

記者会見・展示のご案内

一般社団法人新生福島先端技術振興機構

ALPS 処理水海洋放出用トリチウム連続計測装置の完成

日時：2022 年 11 月 8 日 午後 2 時より午後 4 時

場所：国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構（JAEA）

櫛葉遠隔技術開発センター（櫛葉町大字山田岡字中丸 1-22）

「福島廃炉産業ビジネス総合展」実演会場内

内容：一般社団法人新生福島先端技術振興機構は東京電力が令和 5 年度より計画している **ALPS 処理水の海洋放出に対して安心と安全を確保する**

☆全量の ALPS 汚染水の海洋放出基準 6 万 Bq/L のスクリーニング装置

☆海水で 1500Bq/L 以下に薄めて海洋に放出するための連続サンプリング測定装置

☆ALPS 処理水の海洋に放出後の 24 時間監視可能な海洋モニタリング装置

の**開発に成功**しました。当日は装置の実演に加えて、

- ・ 開発装置の説明
- ・ 東電の放流計画と開発装置の位置付け
- ・ 質疑回答 を行いました。

我々は、これをバネにして「Made in Fukushima」を掲げる弊社団のスローガンの下、福島県の復興と雇用創出に貢献できればと考えております。



トリチウム全量連続測定スクリーニング装置
トリチウム全量連続サンプリング測定装置



24 時間監視可能な海洋モニタリング装置

一般社団法人新生福島先端技術振興機構

一般社団法人新生福島先端技術振興機構は地域復興実用化開発等促進事業費補助金の交付を受け令和 2 年度より(株)テクノブリッジと共同で全く新しい仕組みの計測法を開発し、

福島第一原子力発電所の ALPS 処理水の海洋放出を可能にする
トリチウムの連続計測スクリーニング装置、
海洋放出可能な ALPS 処理水をさらに海水で薄めた 1500Bq/L を監視する
トリチウムの連続サンプリング測定装置、
および海洋に放出後の 24 時間監視可能な
トリチウムの海洋モニタリング装置

が完成しました。

福島原子力発電所内に溜まり続けている ALPS 処理水、政府と東京電力はこの処理水を令和 5 年度から海洋に放出する予定です。

ALPS 処理水には放射性物質のトリチウムが取り除け無いまま存在しています。即ち、ALPS 処理水は放射性汚染水です。

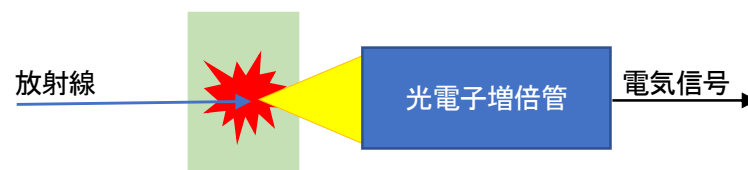
安心・安全の観点から我々は海洋放流に向けた基準を守るための計測が必要と主張します。このために、汚染水の海洋放出には ALPS 汚染水の全量検査が必要です。しかしながら、全量を計測するシステムは存在しませんでした。また必要な検出下限値を得るにはわずか 20 ml のサンプルしか計測出来ず、計測には数日の時間が必要でした。

我々は、これらの課題を解決するために新規な計測法を開発し、短時間で全量の ALPS 処理水を連続して計測する装置の開発に成功しました。

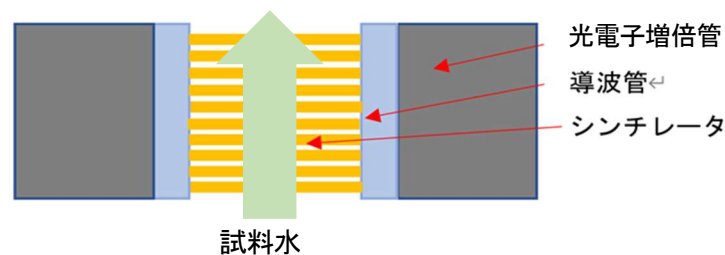


1. 計測の原理

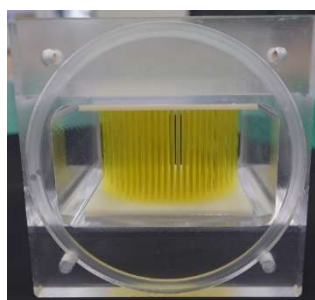
- ・放射線はシンチレータにより発光します。この光を電気信号に変換（光電子増倍管）します。
- ・電気信号はパルス状に成ります。入射する放射線の量はパルス数に比例し、入射放射線のエネルギーは光電子増倍管の出力波高値に比例します。



- ・放射線には、 α 線、 β 線、 γ 線がありますが、トリチウムは β 線で、そのエネルギーも非常に小さく数 keV 程度です。このためにトリチウムの信号はノイズに隠れてしまいます。このためにノイズと信号を分離する技術が必要です。この技術を同一事象同時検出法と呼ばれています。本開発では同一事象同時検出法を採用しています。（問答集〇参照）
- ・同一事象同時検出法では2個の検出器を用います。
- ・本開発で用いた検出器の構造を示します。



- ・トリチウム成分が含まれる試料水がシンチレータを通過すると、トリチウムから放出される β 線によりシンチレータは発光します。
- ・トリチウムにより発光した光は両方の光電子増倍管で検出されます。片方からの信号はノイズ成分です。この様に2個の検出器でトリチウムを検出する事により、トリチウム信号とノイズ信号を分離することが出来ます。
- ・シンチレータの構造を示します。(a)は試料水が流入する方向から見た写真で、(b)は光電子増倍管と接する側の写真です。

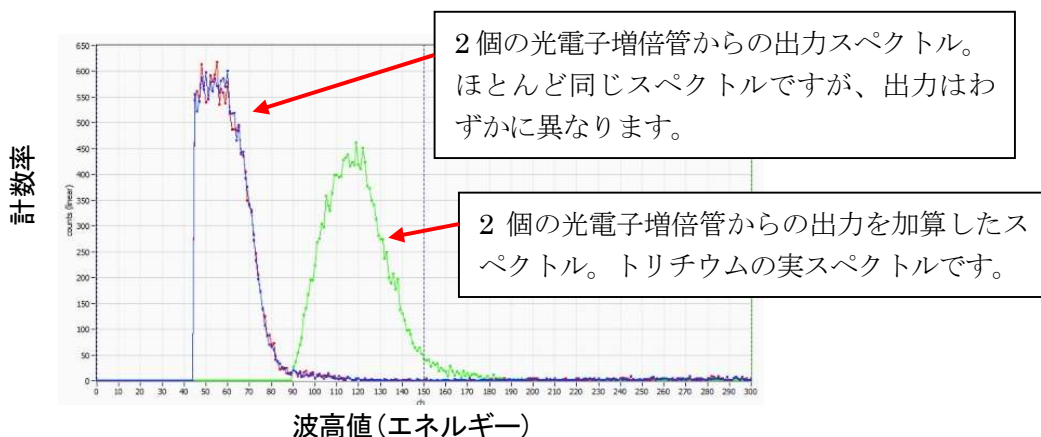


(a)



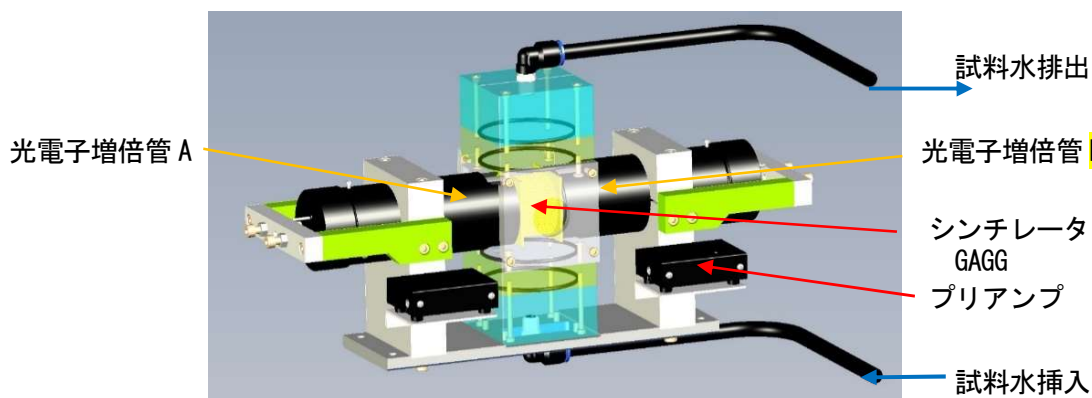
(b)

