SK-Gdプロジェクト:
SK-Gdの準備状況と将来計画

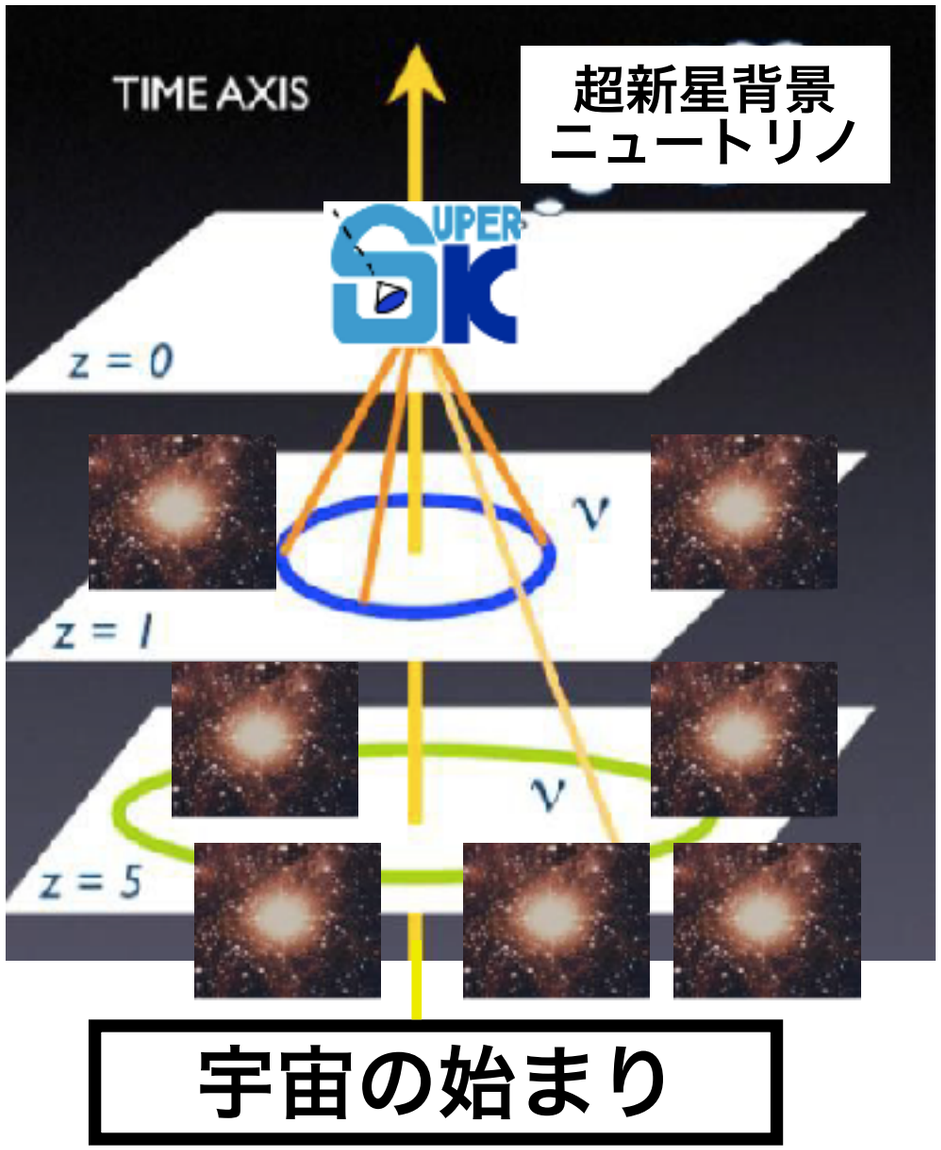
岡山大学 伊藤慎太郎
For the Super-Kamiokande Collaboration

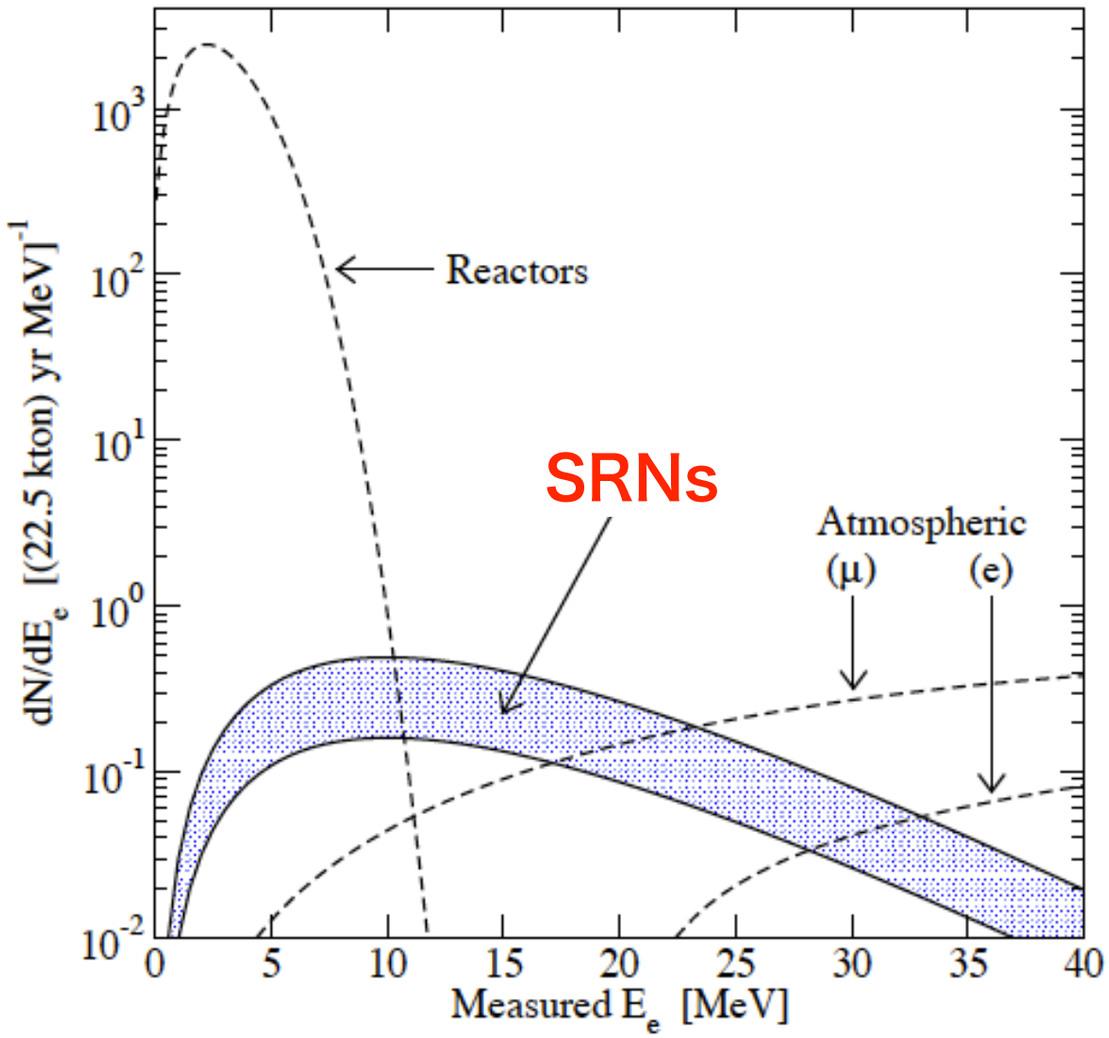
目次

- イントロダクション —SK-Gdプロジェクト—
- タンクオープンとその現状
- 将来計画
- まとめ

イントロダクション —SK-Gdプロジェクト—

- Super-Kamiokande (SK):5万トンの超純水チェレンコフ検出器。
  ➡ 様々なニュートリノの観測や陽子崩壊の探索を行ってきた。
- **超新星背景ニュートリノ**(SRNs):未だ観測されていない。
  ➡ 大気ニュートリノ起源のミューオンバックグラウンドが支配的。

