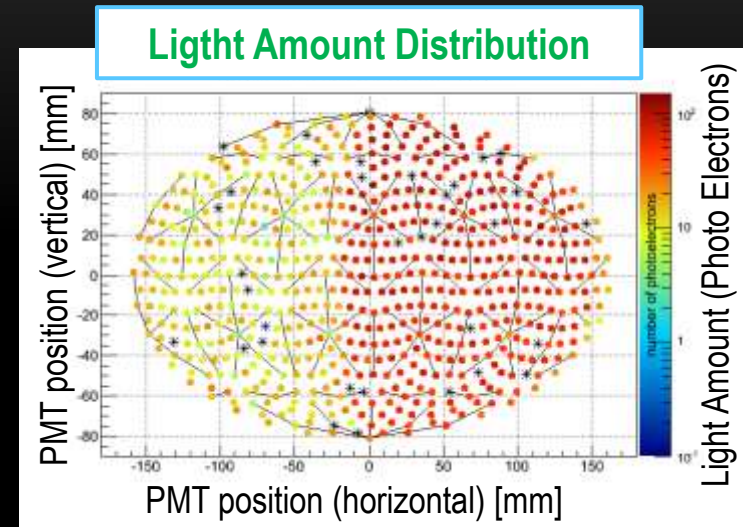
- XMASS実験では反応位置が有効体積内(検出器中心から半径20cmの球領域)に収まっているか判別する必要がある
- 各PMTからの光量情報をもとに反応位置再構成を行う解析ソフトウェアを開発・使用している



Monte Carlo Real Data



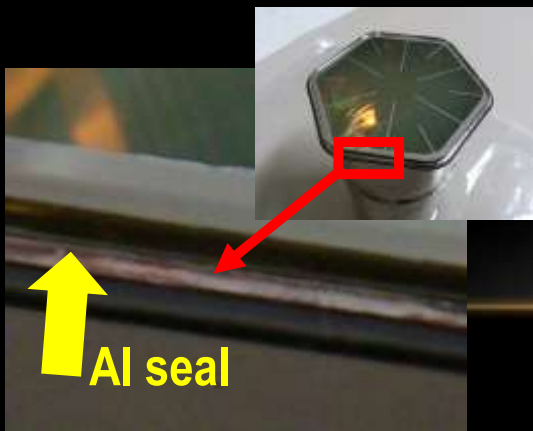
⁵⁷Co data comparison



- 精度は非常に高い
 - ~1cm RMS @ 122keV γ
 - ~4% RMS Energy Resolution @ 122keV γ
- しかし PMTとPMTホルダーとの間(溝)で起きる稀なイベント については、反応位置を誤って再構成してしまうことがある

Current Status ② - Background Radioactive Sources

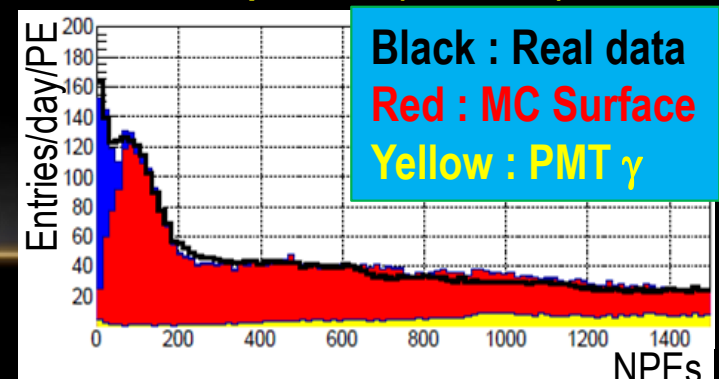
- LXeは目標レベルの純度をほぼ達成 ($^{41}\text{Kr} < 2.7\text{ppt}$, $^{222}\text{Rn} \sim 7\text{mBq}$)
- しかしバックグラウンドが多い
 - (目標 $10^{-4}\text{events keV}^{-1}\text{kg}^{-1}\text{day}^{-1}$, 現状 $10^{-2}\text{events keV}^{-1}\text{kg}^{-1}\text{day}^{-1}$)
- バックグラウンド源は ほぼ特定済み
 - ①PMT窓材と本体を接着するアルミニウムシール部分の ^{238}U 系列
 - ②PMTホルダー表面に付着した ^{210}Pb 系列
- バックグラウンド源はほぼ全て検出器内壁にある



