

# 放出されようとしている 「処理汚染水」とは？

2023年7月23日

CCNE

汚染水海洋放出フォーラム

- \* 東電の処理汚染水海洋放出計画についての最近の経緯
- \* 汚染水の源である燃料デブリには何が存在しているのか？
- \* 炉心に生成した放射性核種等の量
- \* 多核種除去設備アルプスとは？
- \* 福島第一原発汚染水処理の系統図
- \* アルプスの処理フロー図
- \* タンクに保管している汚染水中の放射能
- \* 多核種除去設備アルプス処理水の二次処理試験
- \* J1-C群汚染水のアルプスでの二次処理後濃度
- \* アルプスによる二次処理後でも取り除けない放射性核種
- \* アルプス二次処理後の処理水の特徴
- \* 東電による汚染水中に含まれる測定・評価対象核種の見直し
- \* 処理汚染水海洋放出の問題点
- \* トリチウムのリスク

いばらき環境放射線モニタリングプロジェクト

天野 光

## 東電の処理汚染水海洋放出計画についての最近の経緯

- \* 2015年 8月 経済産業省および東電は、福島県漁連に対して文書で「関係者の理解なしにアルプス処理水のいかなる処分もしない」
- \* 2021年 4月 国が約束を反故にし処理汚染水の海洋放出を決定
- \* 2022年 4月 東電が「ALPS処理水の海洋放出に係る放射線影響評価結果(設計段階・改訂版)を公表し、規制委員会へ提出
- \* 2022年 5月 原子力規制委員会が上記審査書案を了承、パブコメ募集
- \* 2022年 7月 原子力規制委員会が、東電の処理汚染水海洋放出計画を認可
- \* 2022年11月 東電が影響評価結果を一部見直し
- \* 2023年 2月 東電が影響評価結果を再再度見直し

## 汚染水の源である燃料デブリ\*には何が存在しているのか？

生成量を評価する計算コードORIGEN2で1～3号機を評価すると

- \* 核分裂で生成する放射性核種 688核種
- \* アクチノイド核種 (原子番号89~103) 128核種
- \* 放射化生成物 879核種 が評価されています  
(放射化生成物には実際は上記の879核種の他に  
原子炉構成材などの放射化生成物も含まれます)
- \* その他、カドミウム、テルルなどの安定毒物も含まれています

\* 燃料デブリ：溶けた核燃料が燃料被覆管や炉内構造物、コンクリートなどと溶融・固化したもの。均質ではなく、塊状、砂利状、粉末、粒子状などが混在。壊れた原子炉建屋に流れ込む地下水や雨水が、燃料デブリに接触し汚染水を発生

# 福島第一原発1~3号機炉心に生成した放射性核種等の量

外部放出がないと仮定した場合の福島第一原発内の核種存在量の評価例(10年後)

元素名	核種	半減期 (年)	1号機炉心	2号機炉心	3号機炉心	1~3号機合計	1~3号機合計
			10年後(kg)	10年後(kg)	10年後(kg)	重量 10年後(kg)	放射能 10年後(Bq)
トリチウム	H-3	12.3	1.52	1.99	1.88	5.4	1.92E+15
炭素	C-14	5730					6.75E+11
コバルト	Co-60	5.3					2.53E+12
ストロンチウム	Sr-90	28.8	23	29.3	27.7	80	4.10E+17
テクネチウム	Tc-99	21万	42.8	52.7	49.8	145.3	9.20E+13
カドミウム	Cd-110	安定	1.63	1.85	1.69	5.17	
テルル	Te-128	ほぼ安定	5.07	6.16	5.81	17	
ヨウ素	I-129	1570万	9.49	11.5	10.9	31.9	2.08E+11
テルル	Te-130	ほぼ安定	19.8	24.1	22.7	66.6	
セシウム	Cs-137	30.2	50	63.1	59.6	172.7	5.55E+17
ウラン	U-235	7億	1110	1700	1690	4500	3.60E+11
ウラン	U-236	2342万	242	299	285	826	1.98E+12
ウラン	U-238	44.7億	65300	89100	89100	243500	3.03E+12
ネプツニウム	Np-237	214万	21	24.7	22	67.7	1.82E+12
プルトニウム	Pu-239	2.4万	307	389	452	1148	2.65E+15

