

低バックグラウンド技術II

極低バックグラウンド素粒子原子核研究懇談会

(富山商工会議所)

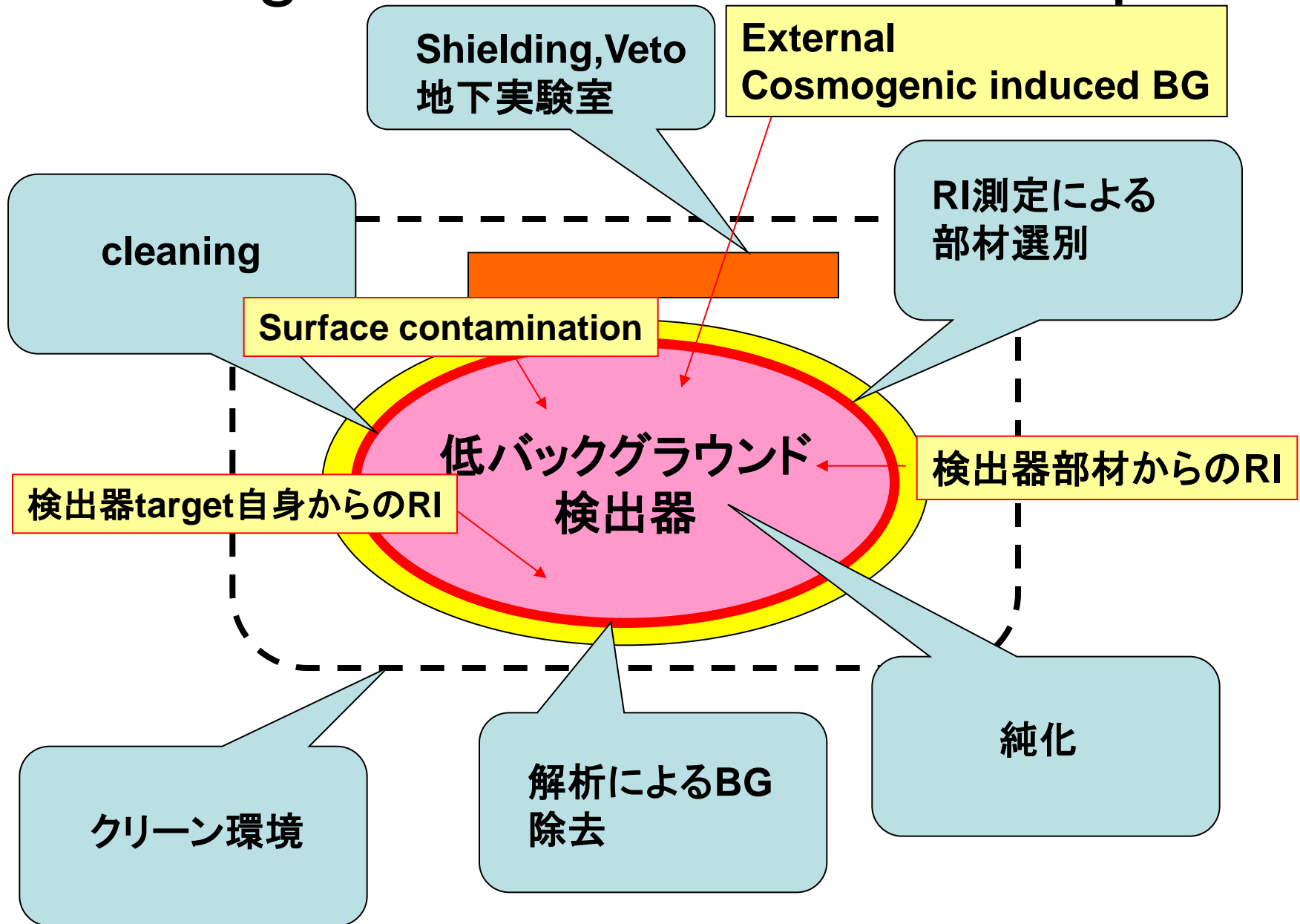
2013年4月24日

東大宇宙線研

小川 洋

- Report the topic from LRT 2013 (Apr 10-12,2013, LNGS)
 - Low background counting => Ikeda (Tohoku)
 - Background reduction => Ogawa (ICRR)
- Contents :
 - Background reduction technique
 - バックグラウンド源とその対策：LRT2013からの紹介
 - Radonについて
 - Summary

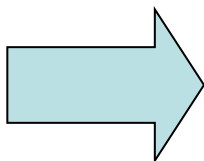
Background reduction technique:



バックグラウンド源とその対策：検出器部材

検出器部材からのRI

PMT, 検出器形成部材など
Gamma, (U/Th/Co/40K etc)
 β, α
ex) : (α, n)からのneutron



部材のRI測定による部材選別

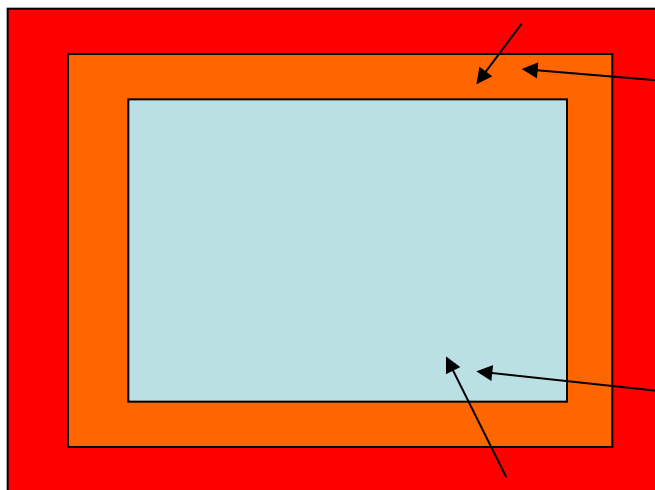
HPGe detector
ICP-MS
Radon emanation meas.
Alpha, beta counter
低バックグラウンドである部材を選定する。
また、ここをしっかりと押さえることで、
検出されるBGを予想する必要がある。

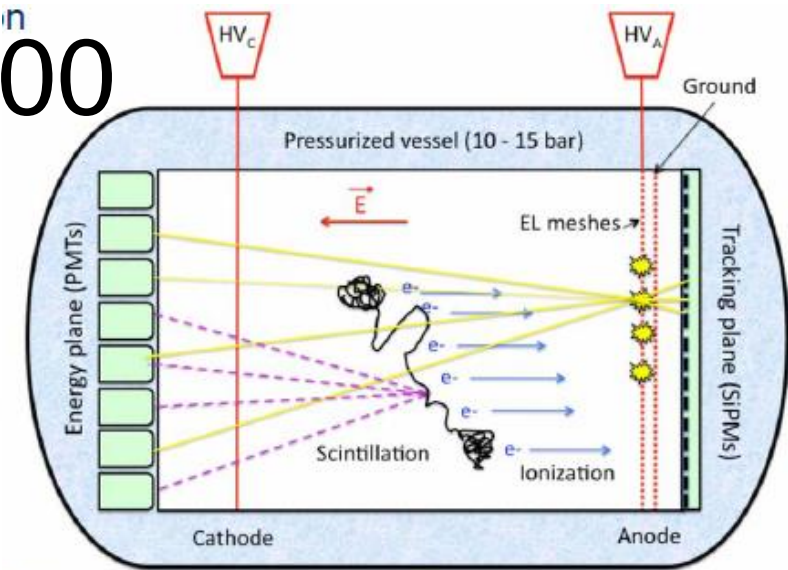
Shielding

検出器内部に侵入するBGを減らす。
=> むろんshield自身もきれいでなくては
ならない。

解析による除去

エネルギー、位置事象再構成、PID、
Trackingなど





12042

- Search for $\beta\beta$ of ^{136}Xe ($Q=2.458$ MeV) with ~ 100 kg at **Canfranc Underground Laboratory (LSC)** in Spain
- **Challenge:** measurement of topological signature
+ optimization of energy resolution
+ detector = source approach
- **Design:** high pressure gaseous xenon TPC with proportional electroluminescent (EL) amplification