- ・トリチウムから得られる信号は2個の検出器からの同一事象同時検出された信号の加算されたものに成ります。下図にそのスペクトルを示します。



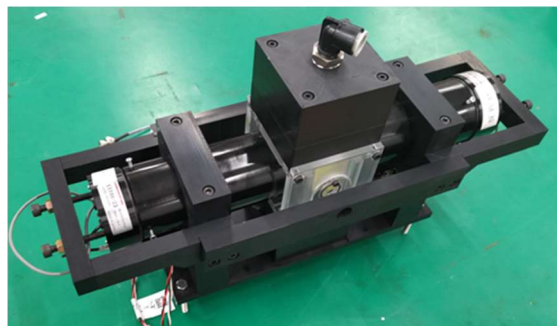
2. 検出器の構造

- ・検出器の構造を下図に示します。



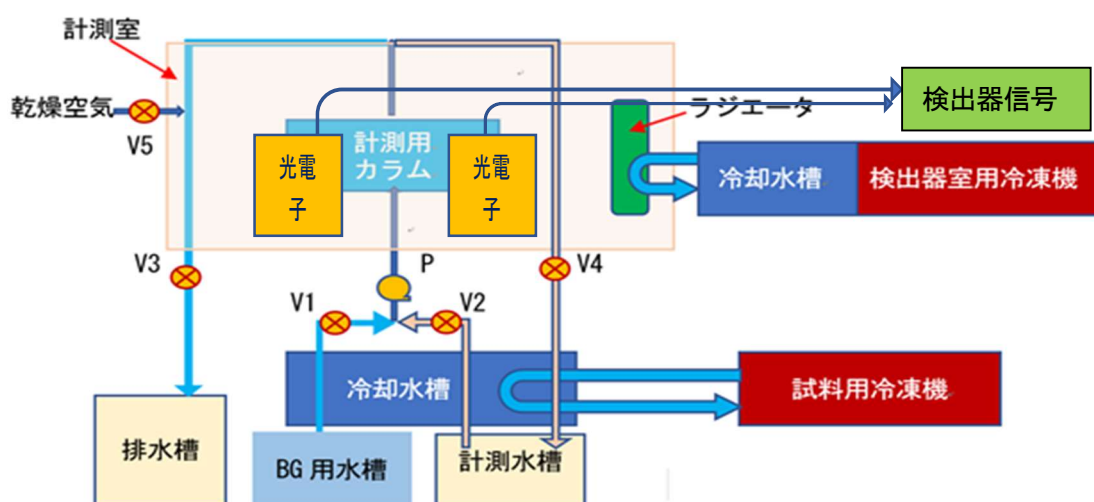
- i 試料水（ALPS 処理水）は検出器の下部から挿入されます。
- ii 挿入された試料水はシンチレータ内を通過します。
- iii このとき、試料内にトリチウムが存在すると、GAGG シンチレータにより発光します。
- iv その発光量はトリチウムの含有量に比例します。
- v トリチウムにより発光した光は光電子増倍管で電気信号に変換されます。
- vi 光電子増倍管 A と光電子増倍管 B が同時に信号を出すときはトリチウムによる信号です。
- vii 光電子増倍管 A 若しくは光電子増倍管 B からしか信号を出さなければそれはノイズです。
- viii この様にして信号とノイズを分離することが出来ます。これを同一事象同時検出法と言います。

・検出器の写真を示します。



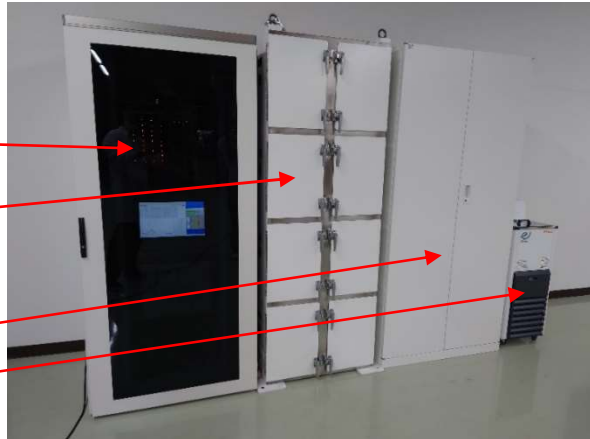
3. トリチウム連続計測装置

・トリチウムの検出器 1 台の部分の構造を示します。

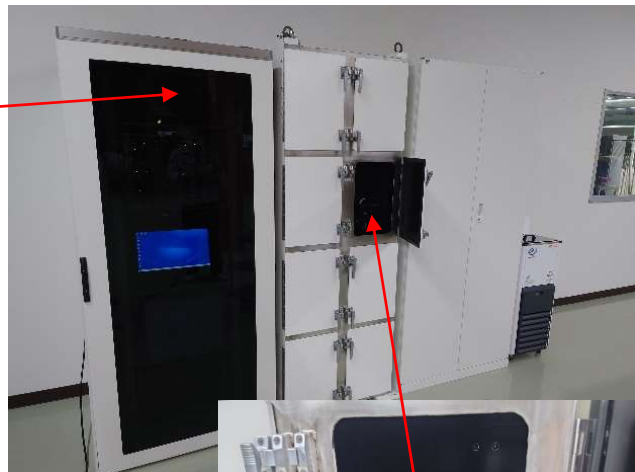


- i 計測室はトリチウムを検出する計測用カラム、光電子増倍管、検出器室内を冷却するラジエータで構成されます。
- ii 光電子増倍管は 2 個で構成され、出力信号は PC で処理され同一事象同時検出法としてデータ処理されます。
- iii 装置全容
装置は 8 個の検出器室から成ります。

制御機構
検出器室
8 系列の検出器で構成
試料液処理機構
冷凍機



制御機構
(内部の構造)

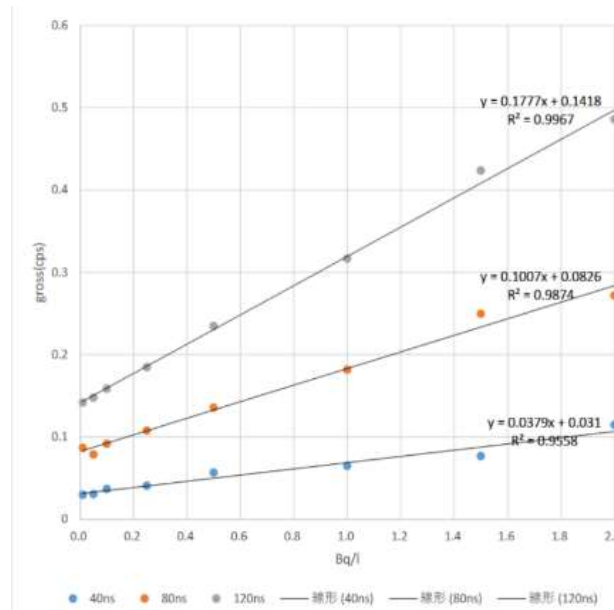


1 個の検出器部 (8 個で構成される)

4. トリチウム連続計測装置で得られた結果

- ① 1 ユニットの結果 (検出器 1 つから成る)

- ・トリチウム含有濃度 0.01MBq/L～2MBq/L の検量線の結果を下図に示します。



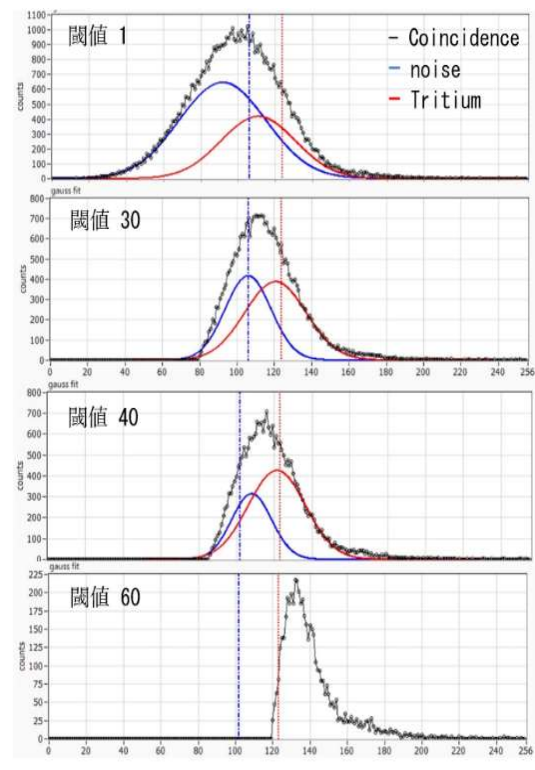
- ・同時事象判定時間（40ns, 80ns, 120ns）が増大すると ROI 強度も増大します。
- ・幅広い濃度に対して直線性が得られました。
- ・同時事象判定時間（40ns, 80ns, 120ns）が増大すると ROI 強度も増大します。