出典:福島第一原子力発電所の燃料組成評価 西原、岩本、須山(原子力基礎工学研究部門)JAEA-Data/Code2012-018

\* 上記の数値には事故により環境に放出された分も含まれています。

トリチウムの事故時の海洋放出推定値は(1-5)E+14Bq (以下の柿内資料)

[https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140207/140207\\_01d.pdf](https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140207/140207_01d.pdf)

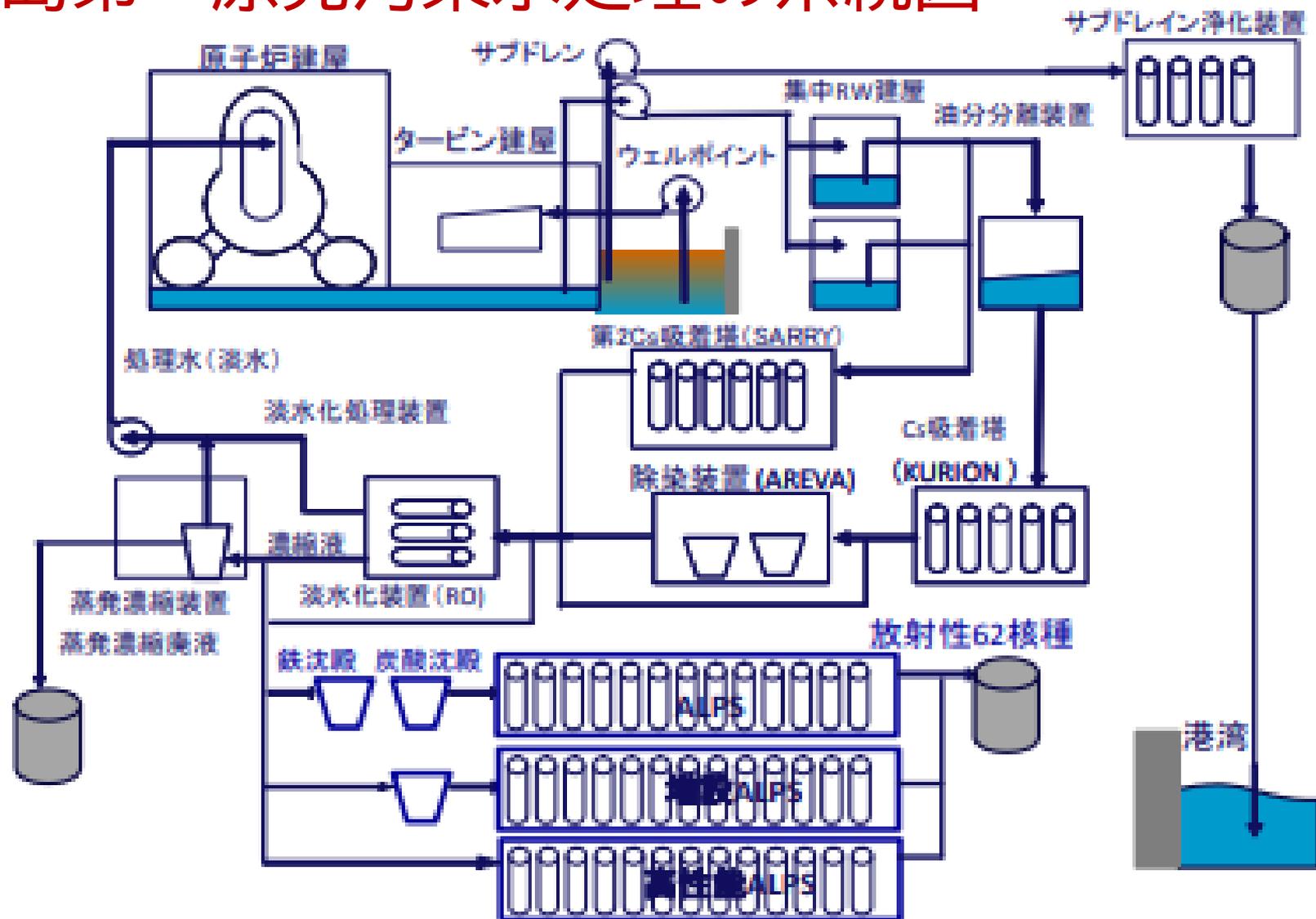
# 多核種除去設備アルプスとは？

(増え続ける汚染水対策として導入、敷地境界の線量制限対策も)  
鉄共沈、炭酸塩沈殿の前処理装置+種々の吸着装置(ALPS,2013.-)  
前処理装置の鉄共沈設備を除きカラム増強(増設ALPS,2014.9-)  
前処理工程なし、フィルターと吸着剤カラムのみ(高性能ALPS,2014-)  