Energy resolution : $<1\%$ for $Q_{\beta\beta}$
BG level 8×10^{-4} count/(keVkgyr)

➤ **Ge gamma-ray spectrometry**

- Several p-type closed-end coaxial **HPGe detectors** of LSC Radiopurity Service

	Detectors	DAQ	Shielding	Operation
LSC Radiopurity Service: GeOroel GeAnayet GeTobazo GeLatuca	410-420 cm ³ Al cryostats	Canberra DSA 1000 modules	5 cm Cu + 20 cm low activity Pb flux of N ₂ gas	Hall C, since 2011
U. Zaragoza: Paquito	190 cm ³ Cu cryostat	standard Canberra LA + ADC	10 cm arch. Pb + 15 cm low activity Pb flux of N ₂ gas	Canfranc old facilities for several years, now at Hall C



S. Cebrián, LRT2013 Workshop, LNGS 10-12 April 2013

Radiopurity control in the NEXT-100 double beta decay experiment: procedures and initial measurements
V. Alvarez et al, 2013 JINST 8 T01002

#	Material	Supplier	Technique	Unit	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	²²⁸ Th	²³⁵ U	⁴⁰ K	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs
Vessel												
11	Ti	SMP	Ge	mBq/kg	<233	<5.7	<8.8	<9.5	3.4±1.0	<22	<3.3	<5.2
12	Ti	SMP	Ge	mBq/kg	<361	<6.6	<11	<10	<8.0	<15	<1.0	<1.8
13	Ti	Ti Metal Supply	Ge	mBq/kg	<14	<0.22	<0.5	3.6±0.2	0.43±0.08	<0.6	<0.07	<0.07
14	304L SS	Pfeiffer	Ge	mBq/kg		14.3±2.8	9.7±2.3	16.2±3.9	3.2±1.1	<17	11.3±2.7	<1.6
15	316Ti SS	Nironit, 10-mm-thick	Ge	mBq/kg	<21	<0.57	<0.59	<0.54	<0.74	<0.96	2.8±0.2	<0.12
16	316Ti SS	Nironit, 15-mm-thick	Ge	mBq/kg	<25	<0.46	<0.69	<0.88	<0.75	<1.0	4.4±0.3	<0.17
17	316Ti SS	Nironit, 50-mm-thick	Ge	mBq/kg	67±22	<1.7	2.1±0.4	2.0±0.7	2.4±0.6	<2.5	4.2±0.3	<0.6
18	Inconel 625	Mecanizados Kanter	Ge	mBq/kg	<120	<1.9	<3.4	<3.2	<4.6	<3.9	<0.4	<0.6
19	Inconel 718	Mecanizados Kanter	Ge	mBq/kg	309±78	<3.4	<5.1	<4.4	15.0±1.9	<13	<1.4	<1.3



Tiも候補であったが、最終的に
316Ti stainless steelを選定した。

➤ New measurements:

Material	Supplier	Technique	Unit	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	²²⁸ Th	²³⁵ U	⁴⁰ K	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs
TIG-MIG welding on 316Ti SS	Nironit (SS), Movesa	Ge	mBq/cm	< 7.3	< 0.11	< 0.32	< 0.21		0.86 ± 0.14		