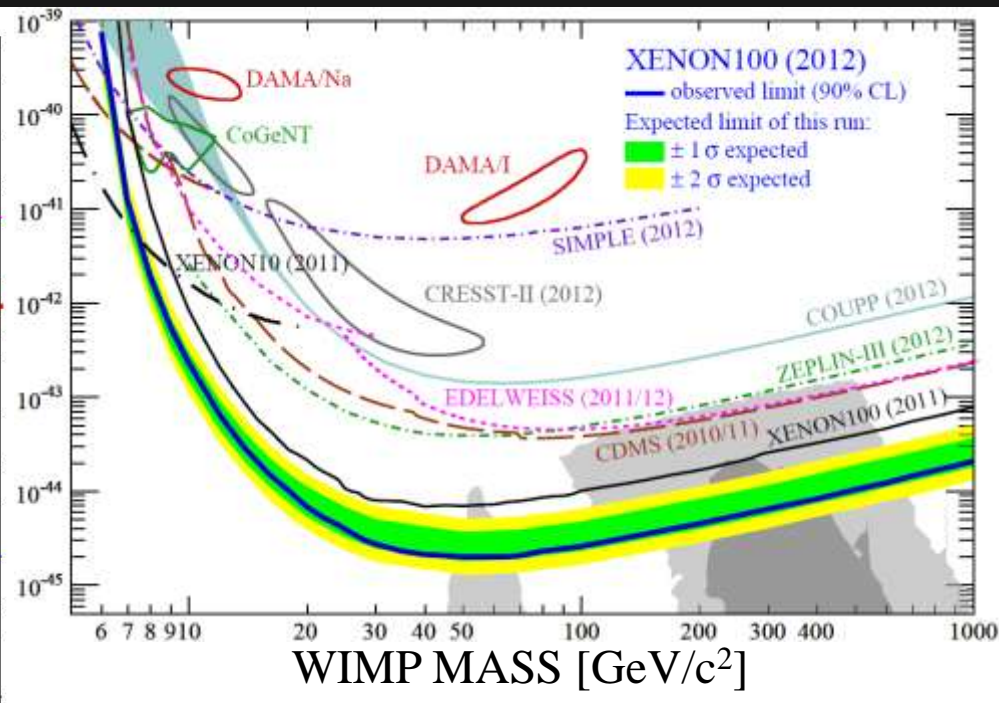
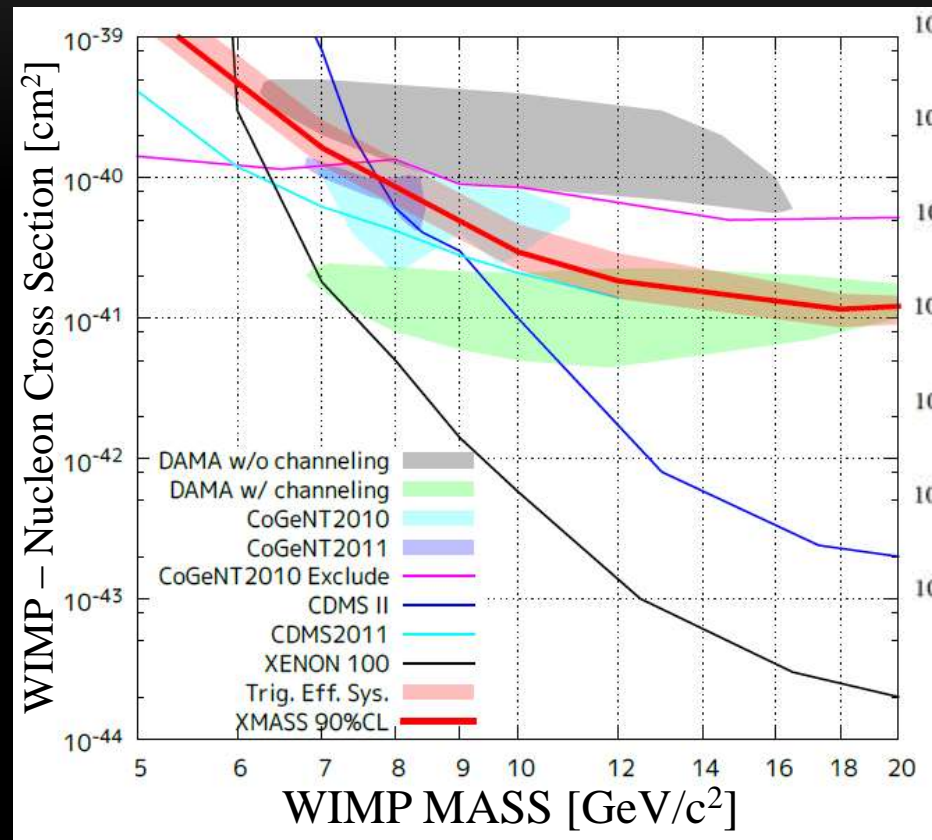
PMTホルダー



BG spectrum ($> 50\text{keV}$)