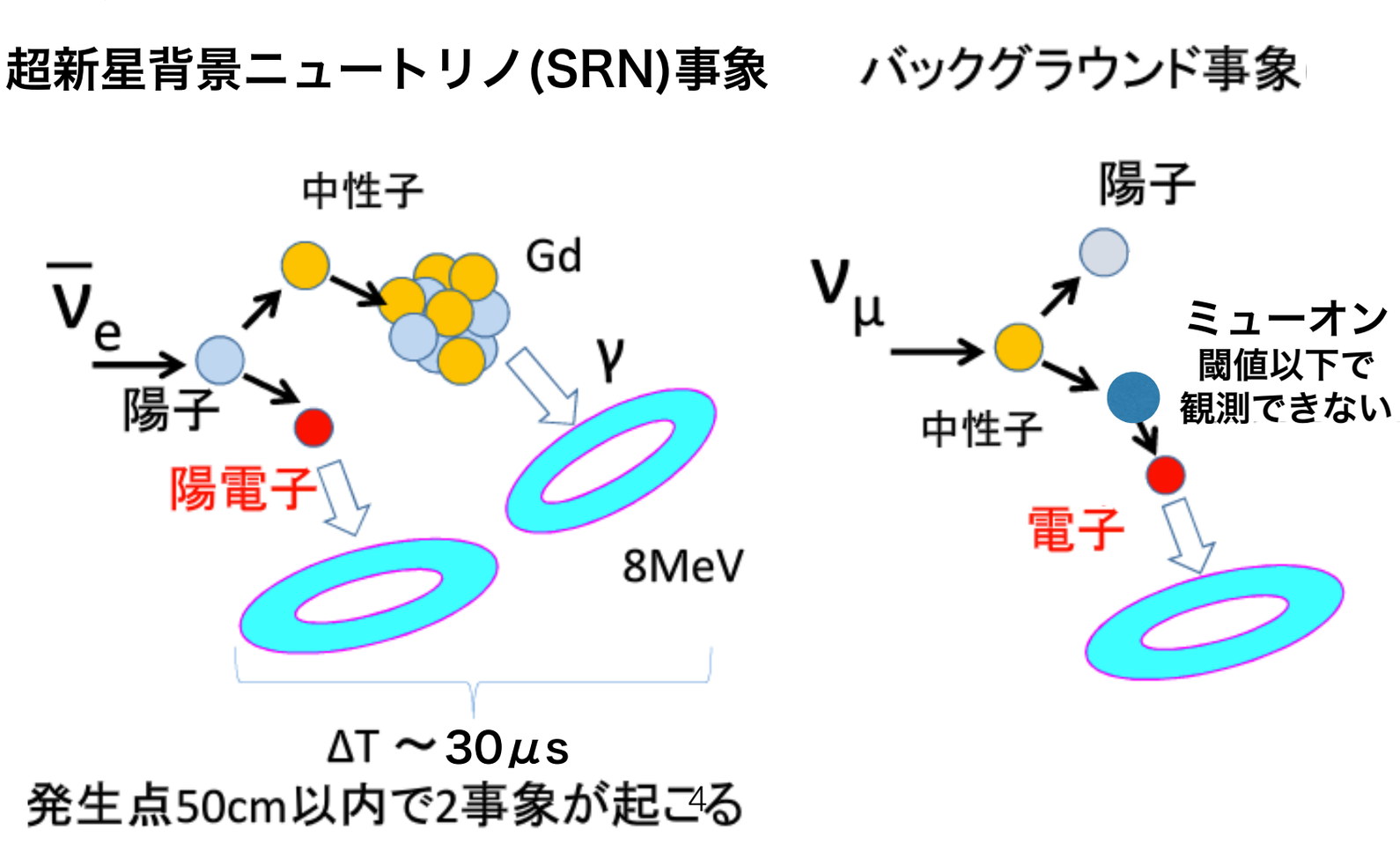




予想されるエネルギースペクトル

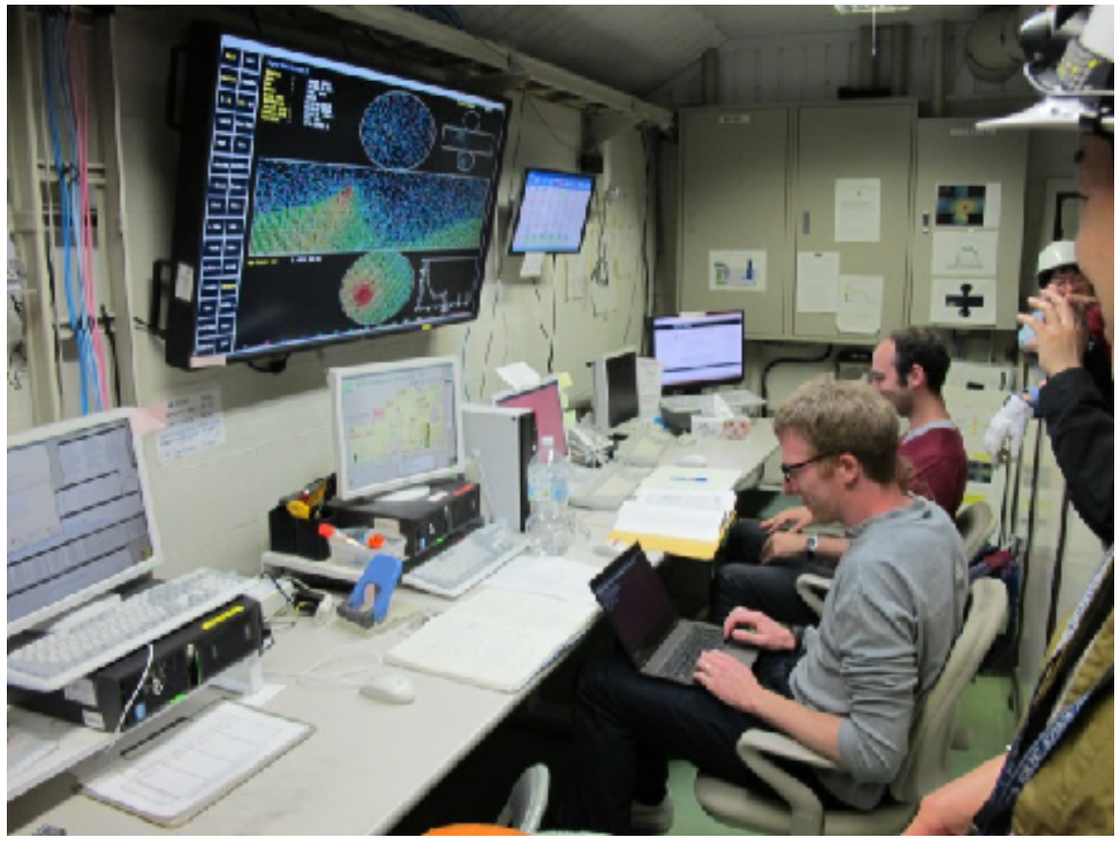
イントロダクション —SK-Gdプロジェクト—

- SKに高純度の**硫酸ガドリニウム・八水和物**を溶解させる(SK-Gd)。
  - ガドリニウム(Gd)と中性子との反応断面積は大きい。
  - 逆ベータ反応($\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$)より発生する陽電子と、Gdと中性子との反応より発生するγ線との遅延同時計測を可能にさせる。
  - これにより、支配的だったバックグラウンドを除去できる。
- 0.2%の高純度の硫酸ガドリニウム・八水和物を溶解させることで(Gdで約0.1%)、**約90%の中性子捕獲効率が得られる。**

