

福島原発事故によるトリチウム汚染水の海洋投棄問題

加藤 幾芳

北星原発問題

2021.11.29

1

1

『汚染水の海洋放出』というテーマで、

- (1) 汚染水の出どころ、
- (2) 汚染水の中身、
- (3) 汚染水問題の経過、
- (4) 海洋投棄の計画、
- (5) トリチウム問題、
- (6) 提言、

についてお話ししたいと思います。

加えて、コロナ問題で、科学と政治の関係が大きな関心を持たれていますが、原子力問題での関わりで、この問題を少し考えてみたいと思っています。

2

2

1. 汚染水の出どころ

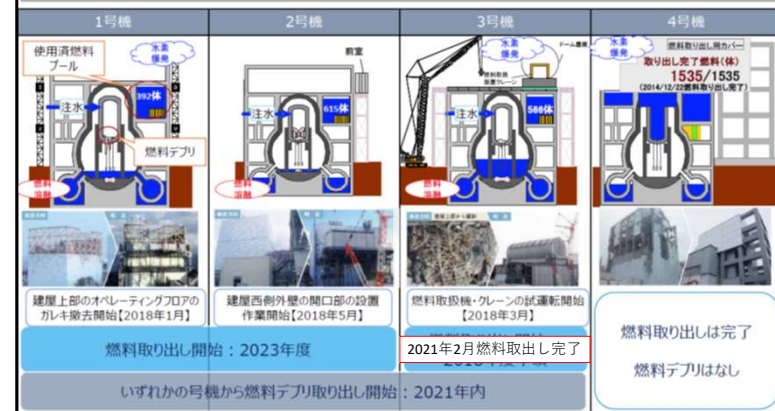
福島第一原子力発電所では事故により燃料棒が溶融し、原子炉圧力容器およびその外側にある原子炉格納容器内で発生した「燃料デブリ」に含まれる放射性物質（セシウム、ストロンチウム、トリチウムなど）が燃料デブリの冷却水と触れ、「汚染水」となっている。

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、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る。

3

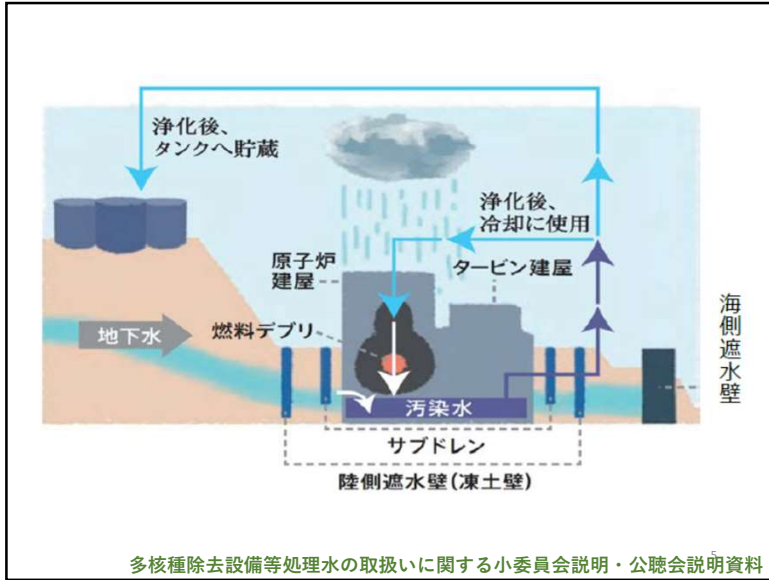
【参考1-1】福島第一原子力発電所 1～4号機の現状について 17

- 1～3号機は安定状態を維持した上で、使用済燃料プール内の燃料取り出しに向けた準備作業中（ガレキ撤去、除染、遮へい、取出用設備の設置等）。
- 事故時に溶けて固まった燃料（＝燃料デブリ）の取り出し方針を決定。今後、取り出しに向けた方法を検討。