運用方針として、稼働率を上げて運用するためには、吸着材交換による停止期間を短くする必要がある。吸着材交換による停止期間は短いもので1塔あたり2日程度(処理量換算で500m<sup>3</sup>)長いもの(吸着材が固着しやすいもの)で14日程度(処理量換算で3,500m<sup>3</sup>)要することから、

吸着材交換による処理量の低下の影響が大きい場合は、告示濃度限度を大きく超えない範囲において交換時期を調整  
「多核種除去設備等処理水の性状について」TEPCO 2018年10月  
との記述あり、除去しきれなくても流すということ

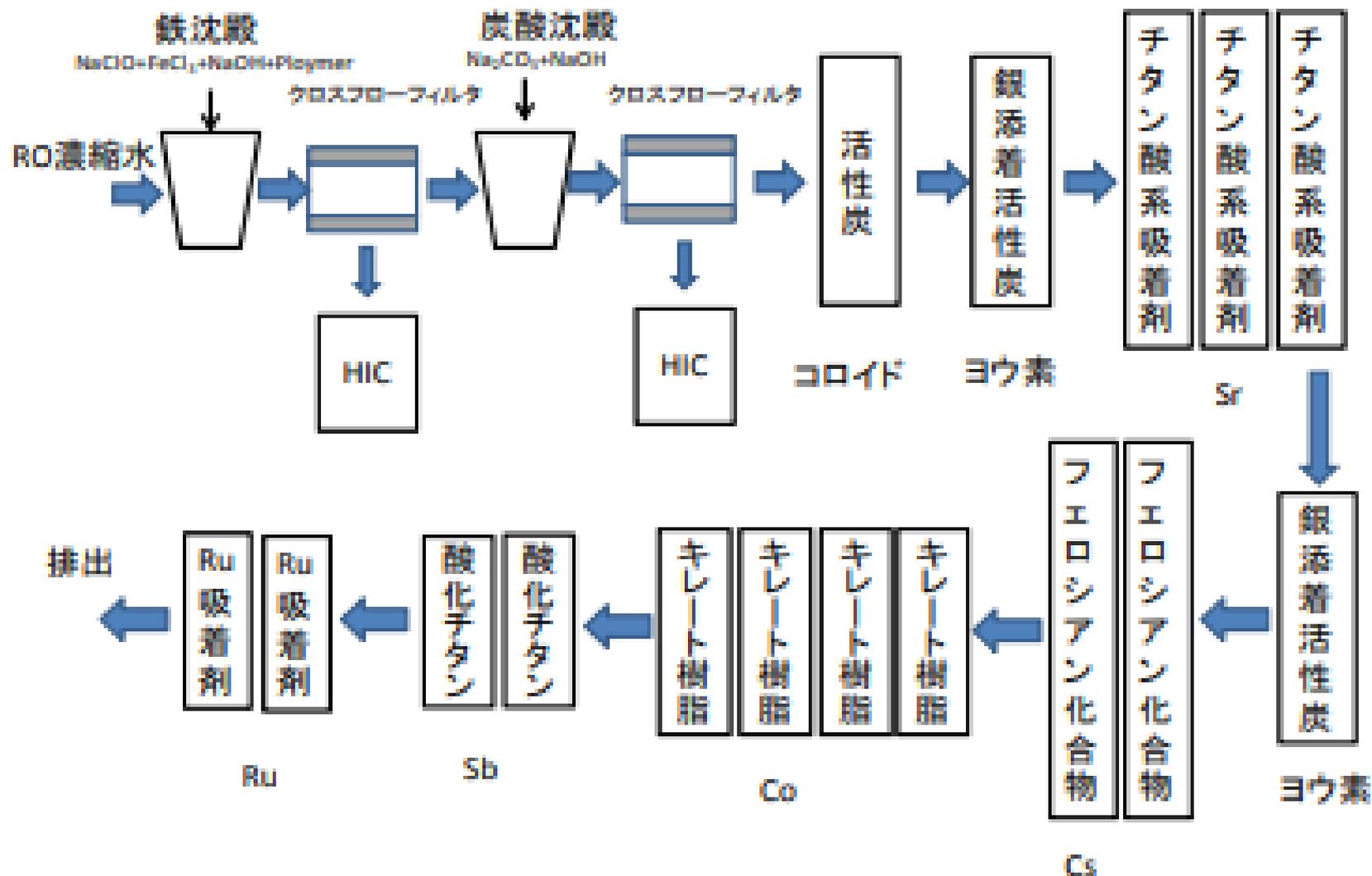
アルプスの詳細については以下等を参照のこと  
「重大事故時に発生する汚染水の処理」、電中研 土方孝敏 2017年  
[http://www.aesj.or.jp/~recycle/nfctxt/nfctxt\\_9-2.pdf](http://www.aesj.or.jp/~recycle/nfctxt/nfctxt_9-2.pdf)  
TMI炉心溶融事故後の汚染水処理についての記述あり

