

2022年10月25日

第1回 ALPS処理水モニタリングシンポジウム

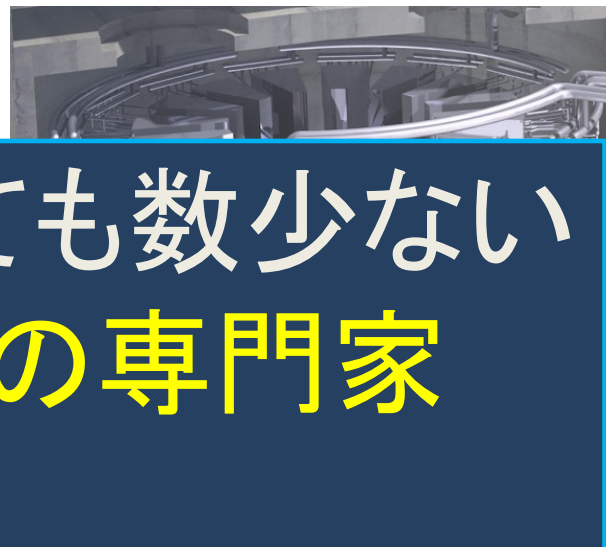
ALPS処理水に含まれる トリチウムとは何か ～トリチウムの基礎知識及び安全性～

茨城大学 大学院 理工学研究科

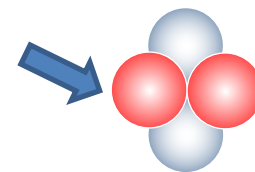
鳥 養 祐 二



重水素



中性子



ヘリウム

世界的に見ても数少ない
トリチウムの専門家
の一人です。

核融合は
中で起きている反
応です。

核融合炉燃料であるトリチウムを安全に取り扱うための研究を行っています。

大量トリチウム取扱技術の開発、トリチウム分析技術の開発、
トリチウムの除染法の開発、etc.

本日の内容

1. トリチウムの基礎知識
2. 自然界に存在するトリチウム
3. トリチウムの人体への影響
4. トリチウム処理水の処分を考える

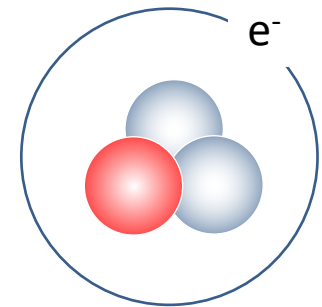
よく出てくる略語など

Bq : 放射能の単位 (ベクレル)

L = リットル

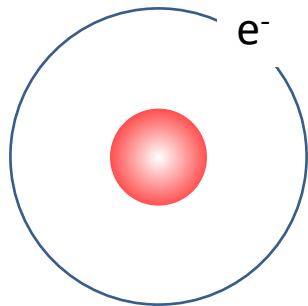
Bq/L = ベクレル／リットル

ALPS = 多核種除去装置



トリチウムは水素の仲間(水素の同位体)

(軽)水素



Protium (H)

質量数: 1

陽子 1個

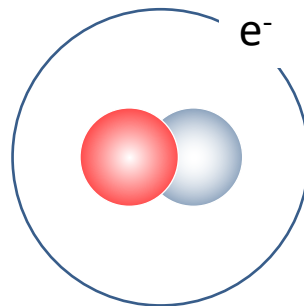
中性子 0個

電子 1個

安定同位体

存在比 99.985%

重水素



Deuterium (D)

質量数: 2

陽子 1個

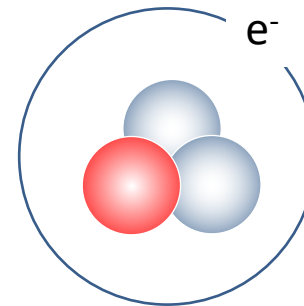
中性子 1個

電子 1個

安定同位体

存在比 0.015%

三重水素
(トリチウム)



Tritium (T)