Present Results / Other Experiments



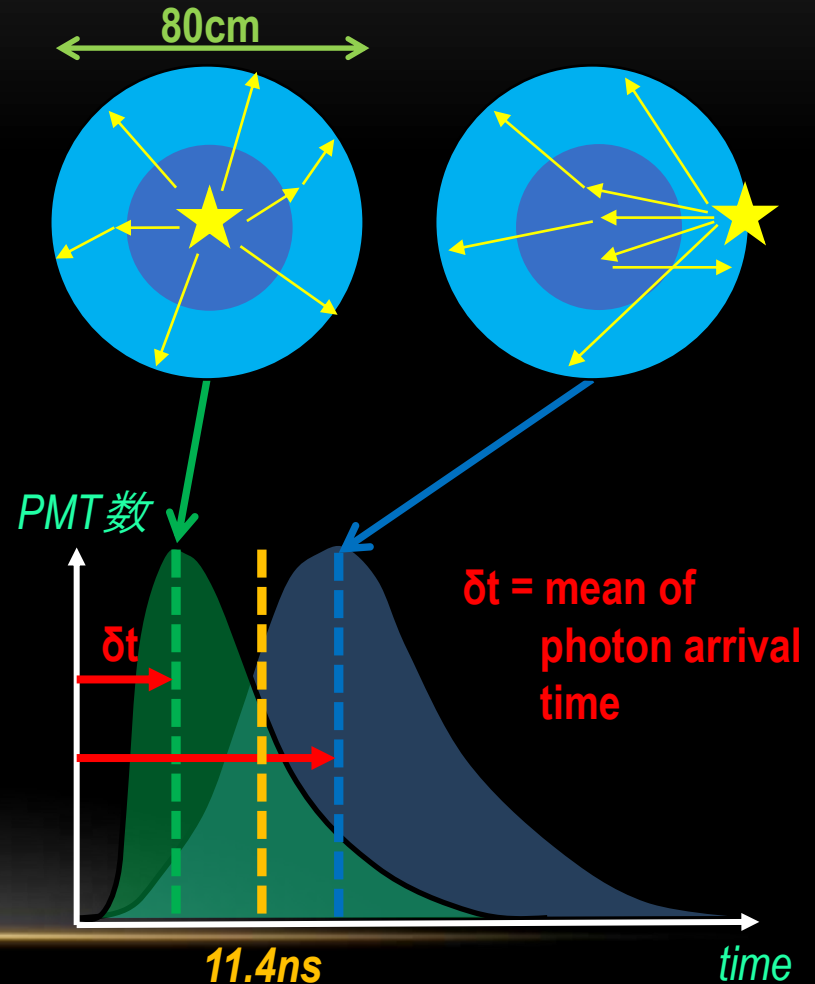
- XMASS実験は、低質量WIMPに対する反応断面積 σ のlimitを発表済み
- 2012年8月3日現在、世界最高感度はXENON100の225 live days observationにより与えられたlimit: $\sigma = 2 \times 10^{-45} \text{cm}^2$ against $55 \text{GeV}/c^2$ WIMP

Future Plan

- How to reduce BG?
 - ①検出器内壁の洗浄 ⇒ ホルダー表面の ^{210}Pb 除去
 - ②アルミニウムシール部分及びゴアテックスへの被覆の設置
⇒ ゴアテックス、アルミニウムからの ^{238}U 系列ベータ線除去
 - ③反応位置再構成プログラムの改善
⇒ 溝で反応を起こしたイベント等の検出器内壁近傍で起きたイベントの除去能力向上
 - ④FADC (Flash Analogue to Digital Converter) を用いたPSD
(Pulse Shape Discrimination) ⇒ ガンマ線、ベータ線BGの除去
 - ⑤時間情報を用いた新たな反応位置再構成メソッドの組み込み
- ⑤を担当

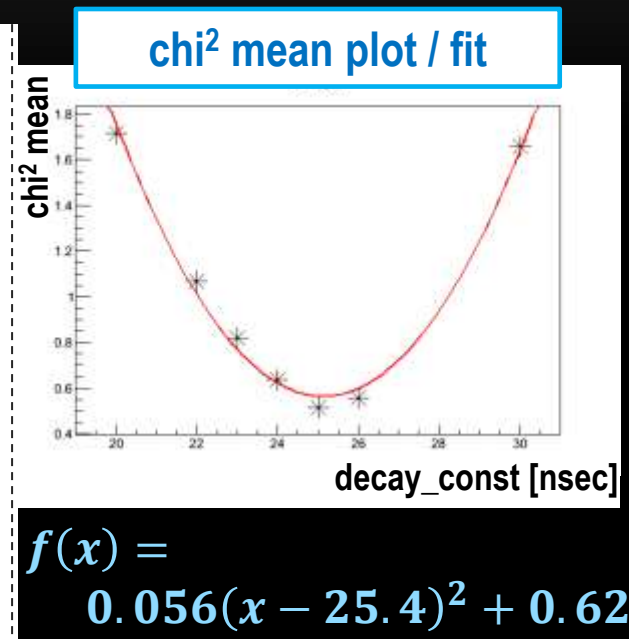
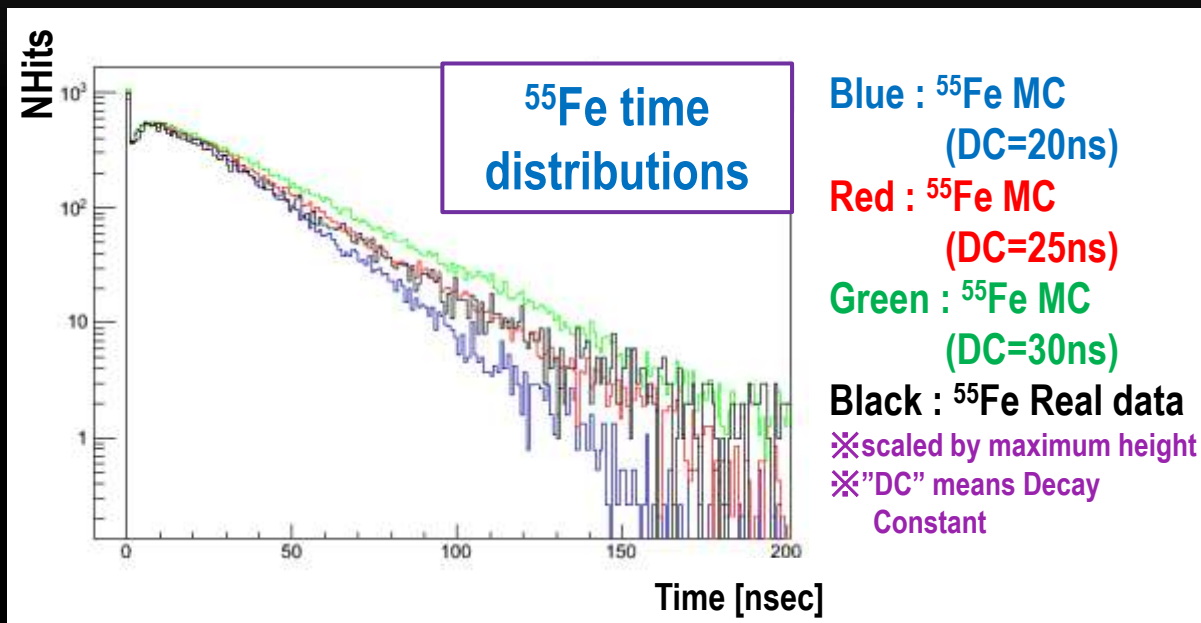
Reconstruction with Timing Information