# 福島第一原発汚染水処理の系統図



第3図 1Fの汚染水処理系統図

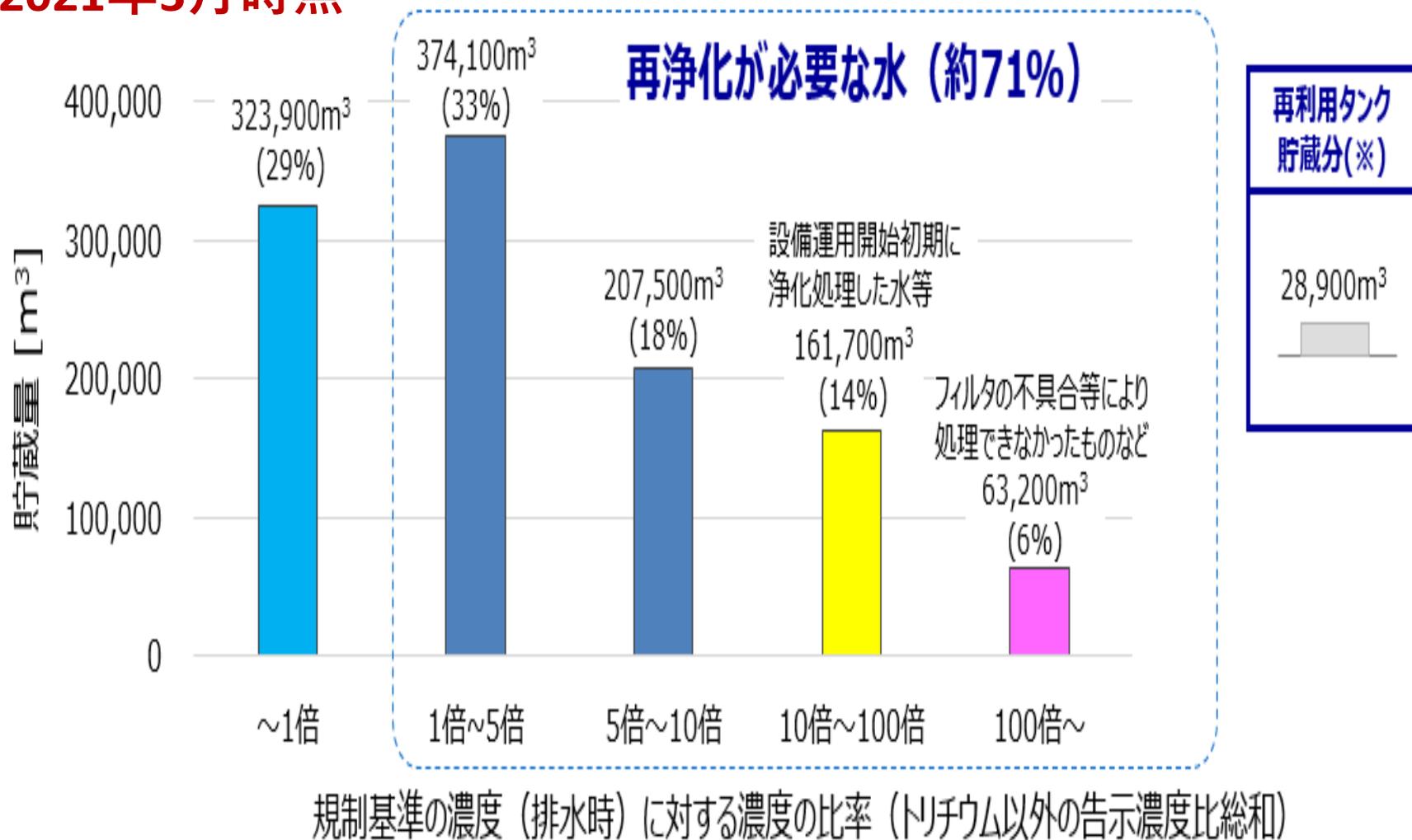
# アルプスの処理フロー図



第7図 ALPSの処理フロー図<sup>26)</sup>

# タンクに保管している汚染水中の放射能

2021年3月時点



資源エネルギー庁資料:「2021-06-07 復興と廃炉」に向けて進む、処理水の安全・安心な処分②～「二次処理」と処理水が含む「そのほかの核種」とは？

タンクに保管されている水のうち約7割には、トリチウム以外の放射性物質(核種)も「環境に放出する場合の規制基準」を超える濃度で含まれています。

これは、①ALPSを運用し始めたころは、現在と比較して、当時のALPSの浄化性能が劣っていたこと、

②現在にくらべて大量の汚染水が発生していたことから、放射線リスクをできるだけ早く低減させるため、「敷地内で保管する場合の規制基準」をまず満たすことを重視して作業を進めたことなどが原因です。

そこで、海洋放出する際には、「敷地内で保管する場合の規制基準」よりもさらに厳しい「環境に放出する場合の規制基準」を満たすよう、再度ALPSを使った浄化処理、つまり二次処理がおこなわれます。定義変更後の「ALPS処理水」とは、この水のことを指すわけです。

資源エネルギー庁資料:「2021-06-07 復興と廃炉」に向けて進む、処理水の安全・安心な処分②～「二次処理」と処理水が含む「そのほかの核種」とは？