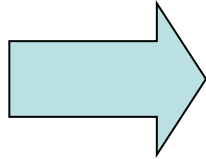
バックグラウンド源とその対策：検出器target自身

検出器target自身からのRI

Scintillator

=> 液体、結晶、noble gas
Gamma, (U/Th/Co/40K etc)
 β, α

(α, n)からのneutron
85Kr, 222Rn及び娘核子



RI測定によるtarget選別

Purification

液体 : water extraction, distillation,
gas stripping

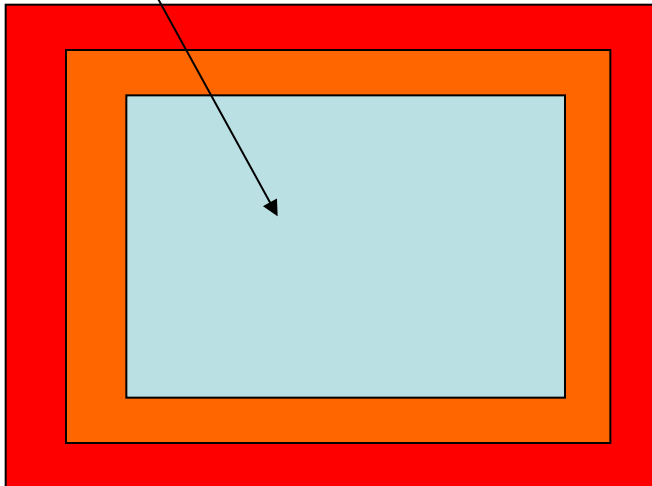
結晶 : 高純度結晶の精製

Noble gas : filtering, distillation

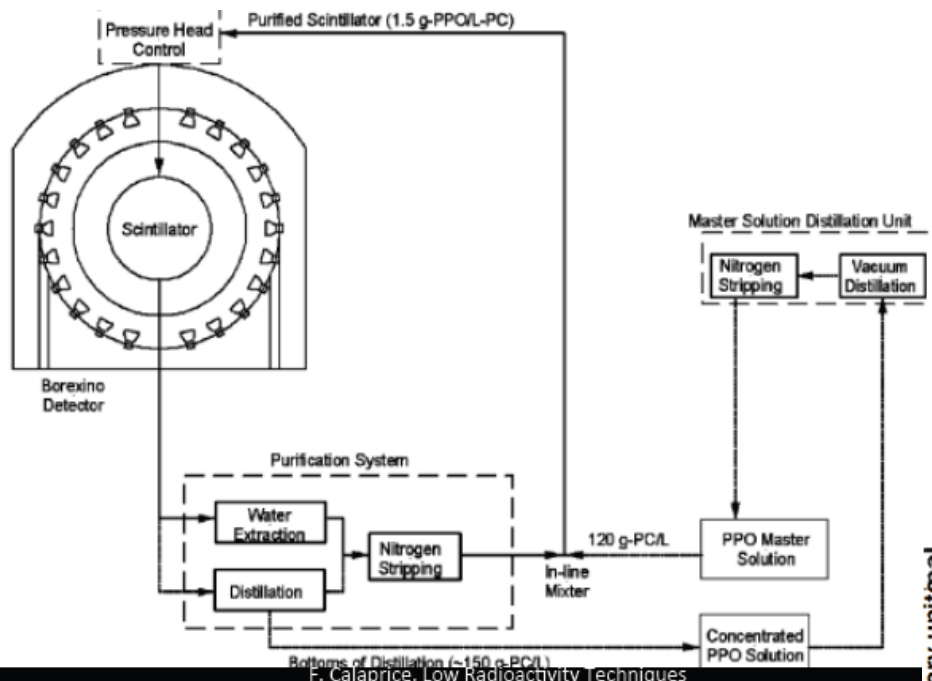
解析による除去

エネルギー、位置事象再構成、PID,
Coincidence, Trackingなど

※有効体積内で事象が起こる場合、
位置事象再構成ではBG除去が
難しい。



Borexino

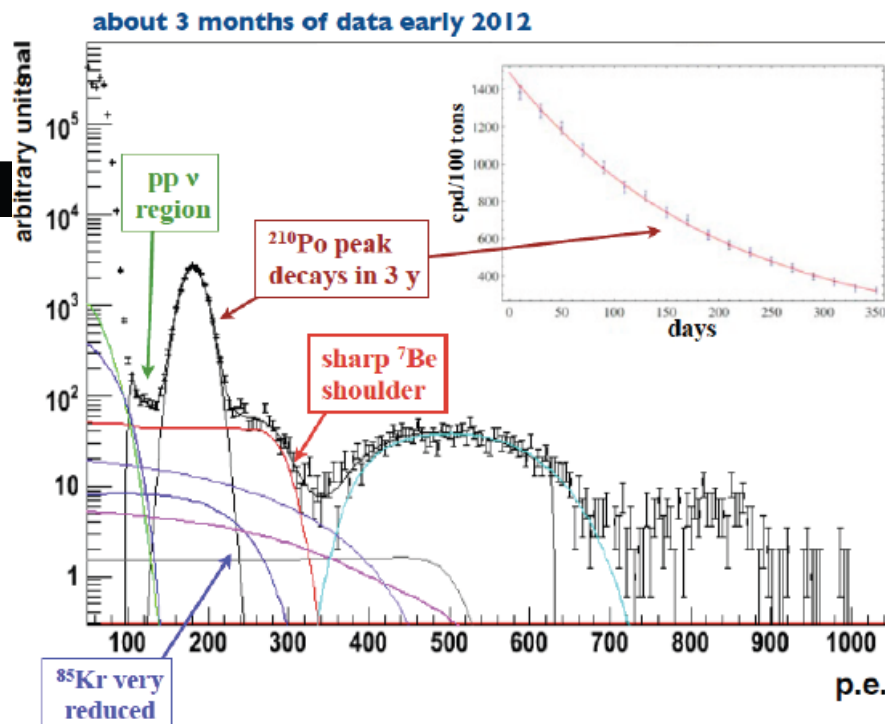


- ^{210}Bi からのBGが2007以来増加傾向であったことから純化を実施
- 2010-2011 purification. (x6)
 - Water extraction for ^{210}Pb (^{210}Bi) removal. (De-ionized water)
 - Nitrogen stripping for Kr removal.

12/13

F. Calaprice, Low Radioactivity Techniques
April 10-12, 2013 LNGS

- ^{85}Kr : 30 cpd/100t \rightarrow < 5 cpd/100t
- ^{210}Bi : 70 cpd/100t \rightarrow 20 cpd/100t
- ^{210}Po : Essentially unchanged (?)
- ^{238}U (^{226}Ra): $< 9.7 \times 10^{-19}$ g/g
- ^{232}Th : $< 2.9 \times 10^{-18}$ g/g

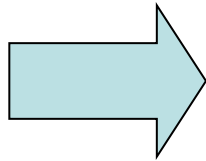


バックグラウンド源とその対策 : surface contamination

Surface contamination

222Rn娘核子
210Pb->210Bi->210Po

- 実験開始後になって問題となることが多々ある。
=>どのくらい汚染されてるかの管理が難しくなる
- BGのスペクトラムが検出器表面状態により、予想が難しい。
- 一度ついてしまうと、除去が大変