- δt の差を用いた反応位置再構成によって壁際で起きたイベントを区別出来る可能性有
- 現在 $\delta t > 11.4\text{nsec}$ のイベントなら veto という非常に粗い timing cut のみ使用
- Fiducial event と内壁近傍での event を厳密に区別するにはより精密な δt による cut が必要
- 最終的には、時間情報から反応位置を再構成・同定する事を目標とする



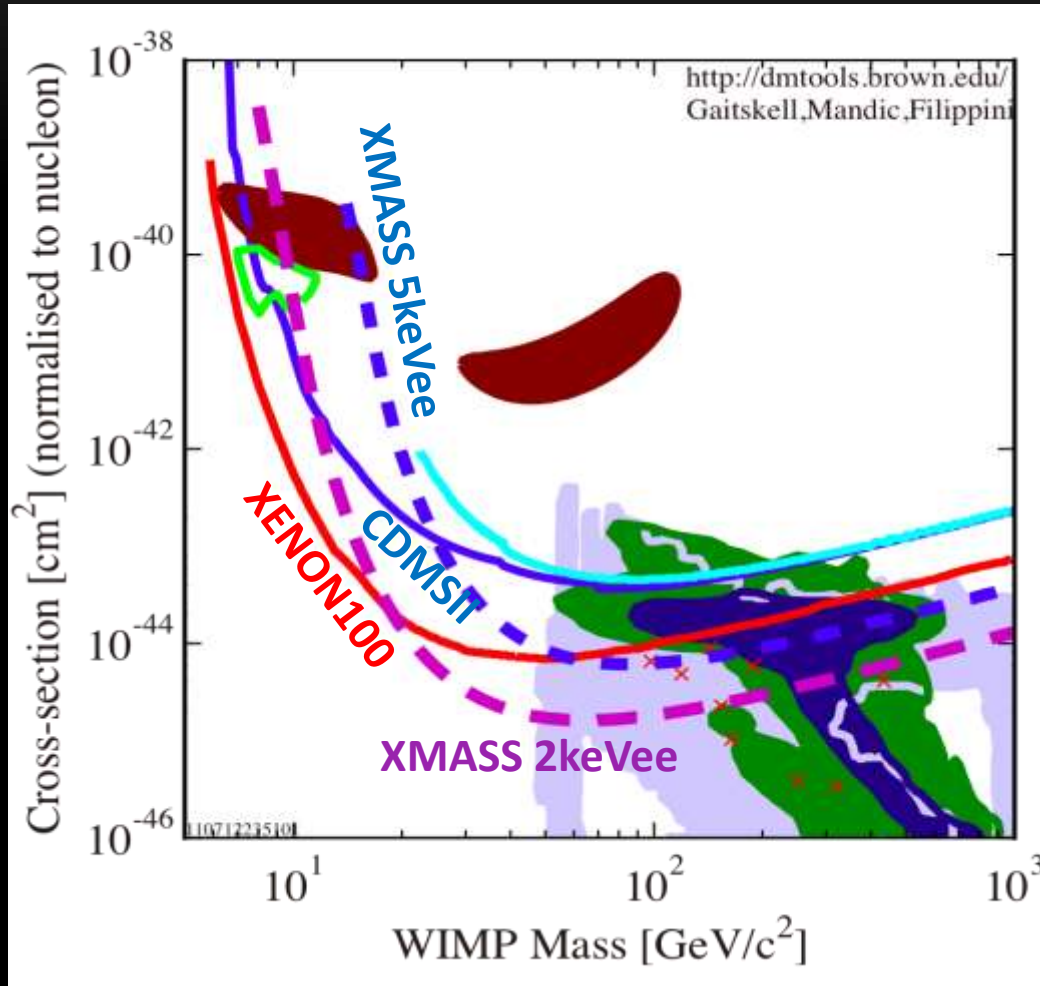
Present Work – Decay Constant Tune

⁵⁵Fe time distributions comparison (Z = 0cm)



