

SK-Gd その2

SK-Gd実験開始に向けた準備状況

中島 康博 (東京大学宇宙線研究所)

2019年3月23日

第32回ニュートリノ研究会

SK-Gdに向けた準備

池田の講演

- 超低RIのGdの開発
 - 太陽ニュートリノ観測に問題無いRIレベルのGdの開発に成功。量産へ。
- 200トンタンク(EGADS)による実証試験
 - SKを模したタンクで、500回以上循環後もGdを失うことなく透過率をこれまでのSKレベルに保つことに成功。

本講演

- SKタンクの水密化
- 新たな水循環装置による循環
- 改修工事後の測定器キャリブレーション

SKタンク改修工事
2018年5月-2019年1月

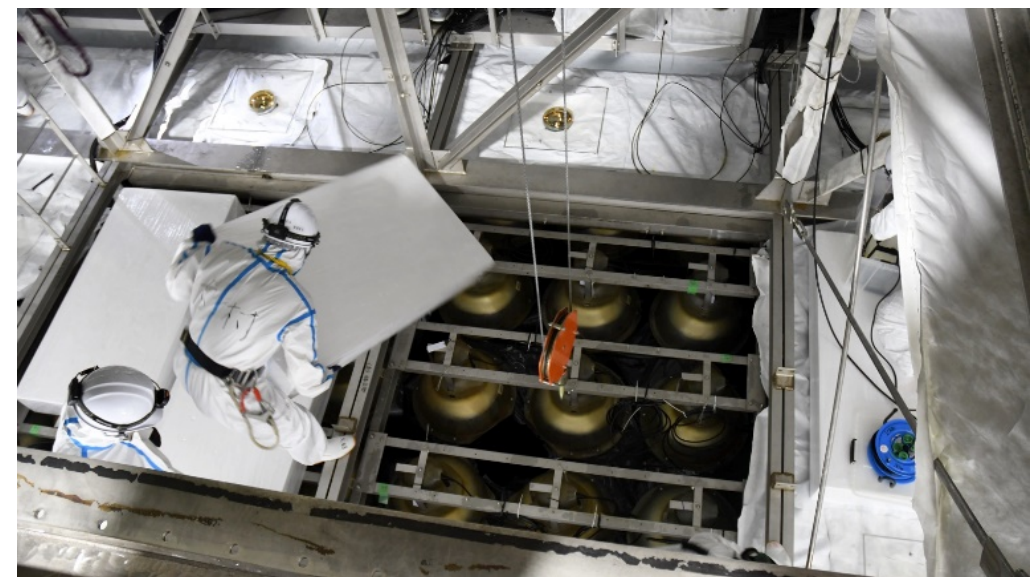
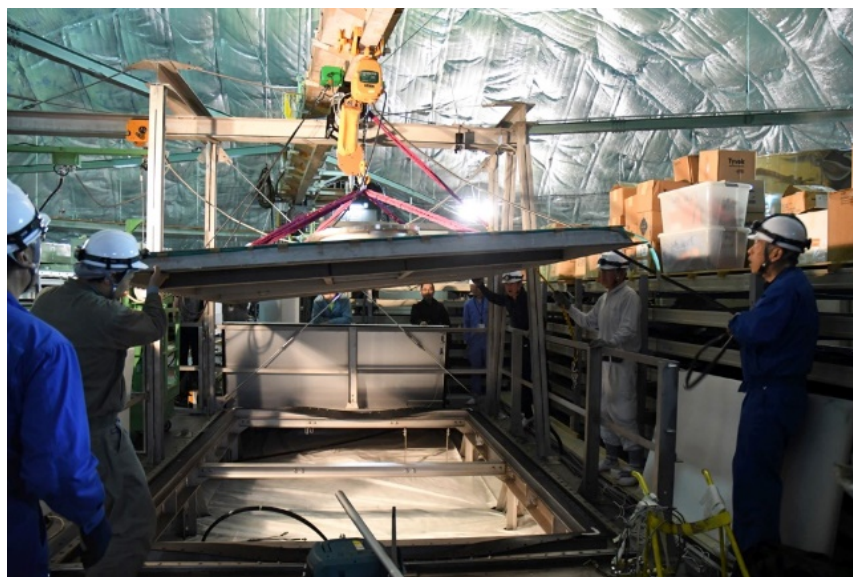
2018年10月-

SKタンク改修2018

改修工事の目的

- 止水補強
 - これまでのSKタンクでは1日約1トンの水漏れがあった。Gd導入に備え水漏れを止めるとともに、例えば地震等の災害が発生しても新たな水漏れが発生しないよう、タンク内壁の溶接線全てに止水剤を塗布。
- タンク内配管の増強
 - 循環速度をこれまでの二倍の120t/hにし、Gd溶解直後のGd濃度の一様性を高め、かつ純化効率を向上させる。
- 不具合のある光電子増倍管(PMT)の交換
 - 内水槽・外水槽合わせて数百本のPMTを交換した。

2018年5月31日にタンクを開け、改修工事を開始



SKタンク 止水補強工事

溶接部に塗る樹脂を業者とともに開発

- 純水・Gd水溶液中への物質の溶出が少なく、チェレンコフ光の透過率を低下させない
- ラドンの放出が少なく、低エネルギーバックグラウンドを増やさない



伸縮性に富む止水材料で覆った。

溶接線

ステンレス板

ステンレス板



タンク内清掃

- 上記の作業と平行し、大規模なタンク内清掃も行った。
- 外壁およびPMT構造体の清掃による表面についたRIの低減
- 2001年の事故由来のガラス片の除去
- SUS以外の金属除去および錆落とし



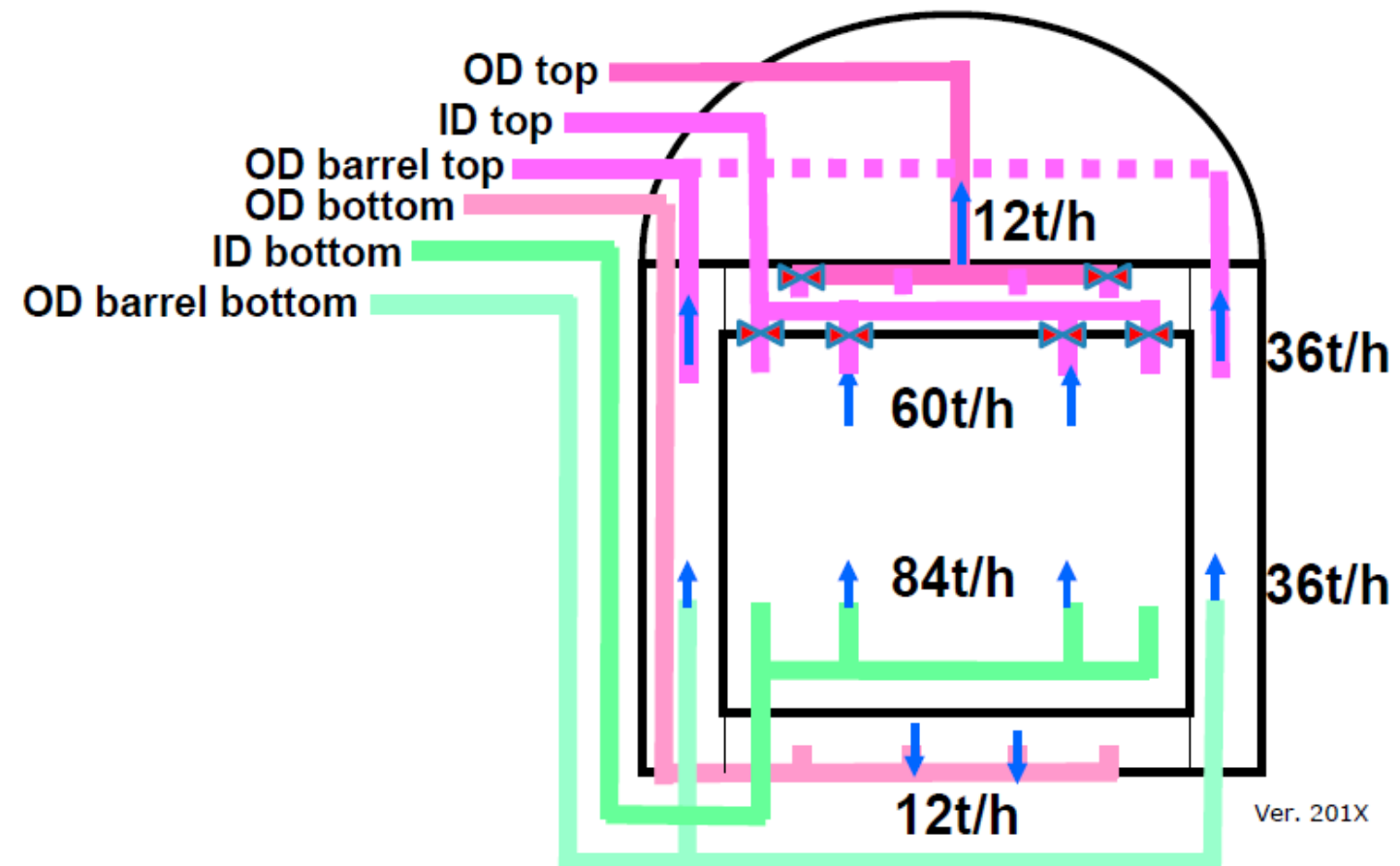
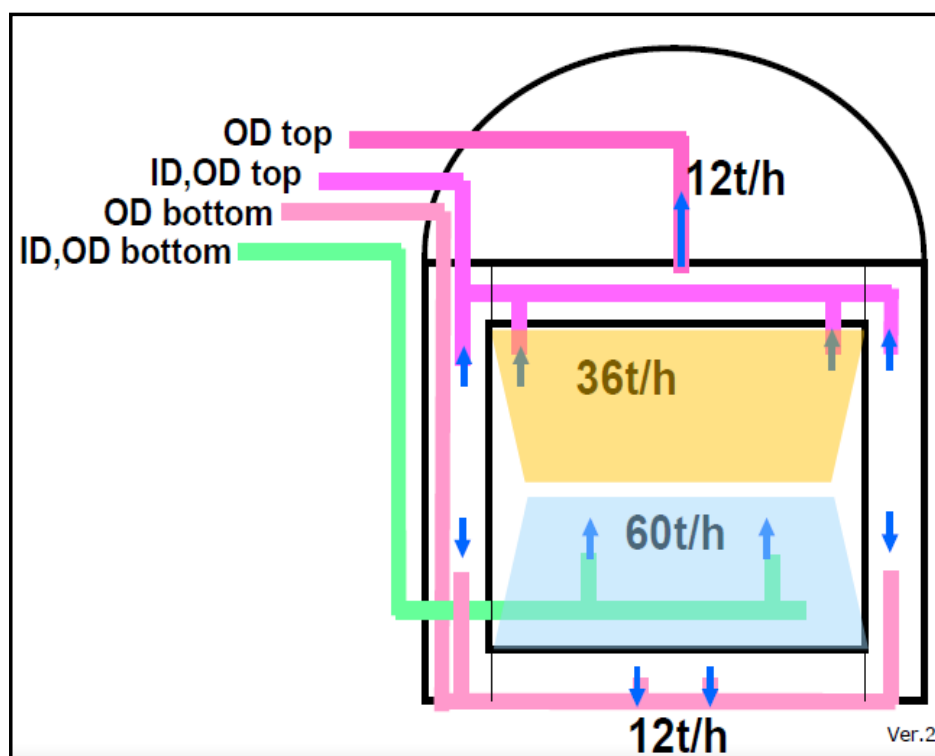
純水配管改造

- 120 t/hでの循環に対応
- 配管の上下対称性を大きく改善
- より精密な流量コントロールが可能に



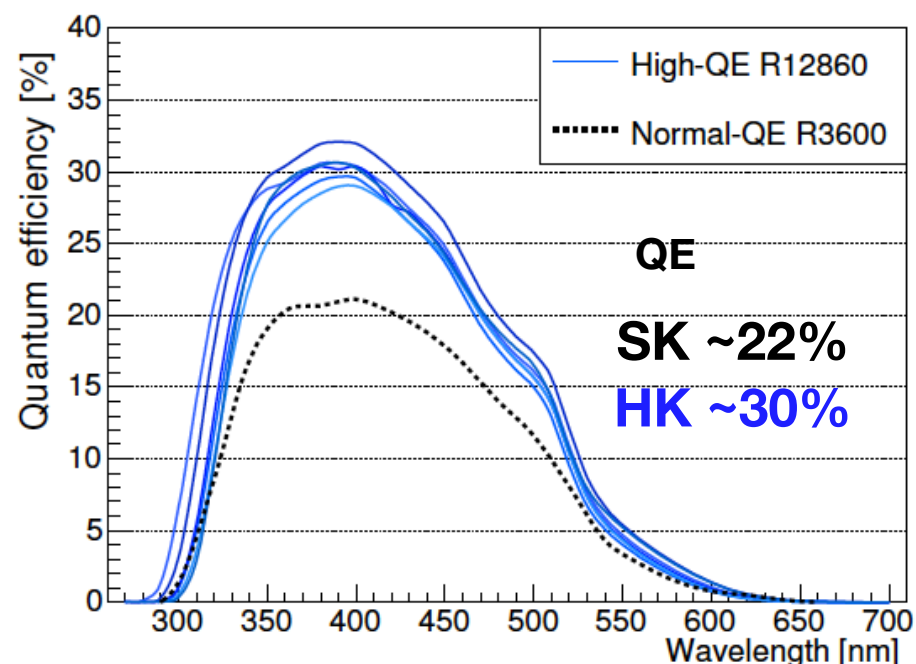
新しい配管

これまでの配管



PMTの交換

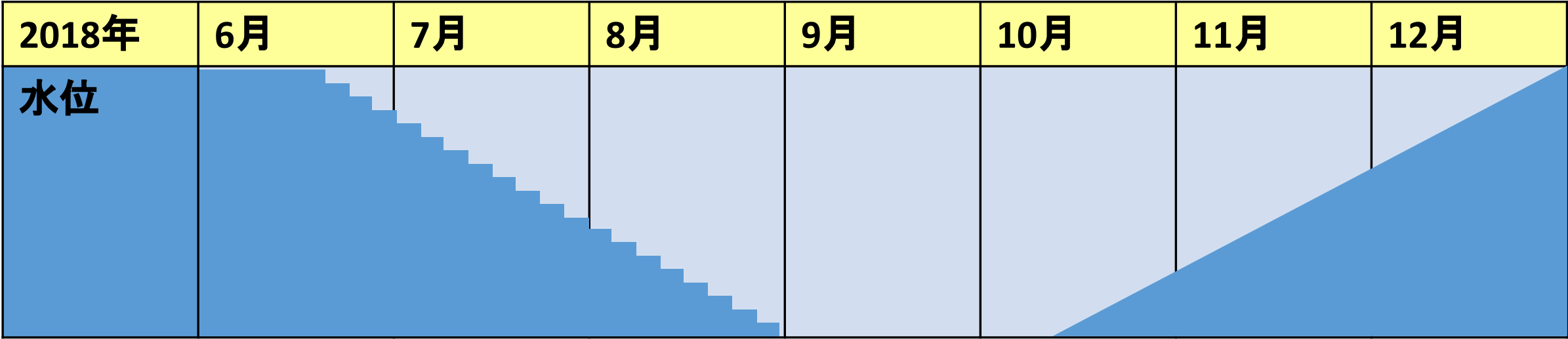
- 不具合のあるPMTを内水槽・外水槽合わせて数百本交換した
- 内水槽のPMTについては、ハイパーカミオカンデ用に開発した20インチPMT(Hamamatsu R12860)を136本導入