クリーン環境

部材材料製作段階から、クリーン環境を保つとともに、環境の管理が必要となる。

Cleaning

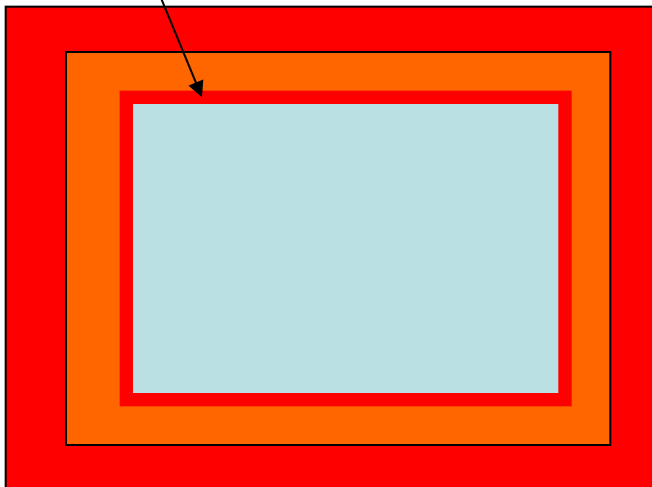
210Pb~を表面から除去する。
純水、化学、EP洗浄

Shielding

よりきれいな部材でカバーする。
=> XMASS

解析による除去

エネルギー、位置事象再構成、PID, Trackingなど

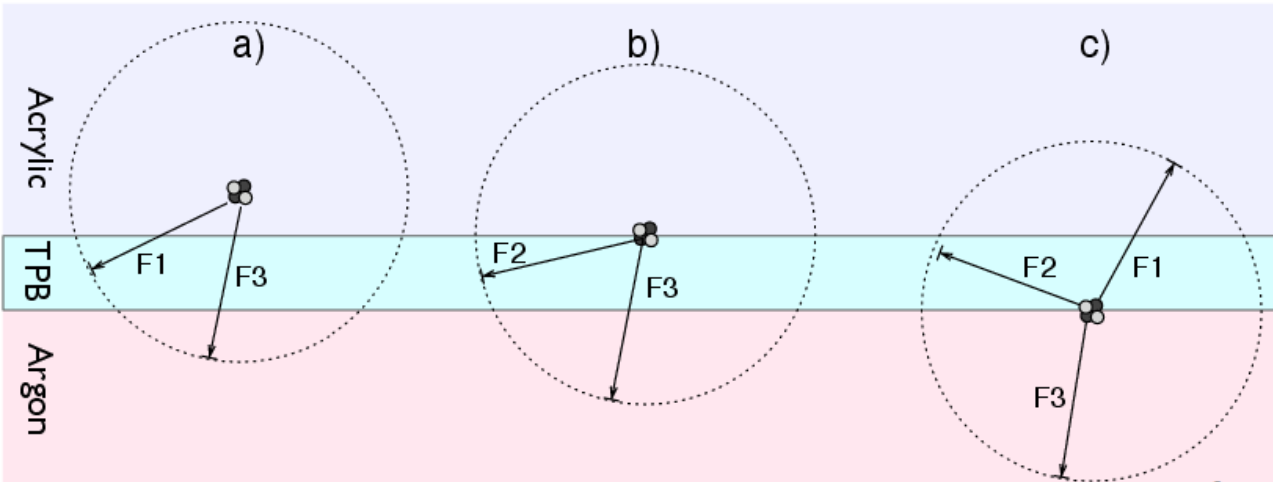


LRT報告

DEEP-3600

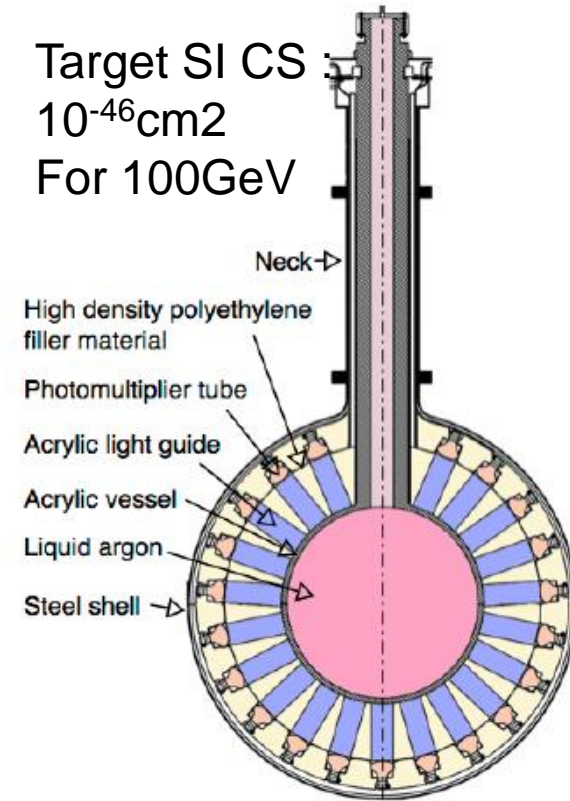
Path	Signal
F1	Fraction of E in TPB (Light yield of TPB less than LAr)
F2	Full energy in TPB only
F3	TPB + liquid argon (Much higher light production than WIMP scatter)

} Could overlap DM signal



Chris Jillings: Radon Daughters in DEAP-3600 Acrylic Vessel

Target SI CS
 10^{-46}cm^2
 For 100GeV



Dark matter
 Experiment with
 Argon and
 Pulse-shape discrimination

3600kg LAr in a clean spherical acrylic vessel coated with wavelength shifter

Estimated light yield: 8 pe/keV

Backgrounds: < 0.2

Exposure: 1000kg FV for 3 years

Limit exposure to ^{222}Rn during manufacture to control long-lived ^{210}Pb

Resurface AV under vacuum after construction

Coat AV with pure TPB under vacuum

✂ Toward limit : 0.01 events in 3ton-yr



Radon Loads (1/2)



1 unit of contamination
 $A \cong 5\text{Bq/m}^3$

Chris Jillings: Radon Daughters in DEAP-3600 Acrylic Vessel

LRT報告



1 unit of contamination
 $A = 6.3 \pm 3.5 \text{ Bq/m}^3$

15



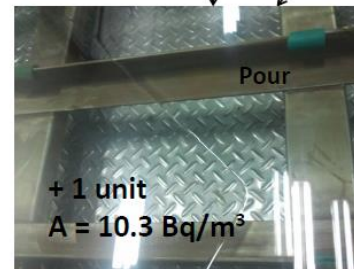
Radon Loads (2/2)



short term Storage + 1 unit
 10.3 Bq/m^3



Storage at RPTAsia



Chris Jillings: Radon Daughters in DEAP-3600 Acrylic Vessel

Stack moulds for Hydroclave. Panels "cooked" under water for ~ 1 week.



Estimated ²¹⁰Pb Loads

	AV Shell
	Thai MMA
Distillation [cont. units]	1.25
Storage [cont. units]	0
Truck [cont. units]	1
$A(^{222}\text{Rn})$ [Bq/m ³]	3.5±2
Expected ²¹⁰ Pb [mBq/tonne]	3.6
	RPT Asia
MMA Storage tank [cont. units]	1
Reactor Vessel [cont. units]	0.5
Post-reactor storage [cont. units]	1
Moulds [cont. units]	1
$A(^{222}\text{Rn})$ [mBq/m ³]	6.3 to 10.8
Expected ²¹⁰ Pb [mBq/tonne]	10 to 17
Total ²¹⁰Pb [mBq/tonne]	14 to 21

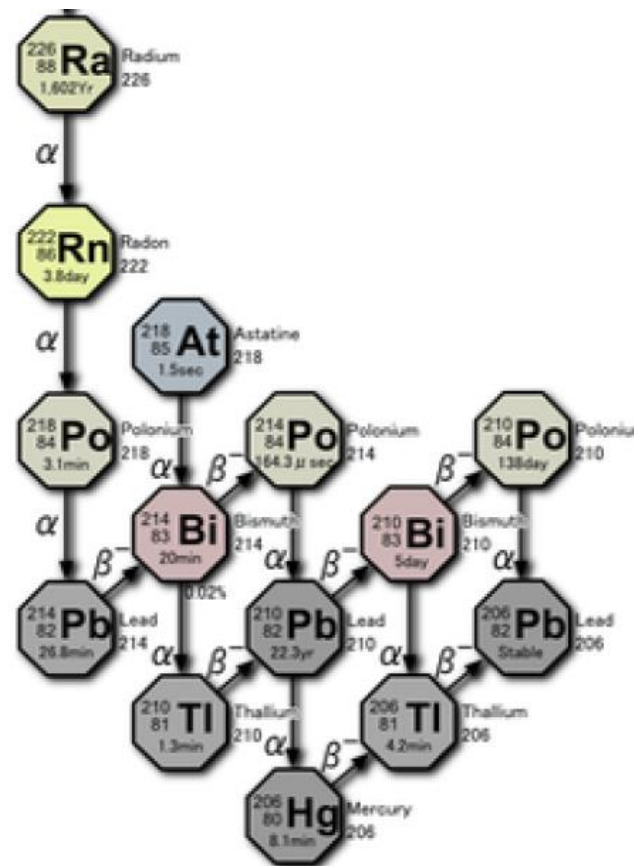
- Using $\rho(\text{MMA}) \cong 1 \text{ tonne/m}^3$ and the decay constants of ²²²Rn and ²¹⁰Pb we obtain

$$A(^{210}\text{Pb}) \left[\frac{\text{mBq}}{\text{tonne}} \right] = 0.46 A(^{222}\text{Rn}) \left[\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right]$$