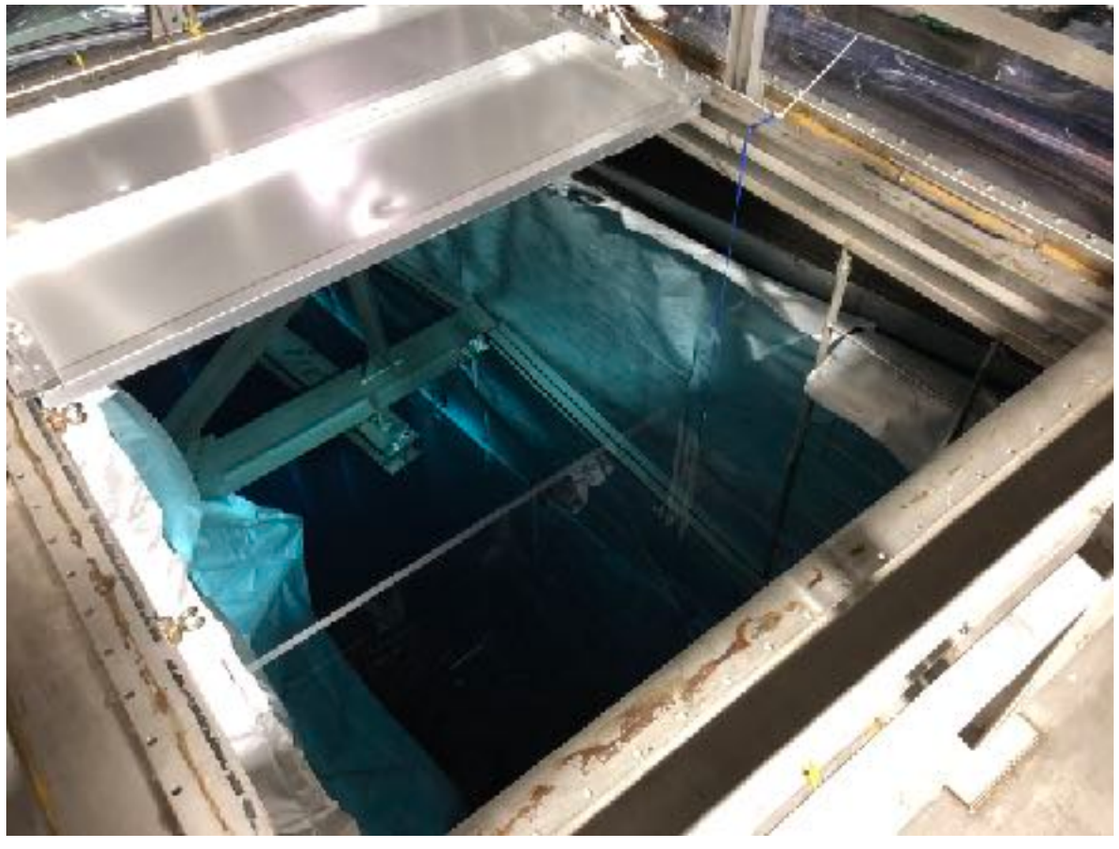


タンクオープン

- これまで、SKは水漏れ(~1トン/day)があった。
- 環境へのGdの漏れを防ぐため、Gdを溶解させる前に、**SKタンクの水漏れを修繕しなければならない。**
- 2018年5月31日、SKタンクの修繕のため、SKでのニュートリノ観測を中断し、約12年ぶりにSKタンクを開けた。