質量数: 3

陽子 1個

中性子 2個

電子 1個

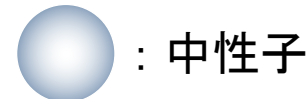
放射性同位体

存在比 極微量

^3H とかTと
書きます。

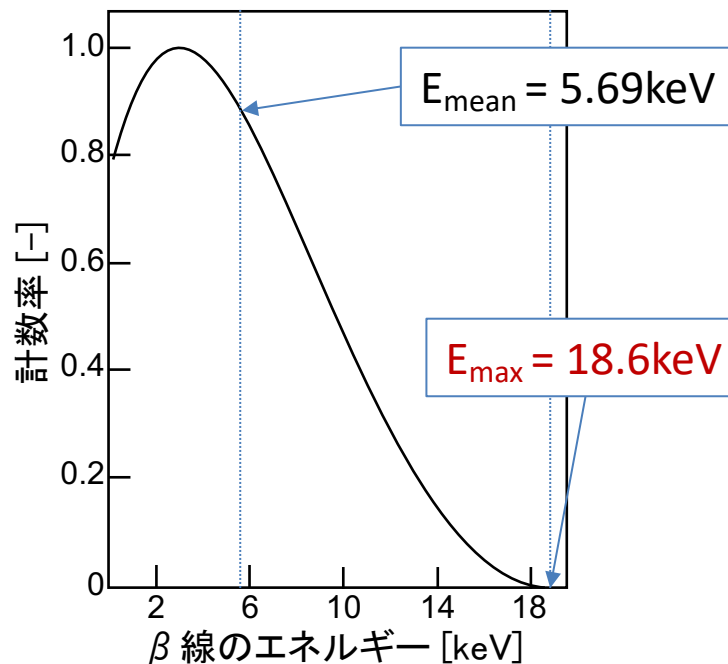
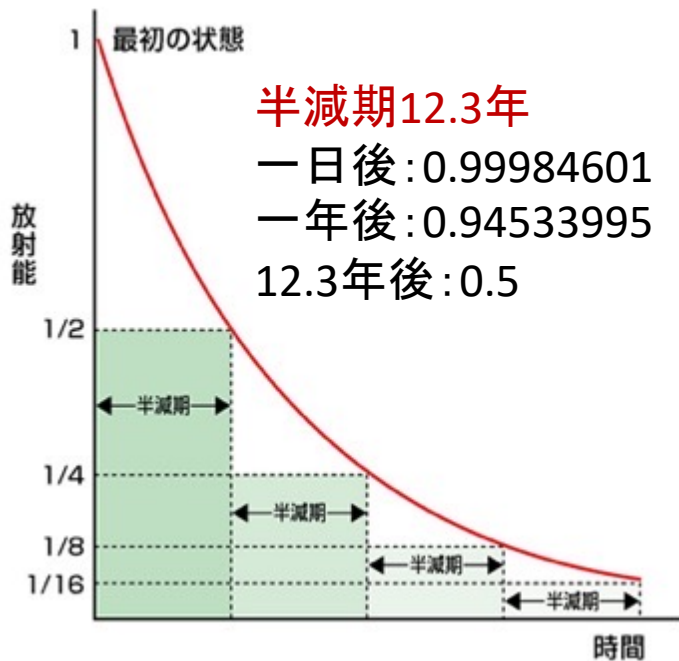


: 陽子



: 中性子

トリチウムの壊変



放射性核種から放出される放射線の中で、非常に小さいエネルギーの放射線を放出しません。

空気中で5mmぐらいしか透過せず、皮膚や容器の壁を通り抜けることはできません。

容器内のトリチウムは、外から検出できません

福島第一原子力発電所で行われているトリチウム処理水測定デモは、ALPSで他の核種が十分に除去できたことを確認するためです。トリチウムを検出するために行っているわけではありません。