Toward contamination of ²¹⁰Pb : <31mBq/ton

Radonについて

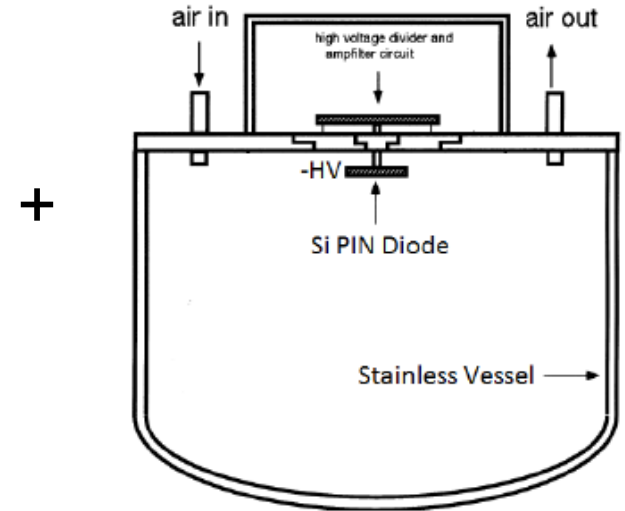
- BG RI : Pb(β,γ), Bi (β,γ) Po(α)
- 222RnのBGに対する特徴(厄介さ)
 - 部材からのemanationで検出器内へしみこんでくる。
 - 環境に多く存在する。
 - 建設時に娘核が付着し、Surface contaminationとなる。
 - 検出器部材を通したdiffusionで検出器内にしみこんでくる。
 - メタルシールならば心配はない。
 - これらが観測される時はdecay chain上流との崩壊平衡が崩れている点に注意。
 - 222Rn以降もしくは210Pb以降。
 - 210Pb~210Bi~210Poの保障もない。
 - 210Pb~22yr half life
 - 表面洗浄などによるRIごとのとれやすさ(とれにくさ)



SuperNEMO

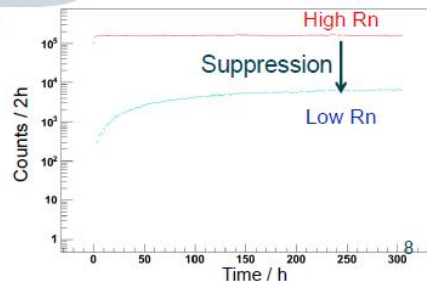
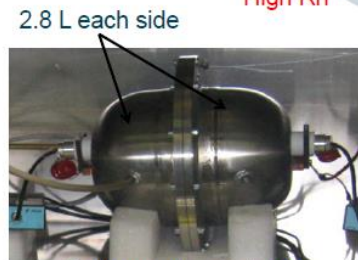
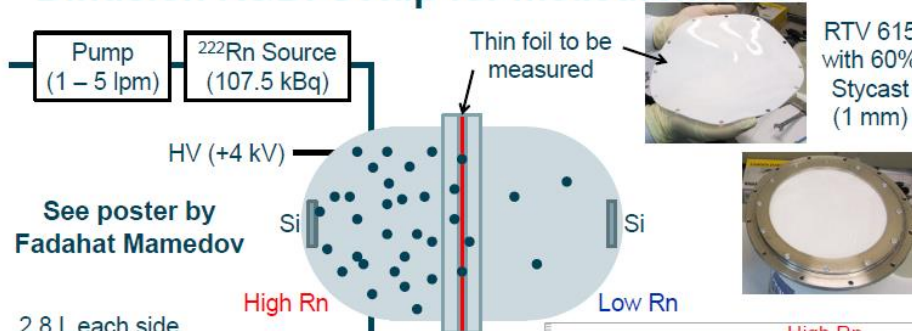
• 要求されるRadon : $<0.15 \text{ mBq/m}^3$

- Volume = 0.7 m^3
- Sensitivity of 2.8 mBq (may be improved)
- Good for large surfaces
- e.g. 35 m^2 of Al Foil: $A < 0.08 \text{ mBq/m}^2$



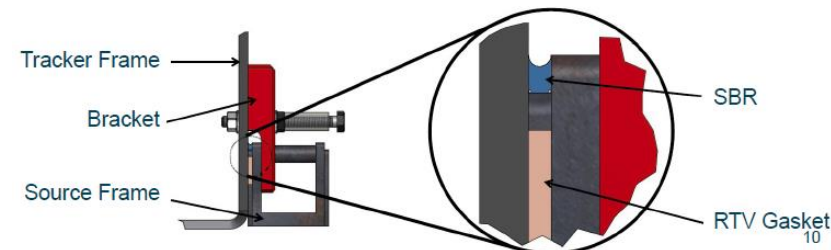
Posters: HPGe – Frédéric Perrot. Emanation Tank – Benjamin Soule⁸

Diffusion R&D: Setup for measurements



Thickness diff. coeff diff. length

Adhesives/Sealants	Thickness	diff. coeff	diff. length
Silicone (RTV 615)	2100	1080	22800
Stycast 1264	2000	<0.43	<455
SBR (Synthomer 47B40) + HDPE	700 + 120	0.27	400
PVA (Emultex 518) + HDPE	6 + 11	<0.00038	<13
HDPE (2 layers)	2×144	19	3000



Radon除去技術

(summary talk : Hardy Simgen)

- 空気：
 - Method 1 : 活性炭による乾燥空気からの除去
 - ~1mBq/m³
 - Super-K, NEMO, CUORE, Darkside etc.
 - Method 2 : O₂ + 蒸発窒素で作る合成空気
 - <0.1mBq/m³
 - Borexino
 - 高価、扱いが面倒

RADON REDUCTION SYSTEM FOR AMBIENT AIR



The DARKSIDE plant

Slide provided by C. Galbiati (Darkside)

- 窒素、アルゴン: 活性炭 + cold trapによる除去技術



- Liquid nitrogen purification plant for Borexino
- $<0.5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ at $100 \text{ m}^3/\text{h}$ production rate
- Appl. Rad. Isot. 52 (2000) 691.

- In Gerda experiment:
 $<1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ at $18 \text{ m}^3/\text{h}$ achieved for gaseous argon.
- Appl. Rad. Isot. 67 (2009) 922.



- Xenon :

- 窒素、アルゴンに比べて、ラドンとの分離が難しい。

- Xenonとradonの性質が似ている。

- Cold trap はおよそ-100度が下限～Xenon凝固点

- Challenging topic!