② 取得スペクトルの最適化

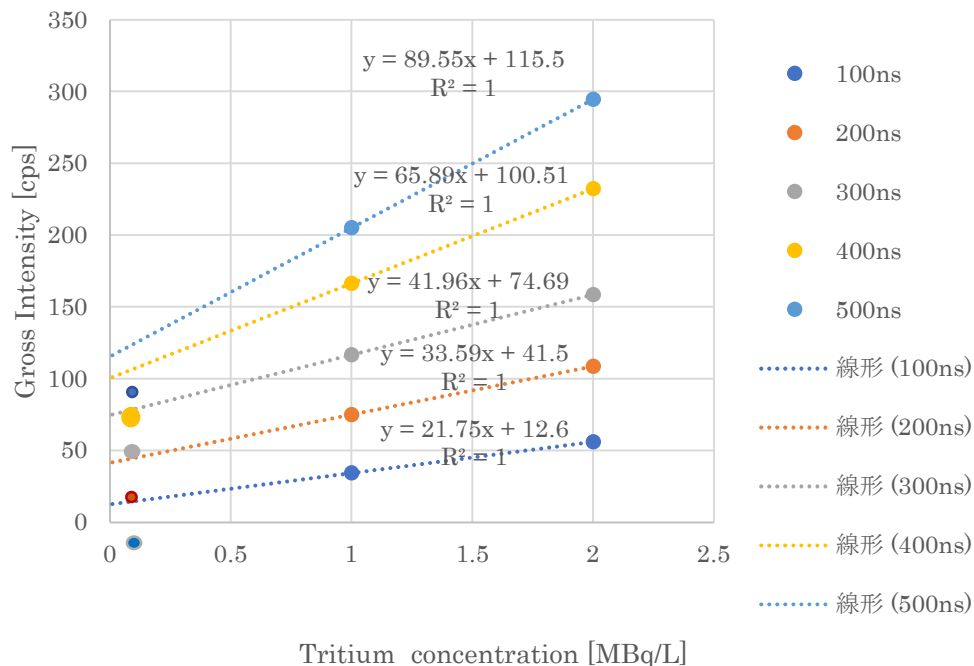
- ・同時事象検出による検出信号スペクトルはトリチウム由来信号とノイズ成分の合計であります。
- ・得られたスペクトルを Curve fitting (Gauss) 法により 2 つのスペクトルに分離させ、トリチウム 由来信号のみを取り出します。
- ・閾値の増加に伴いノイズ 減少は減少するが、閾値 60 を境にノイズはほぼ含みません。



トリチウム由来の信号のみ
取り出せました。



- ・BG, 1MBq/L、2MBq/L を用いた検量線を下図に示します。
- ・閾値などの最適化により積分強度が飛躍的に増大しました。



③検出下限値と必要計測時間

- ・同時事象判定時間を 400ns とした時の計測値から検出下限値を試算しました。

$$\text{機器換算係数 } K = H / (N_s - N_b) \cdot n$$

$$\text{LLD} = K \cdot 3 \sqrt{(N_b - N_b) / a \cdot t}$$

ここで、トリチウム濃度 H [Bq/L]=1MBq/L
 信号強度 N_s [cps]=123.9cps
 バックグラウンド N_b [cps]=65.9cps
 計測時間 t [sec]=100sec
 移動平均回数 a [times]=10 回
 検出器の並列系統数 n [series]=6 系列

1 台の機器換算係数 : 17, 218Bq/Lcps

計測時間 100sec とし、1 系列の各計測値を挿入すると、

$$\text{LLD} = 41, 915 \text{ Bq/L}$$

1 系列の移動平均 10 回を用いると

$$\text{LLD}_{10} = 10, 262 \text{ Bq/L}$$

6 系列の 1 回の場合

$$\text{LLD}_{10 \times 1} = 6, 986 \text{ Bq/L}$$

6 系列移動平均 10 回を用いると

$$\text{LLD}_{10 \times 6} = 2, 209 \text{ Bq/L}$$

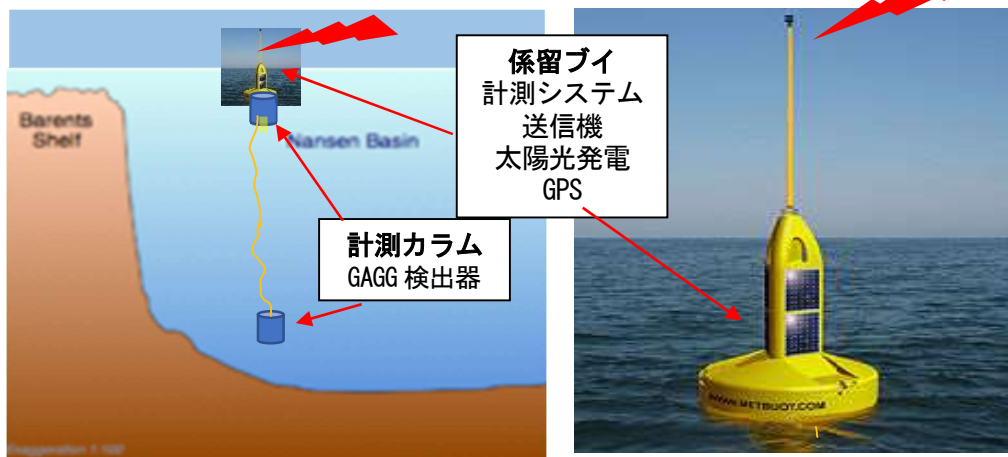
6 系列移動平均 10 回を用いて、検出下限 1Bq/L を得るための計測時間 : 488 秒

6 系列移動平均 10 回を用いて、検出下限 15, 000Bq/L を得るための計測時間 : 2. 2 秒

5. 海洋環境モニタリング装置

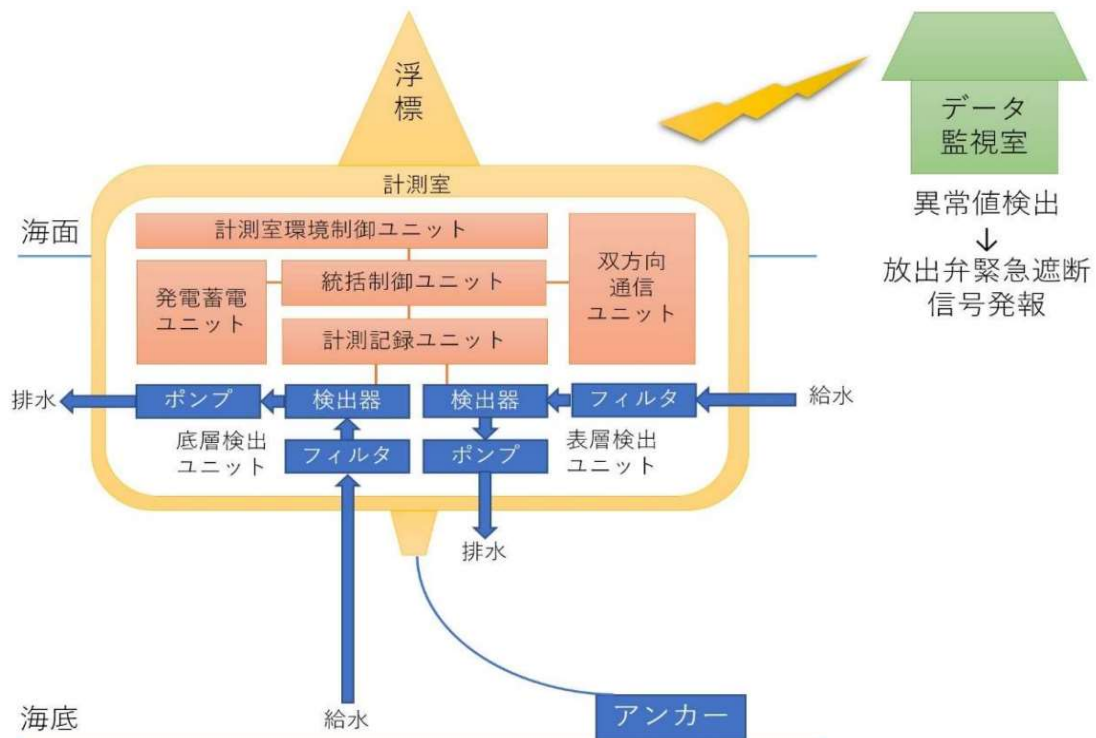
- ・ 海洋環境モニタリングの概要を下图に示します。
- ・ 24 時間連続計測を行い、計測結果は逐次電波で地上監視室に自動的に送られます。