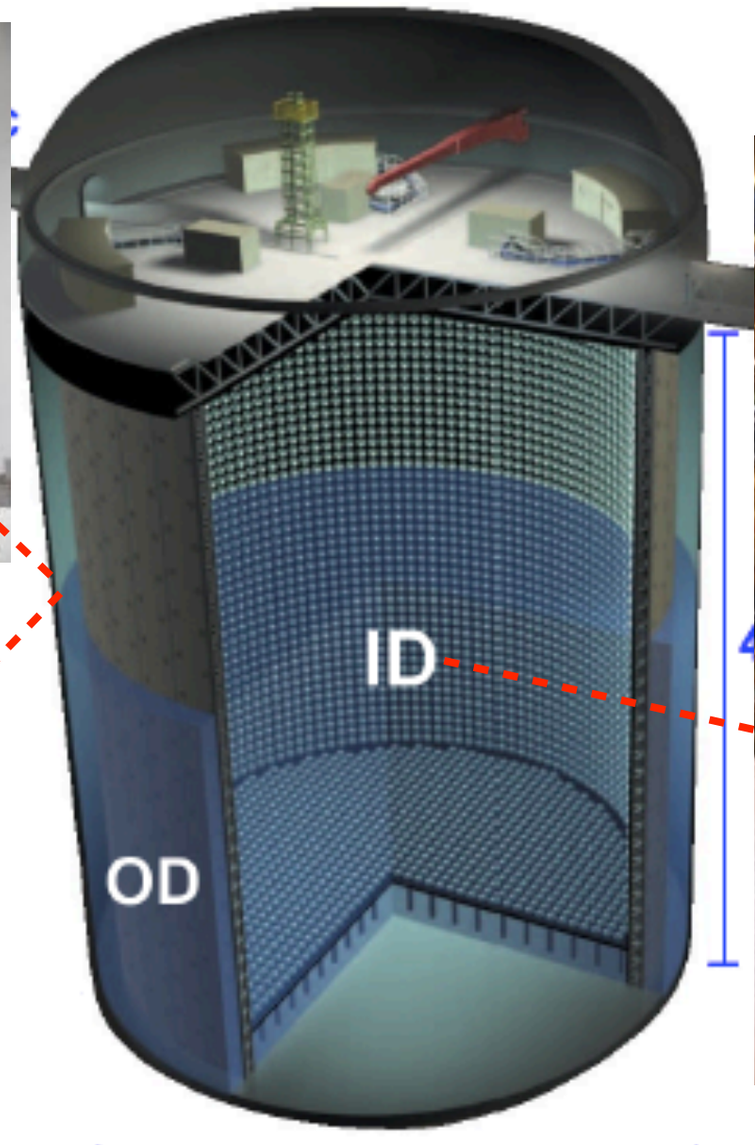
SKの観測を止める直前の最後のイベント

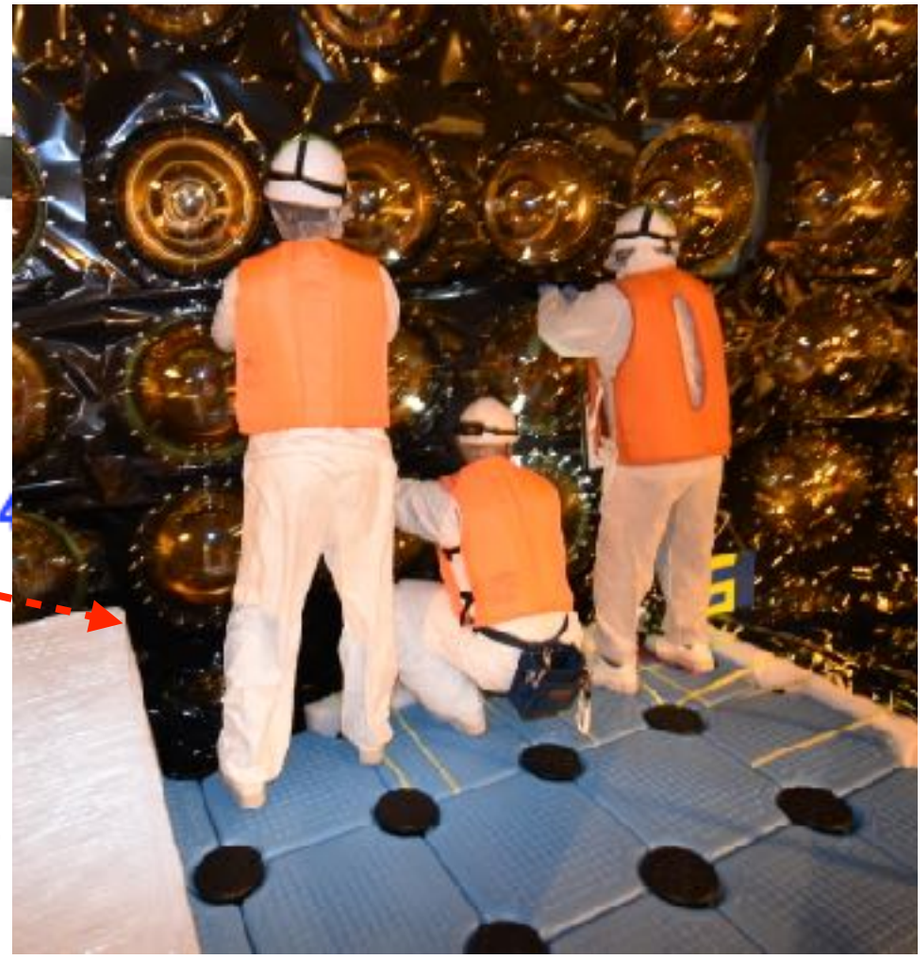


床を外し(SKでのトップ側)、タンクオープン作業開始。

タンクオープン

- 浮床で作業。ゴンドラで出入り。
- 水抜き→タンクのクリーニング、止水作業、不具合のあるPMTの交換→水抜き→…
- 外壁の溶接部分を止水剤で塞ぐ。





タンクオープンの現状

- ついに5万トンの水全てを抜き終え、現在は底での作業中。
- 底のクリーニング作業も終わり、止水工事を行っている。

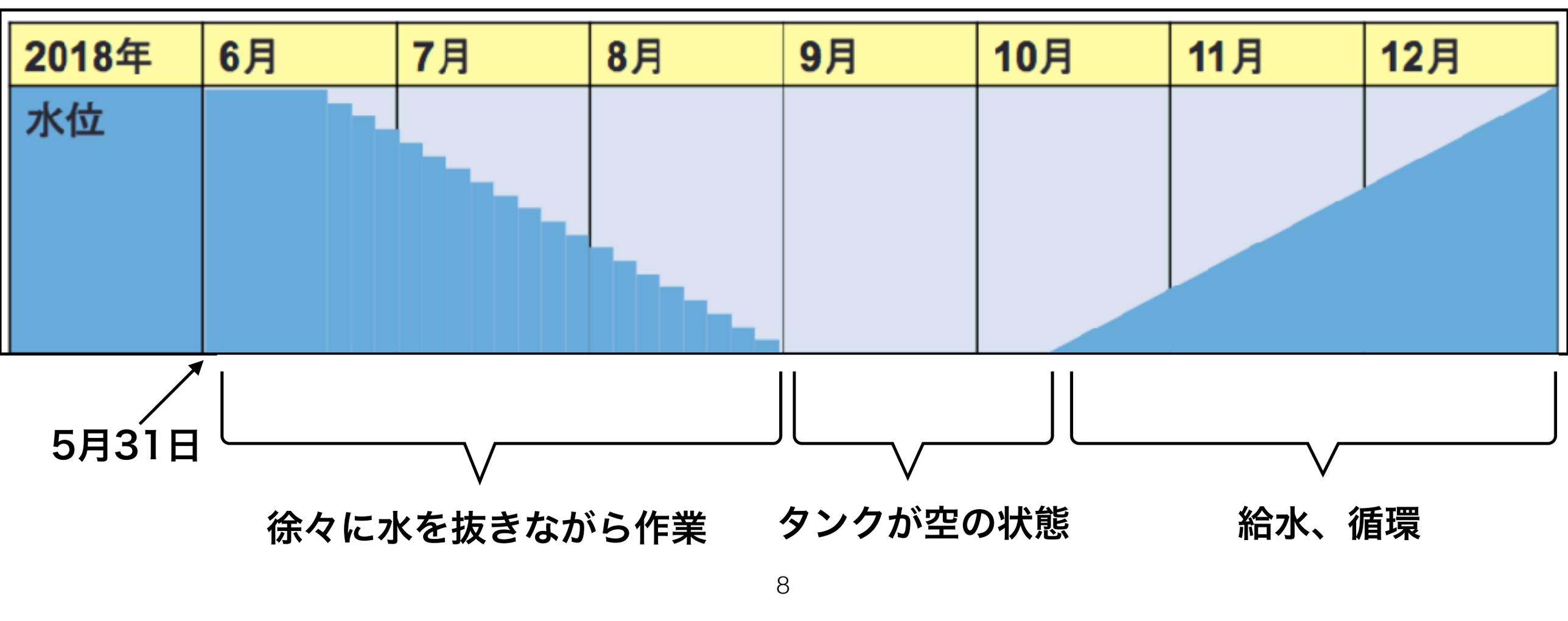
- なお、試験用タンクEGADSは超新星爆発が起きた時の代替機として稼働中である。
- 詳細は、この後のLluis Marti-Magroの講演を。

将来計画

- 10月上旬までに補修工事を終わらせ、その後、水を入れていく。
- 11月上旬から水の循環を始める。

  ➡ 同時に水漏れがないことを確認する。
- 1月上旬に超純水でSKを走らせ、検出器に問題がないことを確認したら、10トンの硫酸ガドリニウム・八水和物(0.02%)を溶解させる。