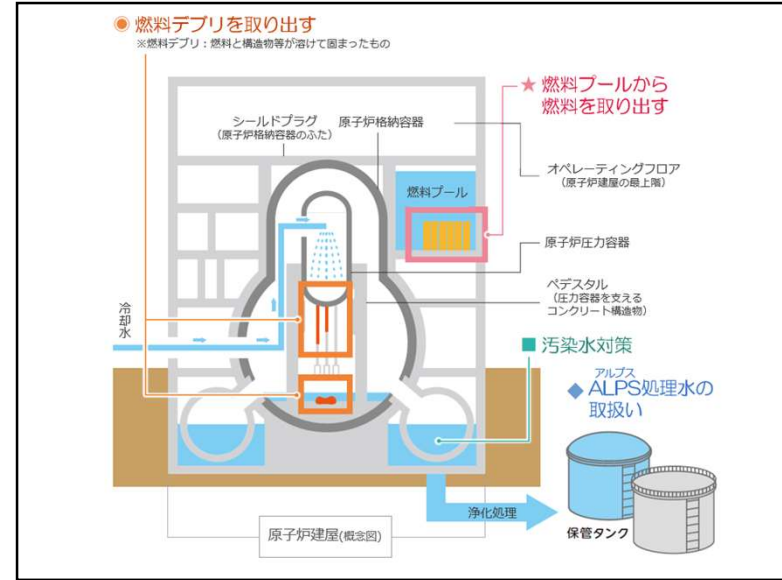


多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会説明・公聴会説明資料

4



5



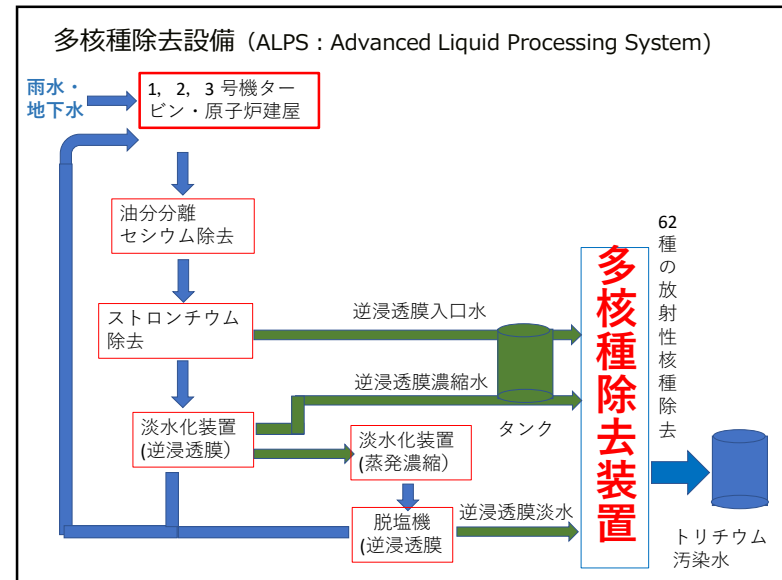
6

2. 汚染水の中身 福島第一原子力発電所敷地内の様子

直径：12m
高さ：12.5m
容量：約1,220m³
タンク重量：90t
タンクの大きさ

メルtdownした原子炉や溶け落ちた核燃料を冷やすために投入した冷却水、その後、原子力発電所敷地外から原子炉に流れ込んだ地下水に放射性物質が混じったもの。
 東電や経済産業省によると、多核種除去設備（ALPS）で処理した汚染水トリチウム以外の62種類の放射性物質を除去できると説明している。従って、今後、海に放出するとする汚染水はALPSで処理できないトリチウムだけを含むとされる。⁷

7



8

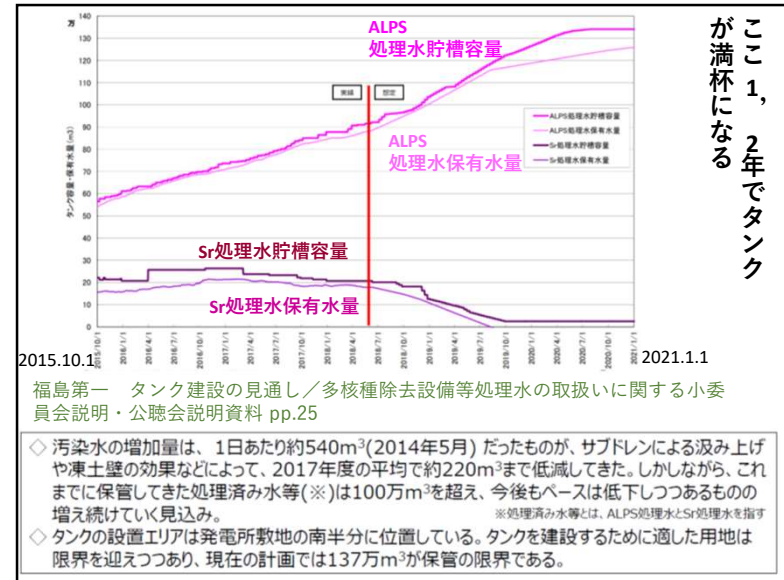
除去対象核種		核種	半減期	核種	半減期
1	ルビジウム(Ba)-86	約19日	32	バリウム(Ba)-140	約19日
2	ストロンチウム(Sr)-89	約51日	33	セリウム(Ce)-141	約92日
3	ストロンチウム(Sr)-90	約29年	34	セリウム(Ce)-144	約280日
4	イットリウム(Y)-90	約64時間	35	プラセオジム(Pr)-144	約17分
5	イットリウム(Y)-91	約59日	36	プラセオジム(Pr)-144m	約7分
6	ニオブ(Nb)-95	約38日	37	プロメチウム(Pm)-146	約7年
7	テクネチウム(Te)-99	約210,000年	38	プロメチウム(Pm)-147	約3年
8	ルテチウム(Ru)-103	約40日	39	プロメチウム(Pm)-148	約5日
9	ルテチウム(Ru)-106	約370日	40	プロメチウム(Pm)-148m	約41日
10	ロジウム(Rh)-103m	約56分	41	サマリウム(Sm)-151	約72年
11	ロジウム(Rh)-106	約30秒	42	ユロピウム(Eu)-152	約13年
12	銀(Ag)-110m	約250日	43	ユロピウム(Eu)-154	約3年
13	カドミウム(Cd)-113m	約15年	44	ユロピウム(Eu)-155	約5年
14	カドミウム(Cd)-115m	約45日	45	ガドリニウム(Gd)-153	約240日
15	スズ(Sn)-119m	約290日	46	テルビウム(Tb)-160	約72日
16	スズ(Sn)-123	約130日	47	プルトニウム(Pu)-238	約88年
17	スズ(Sn)-126	約100,000年	48	プルトニウム(Pu)-239	約24,000年
18	アンチモン(Sb)-124	約60日	49	プルトニウム(Pu)-240	約6,800年
19	アンチモン(Sb)-125	約3年	50	プルトニウム(Pu)-241	約14年
20	テルル(Te)-129m	約120日	51	アメリシウム(Am)-241	約430年
21	テルル(Te)-125m	約56日	52	アメリシウム(Am)-242m	約150年
22	テルル(Te)-127	約38時間	53	アメリシウム(Am)-243	約400年
23	テルル(Te)-127m	約110日	54	キュリウム(Cm)-242	約160日
24	テルル(Te)-129	約70分	55	キュリウム(Cm)-243	約29年
25	テルル(Te)-129m	約34日	56	キュリウム(Cm)-244	約18日
26	ヨウ素(I)-129	約16,000,000年	57	マンガン(Mn)-54	約18日
27	セシウム(Cs)-134	約2年	58	鉄(Fe)-59	約45日
28	セシウム(Cs)-135	約30,000,000年	59	コバルト(Co)-58	約71日
29	セシウム(Cs)-136	約13日	60	コバルト(Co)-60	約5年
30	セシウム(Cs)-137	約30年	61	ニッケル(Ni)-63	約100年
31	バリウム(Ba)-137m	約3分	62	亜鉛(Zn)-65	約240日