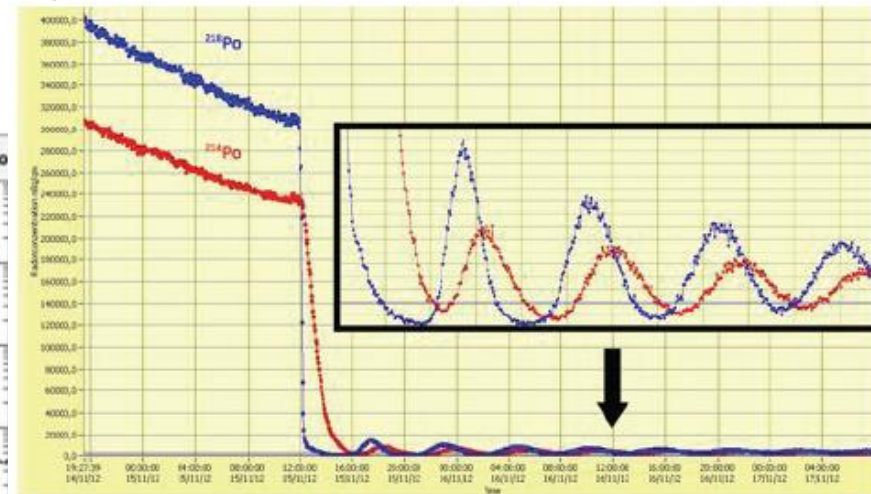
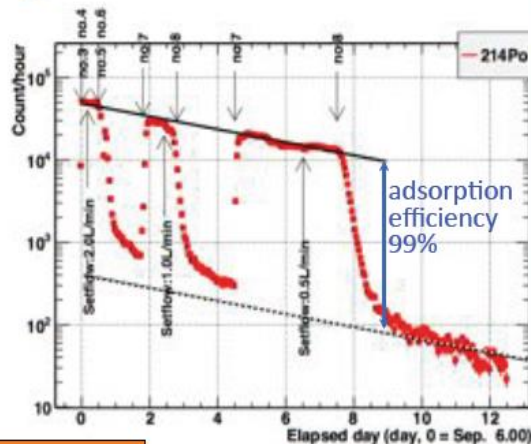
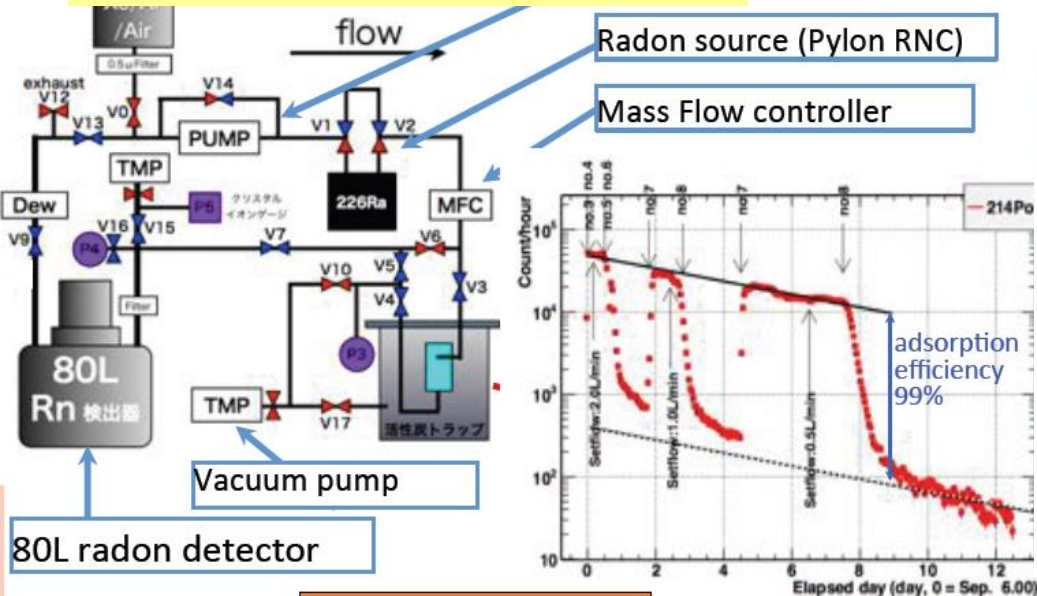
Radon removal from xenon gas

RADON REMOVAL FROM XENON.

(XMASS)

XMASS : charcoal + cold trap pump

XENON1t : similar setup with XMASS



Summary

- LRT2013で報告されたバックグラウンド除去技術を、バックグラウンド源ごとに報告した。
 - 検出器部材からのRI
 - 検出器target自身からのRI
 - Surface contamination
 - radon
- “バックグラウンド除去”は“低バックグラウンドの測定”と極めて密接に関連している。

backup

NEXT: Neutrino Experiment with a Xenon Time-Projection Chamber

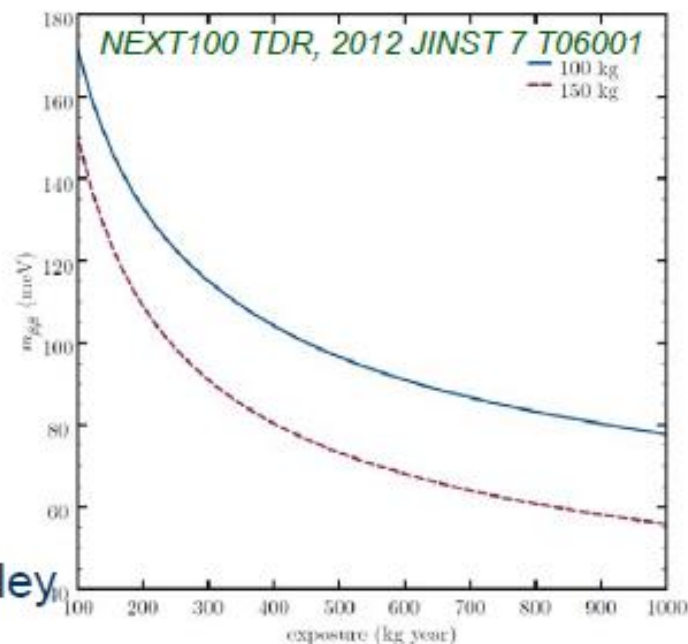


➤ Sensitivity and background requirements

- **Energy resolution: <1% FWHM at $Q_{\beta\beta}$**
→ electroluminescence
- **Background level: $8 \cdot 10^{-4}$ c keV⁻¹ kg⁻¹ y⁻¹**
→ pattern recognition + radiopurity control
 ^{208}Tl : 2.615 MeV
 ^{214}Bi : 2.448 MeV