- 時間情報を用いて反応位置再構成を行うには、反応位置再構成プログラムに正確なパラメータを入れる必要がある
- ⁵⁵Fe, ⁵⁷Co, ²⁵²Cfキャリブレーションデータを用いてDecay Constant (DC) の値やenergy, position dependenceを解析中

Goal / Past Results

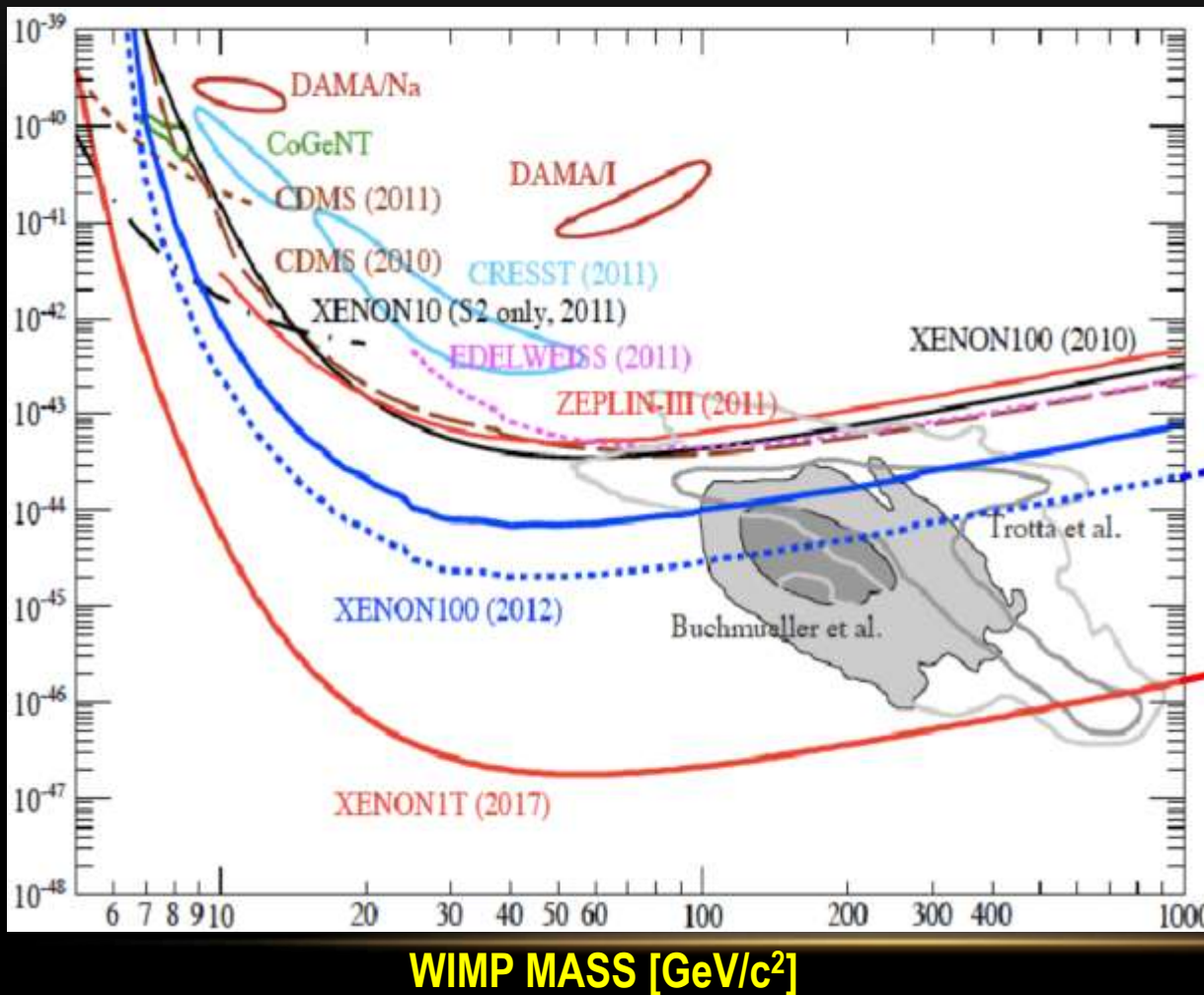


Blue Dashed :
XMASS 5keVee threshold (100days)
Purple Dashed :
XMASS 2keVee threshold (100days)
Red :
XENON100 2011 result (100days)

- XMASS 800kgの目標は、
WIMP - 核子反応断面積に
して $2 \times 10^{-45} \text{cm}^2$ である

Competitors / Future Experiments

WIMP-Nucleon Cross Section [cm^2]



- 2012年以降、他国でも大型のLXe検出器が建設・稼動予定
 - LUX : 350kg LXe TPC**
South Dakota, USA
 - XENON 1T : 1t LXe TPC**
Nantes, France
- 2013年にはXMASS, LUXの両方が結果を出す予定となっている

Summary

- XMASS実験は、岐阜県飛騨市神岡町の地下1000mで行われているWIMP直接探索実験
- 予想よりも多かったBGの低減と、世界初のWIMP直接検出に向け、9月から検出器の改造を行う
- 今まで用いていた光量のみならず、時間情報を用いたBG低減へのアプローチを試みている ← 私の担当
- 2013年に検出器改造を終え、世界最高感度を達成して結果を出す予定
(もしかすると世界初のWIMP直接検出に成功...?)
- 次世代XMASS検出器はLXeの量を5t, 20tと拡張予定
(最終的には太陽からのp-p chain neutrinoすらも見える!!)