除去能力；
1/1000～1億分1
(東電データ)

トリチウムは除去できない

「トリチウム以外の核種について、環境放出の際の規制基準を満たす水」のみを「ALPS処理水」とする。
2021年4月13日、経産省

9



10

3. 汚染水問題の経過

2019.9.11 **BBC NEWS JAPAN**
福島原発の汚染水は「海に放出するしかない」 原田環境相
 日本の原田義昭環境相兼原子力防災担当相は10日、東京電力福島第一原発から出た汚染水を、海に放流する必要があるかもしれないと述べた。汚染水のタンクが2022年に一杯になることを理由に挙げた。

現在、炉心溶融(メルトダウン)した原子炉の冷却に使われた水100万トン以上が、巨大なタンクに貯められている。日本のメディアによると、原田氏はこの日の記者会見で、「思い切って放出して、希釈する他に選択肢はない」、「安全性、科学性からすれば、**どうも大丈夫**」などと述べた。原田氏の意見に対しては、漁業団体が強く反対を表明している。一方、多くの科学者は、汚染性の放流が環境に及ぼす危険性は小さいとみている。政府は今後、最終的な決定をするとしている。

11

2019.11.18 **NHK NEWS WEB**
海洋または大気に放出か トリチウム水処分近く提言まとめへ
 福島第一原子力発電所にたまり続けるトリチウムなどを含む水の処分方法について、**国の有識者会議では海洋か大気に放出する案を中心に今後、議論が交わされる見通し**となりました。国は近く提言をまとめたとしています。委員からは風評被害の影響などの議論が不足しているとの意見もだされ、会議の行方が注目されます。

福島第一原発で出る汚染水を処理したあとの水には、取り除くのが難しいトリチウムなどの放射性物質が含まれ、構内のタンクには現在およそ117万トンの水が保管され、毎日170トン前後、増え続けています。18日、都内で開かれた国の有識者会議では東京電力が今後、環境中に放出した場合の水の総量とトリチウムの量について試算した結果を初めて示しました。それによりますと、**2035年まで保管を続けたあと放出する場合、貯蔵量は今の1.7倍に増えますが、トリチウムの総量はおよそ13%減る**などとなりました。また国と東京電力は海洋と大気に放出した場合の人への影響の試算も示し、いずれの方法でも被ばく量は通常、自然界から浴びる量より十分に小さいとしたうえで、海洋に放出したほうが、大気に出した場合に比べ、半分以下になるとしました。

12

福島第1の汚染水

2018年4月時点で、処理水は、容量が約1,000tのタンクに換算すると1,065基ほどの量となっている。処理水を貯蔵するタンクの数や敷地は膨大になる一方だが、廃炉を進めるための設備増設などが必要となり、その用地が確保できなければ、作業が遅延するなどの影響が生じる可能性がある。また、貯蔵し続けることで管理コストがかかり、処理水漏えいのリスクを常に抱えることにもなり、処理水をタンクに貯蔵し続けることが根本的な解決にはならない。処理水の処分方法を早急に検討、決定する必要がある。

処理水の処分方法については、「地層注入」「海洋放出」「水蒸気放出」「水素放出」「地下埋設」といった選択肢が検討されている。処分方法の決定にあたっては、技術的な観点（技術的成立性、規制成立性、期間、コスト、作業員の被ばくなど）に加えて社会的な観点（風評被害の発生など）も必要であることから、経済産業省が委員会を設置し、専門家を交えた総合的な検討が行われている。

13

13

最近の動向
 (経産省資料: https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hairo_osensui/alps.html)