# 多核種除去設備アルプス処理水の二次処理試験

アルプスの処理水には告示濃度\* 限度以上の放射性物質が含まれ、二次処理によってトリチウム以外の放射性物質を告示濃度限度以下まで取り除けるという実績を早くつくるべき、という委員会提言を受けて、高濃度のアルプス処理水の二次処理試験実施

2020年9月15日から試験開始

告示濃度比総和100以上のタンク群（J1-C群、J1G群）

処理量：1000m<sup>3</sup>；測定核種：62核種 + C-14 + H-3

試験結果：二次処理で告示濃度比総和1未満\*を確認

	2次処理前	2次処理後
J1-C群	2,406	0.35
J1-G群	387	0.22

\* 告示濃度とは、毎日、その濃度の水を約2Lずつ飲み続けた場合、1年間で1ミリシーベルトの被ばくとなる濃度として設定。トリチウムは日本で6万ベクレル/L、なお飲料水基準はEUは100Bq/L、カナダは20Bq/L、米国は740Bq/Lである。

\* 告示濃度比総和が1未満とは、放出核種の総和で1ミリシーベルト未満ということ

出典：多核種除去設備等処理水の二次処理性能確認試験の状況 2020年12月24日

[https://www.tepco.co.jp/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2020/2h/rf\\_20201224\\_1.pdf](https://www.tepco.co.jp/decommission/information/newsrelease/reference/pdf/2020/2h/rf_20201224_1.pdf)