計測結果は NTT 無線回線を経由で地上局に伝送
計測時刻：計測場所（GPS 情報）：トリチウム濃度

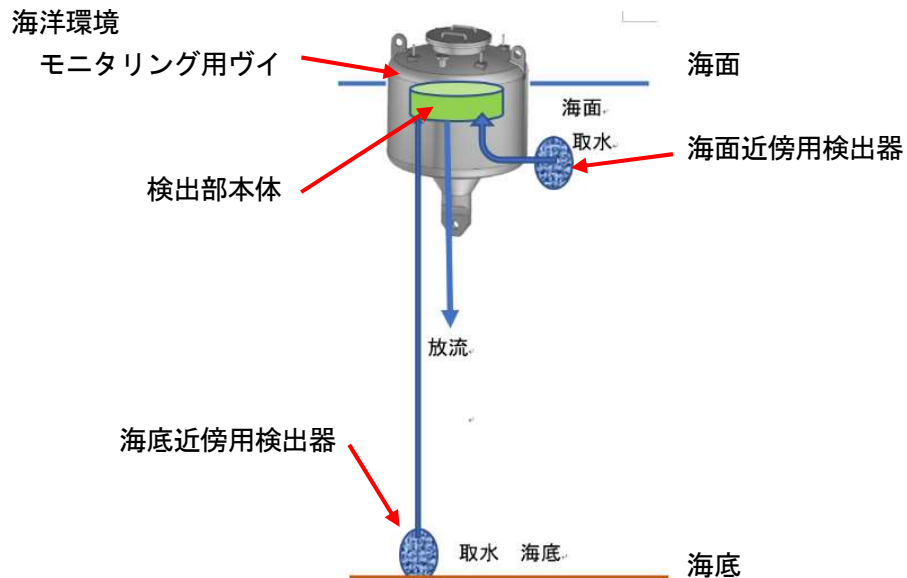


海洋環境モニタリングの概要

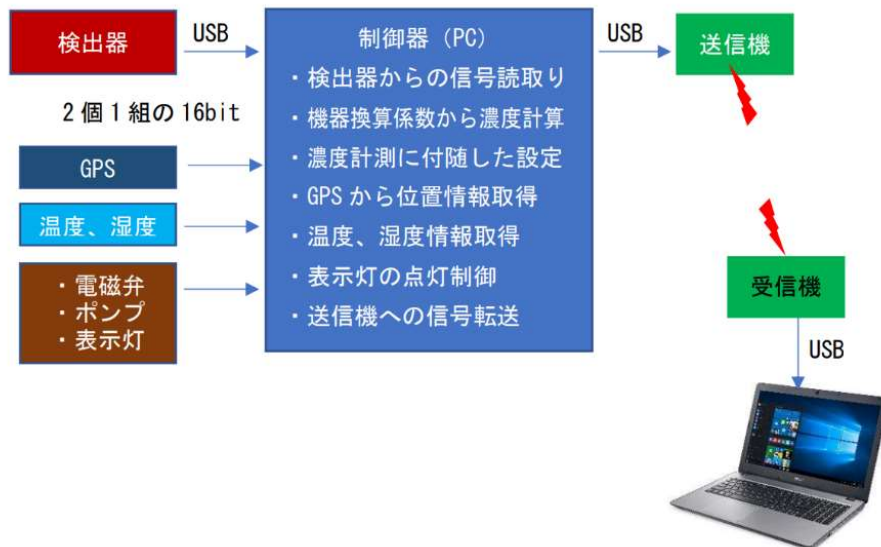
- ・ 海洋環境モニタリングブイの内部構造
- 海洋環境モニタリングブイは 2 個の検出部（海面近傍と海底近傍）、統括制御ユニット、計測記録ユニット、通信ユニット、発電ユニットで構成されます。



- ・海洋環境モニタリングは海面近傍と海底近傍の海水を連続で計測します。



- ・海洋環境モニタリング ヴィの機能



- ・計測結果は無線で逐次地上にあるデータ監視室に送られます。」
(海洋環境モニタリングヴィの外観)

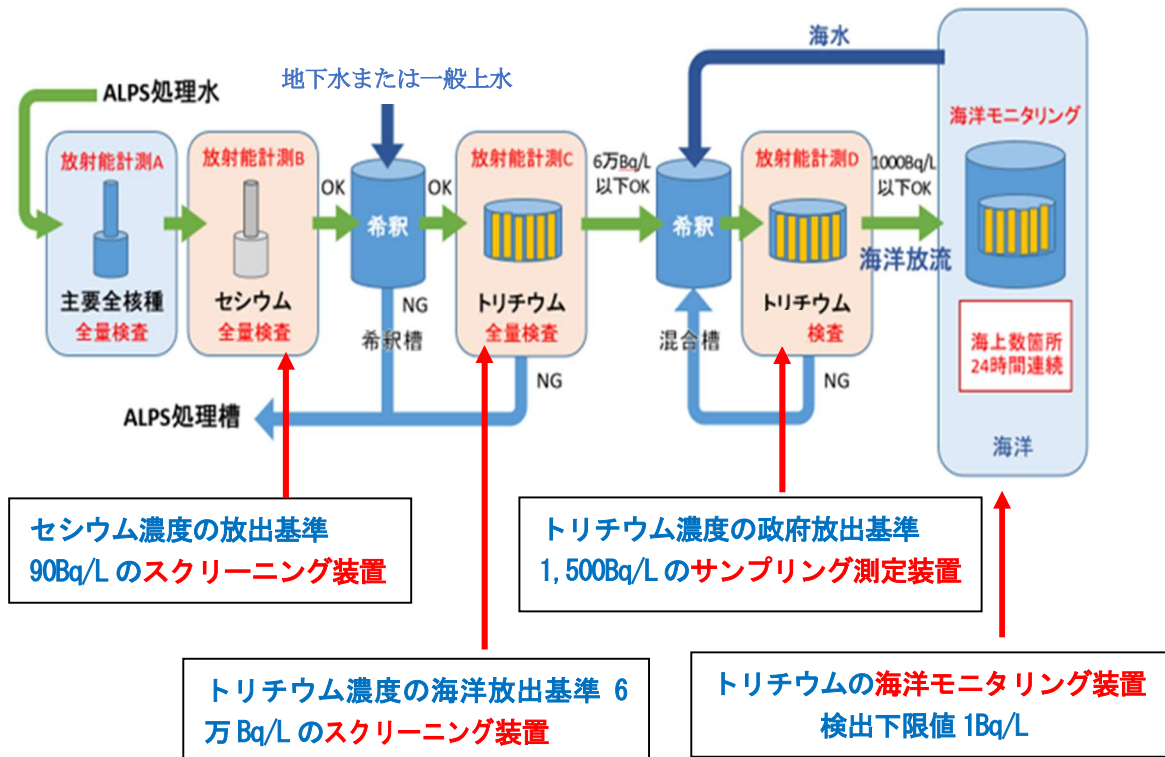


6. 東電の放流計画と開発装置の位置付け

- ALPS 処理水の海洋放出には次の点が求められます。

放流の絶対的条件

- ① 環境省「放射能濃度等測定方法ガイドライン」によりセシウム 90Bq/L 以下
 - ② 国際的に認知されたトリチウム水の海洋放流基準：6 万 Bq/L 以下
 - ③ 政府が取り決めた放流口でのトリチウム濃度：1500Bq/L 以下
 - ③ 福島第 1 原子力発電所保安規定で示された放出基準：22 兆 Bq /年以下
- 安全・安心を担保する観点から絶対的条件を守るための計測システムを我々は提案します。



- i 従来の放射能計測によるバッチ計測（放射能計測 A）で ALPS 処理水タンクごとに残留放射能濃度（トリチウムも含む）を計測し、放射能濃度の合算が告示比濃度 1 以下（トリチウムを除く）であるものを海洋放出の候補とします。
- ii 海洋放出の候補である処理水は環境省の環境基準を守るために海洋放出前に全量のセシウム濃度を連続で計測（放射能計測 B）し、放射性セシウム濃度が 90Bq/L 以下を放流の対象にします。（中間貯蔵施設などでは既に実施済みです。）
- iii 海洋放流の基準（6 万 Bq/L）を満たす様に地下水などで希釈し、全量のトリチウム濃度を連続で計測（放射能計測 C：スクリーニング装置）します。スクリーニング判定 3 万 Bq/L 以下であるものを放流対象とします。
- iv 海洋放流の基準を満たした処理水はさらに安全を確保するために海水などで希釈しトリチウム濃度を 1500Bq/L 以下にします。海洋放出の前に連続サンプリング装置（放射能計測 D）でトリチウム濃度が 1,000Bq/L 以下であることを確認します。放流中にトリチウム濃度が 1,000Bq/L を超えると、放流を遮断し安全を確保します。
- v 海洋に放流後は 24 時間監視で海洋中のトリチウム濃度を計測（海洋モニタリング装置）します。1Bq/L 以上の計測値では緊急に放流を遮断します。