2021年04月13日 廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議(第5回)
 2021年04月16日 ALPS処理水の処分に関する関係閣僚等会議(第1回)
 2021年04月27日 資源エネルギー庁に処理水損害対応支援室を設置
 2021年08月24日 ALPS処理水の処分に関する関係閣僚等会議(第2回)
 2021年08月27日 IAEA廃炉レビューミッション来日、評価レポート公表
 2021年08月28日 廃炉・汚染水・処理水対策福島評議会(第23回) (「第23回 廃炉・汚染水・処理水対策福島評議会」 - YouTube)
 2021年09月09日 IAEAの幹部日本訪問、ALPS処理水の安全性に関するレビューの本格実施に向けた協議
 2021年11月18日 ALPS処理水の現状に関する在京外交団向けの説明会
 2021年11月19日 ALPS処理水の安全性レビューの準備会合(12月に予定されている東京電力福島第一原子力発電所に保管されているALPS処理水の安全性に関する第1回レビューミッションに向けた準備会合として、より詳細な確認事項や日程等について議論)


14

14

(参考) 国際原子力機関 (IAEA) による評価


■ グロッシー事務局長の来日、福島第一原発訪問 (2020年2月)

- 福島第一原発の廃炉に向けた取組は体系的で周到
- ALPS処理水の処分方法の2つの選択肢は技術的に実現可能であり、国際慣行に沿っている。
- 実施にあたって、IAEAがモニタリング等で支援することで、どのような形の放出であっても国際的な基準を満たしていることにつき、公衆の安心につなげることが可能。



■ IAEAレビュー (2020年4月)

- 海洋放出、水蒸気放出の2つの選択肢について、技術的に実行可能であり、時間軸の要求も満たす。
- ALPS処理水は処分の際、希釈する前に必要に応じて更に浄化される。
- ALPS処理水について、解決策として、現在利用可能なトリチウム分離技術は承認していない。
- ALPS処理水の処分方針につき、安全性を考慮しつつ全てのステークホルダーの関与を得ながら喫緊に決定されるべき



15

15

4. 海洋投棄の計画

なぜ、水蒸気放出と海洋放出が現実的な選択肢なのか？

- ◇ 専門家会議が6年余り検討した結果、5つの方法の中から、前例や実績があることから「海洋放出」と「水蒸気放出」の2つが現実的とされました。
- ◇ 2つの方法の中でも、放出設備の取扱いやモニタリングが比較的容易であることから、「海洋放出」の方がより確実に処分を実施できるとされています。
- ◇ 国際機関 (国際原子力機関: IAEA) は、この専門家会議の検討結果を、「科学的な分析に基づくもの」と評価しています。

水蒸気放出と海洋放出の比較

水蒸気放出	海洋放出
<ul style="list-style-type: none"> ● 海外の事故炉で前例あり。 ※通常炉でも実績 (換気による放出) あり。 ● 拡散の事前予測が難しく、モニタリング等の検討に課題。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 国内外で実績あり。 ● 比較的拡散の状況を予測しやすく、モニタリング等の検討が容易。

「ALPS処理水について」(経産省令和2年7月)の資料より

16

16

福島第一原発の敷地外で貯蔵または放出できないのか？

- ◇福島復興には、福島第一原発の廃炉が不可欠です。廃炉に向け、**周辺リスクが上らないよう、敷地内で日々、リスクを下げる取組み**を進めています。
- ◇処理水などの原発からの放射性物質を**敷地外に運んだり、敷地外にタンクを作ってためるには、関係する周辺自治体や住民の方々の御理解**を得ることが不可欠で、**相当な時間**を要します。
- ◇**沖合での放出**は、海洋汚染の防止を目的とする**国際条約**（ロンドン条約）の中で、**廃棄物等の海洋への投棄が禁じられています**。このため、沖合まで船舶で運んで放出することは、**国際条約違反**に当たってしまいます。

中間貯蔵施設に貯蔵することはできないのか？

- ◇**中間貯蔵施設用の土地は、中間貯蔵施設のために利用するために、地権者の皆様に土地の提供をお願いしているもの**です。
- ◇このため、それ以外の用途に使用することは難しい状況です。

※**中間貯蔵施設**とは、福島県内において、福島第一原発の事故により環境中に放出された放射性物質を取り除く除染により発生した土壌等一定期間保管する施設です。

17

評価の前提となる放出方法

TEPCO

- 放出するALPS処理水は、トリチウム以外の62核種および炭素14の告示濃度比総和*が1未満となるまで浄化したもの
- 放出前にこれら64核種すべてを測定・評価（第三者機関による測定・評価を含む）し、上述のとおり浄化されていることを確認する
- トリチウムの年間放出量は事故前の福島第一原子力発電所の放出管理目標値である22兆ベクレル未満とする
- 放出にあたっては、海水により100倍以上に希釈し、排出口でのトリチウム濃度を1,500ベクレル/ℓ(Bq/L)未満とする。これにより、トリチウム以外の62核種および炭素14の告示濃度比総和も100分の1未満に希釈される
- 希釈後のALPS処理水は、放出水が希釈用の海水として再取水されにくくするため、発電所沖合約1kmの海底より放出する
- ALPS処理水の希釈率や性状に異常が発生した場合は、緊急遮断弁を速やかに閉じるとともに、ALPS処理水の移送ポンプを停止して放出を停止する

* 告示濃度比総和：排水中に複数種の放射性物質が含まれる場合に、各核種の濃度の法令上の限度に対する比を求め、それを合計したものを福島第一原子力発電所では、排水口にて告示濃度比総和が1を超えてはならないと法令で定められている。今回計画している海洋放出にあたっては、トリチウム以外の放射性物質は、希釈放出前の段階で告示濃度比総和が1未満となるようALPS等により処理を行い、トリチウム濃度は、告示濃度(60,000Bq/ℓ(半減期)の40分の1のレベル(1500Bq/ℓ)になるまで、100倍以上の海水で希釈する。これにより、トリチウム以外の放射性物質の濃度は、告示濃度をはるかに下回ることになる。