  ➡ 時期はT2Kとすり合わせて決める(2019年度中を予定)。
- 0.02%でしばらく走らせ、残りの90トン(0.2%)を入れる。

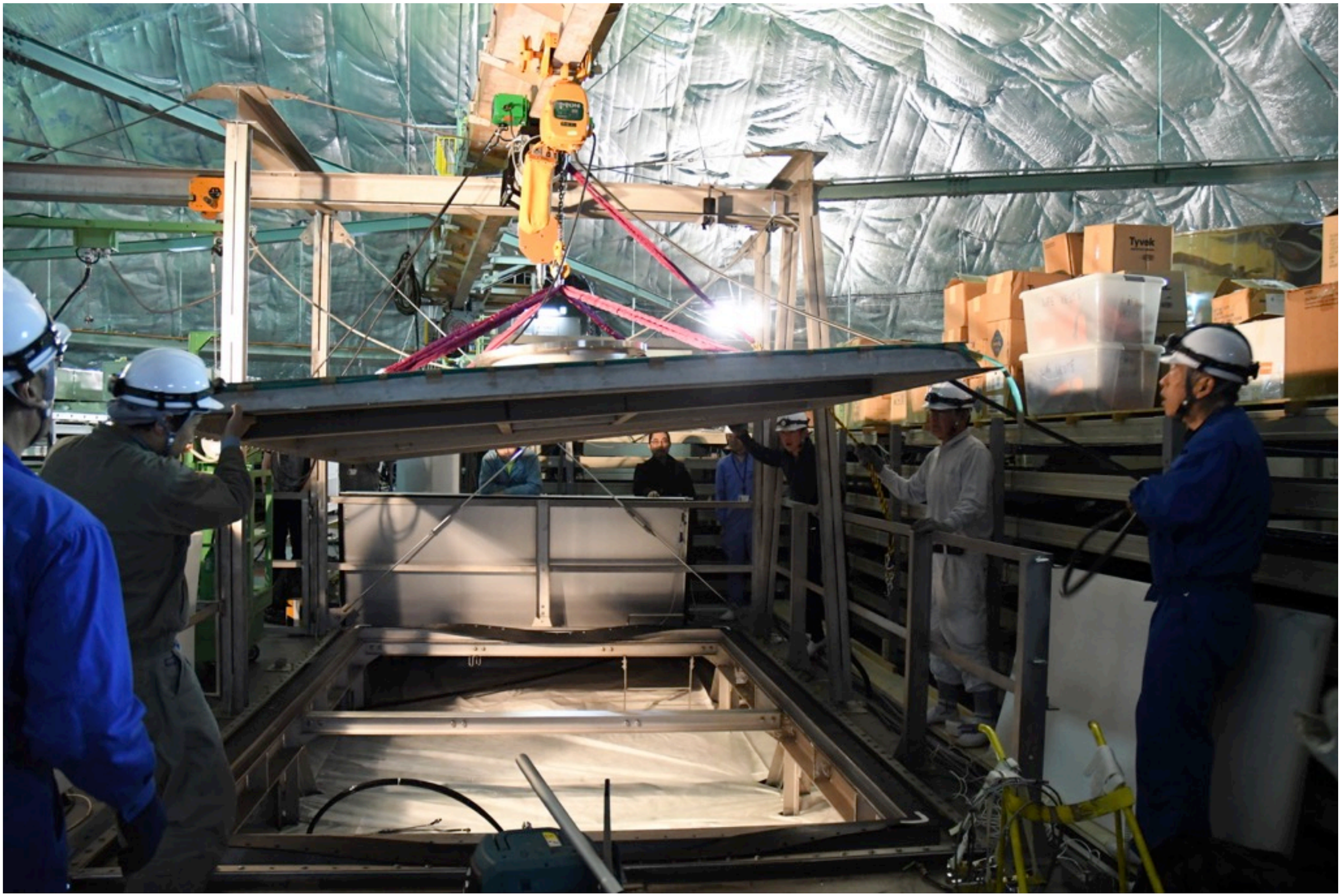


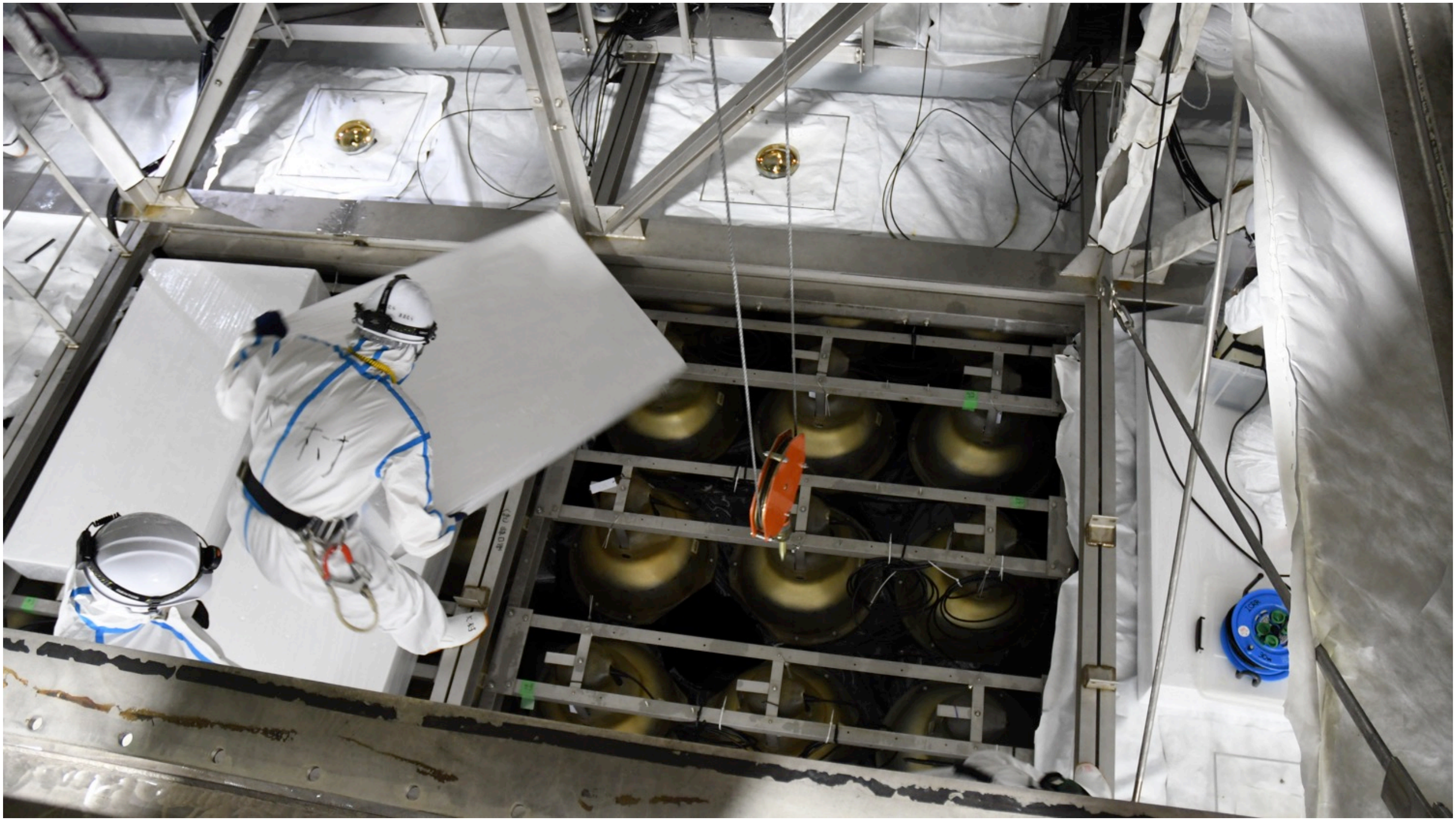
まとめ

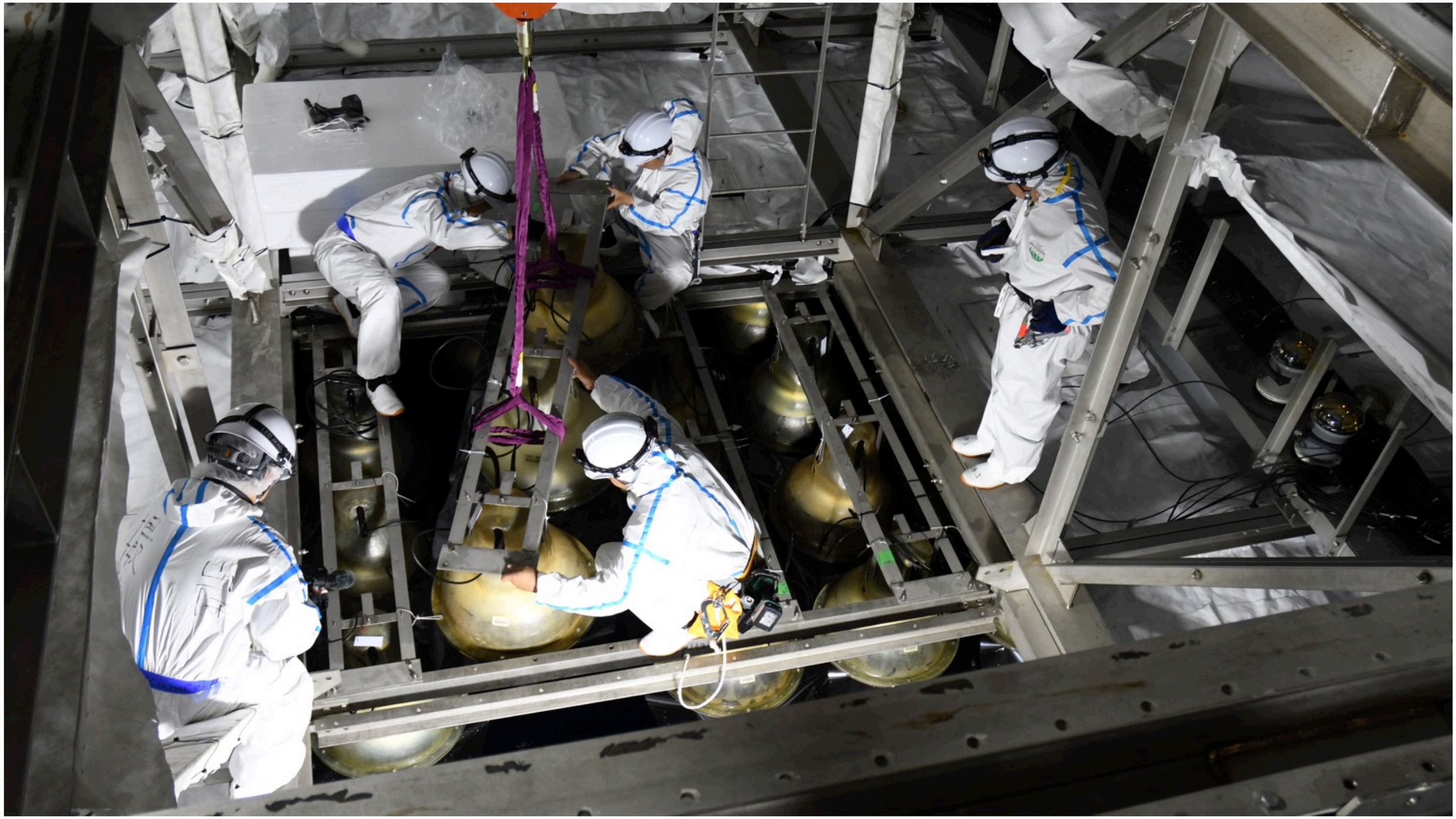
- SRNsの観測を目指したSK-Gdプロジェクトが進行中。
- Gd導入に向けて、SKタンクの補修工事を行っている。
- 現在は、底の止水工事中であり、まもなく終える予定。
- 水を貯めて循環させ、漏れがないことを確認して、超純水での測定を開始する。
- その後、Gdを導入してSK-Gdを開始させる。

- この後のSK-Gd関連の発表
  - 14pS36-4: “Radon monitoring in the Kamioka Observatory during the Super-Kamiokande tank opening” Guillaume Pronost (ICRR)。
  - 14pS36-5: 「EGADS検出器較正」 高平康史 (岡山大学)。
  - 14pS36-6: “EGADS as galactic super nova detector” Lluis Marti-Magro (ICRR)。