[Fig.60 in HK Design Report (2018)]



改修工事の様子



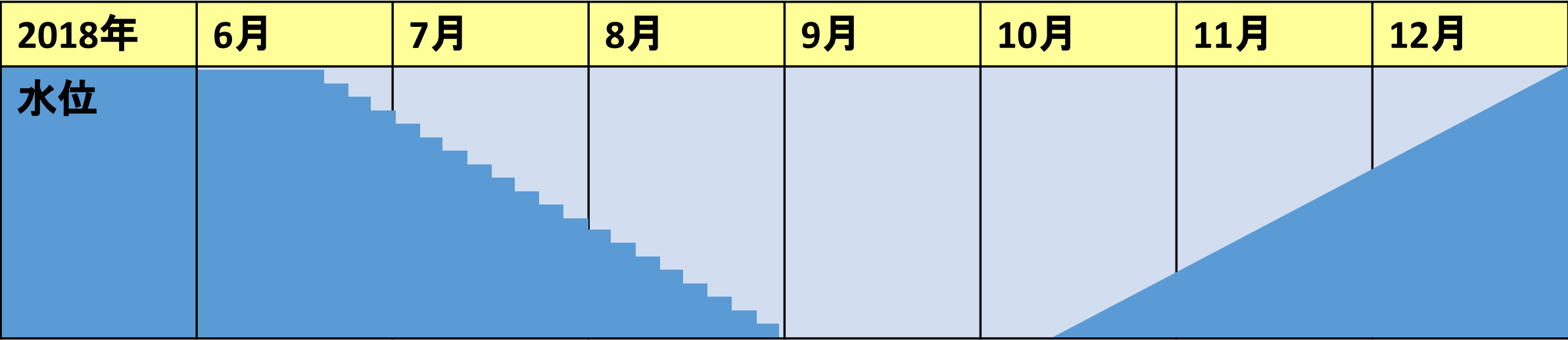
2018年5月31日
排水開始

SK底部の排水口

SKからの排水をポンプ
で揚水して外部に排出



改修工事の様子



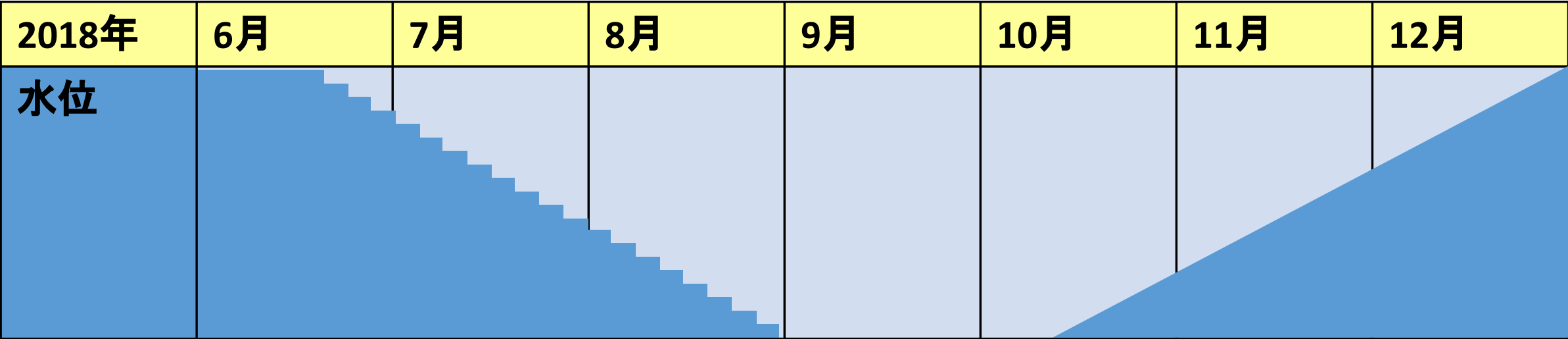
天部IDでの作業



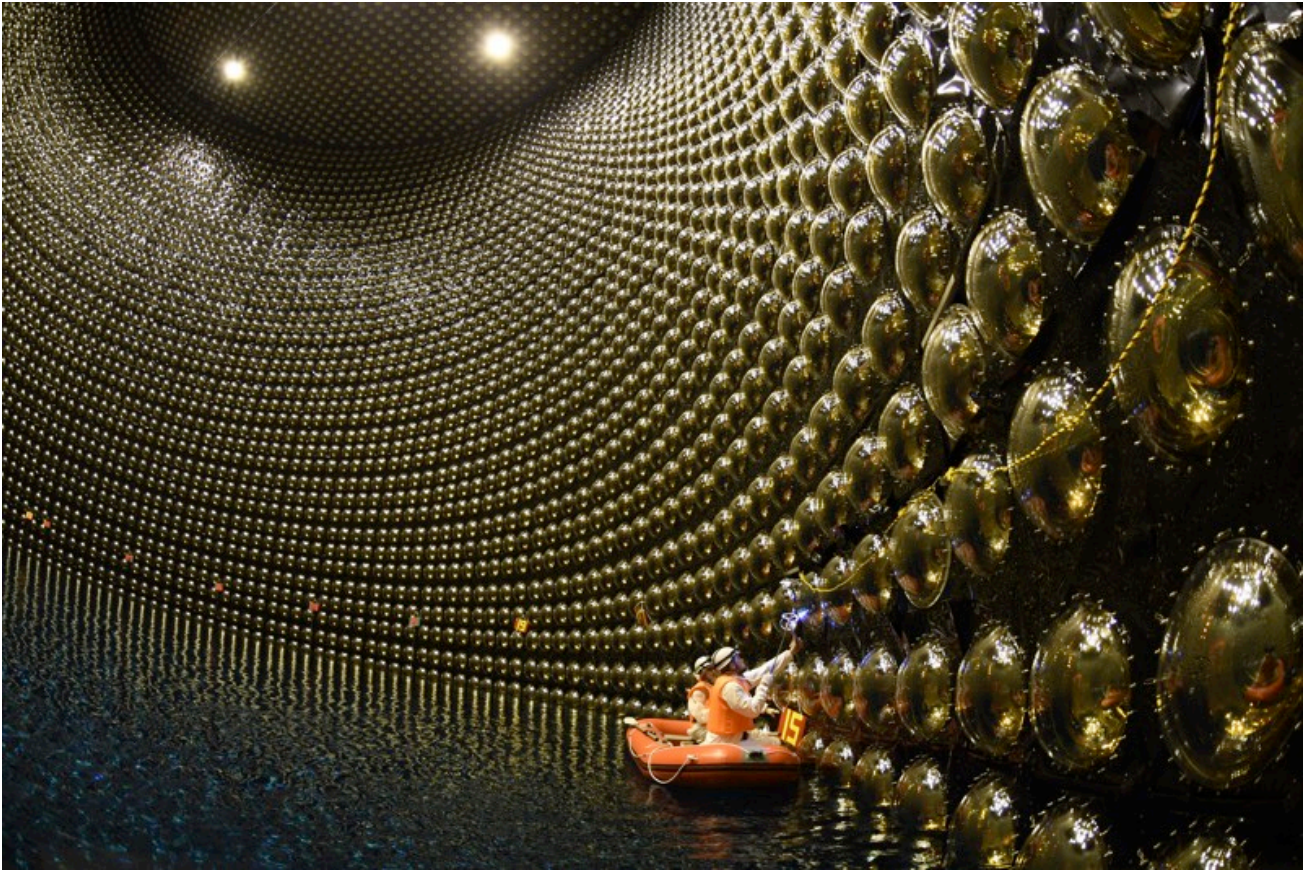
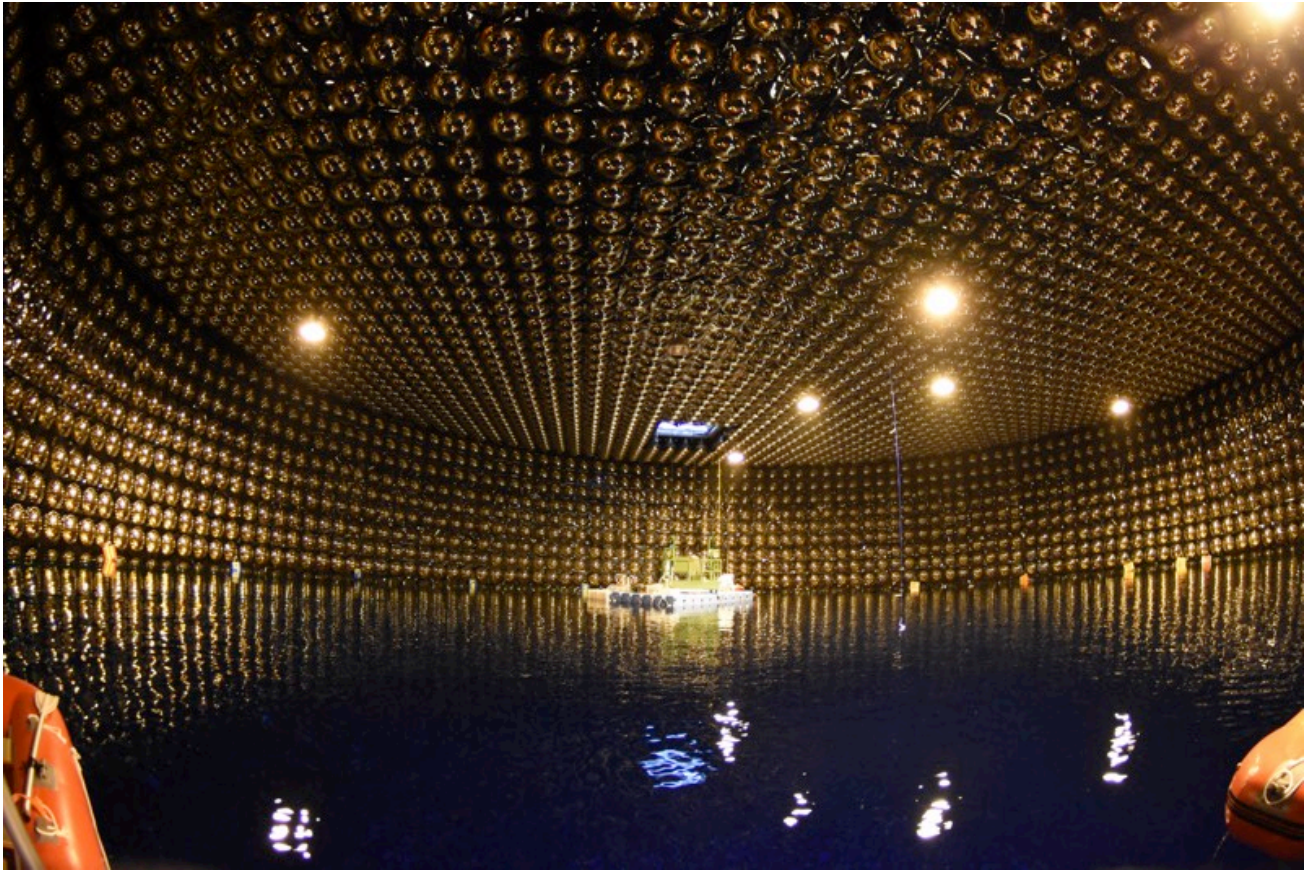
天部ODのPMT交換作業