BACKUP SLIDES



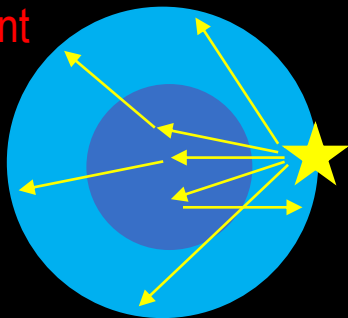
Liquid Xenon

- Liquid xenonの利点
 - シンチレーション光が比較的長波長 (~178nm)
 - 発光量が多い
 - 質量数 $A = 131$ でありWIMP質量とほぼconsistentであることが期待され、反跳時に受け取るエネルギーが大きいと考えられる
 - $A = 131$ と大きく、WIMPに対する反応断面積 σ も大きい ($\sigma \propto A^2$)
 - 約-100°Cという、液体希ガス元素としては比較的高温で扱うことが出来る
 - 循環装置を作り、purityを保つことが可能
 - ガンマ線に対し自己遮蔽が効く

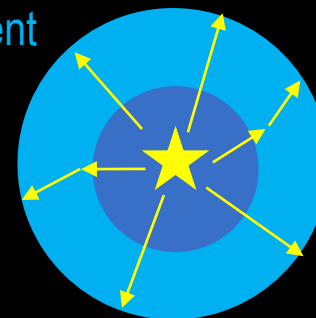
MIZO Event

- PMTとPMTホルダーの境目(溝)で起きるイベントが稀に存在する
- 溝イベントの光量分布は、有効体積内で起きた低エネルギーイベントの光量分布に似ている
- 反応位置再構成プログラムでは、光量分布のみを用いて反応位置を再構成する ⇒ **溝イベントをfiducial eventと誤認識してしまう**

MIZO event

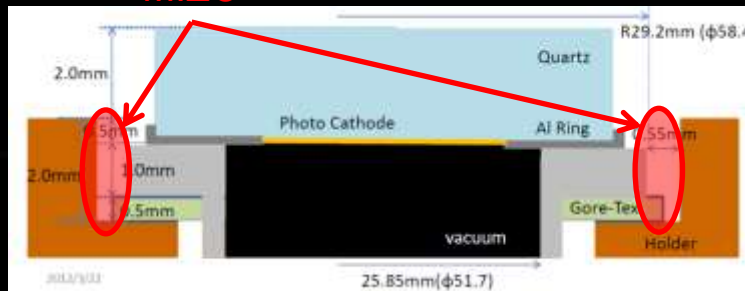


fiducial event



Similar light distribution

MIZO

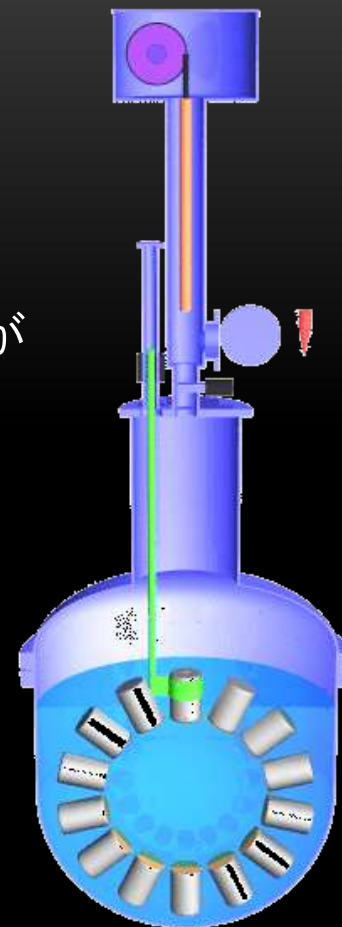
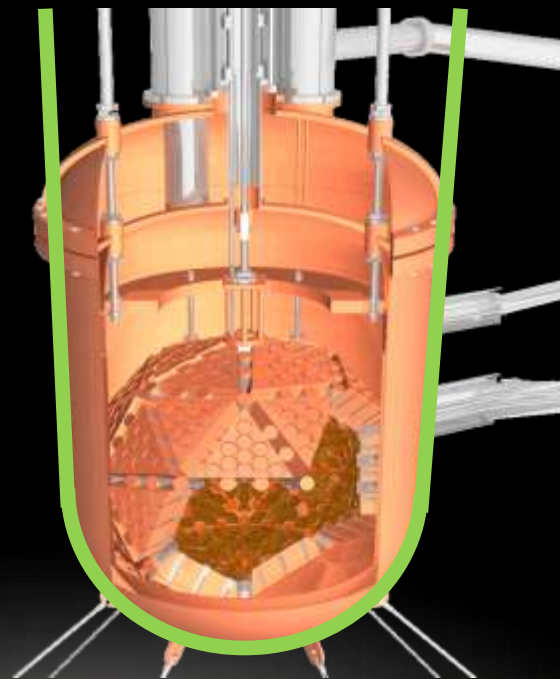