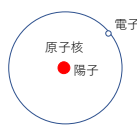
TEPCO 2021年11月17日

18

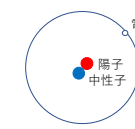
5. トリチウム問題

トリチウムとは トリチウム (Tritium: 略号 T)、日本語では**三重水素**

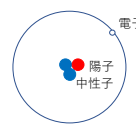
水素の仲間：化学的性質に区別がない。



水素 H (¹H)



デュテリウム重水素 D (²H or d)

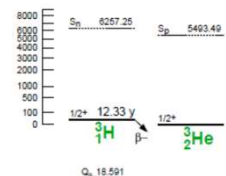


トリチウム三重水素 T (3H or t)

天然存在比	99.985%	0.015%	0
半減期	安定	安定	12.32 年

トリチウムはベータ崩壊（電子とニュートリノを放出）して、安定な原子核 ³He になる。その時、放出されるエネルギーは**0.01859 MeV (18.6keV)**で、電子の平均エネルギーは5.7 keV(H₂OのH-O解離エネルギーは約5eV):

$${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + e + \bar{\nu}$$



19

トリチウムの性質

- 自然界に最も多く存在する水素 (¹H) の同位元素の三重水素は不安定で天然にはごく微量にしか存在しない。軽い放射性元素の中でも比較的長い半減期(12.32年)を持つが、僅かではあるが一定量存在する。
- 60Kgの体重の人の身体に、およそ**50ベクレル (Bq)**程度、トリチウムが存在する。
- 海水には、**数ベクレル/L**より少ない。
- 地球上、水圏中に気相、液相、固相の形態で、大気中に**トリチウム水蒸気(HTO)**、**トリチウム水素(HT)**、**炭化トリチウム(CH₂T)**の形態で分布している。
- 化学的に軽水素、重水素、三重水素はほぼ同じ性質をもつが、質量は大きく違うので、物理的性質は大きく異なる。
- 大気中のトリチウムの起源は
 1. 宇宙線による：

$${}^{14}\text{N} + n \rightarrow {}^3\text{H} + {}^{12}\text{C}$$

$${}^{16}\text{O} + n \rightarrow {}^3\text{H} + {}^{14}\text{N}$$
 地表面積あたり毎秒**0.2 個/(cm²sec)**程度作られ、地球表

20

面積を $5.1 \times 10^{14} \text{ m}^2$ とすると、トリチウムの年間生成量はおよそ **72PBq (P=10¹⁵)**となる。その軽水素との同位体比は **10⁻¹⁸** で、これを **TU(Tritium unit)** という。

2. 過去の核実験での生成：
核兵器(分裂と融合)の大気圏内実験により、それ以前の**200倍**に存在量が急増し、その後実験の停止により、漸減してきている。

21

21

3. 原子力発電、核燃料再処理施設など原子炉関連施設からの大気圏、海洋への放出による：
原子炉内冷却水中の重水素(0.015%)の中性子捕獲反応：
 ${}^2\text{H} + \text{n} \rightarrow {}^3\text{H} + \gamma$
ウラン235、あるいはプルトニウム239の核分裂生成物として、また制御棒に用いられるホウ素同位体 (${}^{10}\text{B}$) の反応：
 ${}^{10}\text{B} + \text{n} \rightarrow 2{}^4\text{He} + {}^3\text{H}$
などにより生成され、年間の生成量は
加圧水型軽水炉 約200兆ベクレル ($2 \times 10^{14} \text{ Bq}$)
沸騰水型軽水炉 約 20兆ベクレル ($2 \times 10^{13} \text{ Bq}$)

- トリチウムからのベータ線はエネルギーが小さいため、体内での飛程**0.01mm(10 μm)**ほどで、人間の皮膚を貫通できない(人体細胞の直径は $6 \mu\text{m} \sim 25 \mu\text{m}$ (0.006mm \sim 0.025mm))。そのため、トリチウムの放射線は**外部被曝よりも内部被曝が問題**となる
- 小さいエネルギーの放射線放射のため、トリチウムは**液体シンチレーション計測法**でないと検地できない。

22

22

トリチウムの利用

- 水素爆弾の原料の一つ
- 核融合発電での燃料
- 生態試験用トレーサー／オートラジオグラフィ用試薬
- トリチウムライト
- 電池
- 年代測定

トリチウムの製造

商業用トリチウムはカナダのCANDU型原子炉の重水素減速材中で生成するトリチウムから生成されている。カナダ・オンタリオ州にある重水からトリチウムを除去する施設では年間2500トンまで重水を処理でき、約2.5 Kgのトリチウムを分離してこれを販売している。
2004年現在、トリチウム 1 g、およそ300万円。(Wikipedia)