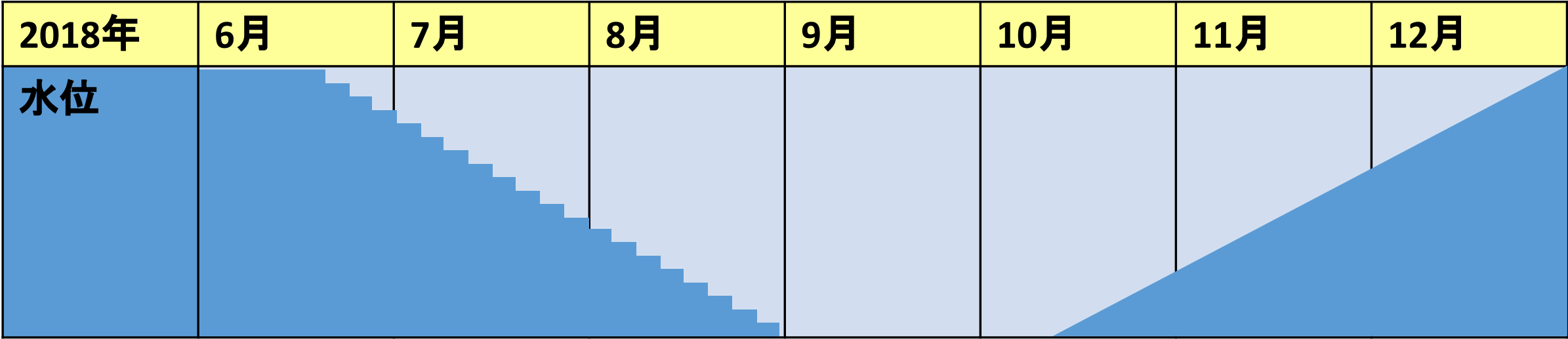
改修工事の様子



ID側部作業



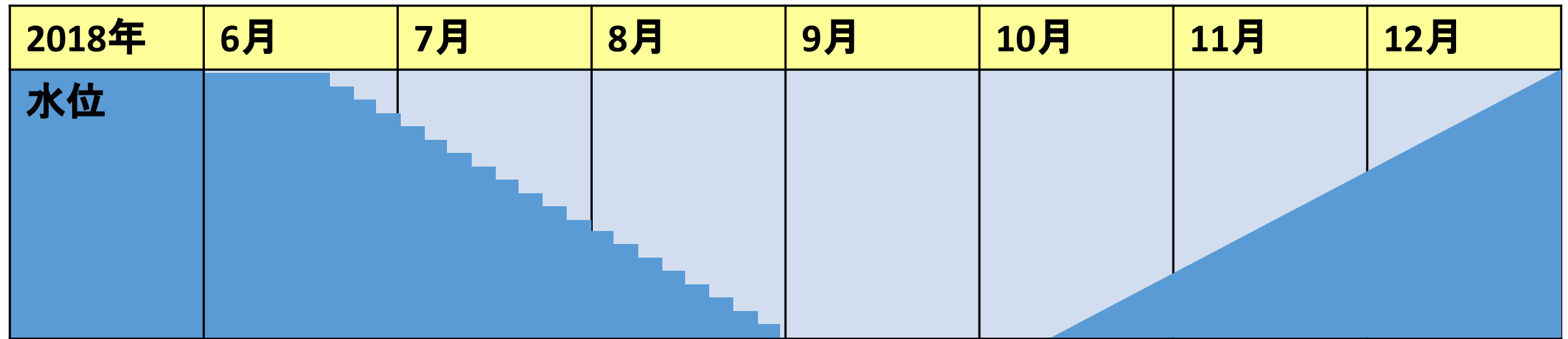
改修工事の様子



外水槽部での清掃作業



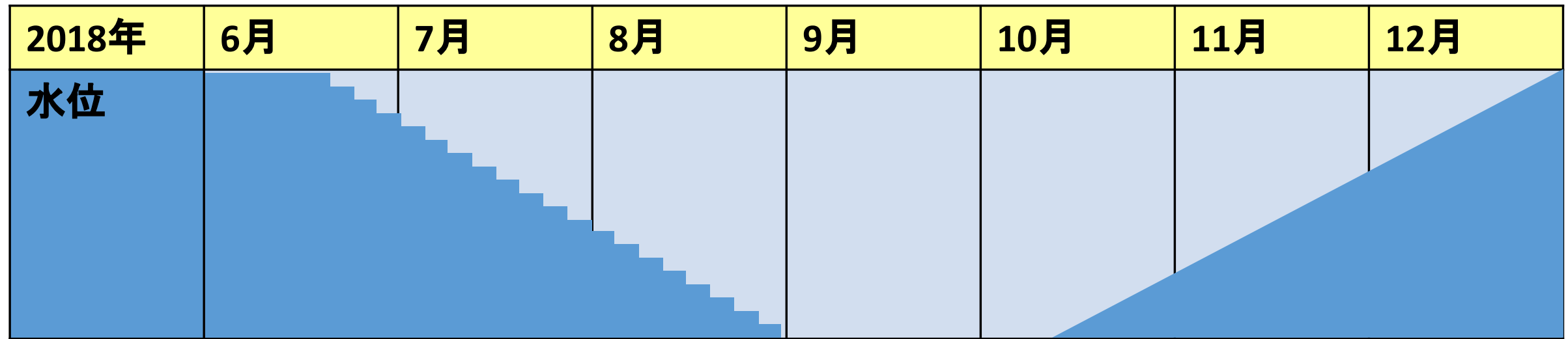
改修工事の様子



水位~1mでのタンク内確認



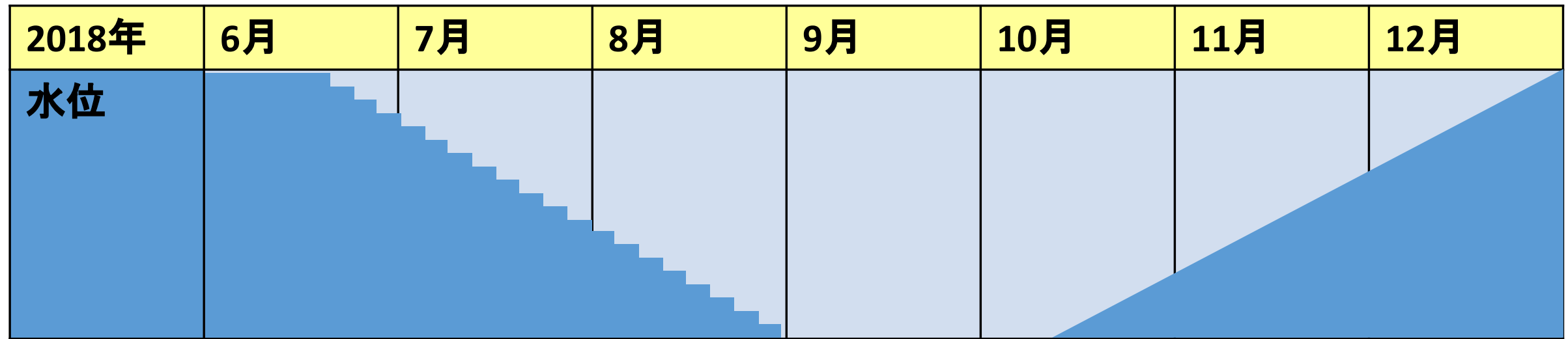
改修工事の様子



底部での止水作業



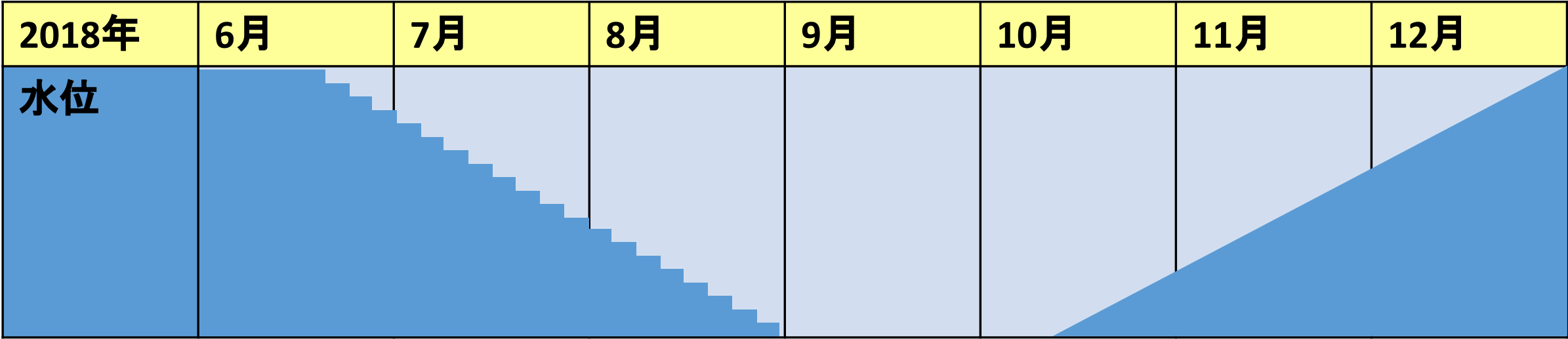
改修工事の様子



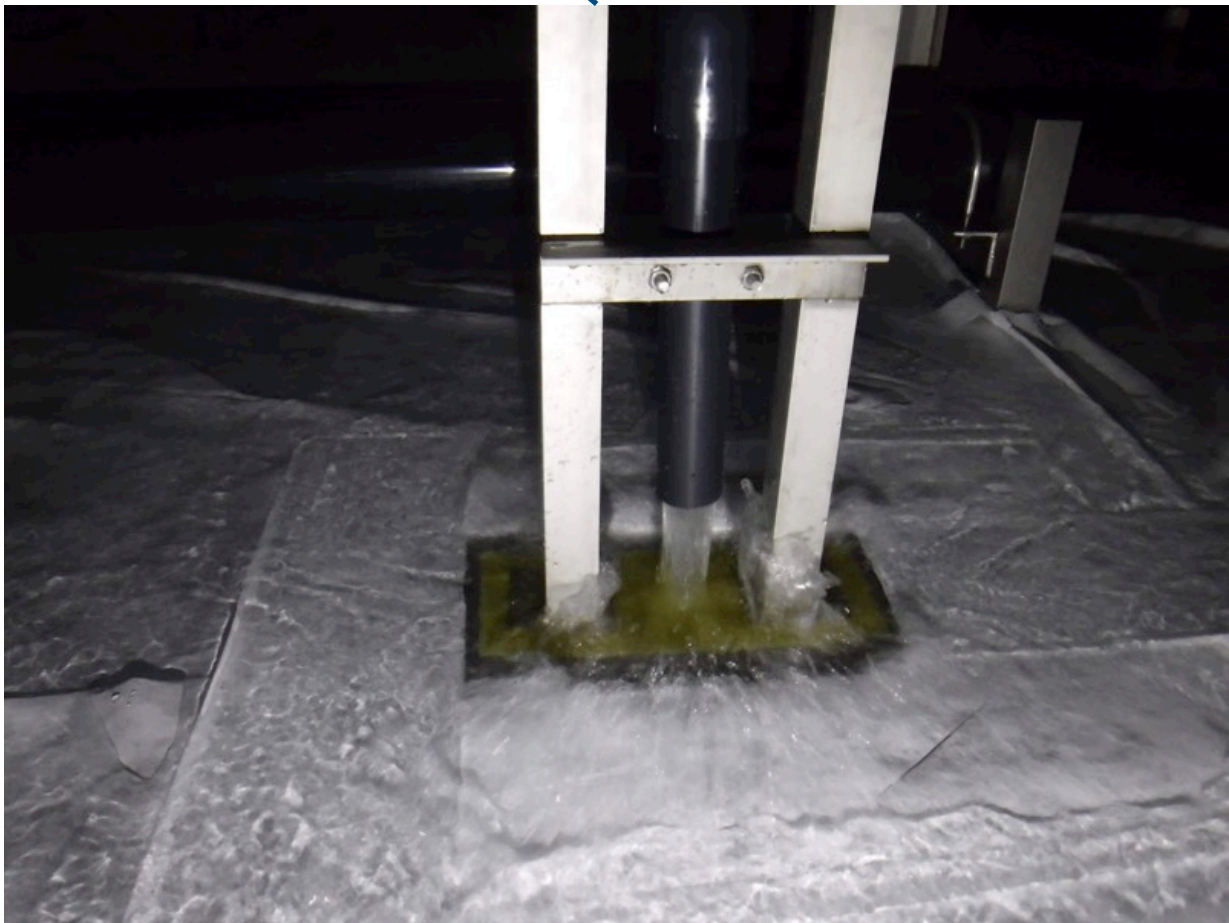
底部のタイベックシート張り



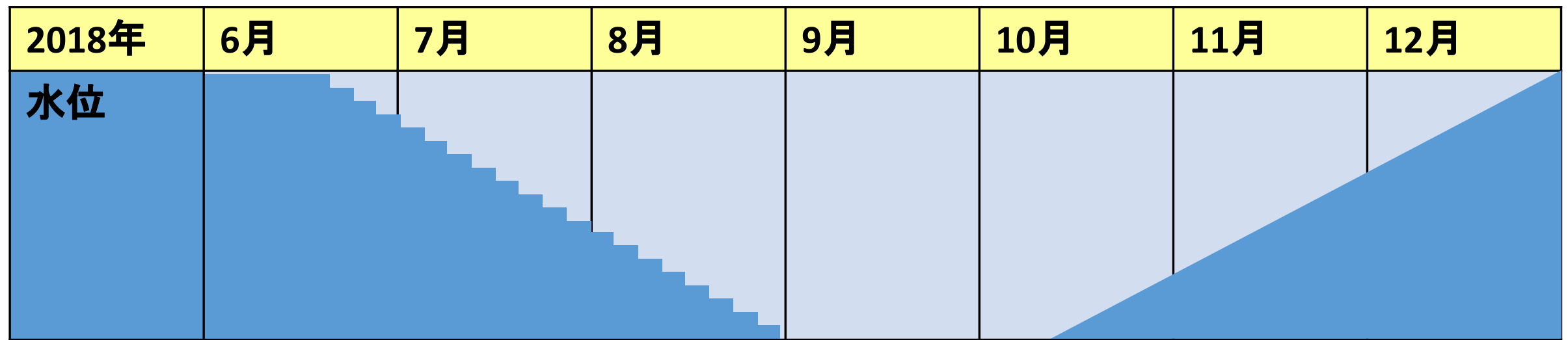
改修工事の様子



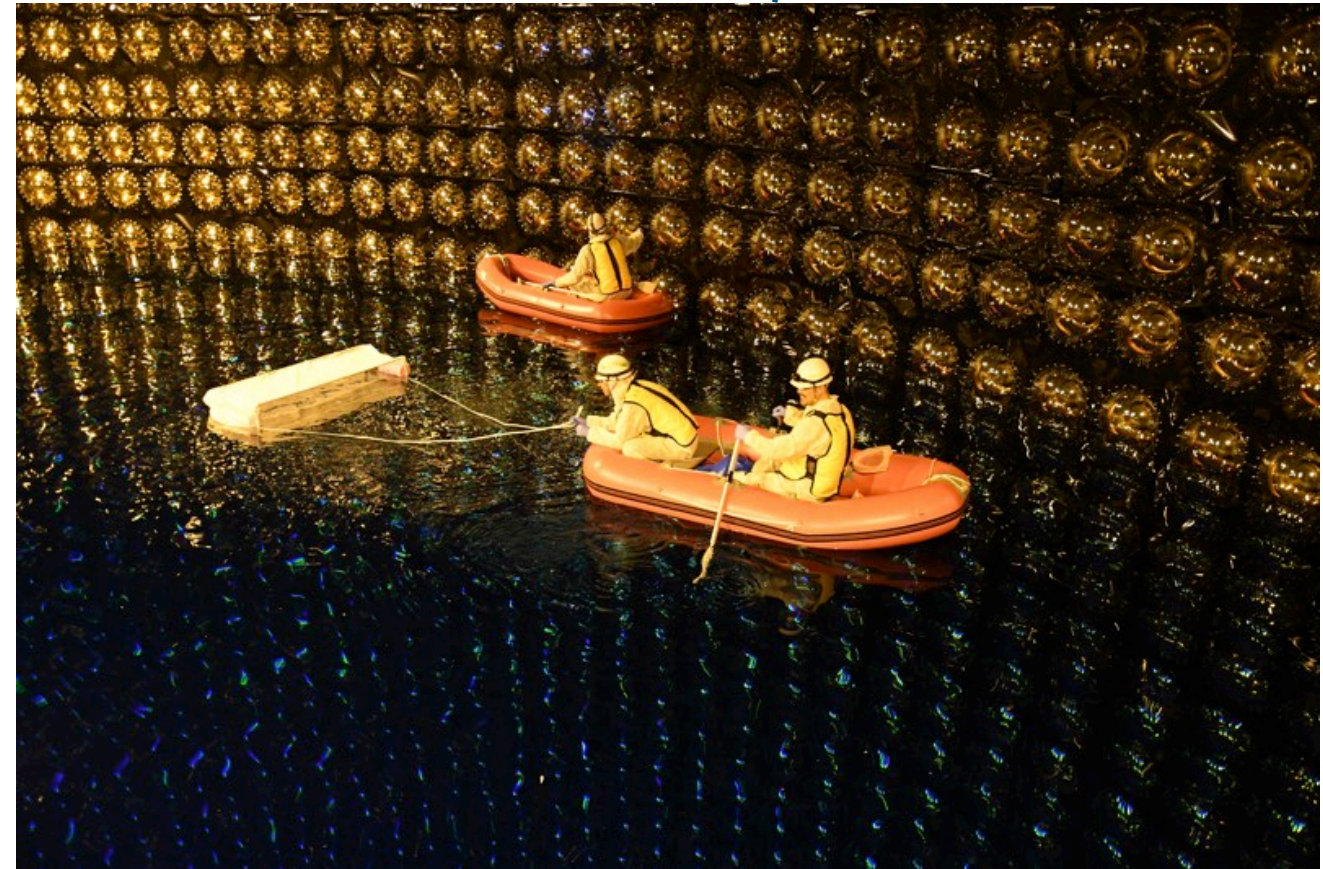