本日の内容

1. トリチウムの基礎知識
2. 自然界に存在するトリチウム
3. トリチウムの人体への影響
4. トリチウム処理水の処分を考える

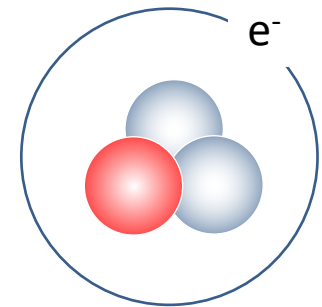
よく出てくる略語など

Bq : 放射能の単位 (ベクレル)

L = リットル

Bq/L = ベクレル／リットル

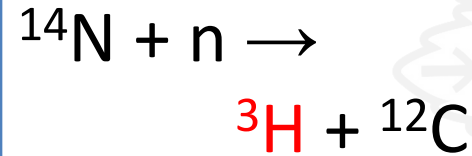
ALPS = 多核種除去装置



地球上にはたくさんのトリチウムが存在します

全球存在量(1990)

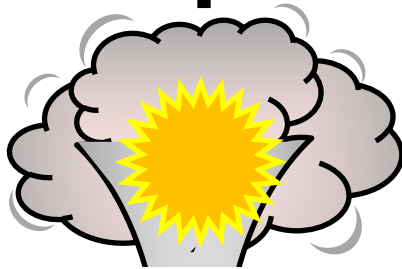
1-1.3 EBq + 52EBq(**142kg-T**)
(百島、2000)



宇宙線生成量
72 PBq/y (**200g-T**)
(UNSCEAR 2000 付属書B Table 4)

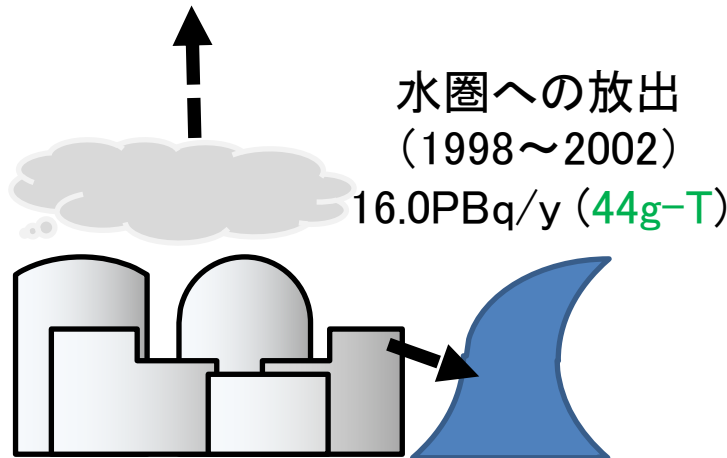
19.5 EBq(2021年)
(**53kg-T**)

186 EBq



核実験
(1945-1980)

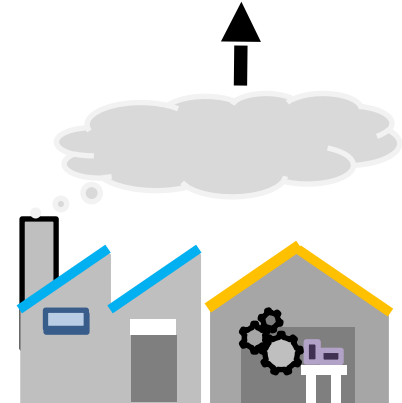
気圏への放出
(1998~2002)
11.7PBq/y (**32g-T**)



原子力施設

水圏への放出
(1998~2002)
16.0PBq/y (**44g-T**)

0.4EBq/y(百島、2000)