23

23

トリチウムの人体や環境への影響

人体への影響

- トリチウムβ線はとてもエネルギーの低い電子であるため紙一枚で遮ることができるほど弱く、外部から被曝しても**人体への影響はほとんどない**と言われている。
- トリチウムは、多くの場合水として存在する。口や鼻、皮膚から吸収されると、ほとんどが血液中に取り込まれ、体内のどこにでも運ばれ、**水や水素として体の構成要素になる**。
- 水として飲んだ場合でも、特定の臓器に蓄積することはなく、他の放射性物質と比べて速やかに体外に排出される。水として体内に摂取した場合**生物学的半減期は約10日**、有機物として摂取した場合は約40日。
- 内部からの被曝の場合も、取り込んだ放射能あたりで見れば他の放射性物質より(線量比)も小さい。これまでも水道水などを通じてトリチウムは日常的に私たちの体内に取り込まれているが、**通常の生活を送ることで取り込んだトリチウムによる健康影響は確認されていない**。
- 長年の原子量施設からの定常的にトリチウムに晒された結果、周辺住民に大きな健康被害が出たとして問題(“The Atomic States of America”)。NY州ロングアイランド・シャーリーでブルックヘブン国立研究所から高濃度のトリチウムを含む汚染水が長年に渡って漏出し、周辺13万人の住民が飲料水として利用する水源に流れ込んだ。トリチウムの濃度は、米国環境保護局の飲料水基準の**32倍(11倍説もあり)**。

24

24

- 放射性物質の代謝（1回摂取と長期摂取の体内残存量の時間経過）
2011年10月31日、内閣府の園田康博政務官が、5、6号機から出た汚染水の純水をコップに入れて、報道陣の前で飲み干した水に含まれていた放射能がトリチウム

右図：1000Bqのセシウム137を一度に摂取した場合と1Bqと10Bqを長期間（1000日）摂取した場合の全身放射能の時間推移

- トリチウムを取り込んだ細胞の染色体が壊れること良く知られている。その結果、先天異常や死産・流産が起こることがしてされている。T.ストラウムら(米国、LLNL)はトリチウムによる催奇形性の確率が致死性ガンの確率の6倍と主張している。(河田)
- なお放射線の生物学的効果を表すRBE（Relative Biological Effectiveness, 生物学的効果比）は、 γ 線は1であるが、トリチウムの β 線は1ではなく、1～2の間という報告が多く、より影響が強いと考えられる。(西尾)
- トリチウムが出すベータ線はエネルギーが小さいので、安全である考えるのは問題で、エネルギーが大きなベータ線よりも物質中で電離密度がおよそ10倍で、トリチウム被曝の危険要因である。(西尾)

化学形態	吸入摂取時の実効線量換算係数[Sv/Bq]
元素状水素(トリチウムガスHT)	1.8×10^{-15}
メタン	1.8×10^{-13}
トリチウム水(HTO)	1.8×10^{-11}
有機結合型トリチウム(OBT)	4.1×10^{-11}

成人の吸入時の実効線量換算係数 25

25

トリチウム安全神話に対する批判(西尾正道：北海道がんセンター名誉院長)

- トリチウム安全神話**：トリチウムは自然界にも存在し、全国の原因で40年以上排出されているが健康への影響は確認されていない。また、トリチウムはエネルギーが低く人体影響はない。
- トリチウムの危険性**：放射線の影響は基本的には被曝した部位に現れ、エネルギーが低くても水素として細胞内の核に取り込まれ、そこで放射線を出して全エネルギーを放出するので、**遺伝情報などへの影響が無いことはない。**
- 1970～1980年代には、**トリチウムが染色体異常**を起こすことや、母乳を通して子どもに残留することが動物実験で報告されている。動物実験の結果ではトリチウムの被ばくにあった動物の子孫の卵巣に腫瘍が発生する確率が5倍増加し、さらに精巣萎縮や卵巣の縮みなどの生殖器の異常が観察されている。
- 1974年10月に徳島市で開催された日本放射線影響学会で、中井斌(放射線医学総合研究所遺伝研究部長)らは人間の血液から分離した白血球を種々の濃度のトリチウム水で48時間培養し、リンパ球に取り込まれたトリチウムの影響を調べた結果、**リンパ球に染色体異常**起こすことを報告した。現在の規制値以下の低濃度でも染色体異常が観察される。
- トリチウムの体内動態は水素と同じであり、トリチウムは水素として細胞の核に取り込まれることがわかっている。名取春彦氏は若い時に睾丸腫瘍の細胞を用いた実験で、チミジンでラベルした**トリチウムが細胞の核に取り込まれている**写真を著書「放射線はなぜわかりにくいのか」(2013年.P221.アップル出版)に掲載している。
- 水素として振る舞うトリチウムが化学構造式に取り込まれ、そこで β 線を出すため、**遺伝情報を持つ最も基本的なDNAに放射線が当たり、またトリチウムがヘリウム3に元素変換することにより4つの塩基をつないでいる水素結合が破綻**される。そして塩基の本来の化学構造式も変化する。
- ヒトの細胞は6～25ミクロン(μm)で通常は約10 μm の大きさで、その内部にある重要な小器官はすべて1 μm 以下の有機化合物で構成されている。細胞内の核に取り込まれ、核を傷つける。

26

2003年、小柴昌俊、長谷川晃らの核融合炉に関する嘆願書

内閣総理大臣
小泉純一郎 閣下

嘆 願 書

「国際核融合実験装置（ITER）の建設を見直して下さい。」

理由：核融合は強い放射線エネルギー源として重要な候補の一つではありますが、しかし、ITERで行われるトリチウムを燃料とする核融合炉は安全な核融合炉から見て極めて危険なものであります。この結果、たとえ実験が成功しても多量の放射性物質を生み、降ってその放射性物質を安定な元素に変えることができません。