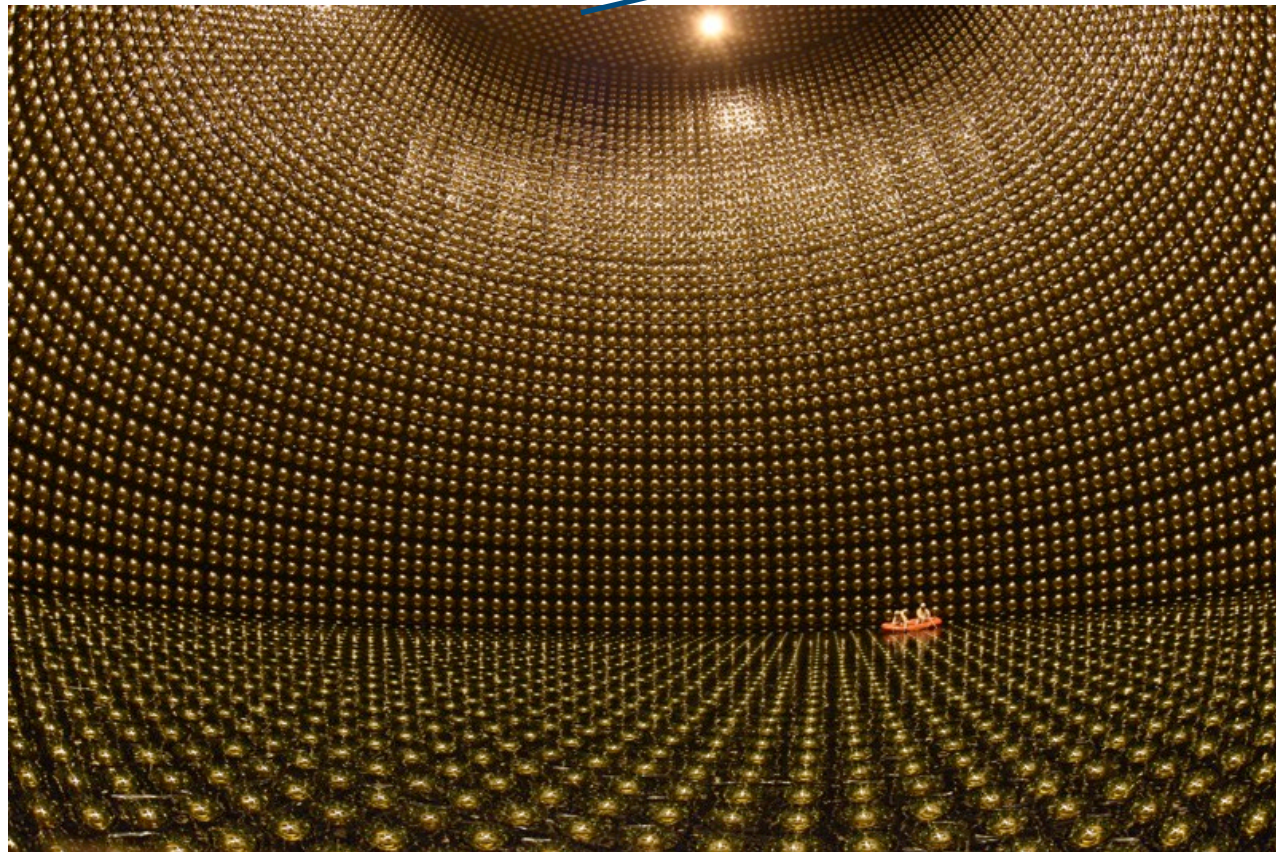
2019年10月13日 給水開始



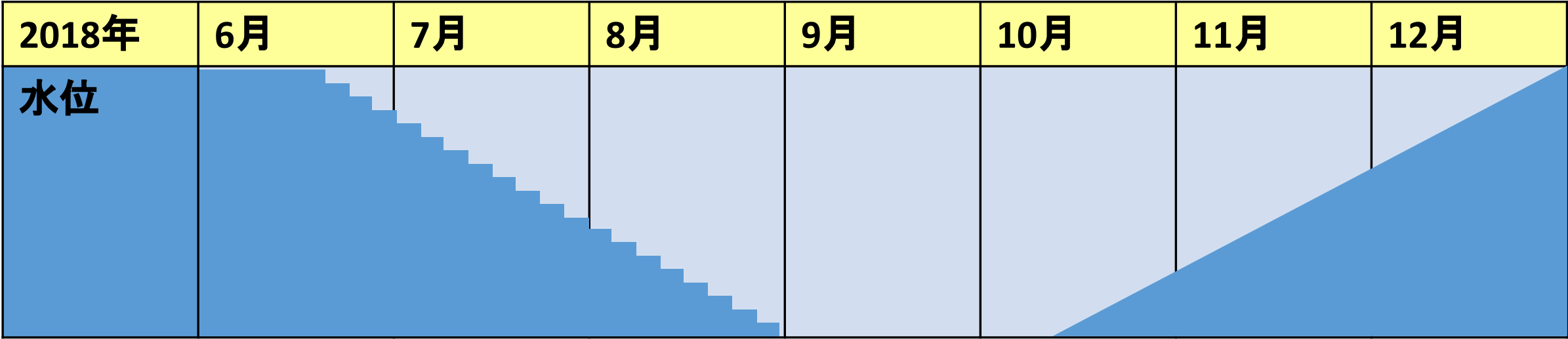
改修工事の様子



給水中の水面掃除



改修工事の様子



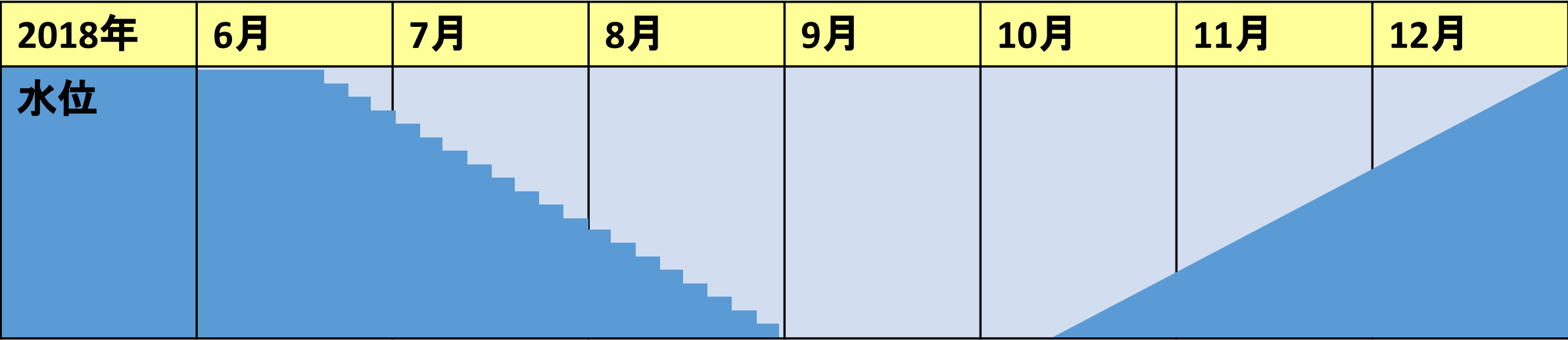
天部点検口PMT復旧



最後のタイベックシート張り



改修工事の様子

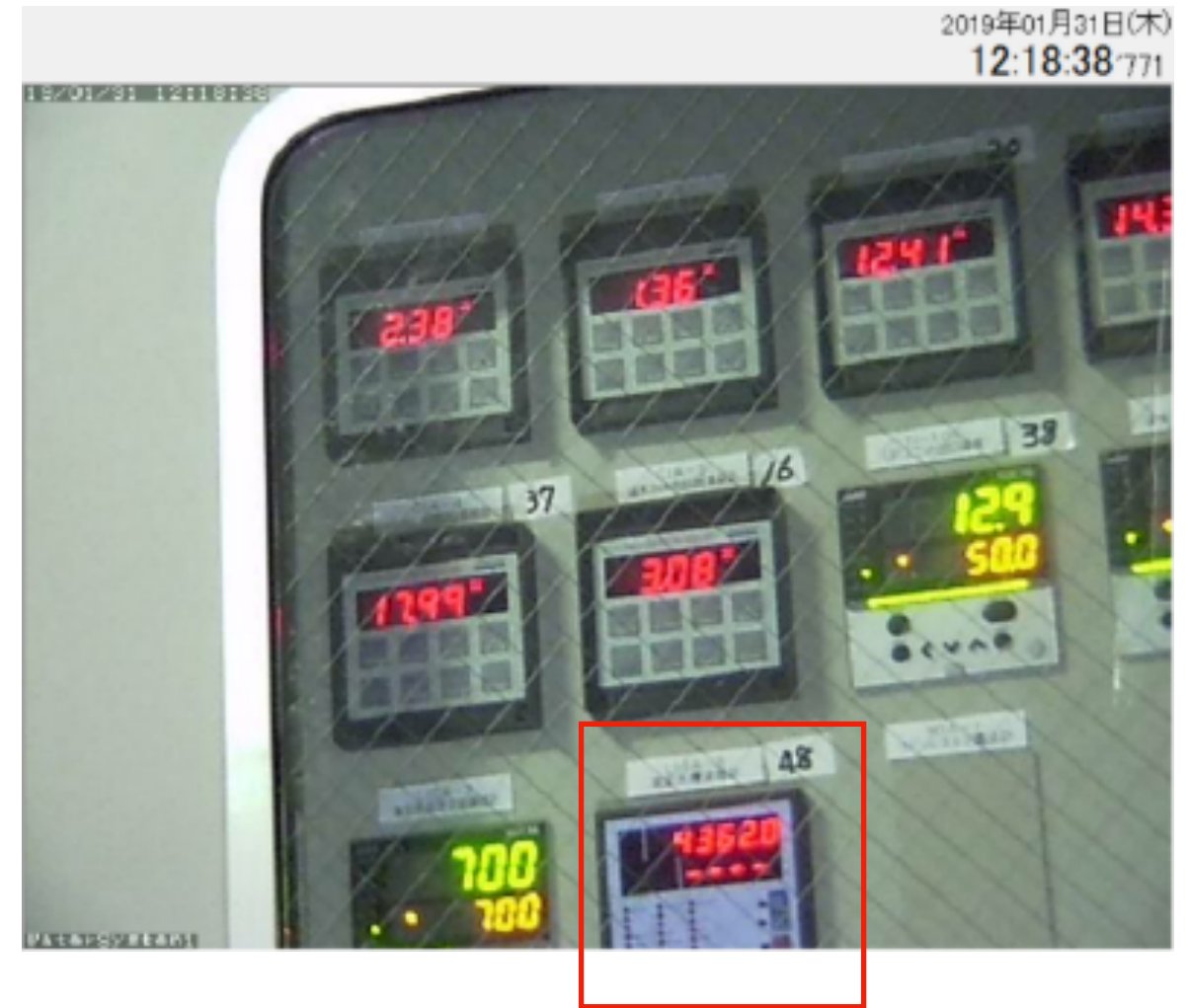


2019年1月29日 タンクの蓋を閉めて観測再開



タンク改修後の水漏れ測定

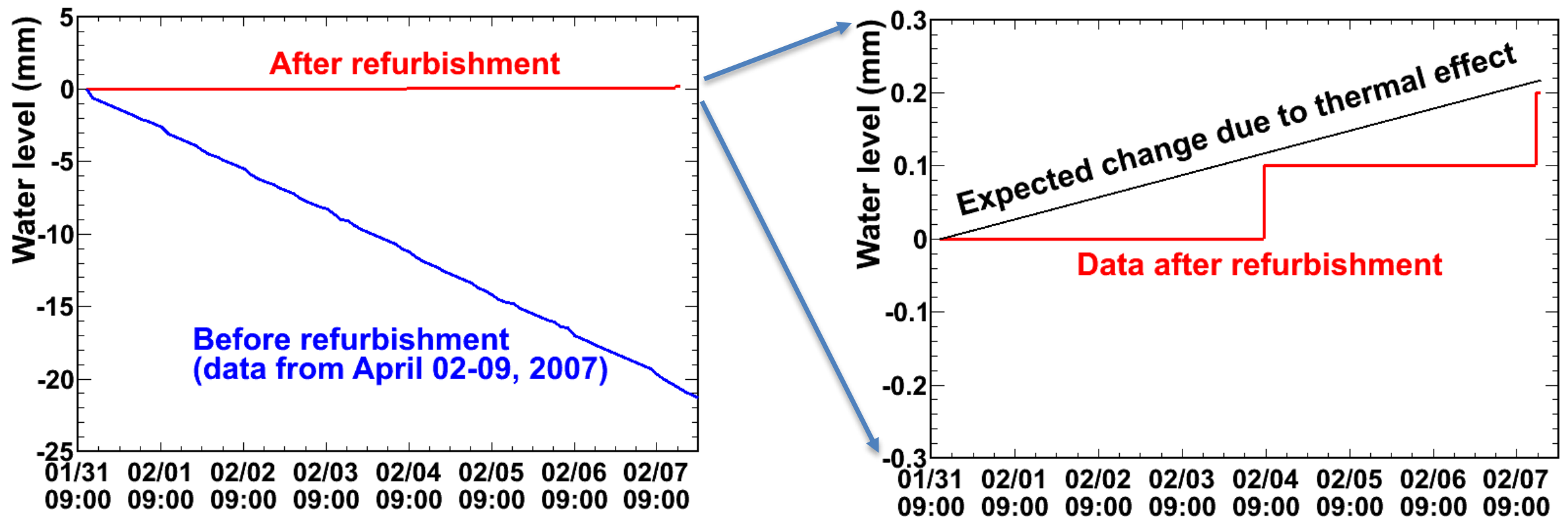
- 給水完了後、2019年1月31日
11時30分より水循環を停止して
水漏れ試験を開始した。
- 0.1mmの精度で測定可能な水位
計を用いて、変動を監視
- 試験は2月7日15時52分まで
約7日間継続