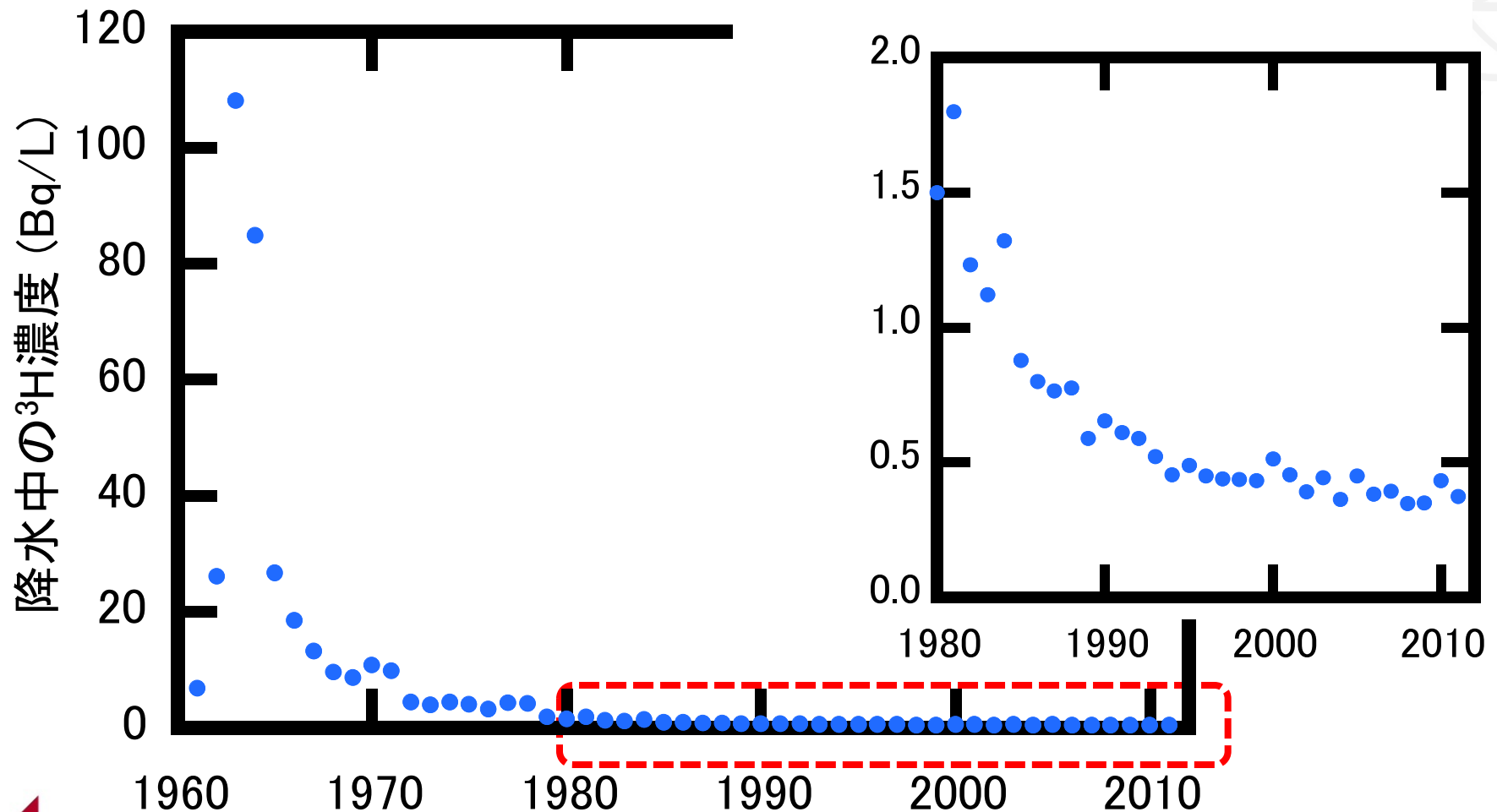


消費財

E(エクサ): 100京 10^{18}
P(ペタ) : 1,000兆 10^{15}

日本における降水中のトリチウム濃度の変遷

東京、千葉における降水中心トリチウム濃度



色々な飲料水中のトリチウム濃度

飲料水名	トリチウム濃度 (Bq/L)
茨城大学の水道水	0.4
キリンのやわらか天然水	0.3(3年)
Coopおいしい水	0.4(0年)
いろはす	0.04(42年)
クリスタルガイザー	0.03(45年)