参考資料

トリチウム計測 問答集

海洋放出に向けたトリチウムの計測について、皆様の疑問にお答えします。

- ① 巷ではトリチウムの海洋放出につき騒いでいますが、トリチウムが放す放射線はどのようなものですか？

福島第一原子力発電所には、110 万 m^3 （令和元年度）の汚染水が貯蔵されており（写真 1 参照）、今もなお増加しつつあります。これに対応するためにタンクの建設が進められていますが、もはや設置場所の限界にきています。この為に政府は貯蔵タンク内の汚染水の海洋放出が検討されています。この海洋放出の為に安全・安心の観点から厳密な排水中のトリチウム濃度の全量計測が求められます。

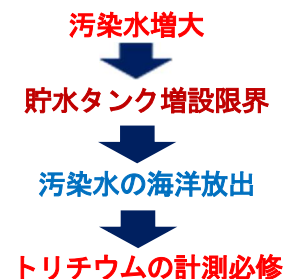


写真 1. 福島第一原子力発電所 汚染水タンク群

トリチウムが出す放射線は弱く、紙一枚で遮れると言われています。自然界でも宇宙からの放射線で日々トリチウムが作られていて、12.3 年で放射能は半分になります。今回政府が決めた海洋放出による処分では、海水で薄めてトリチウムの基準を満たす濃度にして放出することになりました。

国内外の原発や、使用済み核燃料の再処理工場からも、トリチウムは濃度や量を管理して出されており、震災前は全国の原発から毎年計 350 兆ベクレル前後が海に放出されていました。

国の放出基準は 1 リットルあたり 6 万ベクレル。この水を 70 歳になるまで毎日約 2 リットル飲み続けても、被曝（ひばく）は年間 1 ミリシーベルト以下におさまると言われています。日本で 1 年間に自然界から受ける放射線による被曝量と同等かそれ以下で、国際的に許容されるレベルにとどまります。

（出典：asahi.com）

② トリチウムって何？

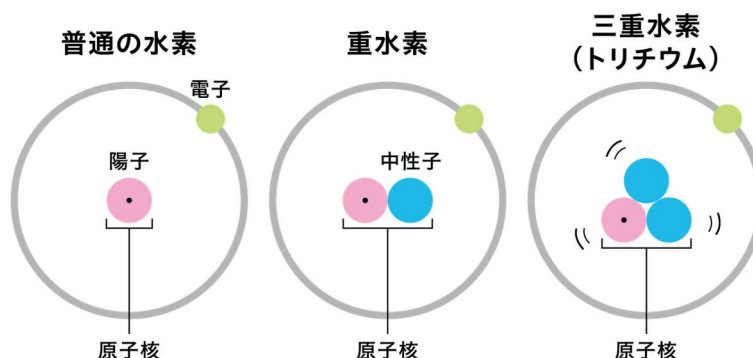
宇宙から飛んでくる宇宙線などによって自然界でも生成されるため、大気中の水蒸気や雨水、海水、それに水道水にも含まれ、私たちの体内にも微量のトリチウムが取り込まれています。



トリチウムは水素の仲間で、放射線を出します。

トリチウムは、「水素」の一種です。普通の水素との違いは、トリチウムの原子の構造が不安定なことです。トリチウムは、放射線を出して安定した原子（ヘリウム）に変化します。ヘリウムに変化してしまえば、それ以降は放射線を出すことはありません。

地球上には、原子力発電所などで人工的に生まれたトリチウム以外に、自然に発生した天然のトリチウムも存在しています。宇宙から常に降り注いでいる宇宙線（宇宙空間を飛び交う高いエネルギーの放射線）が大気に衝突し、天然のトリチウムが生まれます＝図3参照。トリチウムは普通の水素と同じように水として、水蒸気や雨水、海水、水道水、河川水の中に存在しています。わたしたちが毎日、口にしていく飲料水や食べ物にもトリチウムは含まれています。人間の体の中にもトリチウムが取り込まれているのです。



普通の水素との違いは「中性子」の数です

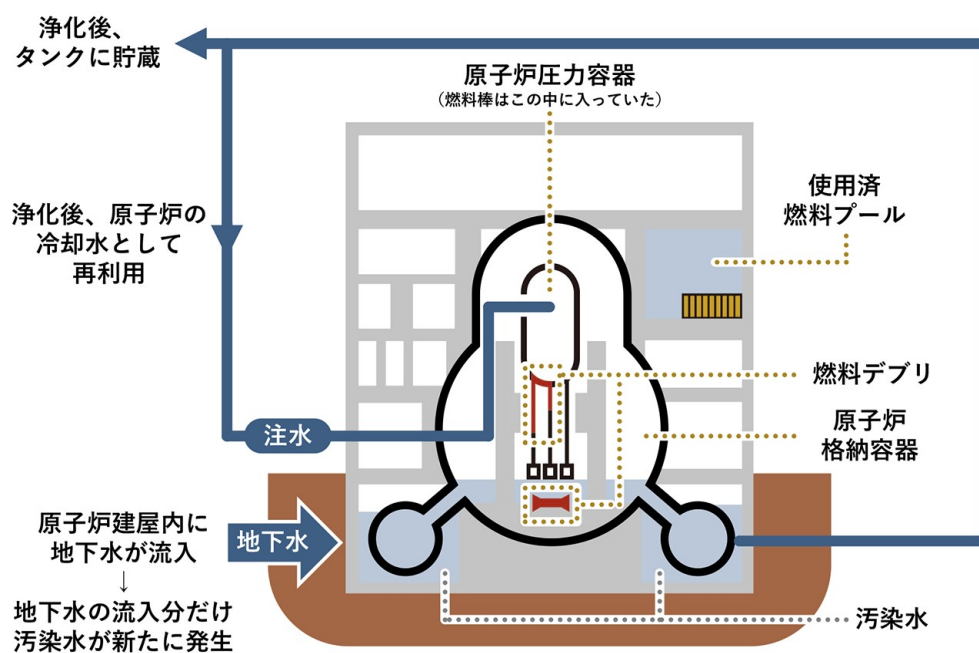
水素には、普通の水素、重水素、三重水素(トリチウム)の3つの種類があります。トリチウムは、原子の中心にある「原子核」の中に、普通の水素とは異なり、「中性子」があるため、不安定な状態になっています。

放射性物質が放射線を出す能力は時間とともに減っていきます。半分になるまでにかかる時間を「半減期」といいます。半減期の長さは放射性物質の種類によって異なり、トリチウムの半減期は12.3年です。

(出典 www.denkishimbun.com/tritium_qa/a2.html)

③ 福島原発のどこからトリチウムは出るのですか？

原子力発電所では通常、運転に伴い発生した放射性物質のほとんどが原子炉圧力容器内の燃料棒の中に閉じ込められています。しかし、福島第一原子力発電所では事故により燃料棒が溶融し、原子炉圧力容器およびその外側にある原子炉格納容器内で発生した「燃料デブリ」（事故で溶け落ちた核燃料と、その周囲にあった金属製の構造物などが混ざり合ったもの）に含まれる放射性物質（セシウム、ストロンチウム、トリチウムなど）が燃料デブリの冷却水と触れ、「汚染水」となりました。さらに、その汚染水が原子炉格納容器の中だけでなく原子炉建屋内やタービン建屋内などにも広がりました。現在もなお、原子炉建屋内には地下水が日々流れ込んでおり、汚染水は流入した地下水の量だけ新たに発生しています。