➤ Status

- Work on EL prototypes at Valencia and Berkeley ongoing



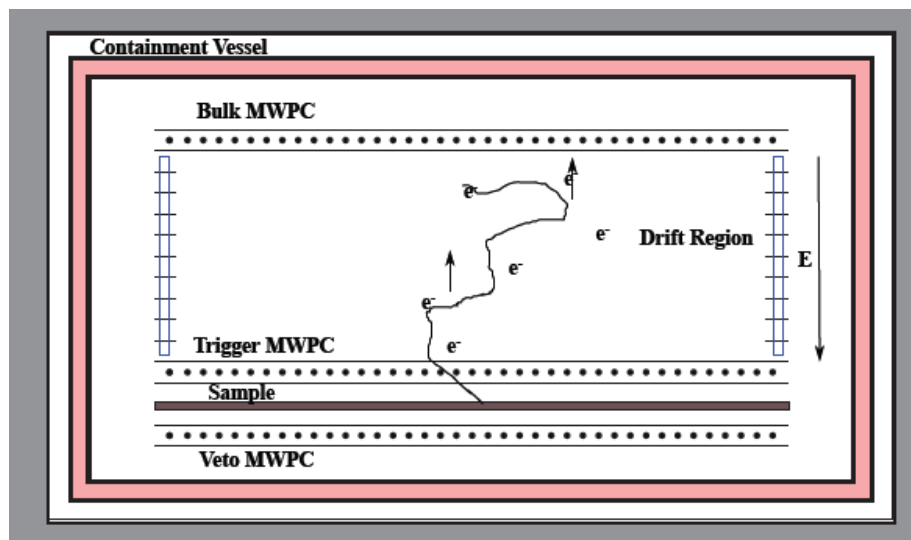
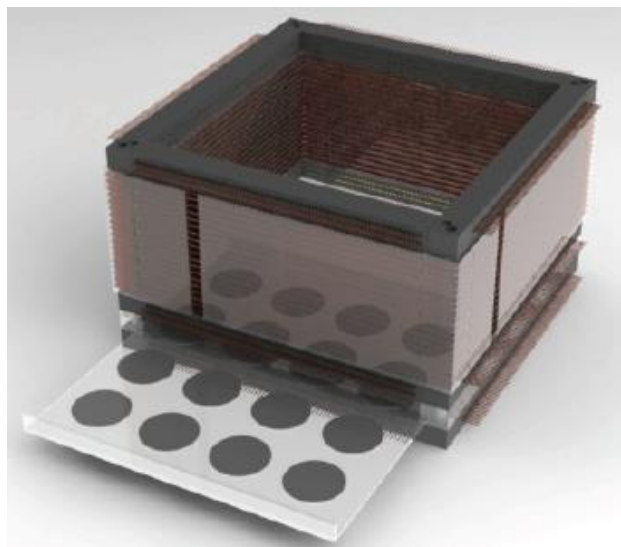
Near-Intrinsic Energy Resolution for 30 to 662 keV Gamma Rays in a High Pressure Xenon Electroluminescent TPC, V. Alvarez et al, NIMA 708 (2013) 101-114
Initial results of NEXT-DEMO, a large-scale prototype of the NEXT-100 experiment V. Alvarez et al, JINST 8 (2013) P04002

- Installation of shielding and ancillary system started at LSC
- Assembly and commissioning of detector expected for 2014



Low background counting techniques

- BetaCage : screening the beta & alpha from BG isotopes with 0.1 beta/(keV x m² x day) or 0.1 alpha/(m² x day) sensitivity.
- => Observe the decay from no gamma emitting isotope (ex 210Bi). (other method is ICP-MS)
- Can see hot spot

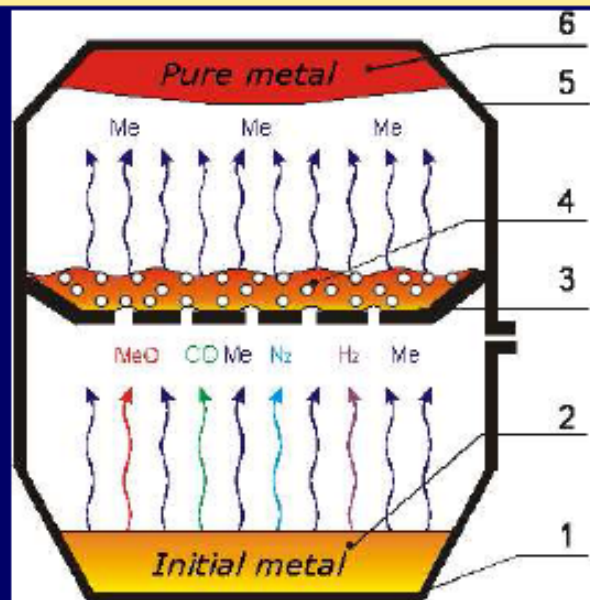


Purification of ^{106}Cd and ^{116}Cd

Kharkiv Institute of Physics and Technology, Ukraine

Distillation through getter filters

Concentration of impurities in ^{106}Cd (ppm)



result →

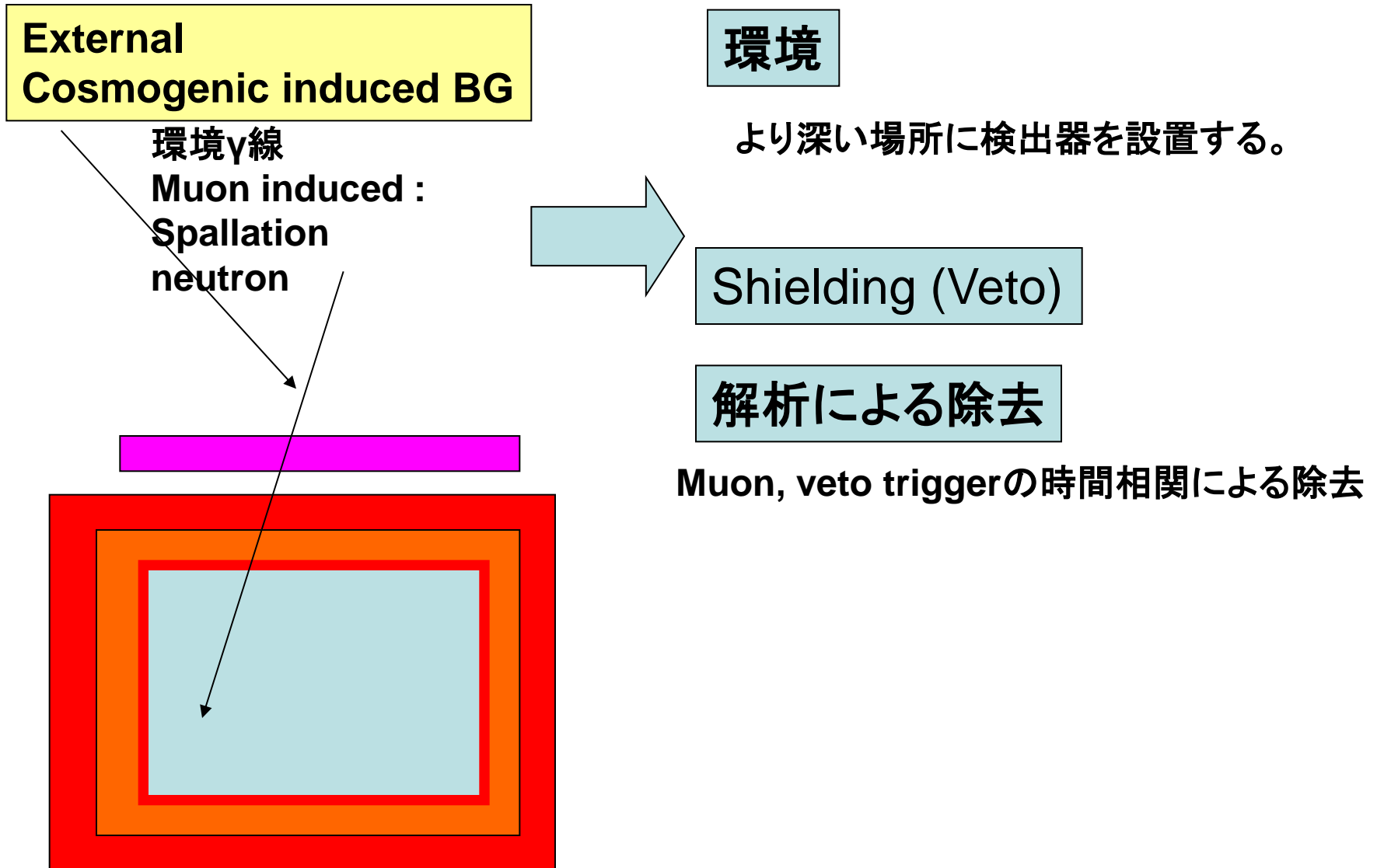
Element	Before	After
K	11*	0.04**
Ni	0.6*	< 0.2**
Cu	5*	0.5**
Fe	1.3***	0.4**
Mg	12*	<0.05**
Mn	0.1*	0.1*
Cr	9*	<0.1**
Pb	270*	<0.3**