地中に長く滞留した水は、トリチウム濃度が低くなります。



本日の内容

1. トリチウムの基礎知識
2. 自然界に存在するトリチウム
3. トリチウムの人体への影響
4. トリチウム処理水の処分を考える

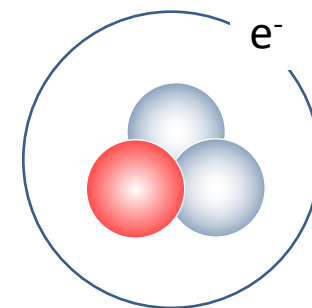
よく出てくる略語など

Bq : 放射能の単位 (ベクレル)

L = リットル

Bq/L = ベクレル／リットル

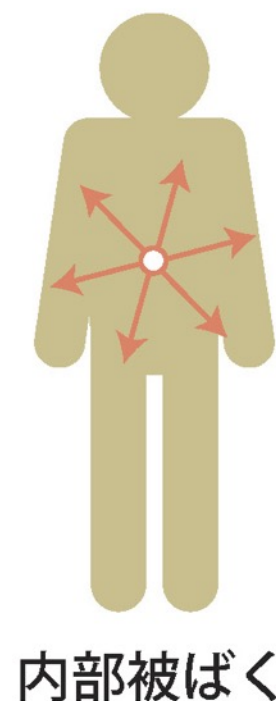
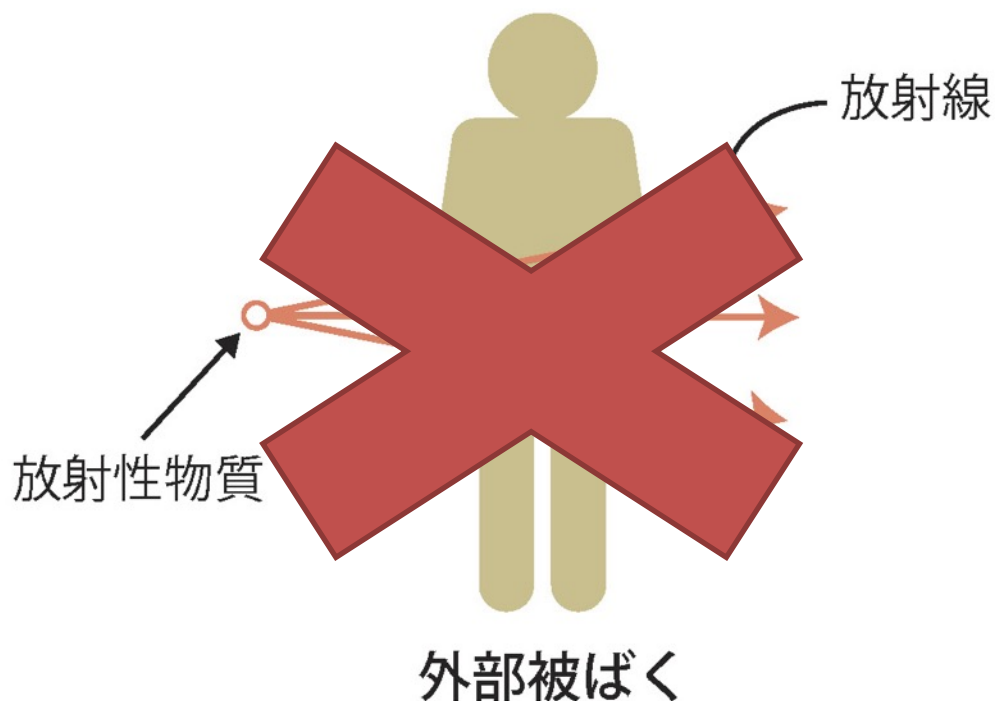
ALPS = 多核種除去装置