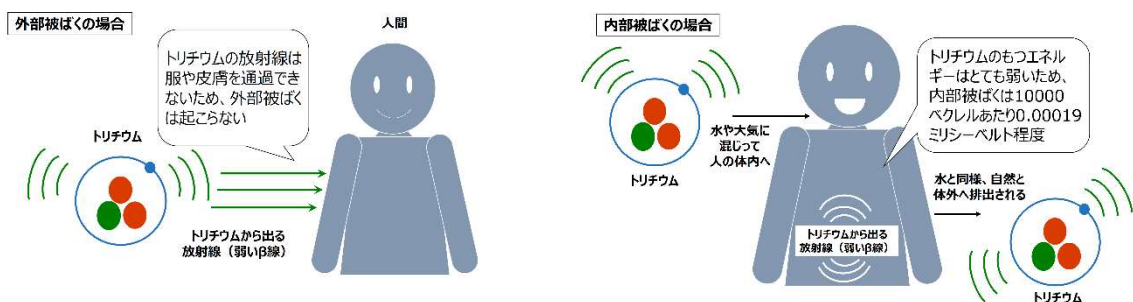


福島第一原子力発電所における原子炉建屋内の汚染水の状況

(出典 : mri.co.jp)

④ トリチウムは危険な放射線ですか？

トリチウムから出る放射線はベータ線です。トリチウムからのベータ線はエネルギーが小さいので物体を通り抜ける力（透過力）が弱く、人間の皮膚を通り抜けることができません。水や食べ物として莫大な量のトリチウムが体内に取り込まれた場合には、健康に影響が出る可能性があります。しかし、人工的なトリチウムを環境中にさせる量は制限されており、普通に暮らして、健康を心配するような量のトリチウムを体内に取り込む機会はありません。原子力・放射線施設については、国などによる厳しい排出基準が定められており、周辺の住民の方々にトリチウムによる健康影響が出たことはありません。体内に取り込まれたトリチウムの動きは、普通の水素と変わりません。特別な動きをしたり、特別に濃縮されたりすることではなく、身体に備わっている代謝の働きによって体外に排出されます。



（出典：denkishimbun.com）

⑤ トリチウム自体には健康上の影響はなくても、トリチウムが有機結合してもっと危険な物質になることはないのですか？

炭素や水素などでつくられた化合物「有機物」において、水素原子がトリチウムと置き換えられる（有機結合）場合があります。このような物質を「有機結合型トリチウム（OBT）」といいます。体内に取り込まれたOBTの多くは40日程度で体外に排出され、一部は排出されるまで1年程度かかります。

確かに、OBTの健康影響をトリチウム水と比較すると2～5倍程度となりますが、前述したように、もともとトリチウム水の健康影響は1ベクレルあたり0.000000019で、2～5倍になったとしても、ほかの放射性物質とくらべて特別に健康影響が大きいとはいえません。セシウムから受ける健康影響と比較してみると、約300分の1になります。

（出典：経済産業省資源エネルギー庁 HP）

⑥ トリチウムの安全な量はいくらですか？

放射能で安全な量はありません。しかし有る値以下であれば国際的に安全と言われる数値はあります。トリチウム 1500Bq/L という基準値は、原発由来の追加被ばくを年間 1mSv 以下に抑えるためにリスクベース（他の核種も含めて考慮し国際基準の 1/40 にしました。）で導出された数字です。国内法、および国際社会での公共海域などへの放流基準値は 6 万 Bq/L です。これは「放出口における濃度の水を、生まれてから 70 歳になるまで毎日約 2 リットル飲み続けた場合に、平均の線量率が 1 年あたり 1 ミリシーベルトに達する濃度」になります。

トリチウムは水素の放射性物質で、極めて弱いエネルギーの放射線（ベータ線）を放出します。海水中に水として存在することから、人体や魚介類等の生物に摂取されても速やかに排出され、蓄積しないとされています。トリチウムには自然由来のものもあり、飲料水にも微量に含まれています。

WHO の飲料水水質ガイドライン（第 4 版）では、飲料水に含まれるトリチウムの指標（ガイダンスレベル）は 10Bq/L です。

トリチウムの生体に与える影響は、食品中の放射性物質の基準として設定されている放射性セシウムより極めて小さく約 1000 分の 1 となります。仮に、10Bq/L のトリチウムを含む飲料水を 1L 飲んだ場合に受ける放射線量は 0.00018mSv となります。（※）

加えて、これまで東京電力福島第一原子力発電所周辺海域で行われている海水の測定結果を見る限り、市場に流通している水産物について、トリチウムの影響を懸念する必要はありません。

海洋放出に対して厳密な放射能計測、特に**放流前のセシウム、トリチウムの濃度を計測し、その濃度が基以下であれば安全と考えられます。大事なことは連続で放流対象試料の全てを計測すること事**が重要です。

（※）トリチウムの生体に与える影響を算出する場合に用いる実効線量係数を用いて算出

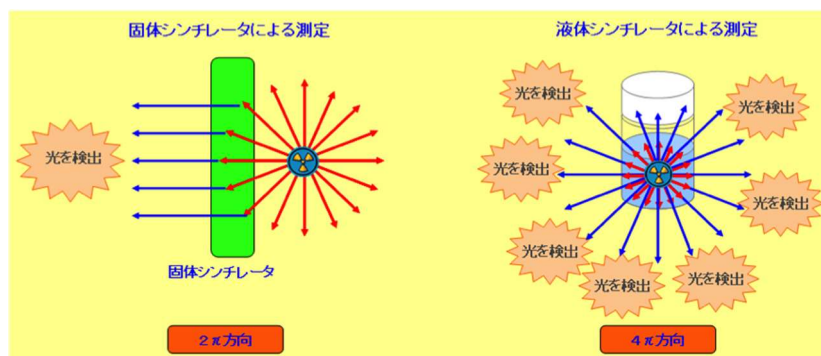
放射性物質		1 ベクレル当たりの線量 (実効線量係数:mSv/Bq)
トリチウム		0.000000018
放射性セシウム	セシウム 134	0.000019
	セシウム 137	0.000013

ICRP(国際放射線防護委員会) Publication 72、成人例

(出典: www.fsgyoren.jf-net.ne.jp/sono/buhin/H3bunseki.pdf)

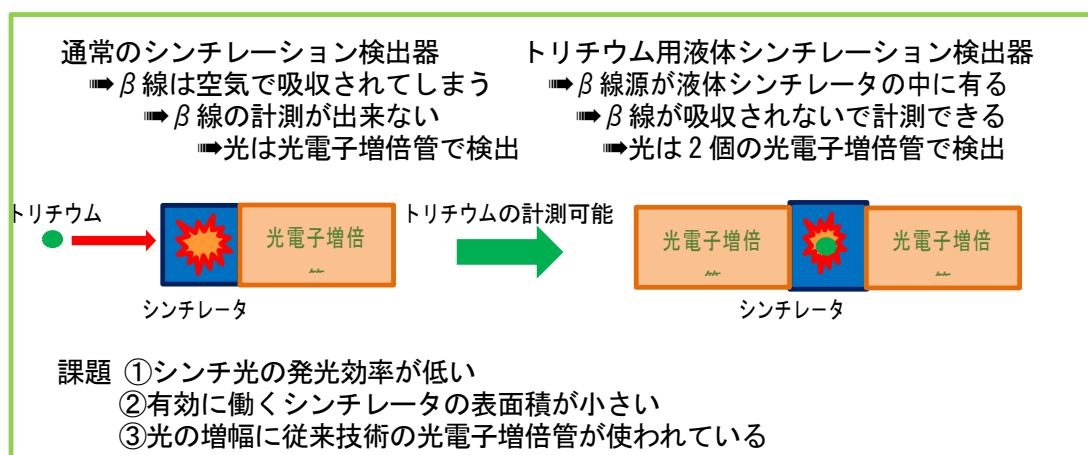
⑦ トリチウムは通常どのようにして測定しますか？

低エネルギーの β 線（ ^3H や ^{14}C 等）はNaI（TI）シンチレータ等の固体のシンチレータでは効率良く測定はできません。これらを測定する際には液体シンチレータを使用すると高い効率で測定ができます。対象とするサンプルは液体で、液体のシンチレータを直接混ぜ合わせ、そこから発生するシンチレーション光を測定します。混ぜ合わせた試料は専用の小型のビン（バイアル）に入っており、そこから出るシンチレーション光を、光電子増倍管にて測定します。液体シンチレータは放射性物質の周囲を包囲しているため、 4π 方向（試料の全方向）からの放射線を測定することができる。これにより、直接放射性物質の濃度測定が可能となります。



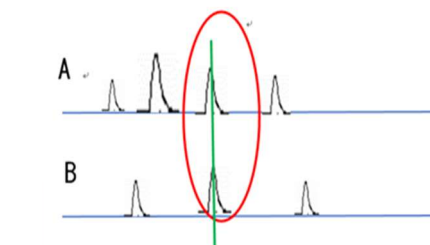
放射性物質の濃度測定イメージ

（出典：<https://www.jemima.>）



一般的には液体シンチレータ検出器では試料中のトリチウムから発するベータ線がシンチレータと反応して、光を発します。光はあらゆる方向に発しますが、これを2カ所の検出器で受けます。