Properties of LXe (to ~178nm photon)

Scattering length	~ 60cm
Absorption length	~ 700cm
Refractive index	~ 1.61

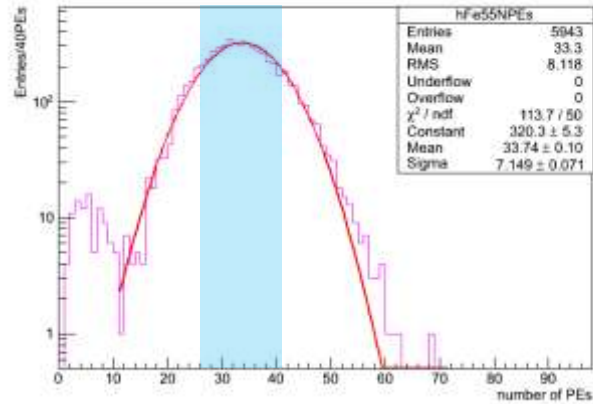
Calibration System

- Calibration sourceを検出器内に入れるためのロッドが存在 (検出器内の位置は鉛直方向のみ可変)
- 検出器を包む真空断熱容器の外にホースがあり(下図: 緑で強調された線)、その中へcalibration sourceを通すことによって、外部からの放射線に対する検出器の応答を見る
- 検出器内に3つ設置してあるLEDを用いたcalibrationも可能

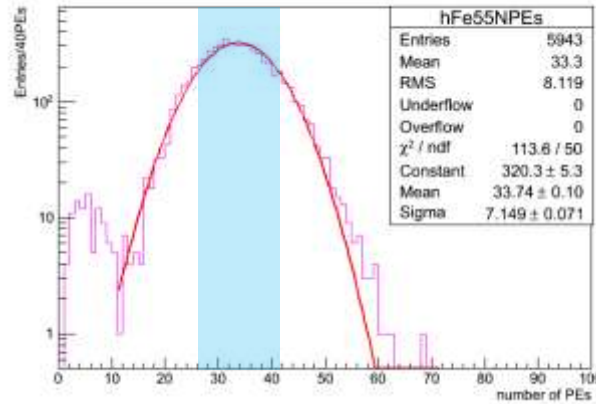


Event Selection by Total Number of PEs ($Z = 0\text{cm}$)