トリチウムによる被ばく

トリチウムの β 線の最大エネルギーは18.6keV

このエネルギーは非常に小さく、空気中では最大でも5mm、水中では5 μ m程度しか透過できません。



体の外にトリチウムがある場合は、被ばくは起きません。

トリチウムの生物影響

➤ トリチウムはエネルギーの非常に低いβ線を放出します。

	トリチウム	^{137}Cs
β線の最大エネルギー	$E_{\max} = 18.6 \text{ keV}$	$E_{\max} = 514 \text{ keV}$ $^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137\text{m}}\text{Ba} \rightarrow ^{137}\text{Ba}$ によるγ線(662keV)を出す
経口摂取した場合の 実効線量係数	$1.8 \times 10^{-8} \text{ mSv/Bq (水)}$ $4.2 \times 10^{-8} \text{ mSv/Bq (有機物)}$	$1.3 \times 10^{-5} \text{ mSv/Bq}$

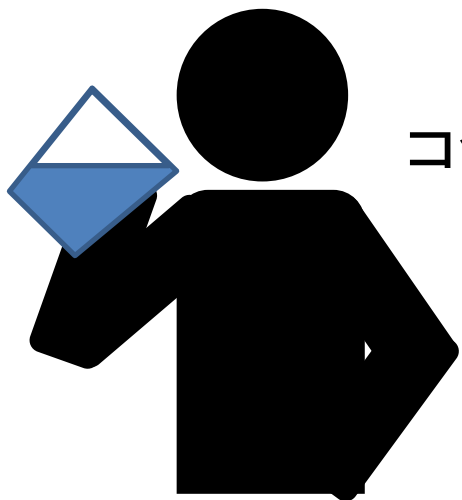
トリチウムの放射線の影響(危険性)は ^{137}Cs の1/1,000以下です。

➤ 法令上のトリチウム

下限数量・下限濃度*	$1 \times 10^9 \text{ Bq}, 1 \times 10^6 \text{ Bq/g}$	$1 \times 10^4 \text{ Bq}, 1 \times 10^1 \text{ Bq/g}$
排水中の濃度限度	$60 \text{ Bq/cm}^3 (60,000 \text{ Bq/L})$	$9 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^3 (90 \text{ Bq/L})$

*健康への影響が無視できるほど小さく、放射性物質として扱う必要がない量
(放射線規制法 告示別表第一および第二)