トリチウムの信号はノイズと分離するのが難しいほど小さいために、ノイズは2つの検出器に同時に信号は現れにくいですが、トリチウムの信号は同時に2つの検出器で受け取りますので、同時に受けた信号はトリチウムに由来すると判断できます。



信号Aと信号Bが一致したとき信号が有効となる



信号Aと信号Bが一致した時、2つの信号のデジタル量を加算する。

（パルス高のデジタル化）。

⑧ トリチウムの測定はなぜ難しいのですか？

トリチウムは、最大エネルギー18keVの低エネルギー β 線放出核種であり、この β 線の物質透過力が極めて弱いため、測定試料を放射線検出器の外側に置く方法ではほとんど検出できません。試料を検出器の内部に入れて測定する代表的な方法としては、試料を気体状にし、電離箱や比例計数管内で測定する方法と、液体シンチレータに溶かし込んで測定する液体シンチレーション法があります。前者は主に室内モニタや排気中トリチウム濃度測定などに使用されています。環境試料中トリチウムの濃度測定には後者が広く用いられています。

放射能濃度の低い環境試料の測定では、試料水量を多くするとともに、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタを使用する必要があります。このような方法で、現在では水の形のトリチウムが1Bq/リットル程度まで検出できます。さらに、より低い濃度のトリチウムを測定したい場合は、電解濃縮により、トリチウム濃度を高めた上で測定することも可能である。環境試料中トリチウム濃度の標準的測定法は科学技術庁の「トリチウム分析法」に記述されています。

液体シンチレータは蛍光効率が低いので、低エネルギーのトリチウム β 線などを測定する場合には、光電子増倍管の光電面から放出される熱電子がバックグラウンド計数の最大の原因となります。これを除去するため、試料（シンチレータ）をはさんで2本の光電子増倍管を対向させ、2つの出力を同時計数することによって、熱雑音（ノイズ）を除去させます。さらに、宇宙線など外部からの高エネルギー放射線による計数を除去するため、厚い遮蔽を設けたり、もう一台の検出器を設けて反同時計数することによりバックグラウンドを低下させる形式のカウンタも有ります。

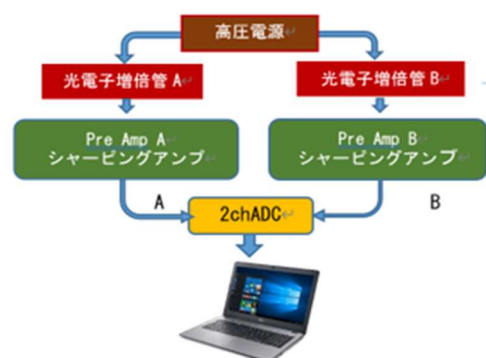
（出典：atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_09-04-03-25.html）

トリチウムの測定が難しいのは次の4点で有ります。

- ・トリチウムから放出される放射線は β 線であり、そのエネルギーは最大12keV、平均6keVと極端に低いために、殆どの物質は透過しません。トリチウムから放出される β 線の飛程は 10μ 程度であり、薄い紙でさえ通過できません。このためにトリチウム水の中に直接液体状のシンチレータを入れて直接シンチレータとトリチウムを含む試料が接触するようにします。これが液体シンチレータ検出器です。
- ・ノイズとトリチウムから放出される β 線のエネルギーが同じ程度であり、それぞれの信号を分離することが出来ません。このために検出器を2個以上設置し、2個以上の検出器が同時に信号を受けた時を信号とし、一方の検出器からの信号はノイズと考えます。

（同一事象同時検出法と言います）

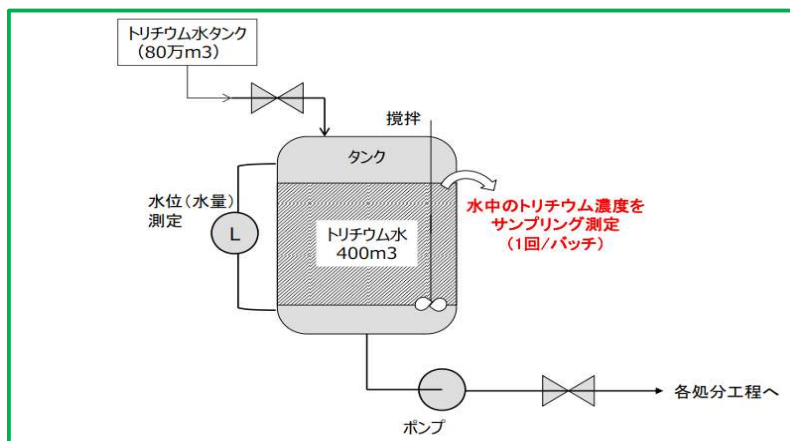
- ・シンチレータの蓄光により、試料交換時などに光が少しでもシンチレータに当たると急激に雑音成分が増大し、ノイズとの分離が出来ません。復活には10時間程度の暗所保管が求められます。
- ・シンチレータの自己発光は温度にも影響を受け、通常 0°C まで冷やす必要があります。
- ・トリチウムの飛程が 10μ 程度であるために、GAGGシンチレータの表面が非常に敏感です。このために常にシンチレータの表面の洗浄が必要です。



信号 A と信号 B が一致した時、2つの信号のデジタル量を加算する

⑨ 現在の福島原発ではどのようにしてトリチウムを計測していますか？

放射性トリチウムの一般的な汚染水の放射能計測の方法を示します。1 回若しくは数回の計測で全体を評価するバッチ法で、全量を計測していません。トリチウムは約 18.6keV のベータ線を放出します。低エネルギーのベータ線であるために試料内で容易に吸収されてしまい、試料からのベータ線が検出器に到達しない。これがトリチウムの計測を困難にしている。トリチウム専用の簡便な計測法が無く、一般的には液体シンチレータ検出器が用いられ、1 回約 20 ml程度 of サンプル測定しかできません。



タンク内のトリチウムの濃度測定法



福島原発内のタンクのトリチウム分析の流れ

試料採取されたトリチウム含有試料（約 20 mm g）は、妨害物質を除去するための前処理がされます。次に放射線が当たると微弱な光を発する液体のシンチレータを測定対象物に添加し、シンチレータからの光量を測定することにより、トリチウム放射能を評価しています。通常 12 時間程度暗所に保管したのち計測します。

- ※1 （前処理）測定対象の液体にトリチウム以外の放射線を発する物質や光を吸収してしまう物質が存在すると誤差要因となるため、これらの妨害物質を除去するため、前処理として蒸留を行っています。
- ※2 （静置）シンチレータ添加直後は、放射線による光とは別に化学ルミネッセンス（蛍光）と呼ばれる化学反応による微弱な光が発生し、時間経過とともに指数関数的に減少することが知られています。この光は放射能測定の際に誤差となるので、この影響が十分になくなる 12 時間程度静置してから放射能計測を実施しています。トリチウム濃度（100Bq/L）以上であれば静置時間は 2 時間程度に短縮できます。

（出典 <https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2016/>。）

⑩ トリチウムは液体シンチレータ検出器以外では計測できないのでしょうか？

一般的には液体シンチレータ検出器で計測します。液体シンチレータの中に試料水を入れて、試料中のトリチウムから発するベータ線がシンチレータと反応して、光を発します。光はあらゆる方向に発しますが、これを2カ所の検出器で受けます。トリチウムの信号はノイズと分離するのが難しいほど小さいために、ノイズは2つの検出器に同時に信号は現れにくいですが、トリチウムの信号は同時に2つの検出器で受けますので、同時に受けた信号はトリチウムに由来すると判断できます。

分析手法	細管個体シンチレータ による同時事象検出法 新開発技術	液体シンチレータ による同時事象検出法 従来方法	電解濃縮法 (試料の濃縮) 従来方法	He-3成長法 (壊変後の利用) 従来方法
原理	同時事象検出 ・細管形状の個体シンチレータを用いた計測法 ・但し、2個の検出器を用いた同時事象検出法	同時事象検出 ・液体シンチレータと試料水を混ぜて計測する ・但し、2～3個の検出器を用いた同時事象検出法	トリチウムの濃縮 ・水の電気分解における同位体効果を用いてトリチウムを濃縮 ・液体シンチレータ法で計測	壊変後のHe-3を計測 ・トリチウムが壊変して生成するHe-3を分析し、元のトリチウム濃度を得る
前処理	必要なし	必要	電解濃縮法によるトリチウムの濃縮	トリチウムの壊変待ち
測定方法	GAGGシンチレータ検出器	液体シンチレータ検出器	液体シンチレーションカウンタ	質量分析
分析時間	100秒でも可能	通常12時間程度	1～4週間程度	数か月
装置の構造	やや複雑	やや複雑	比較的単純	複雑で大規模
課題	検出下限値1Bq/L限度	シンチレータごと廃棄	計測精度のばらつき大	計測時間大