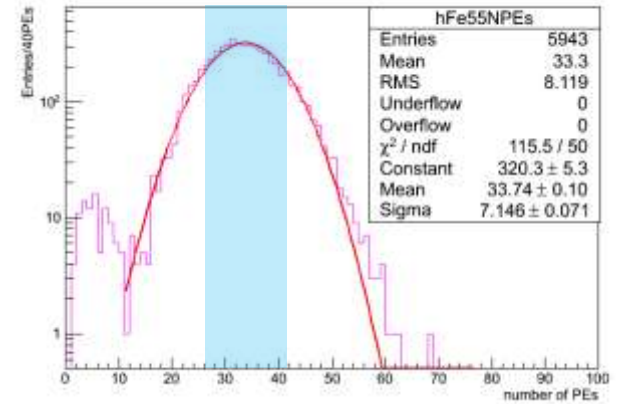
Decay const = 22ns



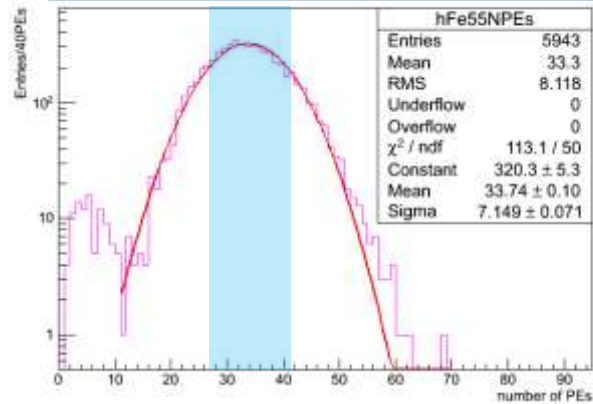
Decay const = 24ns



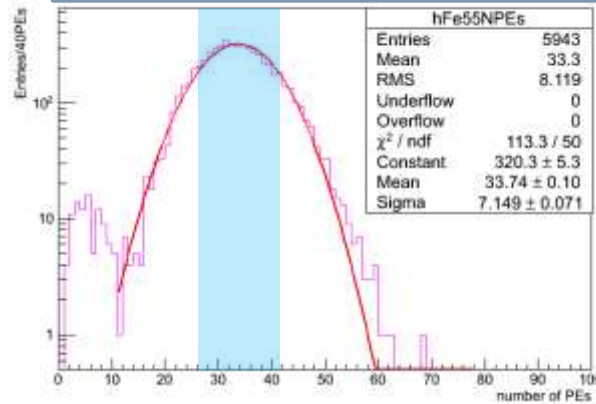
Decay const = 26ns



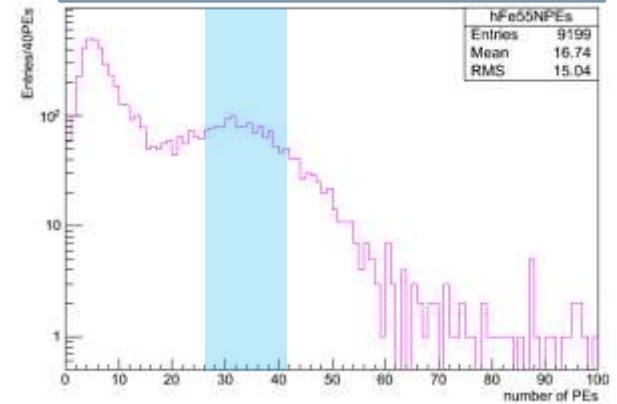
Decay const = 23ns



Decay const = 25ns

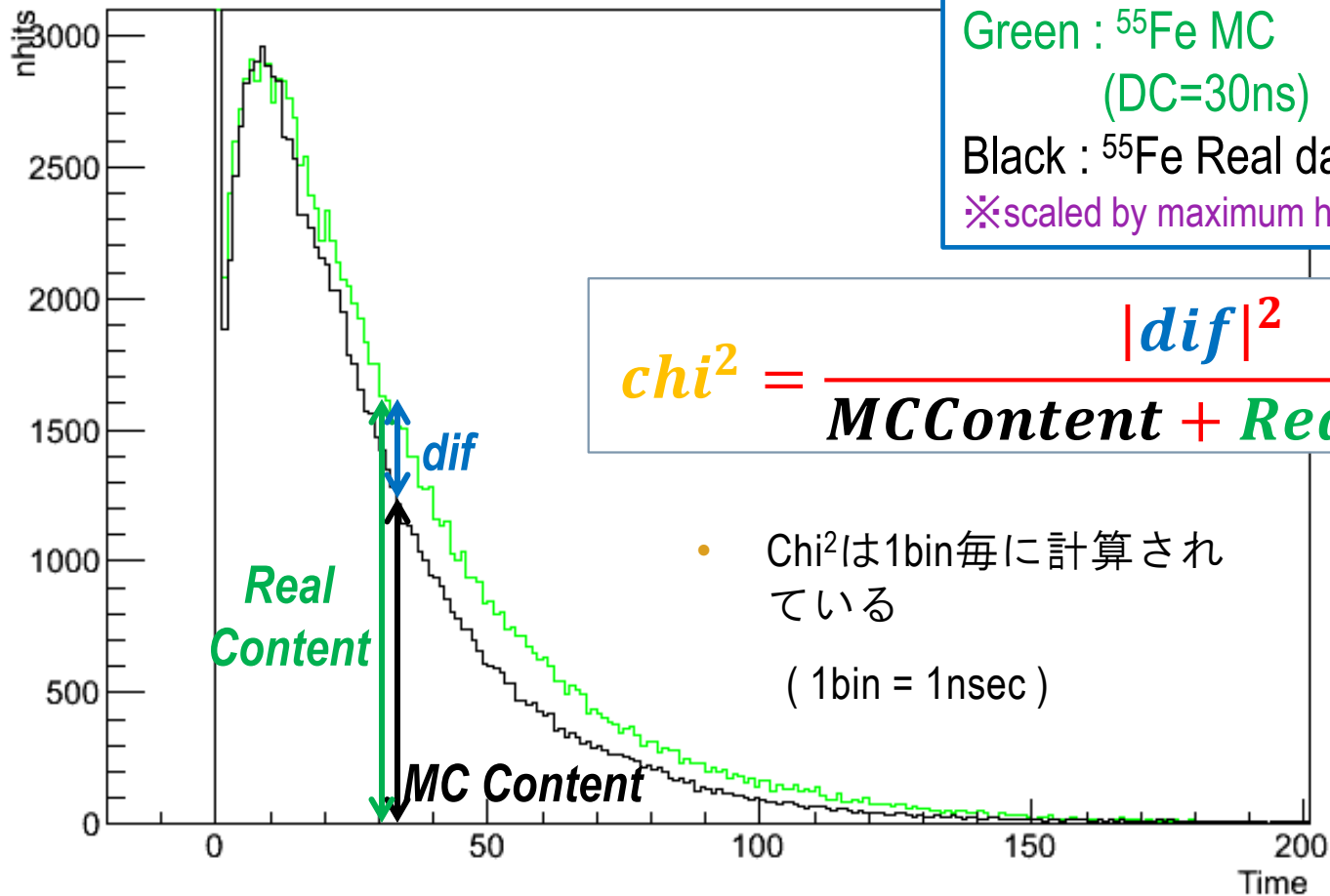


Real data $Z=0\text{cm}$



PE region : 26.5 total PEs ~ 40.9 total PEs

Definition of Chi²



Time distributions

Green : ⁵⁵Fe MC
(DC=30ns)
Black : ⁵⁵Fe Real data
✖scaled by maximum height

$$chi^2 = \frac{|dif|^2}{MCContent + RealContent}$$

- Chi²は1bin毎に計算されている
(1bin = 1nsec)