体の中のトリチウム



コップ1杯 約200ml

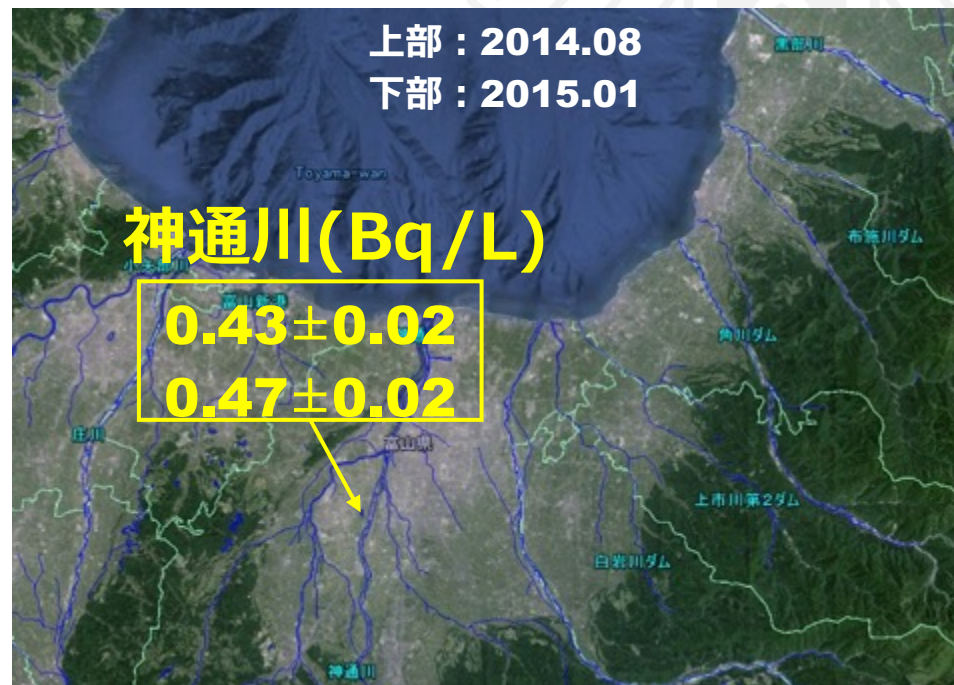
↓
0.09Bq

日本人が1日に摂取する水の量は2.25L*。つまり、1日に**約1Bq**のトリチウムを摂取しています。

*防災指針によると、日本人は1日に2.25Lの水(水として1.65L、その他の食品から0.6L)を摂取する。

● 私の体の体液のトリチウム濃度は、**約0.5 Bq/L****。

➤ 摂取する水のトリチウム濃度が一定の場合、体の中のトリチウム濃度は一定になります。



→ 体の中にもトリチウムはあります

トリチウムによる内部被ばく線量の計算

内部被曝した場合は、預託線量という考え方で被曝線量を計算します。

預託実効線量(mSv) = 実効線量係数(mSv/Bq) × 年間の核種摂取量(Bq)

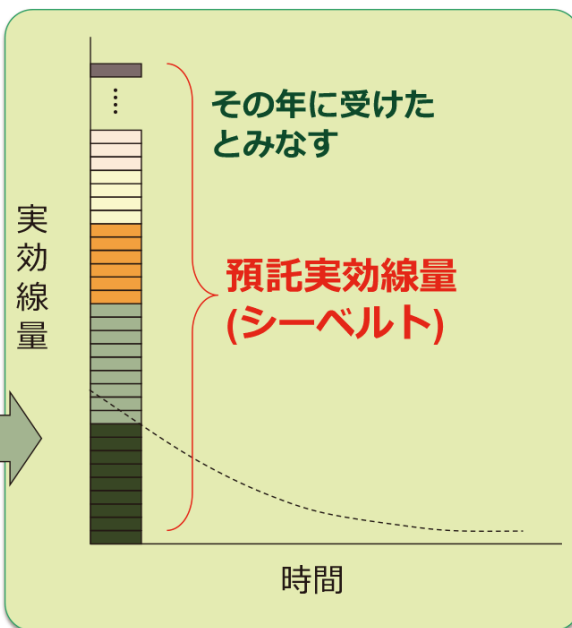
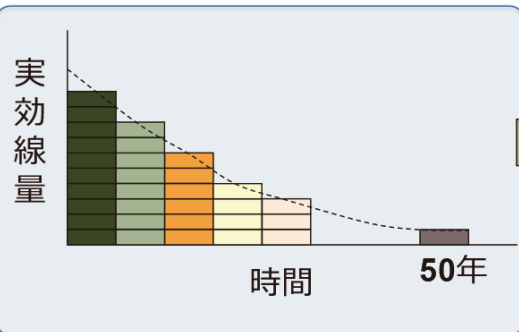
✓ トリチウム(水)の実効線量係数: 1.8×10^{-8} mSv/Bq

放射性物質を一回だけ摂取した場合に、それ以後の生涯にどれだけの放射線を被ばくすることになるかを推定した被ばく線量

内部被ばくの計算

将来にわたる線量を積算

- 公衆（大人）：摂取後50年間
- 子ども：摂取後70歳まで



(出典：環境省 放射性物質対策)

- 0.5 Bq/Lの水を一年間飲み続けた場合

$$0.5 \text{ Bq/L} \times 2.25 \text{ L/日} \times 365 \text{ 日} \\ \times 1.8 \times 10^{-8} \text{ mSv/Bq} \\ = 7.4 \times 10^{-6} \text{ mSv} = 7.4 \text{ nSv}$$

- 1,500 Bq/Lの水を1年間飲み続けた場合

$$1,500 \text{ Bq/L} \times 2.25 \text{ L/日} \times 365 \text{ 日} \\ \times 1.8 \times 10^{-8} \text{ mSv/Bq} \\ = 0.022 \text{ mSv}$$