・燃料として装置の中に貯えられる約2キログラムのトリチウムはわずか1ミリグラムで致死量とされる放射能で約10万人の殺傷能力があります。これが燃料と結合して燃え尽きたら放射線量はチェルノブイリ原子炉の事故の際のそれと匹敵するものです。

・不安定な中性子核融合炉の1年間に必要となるトリチウムは約10キログラムです。放射性物質を大規模に製造し、4万トンあまりの放射性廃棄物を大規模に処理する必要があります。この結果、周辺に埋め立てられた地下水中の放射能は数百年にわたって比喩して大きくなり、極めて大きな環境汚染を引き起こします。

以上の理由から長年長崎県有馬温泉に持つ物理学者としてITERの建設には絶対に反対します。

平成15年3月10日

小柴昌俊（ノーベル物理学賞）
長谷川晃（マックスウェル賞受賞者
元東海物理学会 プラズマ部会長）

論 壇

核融合炉の誘致は危険で無駄

核融合炉の誘致は危険で無駄。核融合炉は、放射性物質を大量に発生させる危険な装置である。特にトリチウムは、極めて高い放射能を持つ。たとえ微量でも、人体に摂取されると、深刻な健康被害を引き起こす可能性がある。また、核融合炉の建設と運転には、膨大なコストがかかる。その一方で、核融合炉の安全性や放射性廃棄物の処理問題が、社会から大きな懸念を生んでいる。核融合炉の誘致は、国民の健康と安全を脅かす危険な行為であり、断然反対する。核融合炉の誘致は、無駄な投資であり、社会資源の浪費である。核融合炉の誘致は、環境汚染を引き起こす危険な行為である。核融合炉の誘致は、国民の健康と安全を脅かす危険な行為であり、断然反対する。

27

環境への影響

- 電気出力100万kWの軽水炉から1年の運転で放出されるトリチウムは、**加圧水型原子炉**： 約200 TBq (2×10^{14} Bq)、**沸騰水型原子炉**： 約20 TBq (2×10^{13} Bq)
- 原子力施設から出るトリチウムの自然環境への放出は国内外で広く行われており、イギリスでは1998年から2002年の間、毎年およそ3PBq (3×10^{15} Bq)トリチウムが放出されてきた。**カナダ、アルゼンチン、フランス、スペイン、アメリカ、ドイツ、日本でも放出されてきた。この期間、トリチウム以外の放射性物質の放出量はトリチウムの1%にも満たない。これらは国際放射線防護委員会がトリチウムの線量係数（単位放射能[Bq]あたりの被ばく線量のこと）が極めて低く、人体に対する影響も極めて少ないと判断しているためであり、**各国は線量係数をもとに放出できる量を法律で定め、各原子力施設はこれに従って放出計画を建てている。**
- 大気圏内核実験が頻繁に行われていた時期には降水にも多量のトリチウムが含まれていたが、1963年3月の1680TUをピークに減少し、2003年にはほとんど自然環境レベルの5TU程度に戻っている。**(TU:軽水素との同位体比は 10^{-18})
- トリチウムは、米国内の65の原子炉のうち48か所から漏れたことがある。1つのケースでは、リットル当たり280 kBqのトリチウムを含み、飲料水の米国環境保護庁基準の375倍であった。**
- 米国核規制委員会は、2003年の通常運転では、**56基の加圧水型原子炉が1.50 PBq($P=10^{15}$)のトリチウムを放山し、24の沸騰水型原子炉では24.6 TBq($T=10^{12}$)と報告している。**
- 原子力発電所など国内外の原子力関連施設において発生したトリチウムは、**海あるいは大気に排出されている。**

28

- 日本でもこれまで40年以上にわたってトリチウムが排出されてきた、排出にあたっては濃度上限が定められており、原子力関連施設の近海におけるトリチウム濃度のモニタリングも継続して行われている。近海のトリチウム濃度は、WHO（世界保健機関）が定める飲料水のトリチウム濃度（10,000Bq/L）を下回っていることが確認されている。 **自然の約3万倍!!**

日本における降水中のトリチウム濃度：0.353 Bq/L、年間降水量に含まれるトリチウム量の約1.7倍。

国際的な基準

- 飲料水中のトリチウムの法的基準は国によって異なる。いくつかの数字は以下の通りとなっている。
- 米国の基準は年間4.0ミリレム（またはSI単位で40マイクロシーベルト）の線量が得られるように計算されている。これは自然の背景放射線（約3,000pSv）の約1.3%である。

国	トリチウム基準 (Bq/l)
オーストラリア	76103
日本(飲料水用の濃度限度でなく、排水用の濃度限度)	60000
フィンランド	30000
WHO	10000
スイス	10000
ロシア	7700
オンタリオ州(カナダ)	7000
米国	740

トリチウムの放出基準は世界的にまちまち！国内でも原子力施設ごとにまちまち！

- 日本の基準：年間の放出基準量(総量) PWR 7.4×10^{13} Bq/y、BWR 3.7×10^{12} Bq/y
六ヶ所村再処理工場 1.9×10^{15} Bq/y
- 放出濃度基準 (水) 6万 Bq/l (6×10^4 Bq/l)、(空気中) 5 Bq/l ²⁹