バックアップ


Tyvek



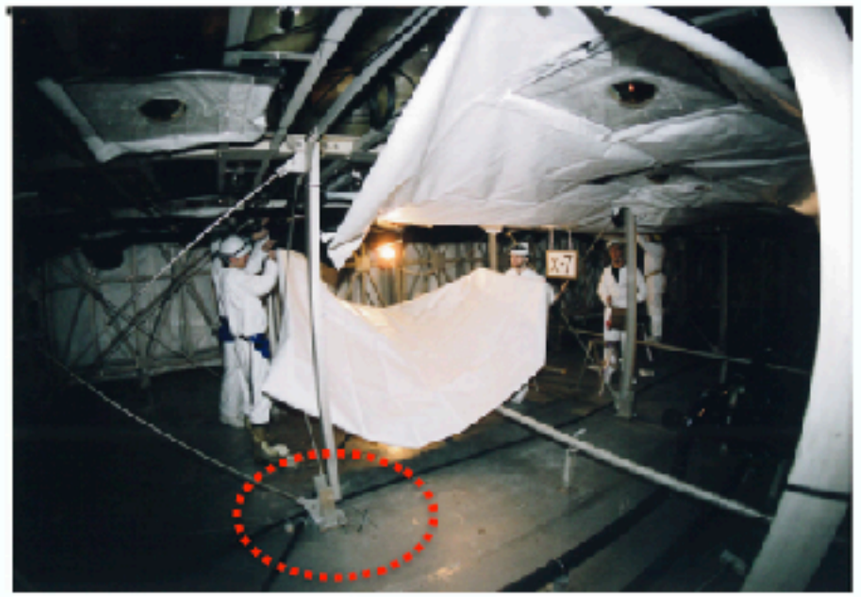


Achilles

Leak-fixing plan

- Paint all the welding lines with sealing materials
  - **Bio-seal 197**: Fill pinholes and cracks in steel plates
  - **Poly-urea based sealant**: Newly-developed, flexible and low-background material.
- The poly-urea based sealant:
  - Mechanical strength
    - No problem after applying 5 atm pressure in Gd-loaded water for 5 months so far
    - Passed the JIS standard for attachment strength
- Soak-test
  - Effect in light yield less than 2.4%
- Radon emanation
  - ~0.3 mBq/m^2 —> ~80 Bq / SK