# J1-C群汚染水のアルプスでの二次処理後

H-3 二次処理前851,000 Bq/L 二次処理後 822,000 Bq/L  
全く取り除けていない！

C-14 二次処理前15.3 Bq/L 二次処理後 17.6 Bq/L  
全く取り除けていない！

Co-60 二次処理前36.3 Bq/L 二次処理後 0.33 Bq/L  
約1%は取り除けない

Sr-90 二次処理前64,600 Bq/L 二次処理後 0.04 Bq/L  
すべては取り除けない

Ru-106, Rh-106 二次処理前5.0 Bq/L以下 二次処理後 1.43 Bq/L  
取り除けていない

Sb-125 二次処理前83.0 Bq/L 二次処理後 0.23 Bq/L  
すべては取り除けていない

I-129 二次処理前29.9 Bq/L 二次処理後 1.16 Bq/L  
約4%は取り除けない

Cs-137 二次処理前599 Bq/L 二次処理後 0.2 Bq/L  
すべては取り除けない

**(2021年の表D-2より抽出)**

**(2023年の表II-3より抽出)**

\* 以上は2021年11月「ALPS処理水の海洋放出に係る放射線影響評価報告書」(設計段階) TEPCOから

\* 2023年2月「ALPS等処理水の取扱いに関する「実施計画変更認可申請書」の一部補正文書 TEPCOから

# アルプス二次処理後の処理水の特徴

- ・トリチウム (H-3 半減期12.3年) は全く取り除けません
- ・放射性炭素 (C-14 半減期5,700年) も全く取り除けません
- ・放射性ヨウ素 (I-129 半減期1,570万年) や Sr-90 (半減期28.8年) も完全には取り除けません
- ・Cs-137、CO-60、Ru-106、Sb-125も完全には取り除けません
- ・Sb-125 (半減期2.8年) が完全には取り除けないので、その娘核種であるテルル125mが汚染水中に生成します。

**上記の他にも、例えば以下のような核種について不明です。**

- ・Ca-41 (10万年)、Cl-36 (30.1万年)、Zr-93 (153万年)
- ・ウランの放射性核種 (U-236 半減期 2342万年)
- ・超ウラン元素ネプツニウム (Np-237 半減期 214万年)
- ・カドミウムやテルルの同位体

2021年11月「アルプス処理水の海洋放出に係る放射線影響評価報告書」のなかで、濃度が比較的高い62核種\*を選定し、濃度が低い核種は除外した、との記述あり。これにはC-14も含まれず。

\*事故後1年時点での濃度が高い放射性核種を選定

## 東電は2022年11月に測定・評価対象核種を見直しました

\* アルプス処理水の海洋放出に当たって測定・評価を行う対象核種は以下の30核種とトリチウム

C-14、Mn-54、Co-60、Ni-63、Se-79、Sr-90、Y-90、Tc-99、Ru-106、  
Cd-113m、Sb-125、Te-125m、I-129、Cs-134、Cs-137、Ce-144、Pm-147、  
Sm-151、Eu-154、Eu-155、U-234、U-238、Np-237、Pu-238、Pu-239、  
Pu-240、Pu-241、Am-241、Cm-243、Cm-244 + Tritium (H-3)

現実的に存在しうる核種を選定、実測データも参考との記述あり

\* さらに監視対象6核種（汚染水中に有意に存在しないか年1回継続確認）

Cl-36、Fe-55、Nb-93m、Nb-94、Mo-93、Ba-133

\* 以前の62核種 + 炭素14 + トリチウムのうち、今回測定外とした37核種は、測定前に自主的に測定し、検出限界未満を確認する、とのこと

## さらに2023年2月に再再度、見直しを行い、測定・評価を行う対象核種を、有意に存在する可能性がある29核種としました

\* 測定評価対象核種（29核種）と監視対象核種（6核種）再選定

（測定評価対象30核種のうちCd-113m、Cm-243を選定外とし、Fe-55を追加）

（監視対象6核種のうち、Fe-55は上記に含め、新たにCd-113mを加えた）

\* 今後は監視対象核種など定期的に確認する

\* 測定・対象外とした39核種は、風評被害の観点から自主的な測定を行う、とのこと

2023/2/14 多核種除去設備等処理水の取扱いに関する「福島第一原子力発電所  
特定原子力施設に係る実施計画変更認可申請書」の一部補正について  
[https://www.tepco.co.jp/press/release/2023/1664812\\_8713.html](https://www.tepco.co.jp/press/release/2023/1664812_8713.html)

## 東京電力の処理汚染水の測定

放出前に毎回測定する核種は69核種(29+39+1)