これに対して精度の向上を目指して、測定試料を電気分解における同位体効果を用いてトリチウムを濃縮し、先の液体シンチレータ検出器で計測します。1～4週間かかりますが、精度は優れています。

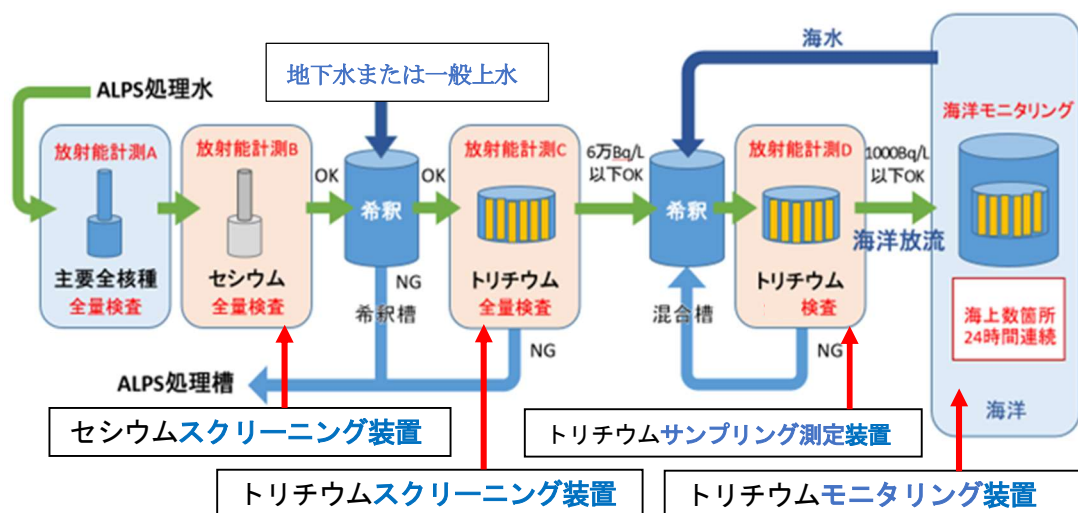
少し複雑な計測過程ですが、トリチウムが壊変して生成される He-3 を質量分析器で元のトリチウム量を求める方法です。前処理としてトリチウムの壊変を待たなければ成らないので、前処理として、長時間待たなければ成りません。

⑫ 今回開発された測定装置はどのような装置ですか？

・ALPS 処理水の海洋放出には次の点が求められます。

放流の絶対的条件

- ④ 環境省「放射能濃度等測定方法ガイドライン」によりセシウム 90Bq/L 以下
 - ⑤ 国際的に認知されたトリチウム水の海洋放流基準：6 万 Bq/L 以下
 - ③ 放流口でのトリチウム濃度：1500Bq/L 以下
 - ⑥ 福島第 1 原子力発電所保安規定で示された放出基準：22 兆 Bq /年以下
- ・絶対的条件を守るための計測システムを我々は提案します。

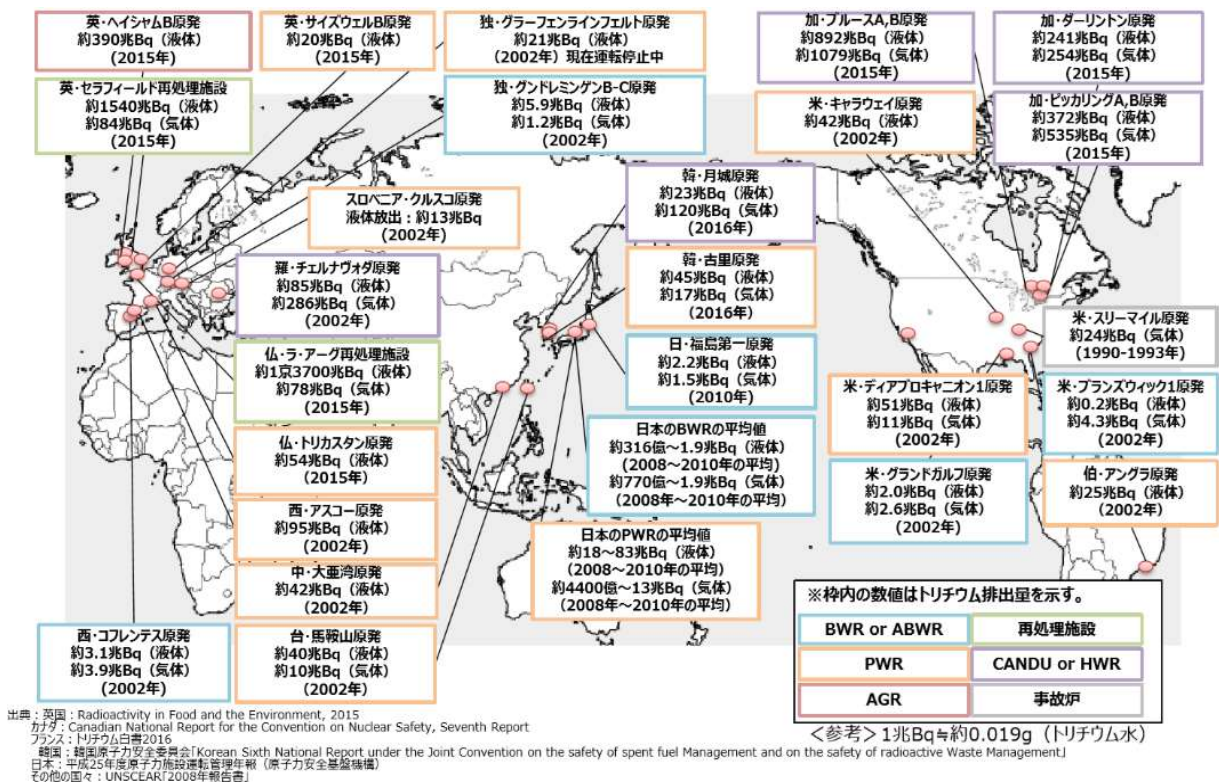


- i 従来の放射能計測によるバッチ計測（放射能計測 A）で ALPS 処理水タンクごとに残留放射能濃度（トリチウムも含む）を計測し、放射能濃度の合算が告示比濃度 1 以下（トリチウムを除く）であるものを海洋放出の候補とします。
- ii 海洋放出の候補である処理水は環境省の環境基準を守るために海洋放出前に全量のセシウム濃度を連続で計測（放射能計測 B）し、放射性セシウム濃度が 90Bq/L 以下を放流の対象にします。（中間貯蔵施設などでは既に実施済みです。）
- iii 海洋放流の基準（6 万 Bq/L）を満たす様に地下水などで希釈し、全量のトリチウム濃度を連続で計測（放射能計測 C：**スクリーニング装置**）します。**スクリーニング判定 3 万 Bq/L 以下**であるものを放流対象とします。
- iv 海洋放流の基準を満たした処理水はさらに安全を確保するために海水で希釈しトリチウム濃度を 1500Bq/L 以下にします。海洋放出の前に**連続サンプリング測定装置**（放射能計測 D）でトリチウム濃度が 1,000Bq/L 以下であることを確認します。放流中にトリチウム濃度が 1,000Bq/L を超えると、放流を遮断し安全を確保します。
- v 海洋に放流後は 24 時間監視で海洋中のトリチウム濃度を計測（**海洋モニタリング装置**）します。1Bq/L 以上の計測値では緊急に放流を遮断します。

我々は ALPS 処理水の海洋放出に向けて安全・安心を確保する観点から下記の装置を提案します。

全量の ALPS 処理水のセシウム濃度の放出基準 90Bq/L のスクリーニング装置
 全量の ALPS 処理水のトリチウム濃度の海洋放出基準 6 万 Bq/L のスクリーニング装置
 海水で 1500Bq/L 以下に薄めて海洋に放出するための連続サンプリング測定装置
 ALPS 処理水の海洋に放出後の 24 時間監視可能な海洋モニタリング装置

参考資料 世界中の原子力発電所はトリチウムを海洋放出しています



海洋放出には管理された放射能物質の連続計測が望めます。