No problem for solar ν measurement



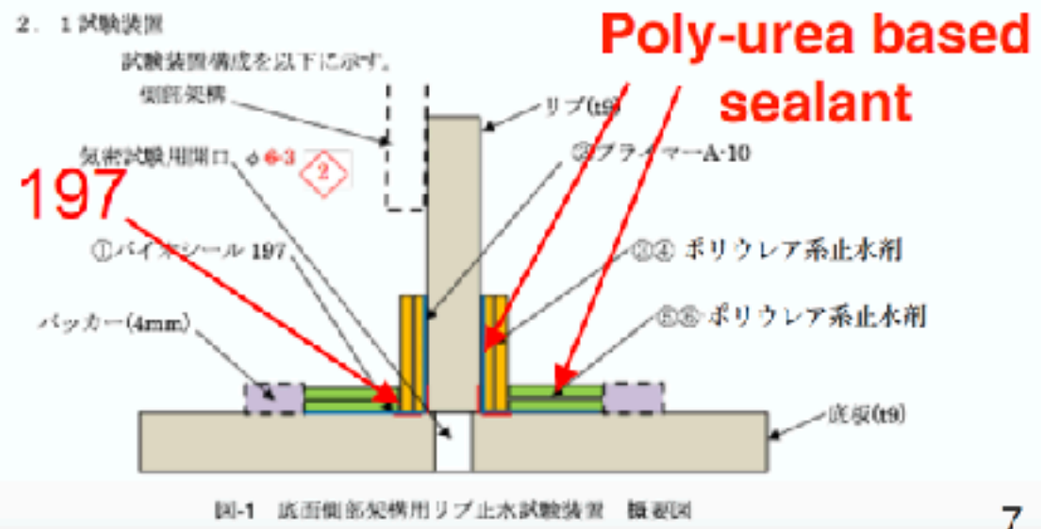


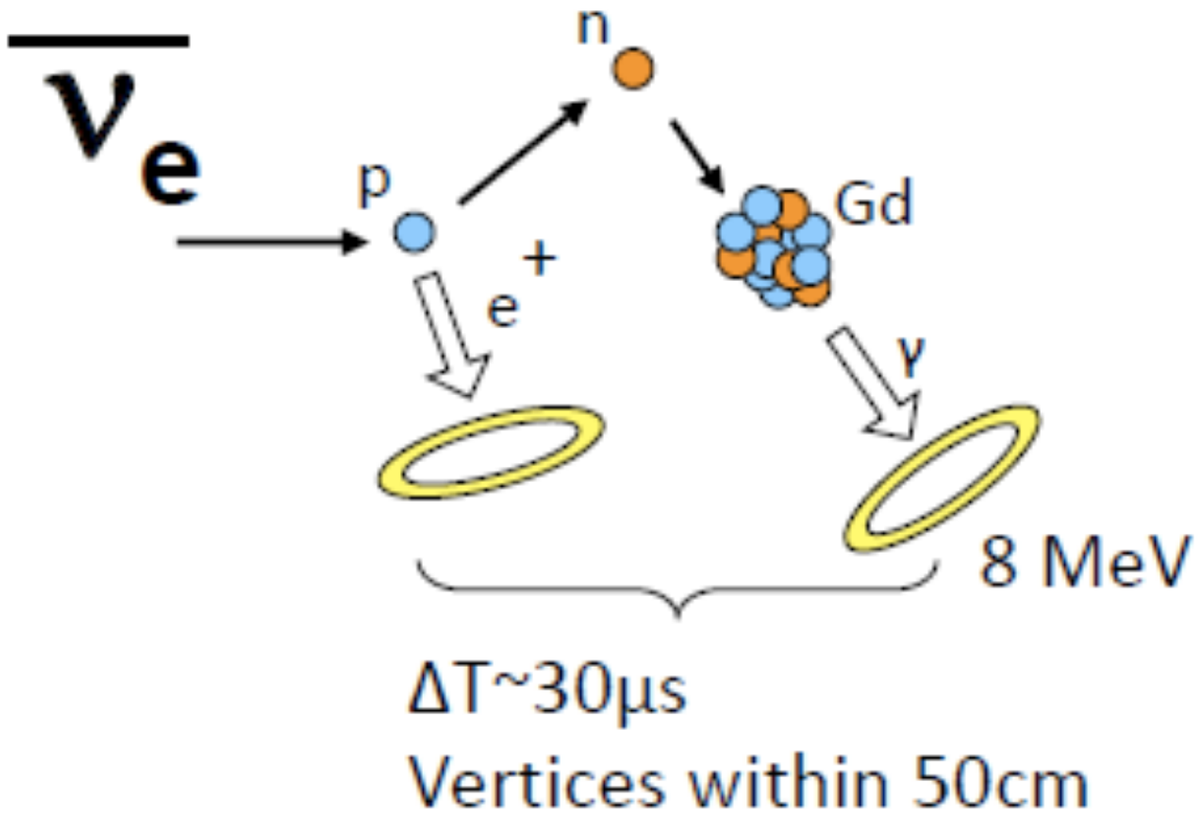
図-1 底面側部架構用リブ止水試験装置 概要図

SK-Gd

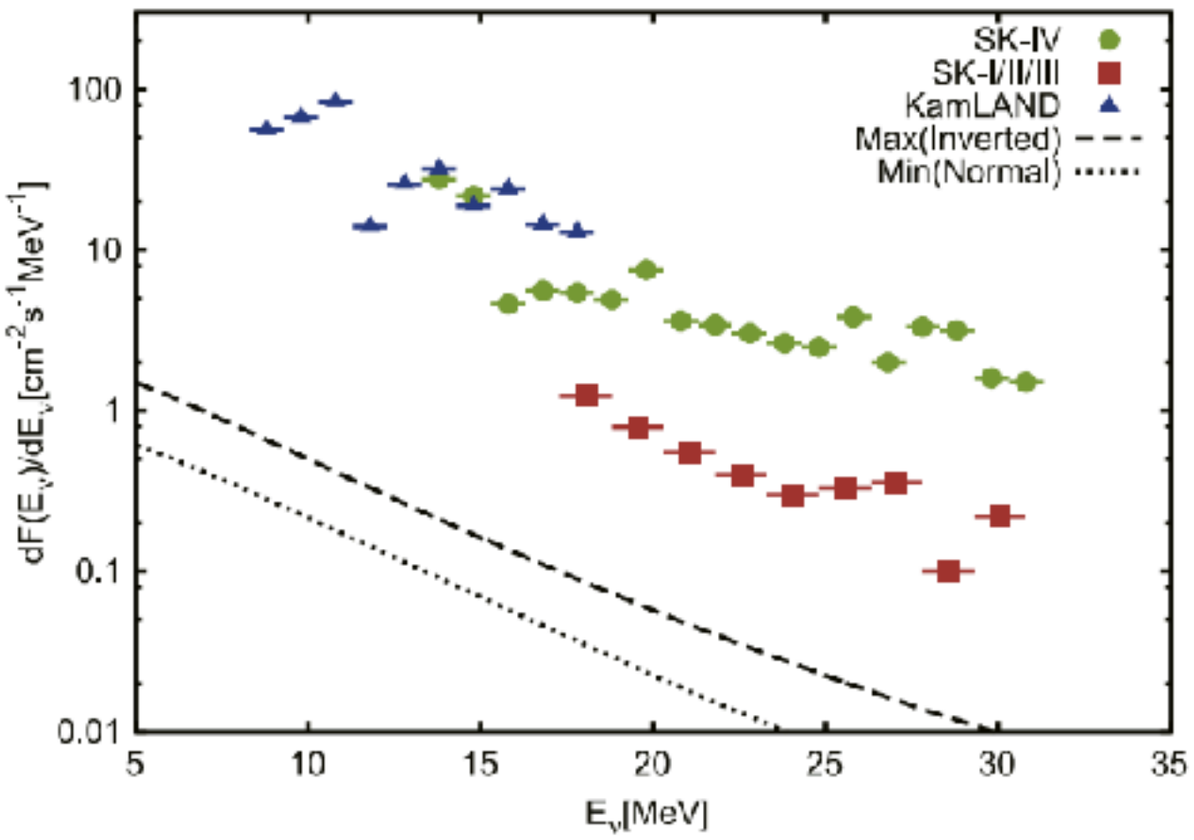
- SK-Gd: Introducing **0.2% $Gd_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$ (~0.1% Gd)** into SK to identify inverse beta decay using **neutron tagging**.