水漏れ測定結果

漏れを意味する水位の下降は見られず、逆に2月4日8時27分及び2月7日14時30分にそれぞれ0.1mmずつの水位上昇が観測された。

この水位上昇は、熱流入による水の体積膨張による予想とコンシステント



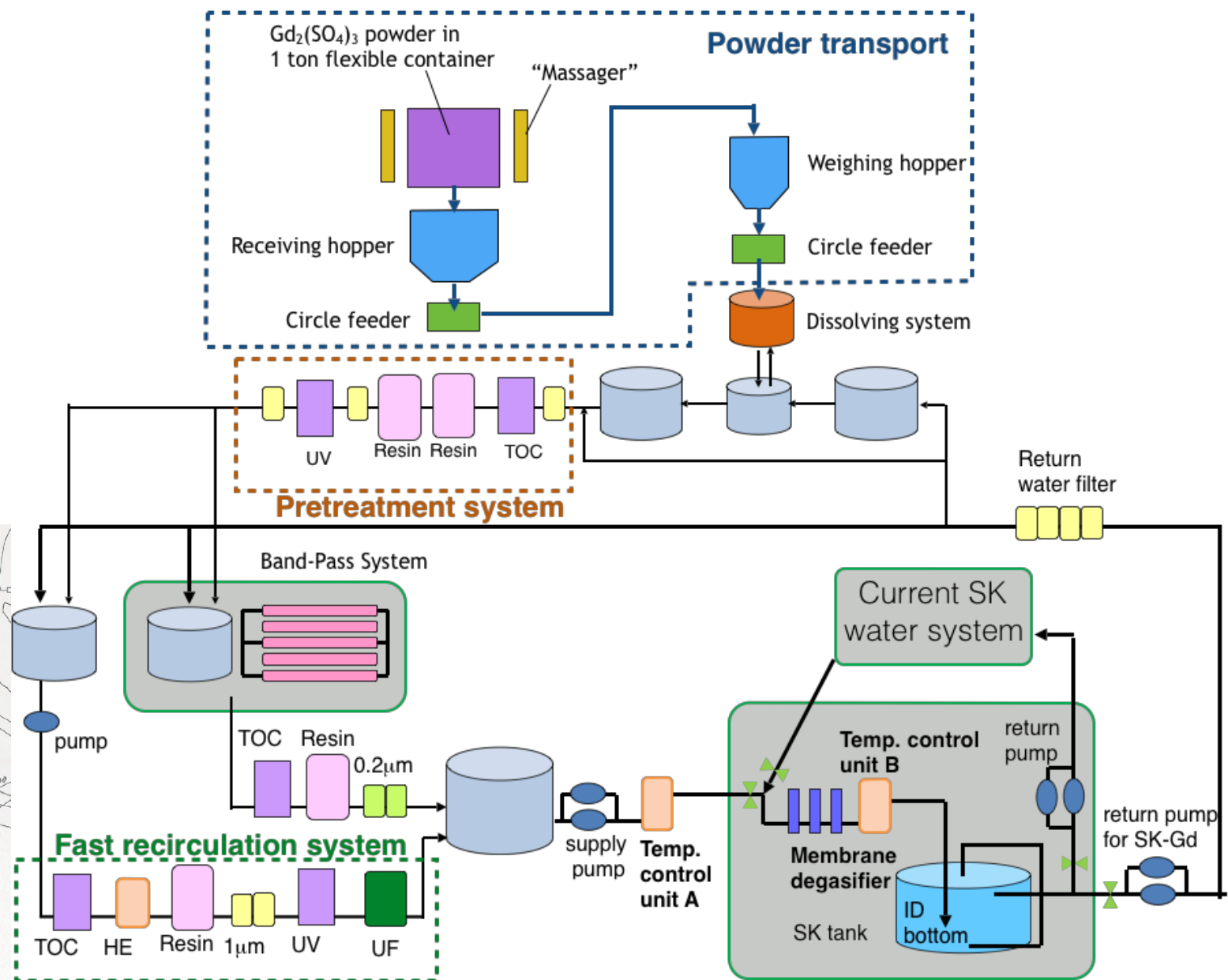
結論:

- 改修工事後は有意な水漏れは見られていない。水漏れ量の上限値は一日あたり0.017 トン以下。
- 上記の現在の上限値は、改修工事前の漏れ量と比較して1/200にあたる。