29

(参考) 世界の原子力発電所等からのトリチウム年間排出量

・ 海外の原発・再処理施設においても、トリチウムは海洋・気中等に排出される。

※特内の数値はトリチウム排出量を示す。
BWR or ABWR 再処理施設
PWR CANDU or HWR
AGR

出典：英国：Radioactivity in Food and the Environment, 2015
カナダ：Canadian National Report for the Convention on Nuclear Safety, Seventh Report
フランス：トリチウム白書2016
韓国：2016年度 原発立地の環境放射能調査と評価報告書、韓国水力・原子力発電会社 (KHNP)
その他の国々：UNSCEAR(2008年報告書)

(1兆=10¹²) ⁹

多核種除去設備等処理水の取り扱いに関する小委員会 事務局

30

- 2年後(2020年)にはALPS処理水は130万トン、トリチウムの全放射能量は1.3PBq(1.3×10^{15} Bq)と見積もられる。
- 福島第一原子力発電所は、事故前にはトリチウムを年間で2TBq (2×10^{12} Bq) 放出していたので、通常運転時の500年分のトリチウムがタンクの中に存在することになる。
- 現在も事実上の目安とされている福島第一の事故前のトリチウム放出管理目標値は、22TBqなので、この管理目標を遵守すると約60年かかることになる。
- 実際にはトリチウムの半減期が約12年あることと、2020年以降の増加量も勘案して環境放出には約25~30年かかることになる。ただし、地下水などの経路からの新たなトリチウム放出の分を加えると実際には30~40年かかることになり、国と東電が言う7年間で海洋放出を完了するということとつじつまが合わない。
- 結局、ALPS処理水を事故前の環境放出基準を遵守して海洋放出する場合、40年程度の期間を要し、結局今の小型タンクでは耐久性や管理の煩雑さから維持できなくなる³¹と考えられる。

6. 提言

- 現実的な方策は、石油備蓄基地に準じた大型タンクによる長期保管したあとに海洋放出する。
- 長期保管の場合は、石油国家備蓄基地に使われている10万キロリットル級(現在の100倍)の大型タンクを予備を含めて15基の建設が必要。この規模は、石油国家備蓄基地では25~50基のタンクがあり(苫東640万kl)、それに比べると比較的小規模なものとなる。
- 120年保管するとトリチウムの濃度は1000Bq/Lに、240年間の保管で1Bq/Lになり、天然の雨水とほぼ同濃度になる。ここまで減衰すれば捨てることへの異論は少ないと期待される。³¹

31

まとめ

- トリチウムとは？**
水素の同位体（原子核の中性子数が異なるが電子数は同じで、化学的に区別できない）の中で、唯一の放射性元素。最も軽い放射性元素でもある。原子力開発の中で、存在量が急激に増大しつつある。
- トリチウムの人体や環境への影響**
水と同じであることから、人間生活に深く入り込む。その影響は、低エネルギー放射線、比較的短寿命であることから人体への影響は少ないと見られている。しかし、長期間の影響、低レベルの確率的影響についてはこれからの研究課題。
- トリチウムはなぜ除去できないのか？**
水と同じ性質であるため、化学的に分離できず、高性能多核種除去設備でも、分離できず汚染水として処理。最近、トリチウムを分離・除去する技術開発（○蒸留法（水精留・水素精留）○同位体交換反応法（水/水素・水/硫化水素）○電解法）が進んできている。
- 国際的トリチウム問題の取り組み状況**
国際的な統一基準がない。このままでは、CO2問題と同様地球環境に深刻な影響をもたらすことが危惧される。
- 福島第1の汚染水問題の現状**
汚染水タンクが満杯なので、海への放出が行われようとしている。
- トリチウム水の処理・処分の取り組み**
大型タンクを建設して、十分な期間管理保管するべきではないかと考える。³²

32

附 科学と政治

1. 湯川秀樹、原子力委員会辞任

1956年原子力委員会（正力松太郎委員長）：英国コールドーホール型原子炉導入。1957年、湯川秀樹（理学）原子力委員会委員辞職。兼重寛九郎（工学）委員任命。物理学者の原子力からの撤退。黒鉛減速炉の耐震性の問題などから米国製の軽水炉に変更。日本の地震環境における軽水炉の耐震性への徹底研究の必要性。

2. 地震に対する安全性

大飯原発の運転差し止めの判決の樋口元裁判長の講演。東電刑事裁判で「対策を取れば事故は起きなかった」と述べた島崎邦彦元原子力規制委員会委員（地震学者）が大飯原発安全審査における基準地震動の過小評価を指摘（2016）。11年3月の原発事故直前、東北沿岸に襲来する津波が内陸まで達する可能性があるとする長期評価の改訂版を公表する予定だったが、事務局の提案で4月に延期することを了承したと説明。島崎氏は「延期を了承しなければ、（津波への注意喚起につながり）多くの人が助かったかもしれない。なぜ延期したのかと、自分を責めた」と述べた。

3. SPEEDI（緊急時迅速放射能影響予測ネットワーク）問題

「SPEEDI」が住民を放射線被ばくから守るために有効に活用されず、そのために無用の被ばくを被り、避難の際の混乱や犠牲を強いたりした。また、事故直後、政府が「SPEEDI」の計算結果を速やかに公開しなかったことは、事故の重大さを物語り、避難などの火急の措置の必要性を示唆する情報を「隠べい」しようとしたとして、非難された。³³