監視対象6核種は、1年に1回測定

東電の説明：ALPS処理水等において、主要7核種※に炭素14及びテクネチウム99を加えた放射能濃度の分析結果の合計値と全ベータ測定値において、現行の64核種以外に放射性核種の存在を疑わせるようなかい離は認められていません。

また全アルファについても、不検出の状態が続いています。

※過去の62核種分析において告示濃度に対して有意に検出された、セシウム134、セシウム137、ストロンチウム90、ヨウ素129、コバルト60、アンチモン125、ルテニウム106のこと。

上記に加えて、現行の64核種以外に、廃止措置や埋設施設に関する研究で着目されている核種を個別に分析した結果も、ALPS処理水において不検出であることを確認。以上のことからALPSにおける除去性能は問題なく発揮しており、ALPS処理水において有意に存在する可能性がある核種は主要7核種、炭素14および、テクネチウム99であることを再確認しました。一方、測定・評価対象核種は、これまでのALPS処理水に関する審査会合や原子力規制庁及びIAEAからの指摘を踏まえ、建屋滞留水やストロンチウム処理水等において、有意に存在している/存在する可能性がある核種が、海洋放出を行うALPS処理水では放出基準を満足するまで除去されていることを、放出前に確認するという観点で選定

問題点：タンクの中身の解析が不十分！これまでほんの一部しか測定せず。

# 処理汚染水の海洋放出

- \* 海洋環境汚染に対する反対、太平洋諸島や、米国の数多くの海洋研究所等から
- \* トリチウム そのリスクは最近見直されている！

2023年2月に米国の科学者マクジャニ博士により刊行されたトリチウムについての本で、「トリチウムの危険性を探る：体内に取り込まれた放射性核種の健康やエコシステムのリスク」

- \* トリチウムのベータ線が細胞周りの水に作用し、活性酸素や活性水酸基を発生、それらが細胞損傷を生じさせ、老化促進や免疫機構の異常などを引き起こします。特にトリチウムからのベータ線は生物活動に重要なミトコンドリアDNAを壊す。
- \* 胎芽や胎児に対する催奇形性、妊娠初期の母体に取り込まれたトリチウムは、胎芽や胎児に濃縮し、正常な器官形成に障害を及ぼし、流産に至ったりする。
- \* 相乗的影響があり、トリチウムのベータ線による害が、例えば農薬の害と合わさって、さらに害が増加する。放射性物質の内部被ばくによるリスクに、遺伝毒性を持つ既存の化学物質との多重複合汚染のリスクがはるかに大きくなる。

米国の南カロライナ大学、生物科学部門のティモシー・ムソー教授がまとめた「トリチウム被ばくの生物学的帰結」と題した総説論文（2023年4月）

70万を超えるトリチウム論文をサーベイ、生物影響に関する250の研究論文を抽出  
その結論は、

- \* 「この重要な環境汚染物質であるトリチウムの生物学的な帰結を示す論文は、びっくりするほど少ないが、トリチウムの害は、他の放射性核種の害と同等か、それ以上の危険性があると思われる。トリチウムが体内に摂取されると、突然変異を起こす物質とみなされることは疑いない。これまでのほとんどすべての研究において、トリチウムのベータ線照射は、組織のDNAに危害を加える。」

## まとめ:

- \* アルプス処理汚染水には、様々な放射性核種が含まれる
- \* 燃料デブリに含まれる有毒物質、カドミウムやテルル等がどれだけ汚染水や処理汚染水に含まれるか不明
- \* 東電は、これまでタンクのほんの一部しか分析していないしかもタンク中層の上澄み液のみの分析であり、下層や低層の高濃度スラッジや沈殿物はどうするのか
- \* 現在の分析方法で見落とされる核種や、これまで分析していない核種が存在する可能性がある
- \* 燃料デブリの劣化に伴い、未検出の核種が溶け出す可能性
- \* 現在の放出規制は、濃度規制であり、絶対量の規制でない
- \* 規制値以下の濃度の放出であっても、海洋が汚染する
- \* 希釈して放出してもトリチウムのリスクは無視できない
- \* 我が国の勝手に放出しても太平洋諸国には迷惑な話
- \* 漁業・水産業などの生業を守るべき
- \* 陸上保管やコンクリート固化など代替案を検討すべき