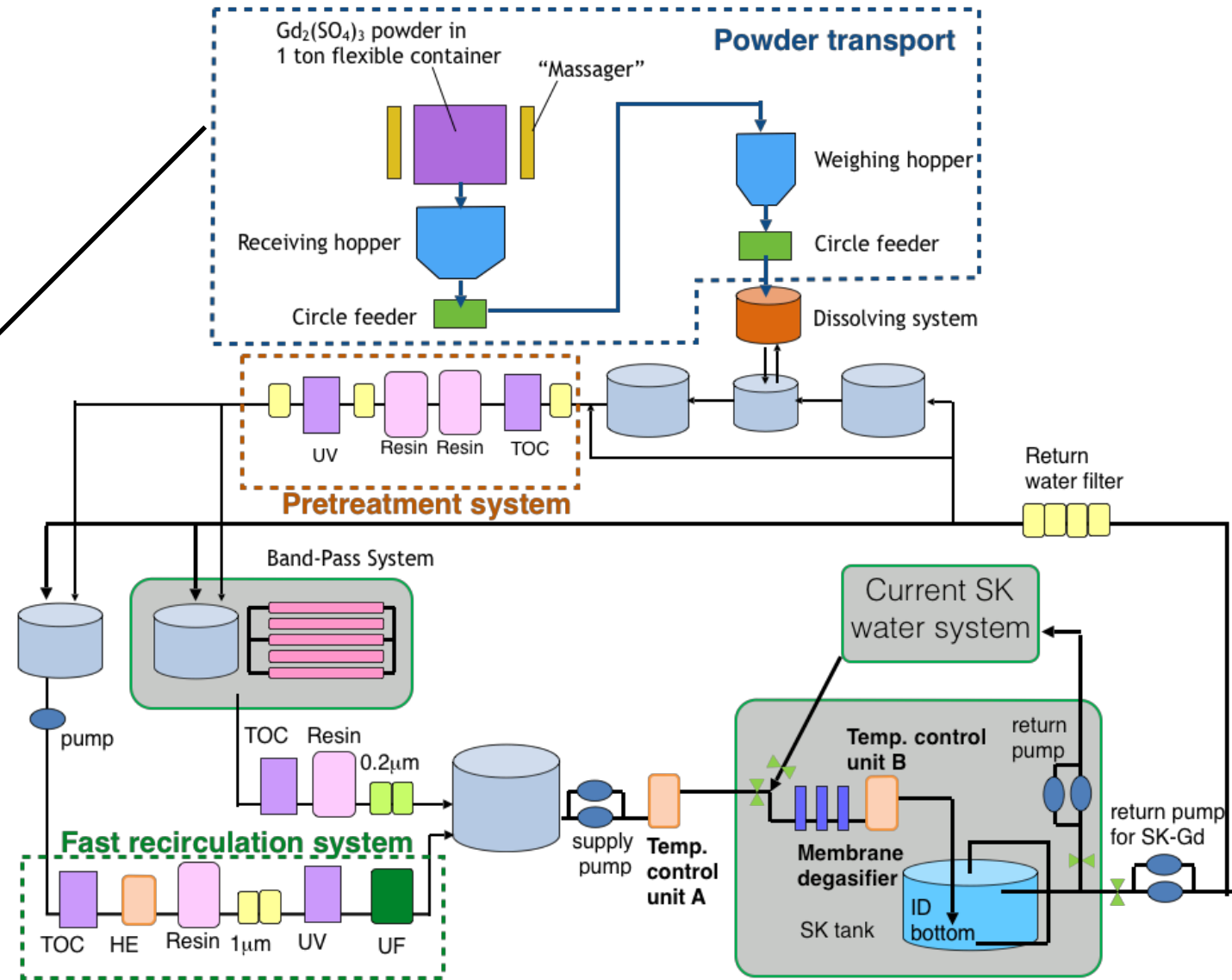
SK-Gd循環純化装置

SK-Gd 循環純化装置

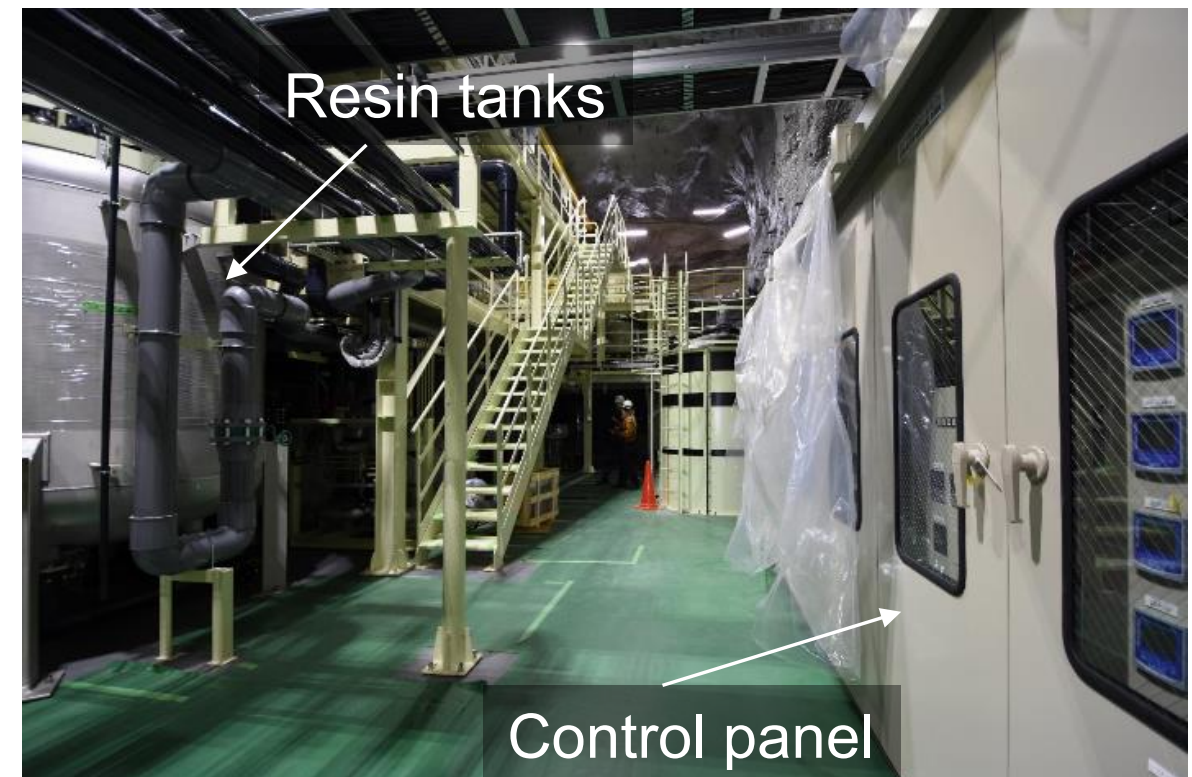
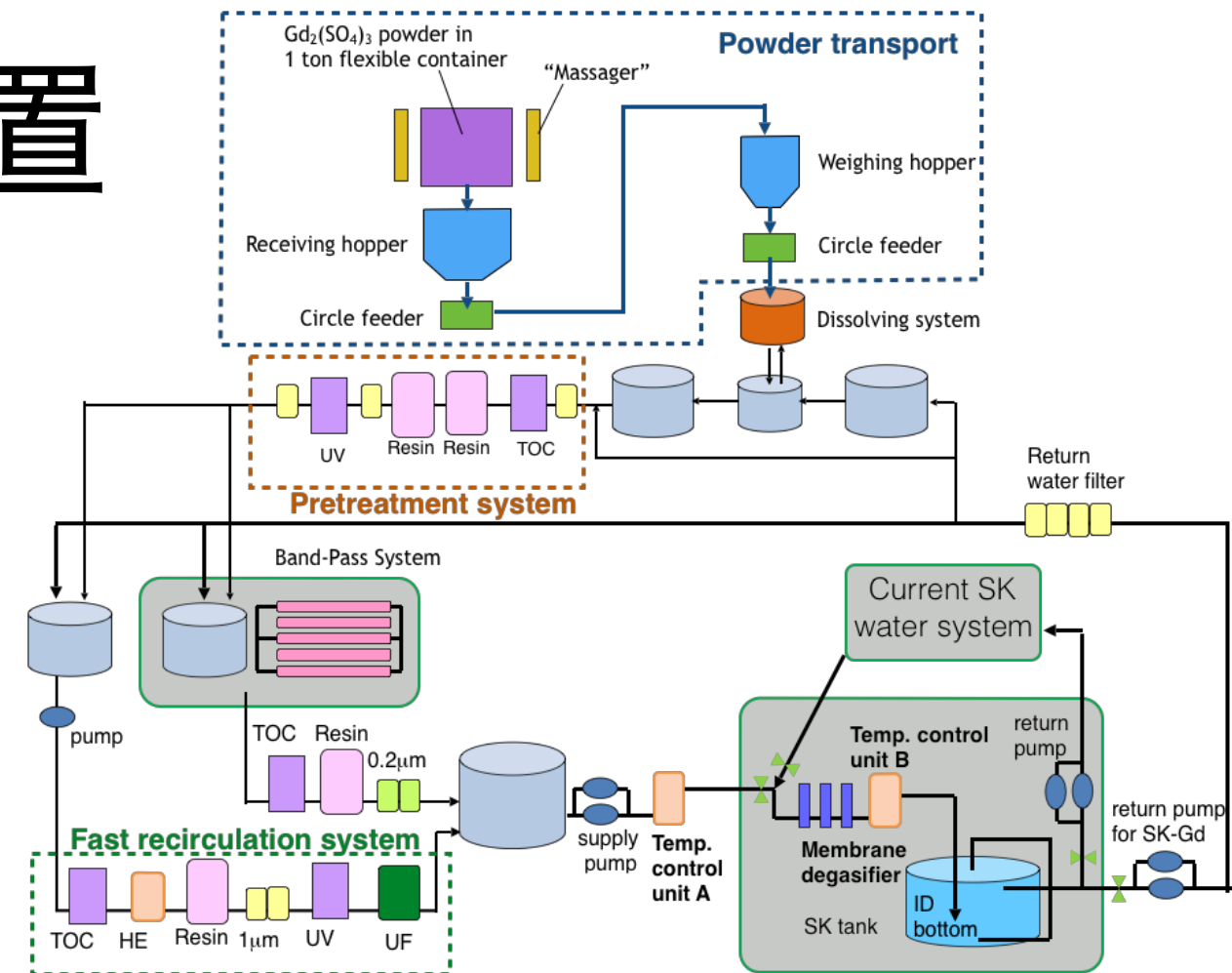
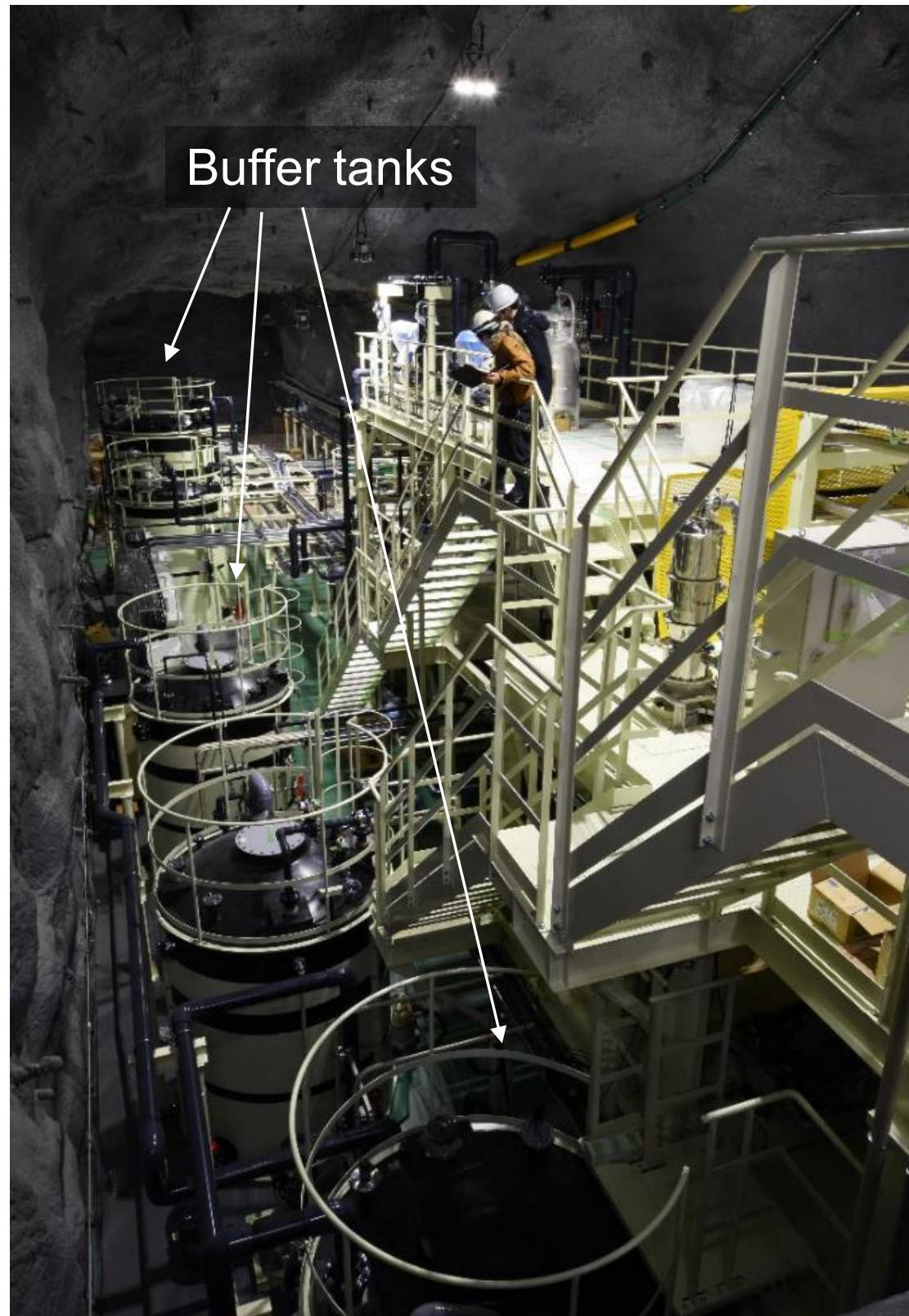
- 現行SK純水装置では、Gdを含め全ての不純物を除去してしまう。
- EGADS の経験をもとに、 $Gd_2(SO_4)_3$ を保持しつつ循環純化装置を新たに建設
- 120 t/hの循環に対応



SK-Gd 循環純化装置

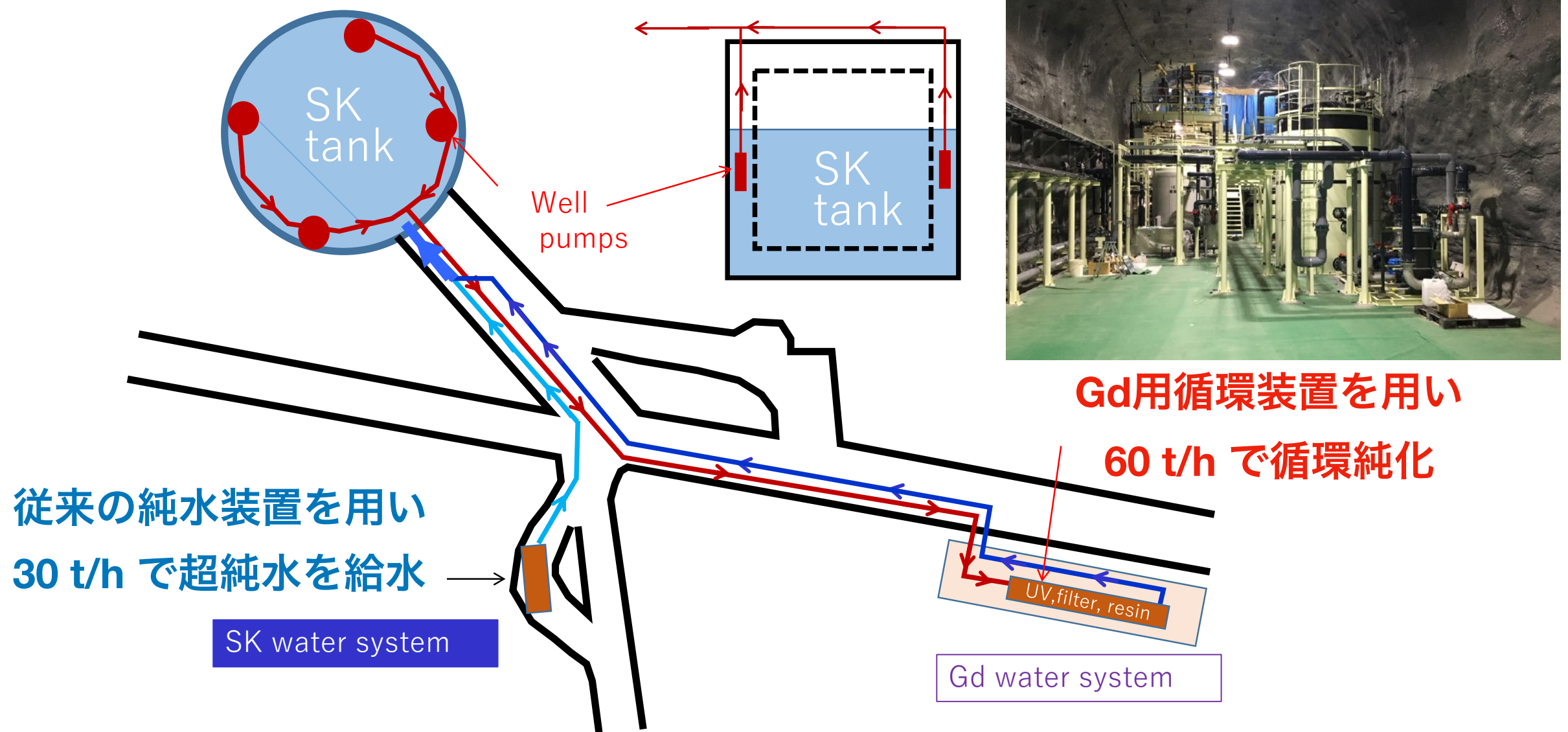


SK-Gd 循環純化装置



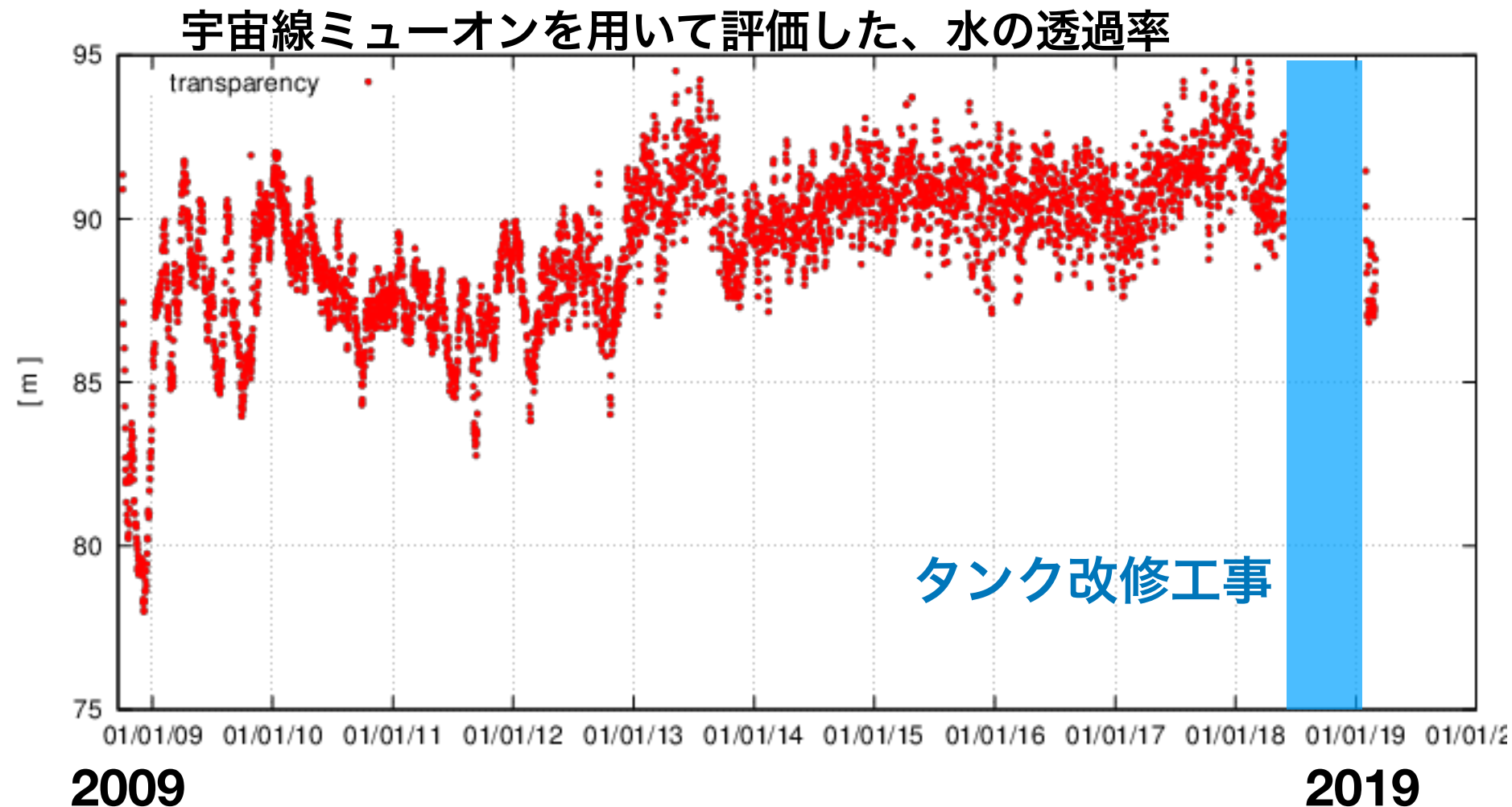
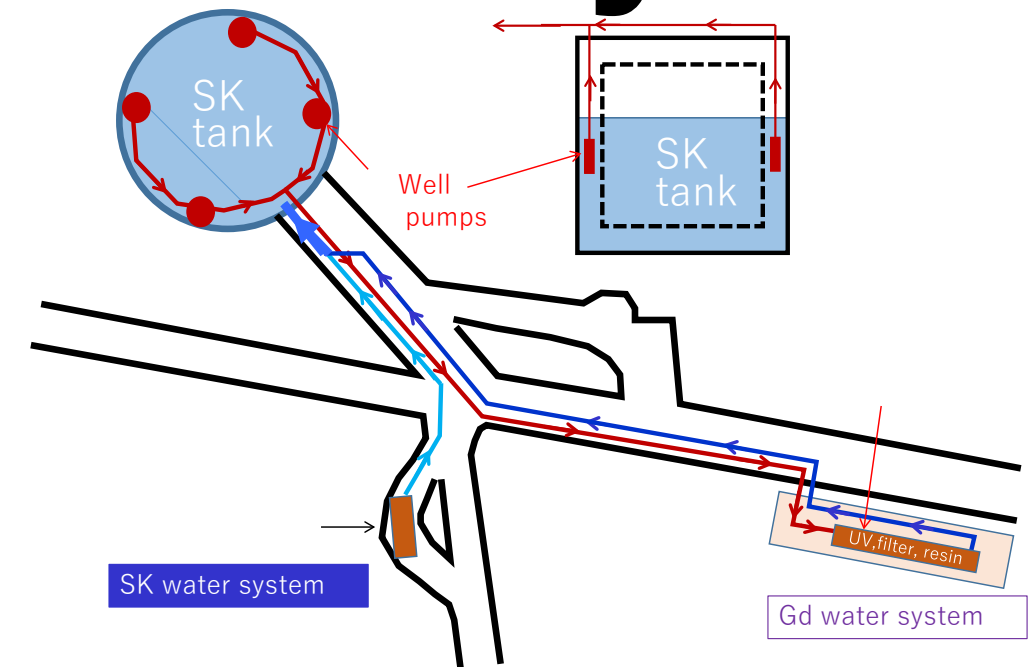
給水＋循環同時運転