➡ Discover SRNs and study the star formation history of the universe.

- **~90% efficiency** for neutron tagging. **(Phys. Rev. D 79, 083013)**
- Backgrounds (e.g. atmospheric ν_μ) could be reduced.
- Aim to improve the sensitivity by an order of magnitude.



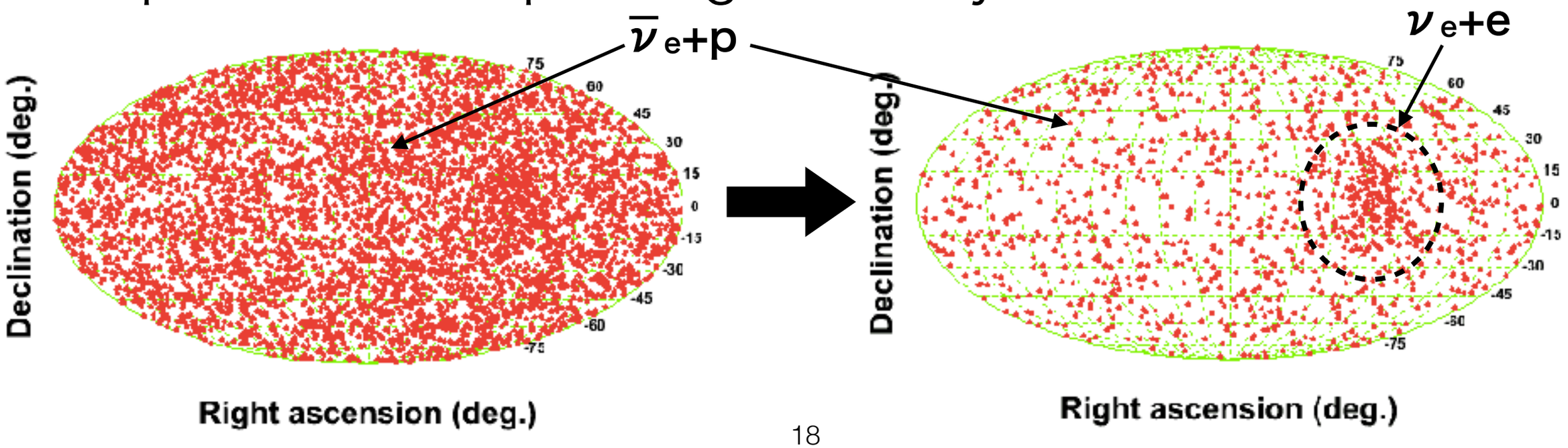
Inverse beta decay



Astrophys. J. 804 (2015) 75.

Benefits on Other Measurements

- Atmospheric neutrino analysis.
  - Better separation between neutrinos and anti-neutrinos.
- Proton decay search.
  - More backgrounds (e.g. atmospheric neutrinos) could be rejected.
- Solar neutrino analysis.
  - Spallation due to the cosmic rays could be reduced.
- Galactic supernovae.
  - Early warning.
  - Improvement of pointing accuracy.

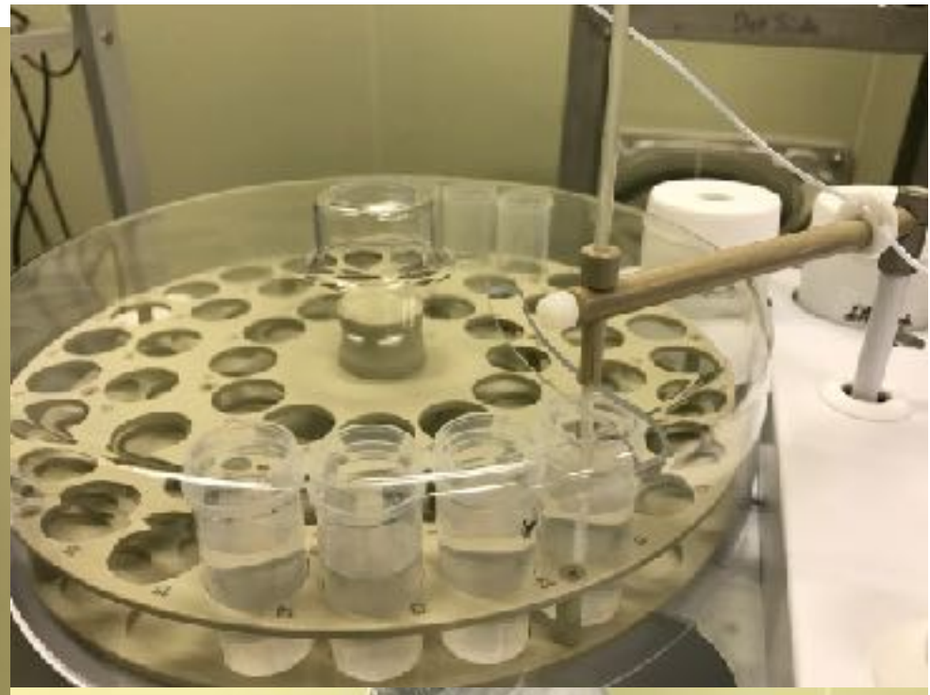


Purified $Gd_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$

- To continue solar neutrino measurement, the radio-impurities (U, Th, Ra) in $Gd_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$ should be minimized before loading.
  - ➡ Some companies produced specially purified $Gd_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$.
- We developed methods to precisely measure radio-impurities.
  - Long lifetime, ^{238}U, ^{232}Th: ICP-MS (Kamioka)
    - ➡ S. Ito et al. PTEP 2017 113H01
  - Short lifetime, ^{226}Ra: Ge detector (Canfranc in Spain, Kamioka)
    - ➡ S. Ito et al. arXiv:1808.03376 (Accepted by PTEP)

Preliminary **[mBq/kg]**

Radio-impurities	^{238}U	^{232}Th	^{226}Ra
Commercial	50	100	5
Our goal	<5	<0.05	<0.5
Company A	<0.04	0.02±0.01	<0.25
Company B	<0.04	0.06±0.01	<0.18
Company C	0.64±0.10	1.77±0.27	0.7±0.4

Finally pure $Gd_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$ was produced

ICP-MS —Agilent 7900—