1 – crucible; 2 – initial metal; 3 – plate with holes; 4 – getter; 5 – condenser; 6 – purified metal

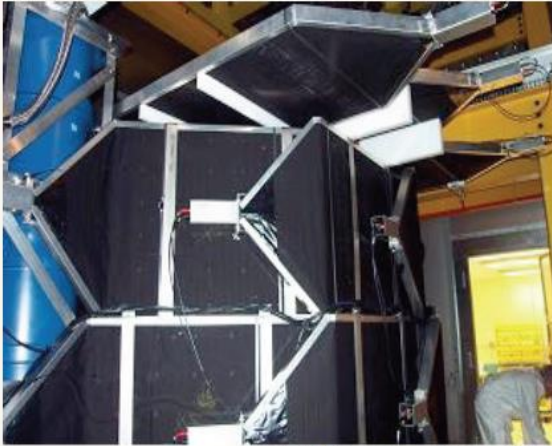
Measured by: ICP- MS *, Laser Mass Spectroscopy **, Atomic Absorption Spectroscopy ***

R.Bernabey *et al.*, Metallofiz. Nov. Tekhn. 30 (2008) 477
G.P.Kovtun *et al.*, Functional Materials 18 (2011) 121

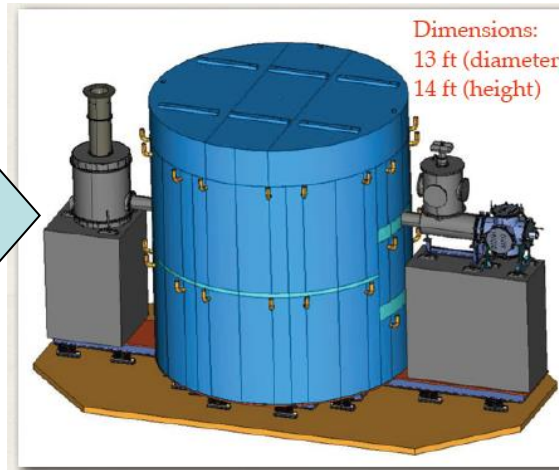
バックグラウンド源とその対策：環境放射能、宇宙線起源



SuperCDMS

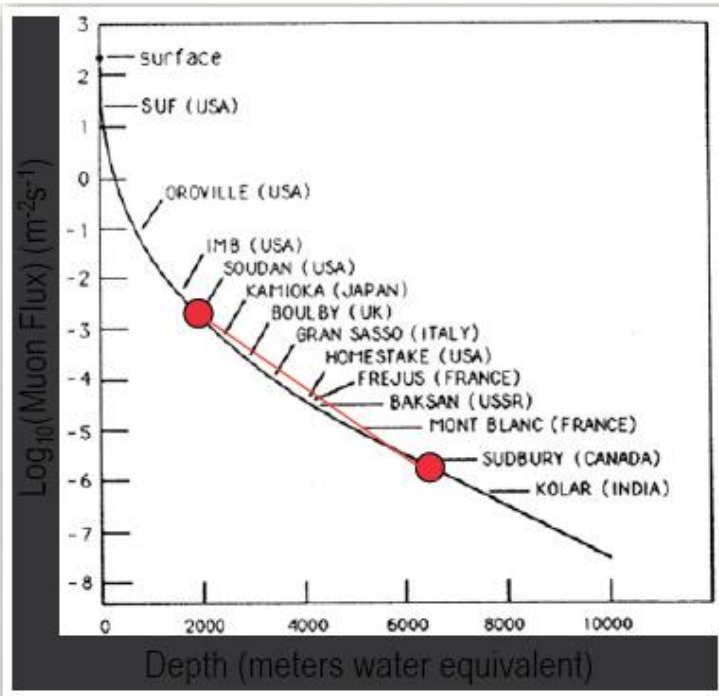


CDMS active muon veto



Planned Setup

- * cryostat volume of up to 400 kg target
- * 200 kg experiment with sensitivity of $8 \times 10^{-47} \text{ cm}^2$ at $60 \text{ GeV}/c^2$
- * Pb/Cu shielding for external radiation
- * increased PE shielding (neutrons)
- * possible neutron veto



Soudan

2090 mwe

0.05 n/y/kg

SNO Lab

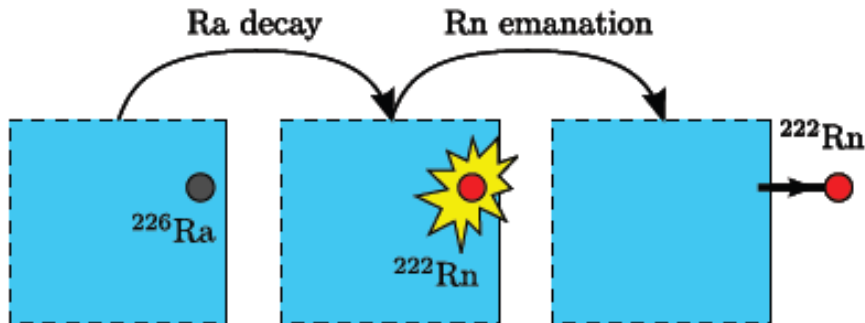
6060 mwe

0.2 n/y/ton

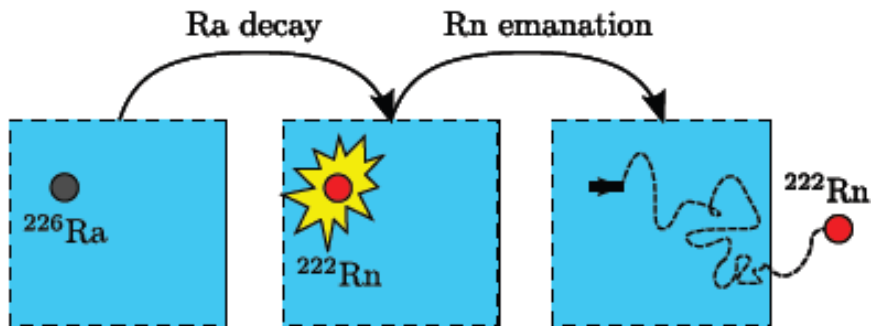
(0.0002 n/y/kg)

* Only need to worry about radiogenic neutrons!

Rn emanation



a) Recoil driven emanation



b) Diffusion driven emanation

Surface contamination by radon