- SK-Gd用に建設した循環装置を用い、給水中も循環純化を行った。
- SK-Gd用純化装置の初運転



Water transparency

- 観測再開直後に、タンク改修前と同等の水の透過率を達成

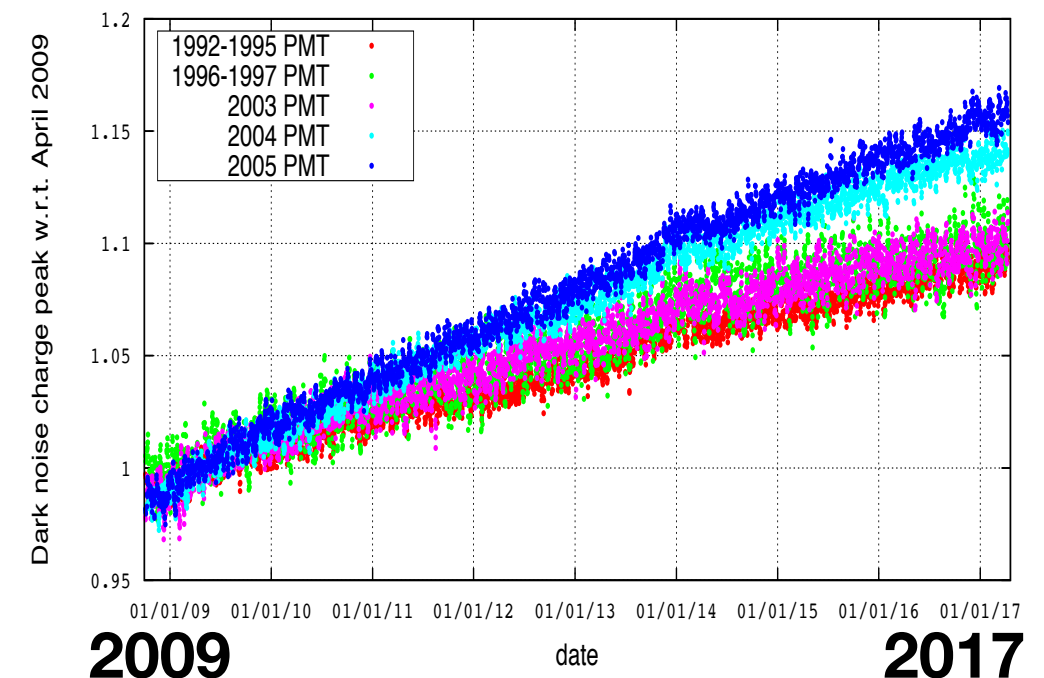


観測再開後のキャリブレーション

観測再開後のキャリブレーション

- 過去12年間で、内水槽のPMTのゲインがゆっくりと上昇していた。
- 上昇度合いがPMTの種類によって異なり、応答の非一様性を作り出していた。
- この機会に、全てのPMTのHVを再調整し、ゲインをSK-IIIと同等レベルに設定した。

Relative gain change since 2009

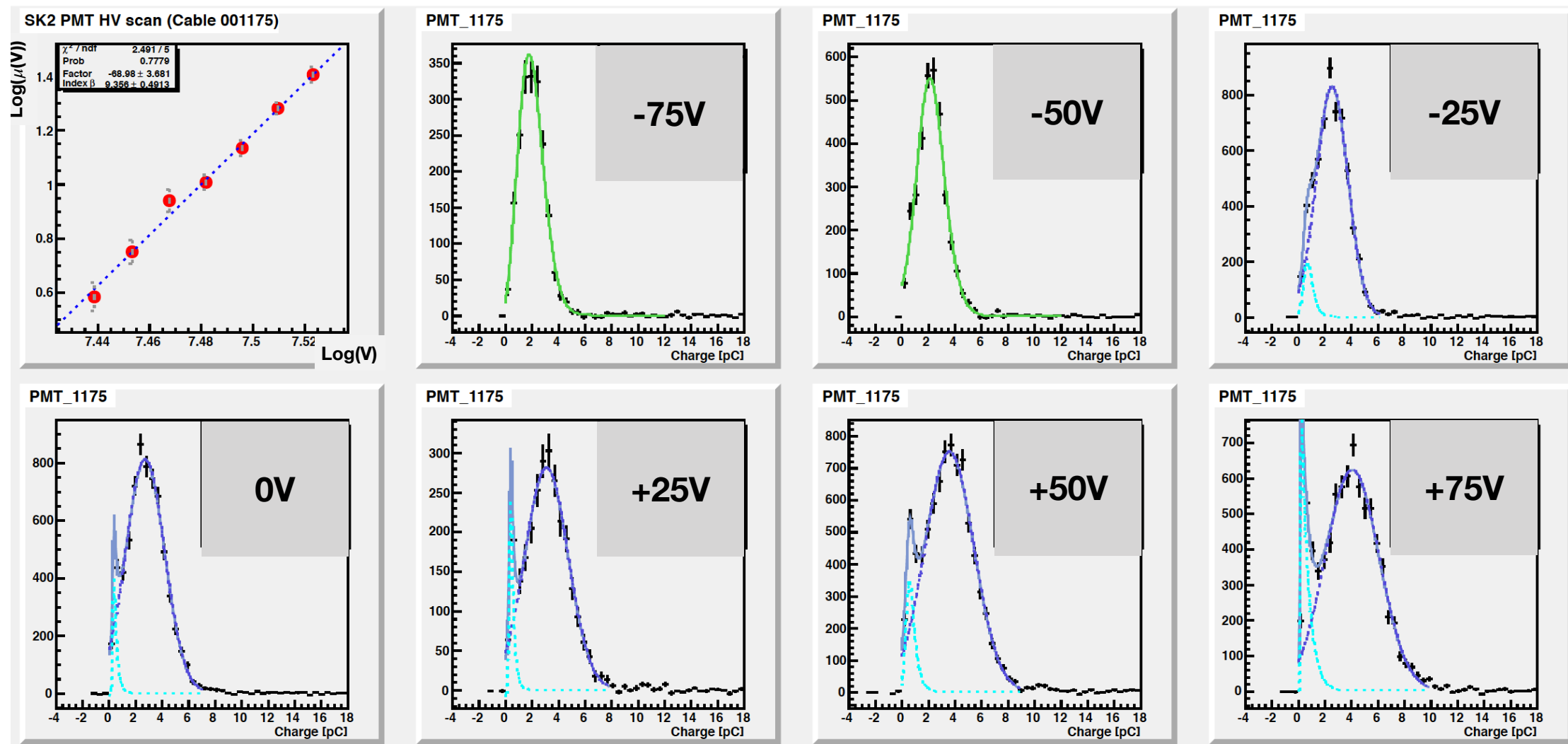


ゲイン調整

- HVを変えながら1peの分布を測定し、一本一本のPMTに対しgainとHVの相関を求めた
- この結果をもとに、目標とするgainに対応するHVの値を決定

SK PMTのHVとgainの測定結果の例：

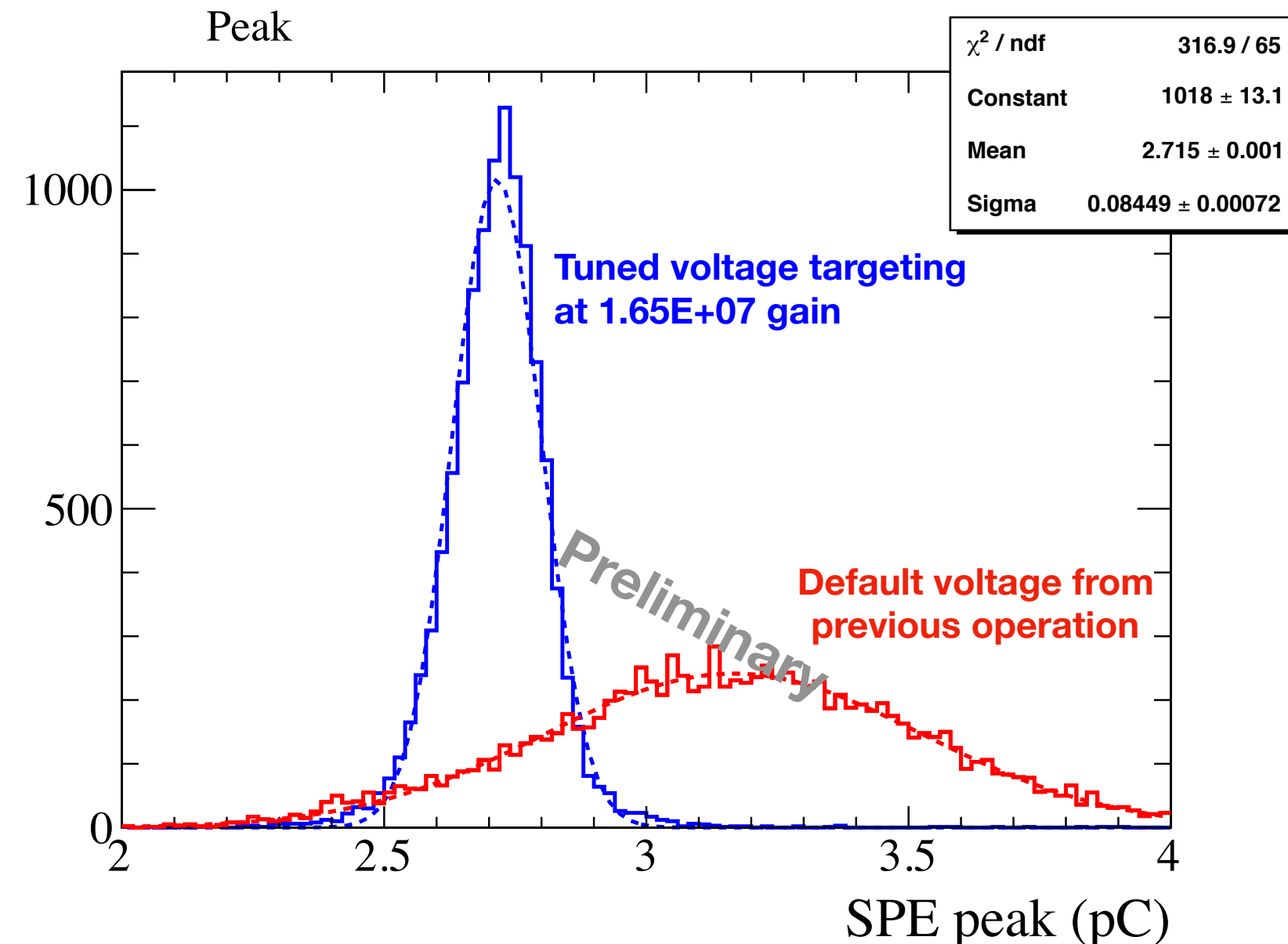
J. Xia 日本物理学会での講演より



[Top-left panel: HV-curve with $\log(\text{Voltage})$ on the x-axis and $\log(\text{SPE peak})$ on the y-axis.]

ゲイン調整結果

J. Xia 日本物理学会での講演より



- 新しいHVを印加することにより、gainの値をそろえることに成功
- このHVの設定での連続的なデータ取得を開始

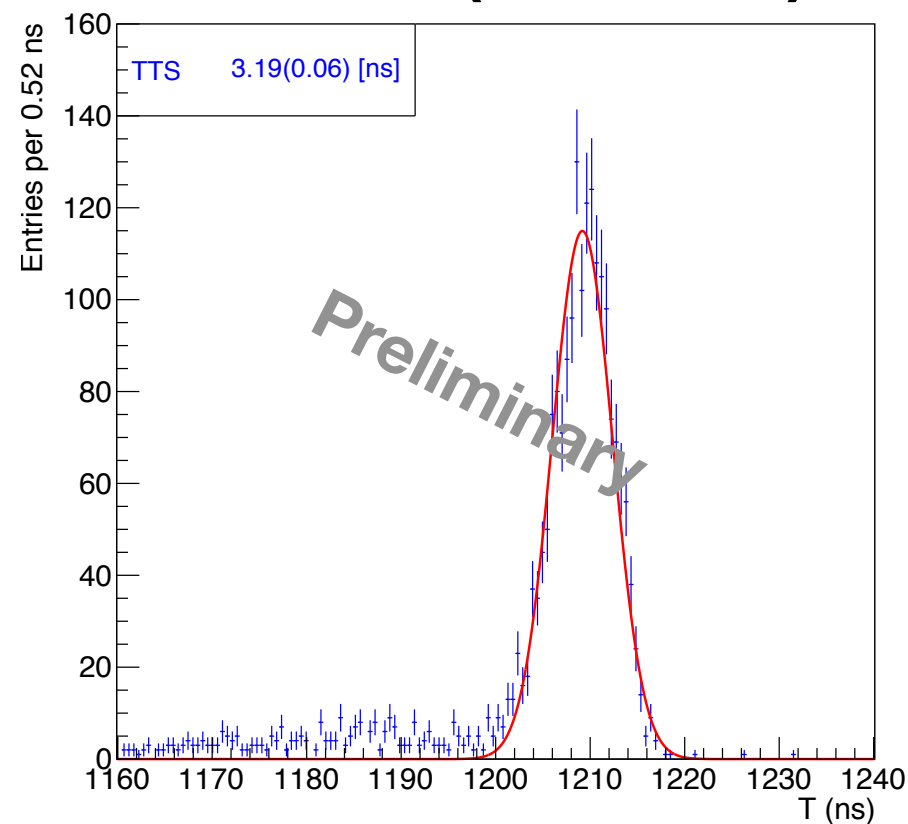
PMT時間応答の評価

- PMTの時間応答についても評価し、キャリブレーションを進めている。
- HK PMTはSK PMTに比べてTransit time spreadも改善していることを確認

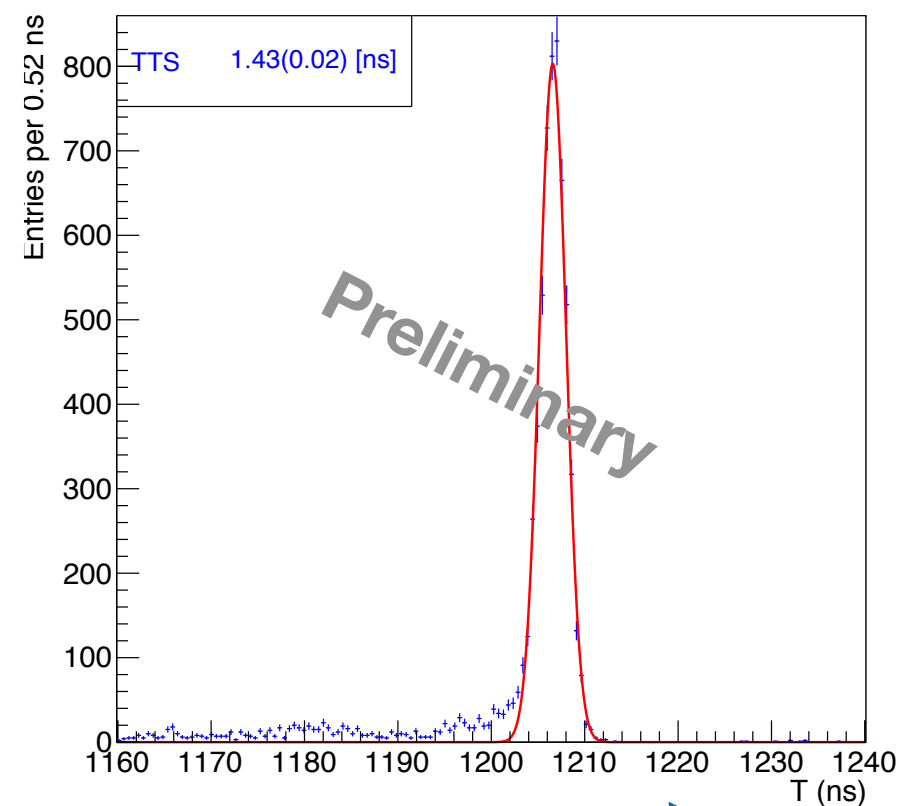
Transit time spread の評価結果：

J. Xia 日本物理学会での講演より

SK PMT (2026.69 V)



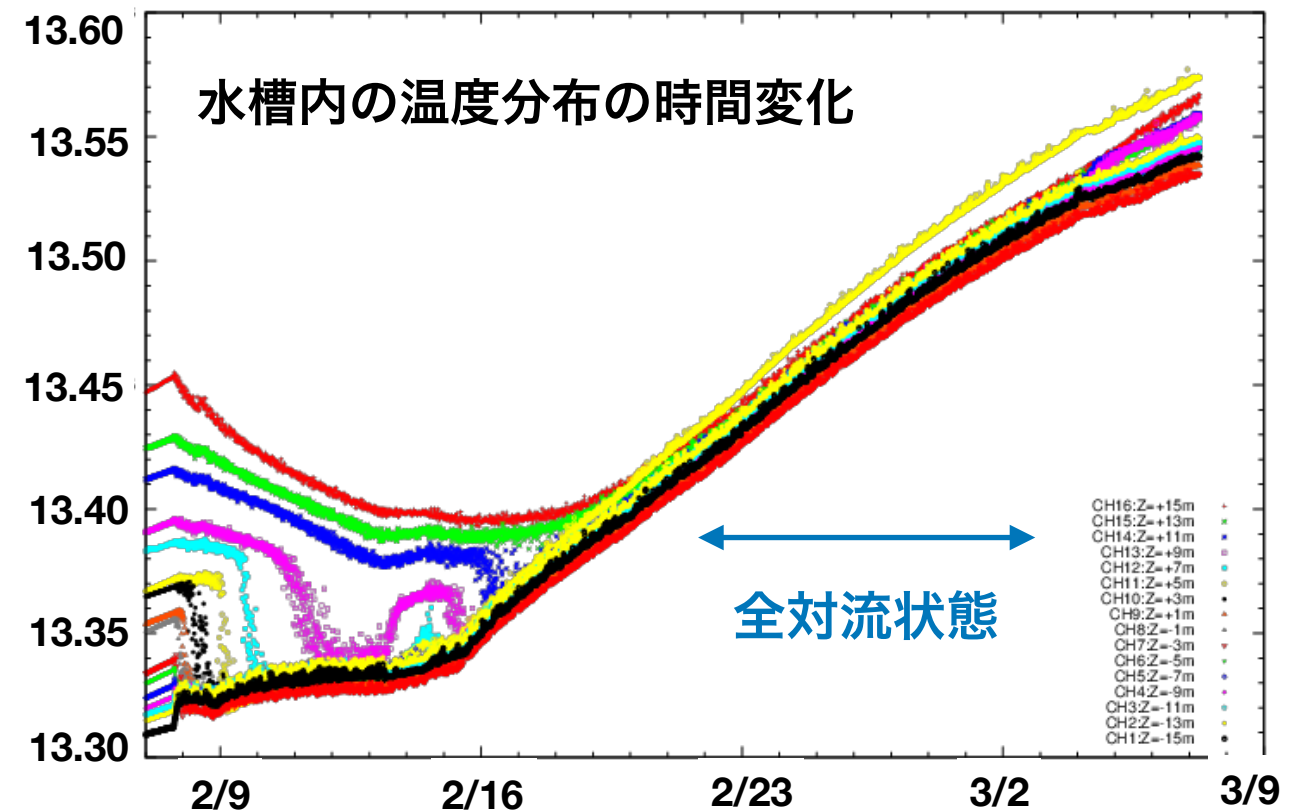
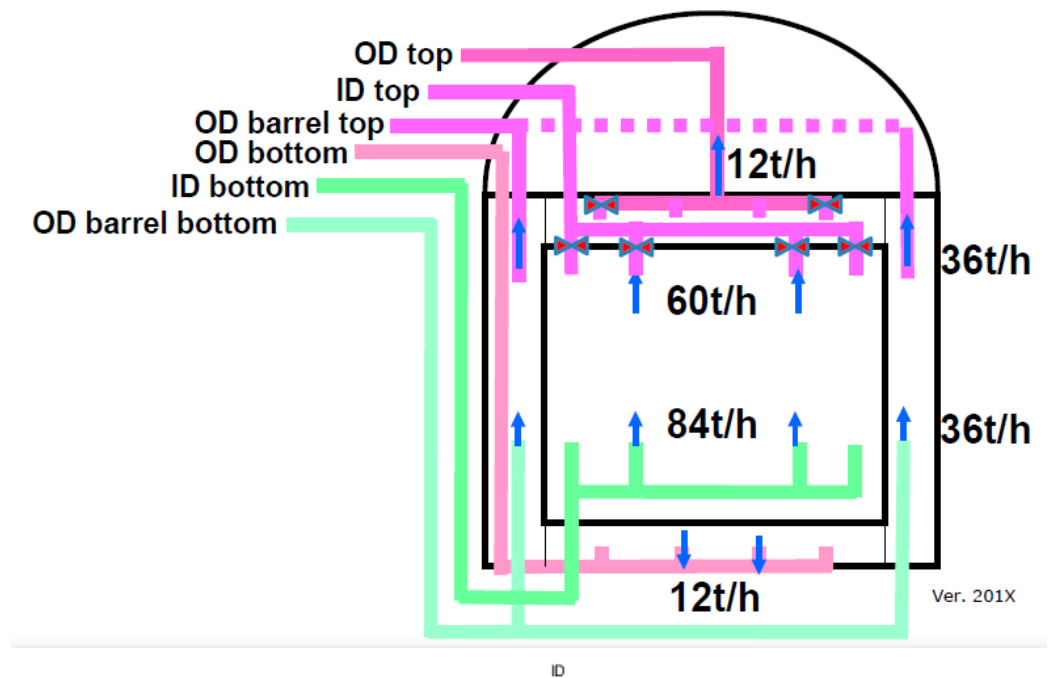
HK PMT (1941.14 V)



→
Earlier arrival

PMTの相対QEの測定

- SKは通常運転時は冷たい水を底部に送水し、下部から上部への層流を作り出し対流を抑制している
 - **メリット**：効率的な水循環・タンク上部でのラドン抑制
 - **デメリット**：水質の非一様性
- 意図的に温かい水を底部から送水することで対流を起こした
 - 温度と水中ラドンのイベントレートから、水がほぼ一様に混ざっていることを確認
 - 透過率も一様であると期待
- この状態で、キャリブレーションソースを用いたデータを取得し、PMT間毎のヒットレートを測定
- このデータを用い、相対QEの評価を進めている

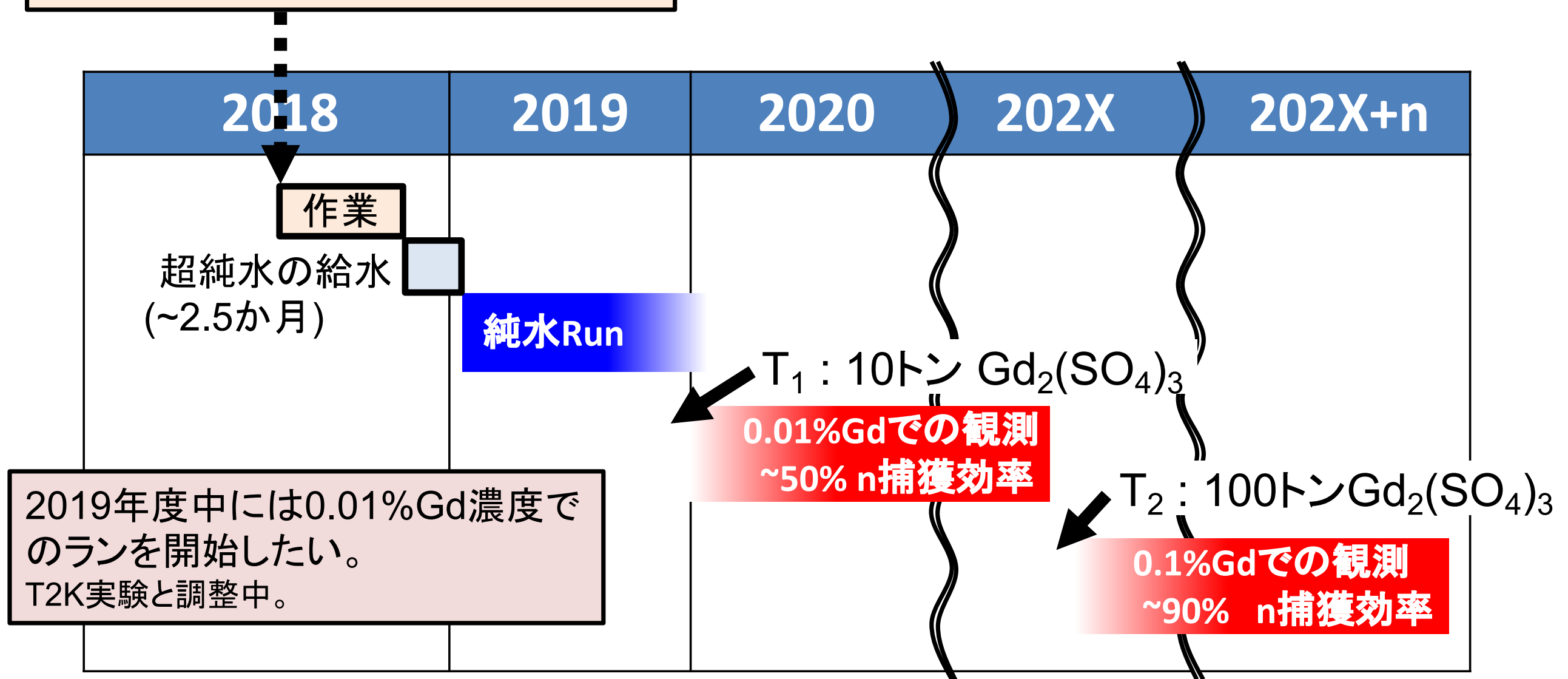


キャリブレーションのまとめ

- 観測再開後の測定器の状態を理解するため、2019年2月より様々なキャリブレーションを行ってきた
- HV調整による、PMT gainの一様化
- PMTの応答・エネルギー較正のための、キャリブレーションソースやレーザー光源を用いたデータ取得
- 意図的に対流を起こし、一様な水質でのキャリブレーションデータも取得
- 宇宙線ミュオン等を用いた、長期の安定性の測定も継続中

今後の計画

止水補強等のタンク内作業を行った。



まとめ

- スーパーカミオカンデはSK-Gdの準備のため、2018年5月から2019年1月にかけて、タンクの補修工事を行った
 - SKタンクの水密化
 - タンク内配管の改良
 - PMTの交換
- 補修工事後は有意な水漏れは観測されず、止水の目標は達成
- 観測再開後に取得したキャリブレーションデータにより、測定器の理解を進めている
- SK-Gdにむけた準備は順調に進行中
- 2019年度中の0.01%Gd濃度での観測開始を目指している