公衆の年間の被ばく線量限度(1mSv)の1/45です。

トリチウム濃度と年間の被ばく線量

	トリチウム濃度 (Bq/リットル)	1年間摂取し続けた ときの年間被ばく線 量 (mSv/年)*
マウスを用いた実験で、発がん頻度が自然発生と同程度であったトリチウム濃度。これ以上の濃度での実験では、発がん頻度が上昇。	139,000,000	2,055
ICRPがこの濃度未満であれば人体に問題ないとする濃度	60,000	0.89
管理区域・原子力施設からの排水基準	60,000	0.89
WHOの飲料水のガイドライン	10,000	0.15
東京電力が海洋放出を検討している濃度	1,500	0.022
核実験当時の降水中のトリチウム濃度	110	0.0016
茨城大学の水道水 (那珂川水系)	0.4	0.0000059
海水中のトリチウム濃度	0.1	0.0000015

* 年間被曝線量は、1日に2.25Lの水(水として1.65L、その他の食品から0.6L)を摂取するとして計算
(参考: 防災指針)

本日の内容

1. トリチウムの基礎知識
2. 自然界に存在するトリチウム
3. トリチウムの人体への影響
4. トリチウム処理水の処分を考える

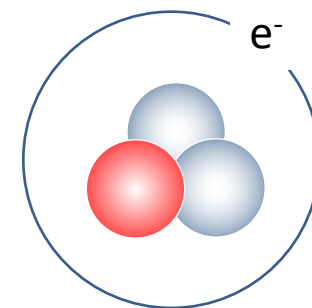
よく出てくる略語など

Bq : 放射能の単位 (ベクレル)

L = リットル

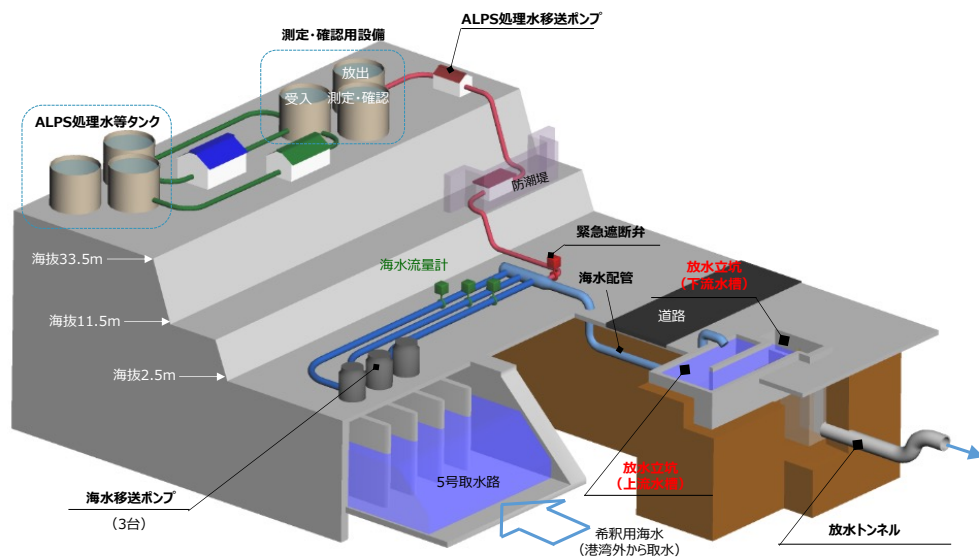
Bq/L = ベクレル／リットル

ALPS = 多核種除去装置



東京電力のトリチウム処理水の処分計画

- ALPSで処理してトリチウム以外の62核種および炭素14の放射能を十分にきれいにした水(告示濃度比総和が1未満となるまで浄化)を海洋に放出する。
- 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Bq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1,500Bq/L未満とする。
- 希釈後のALPS処理水は、発電所沖合約1kmの海底より放出する。

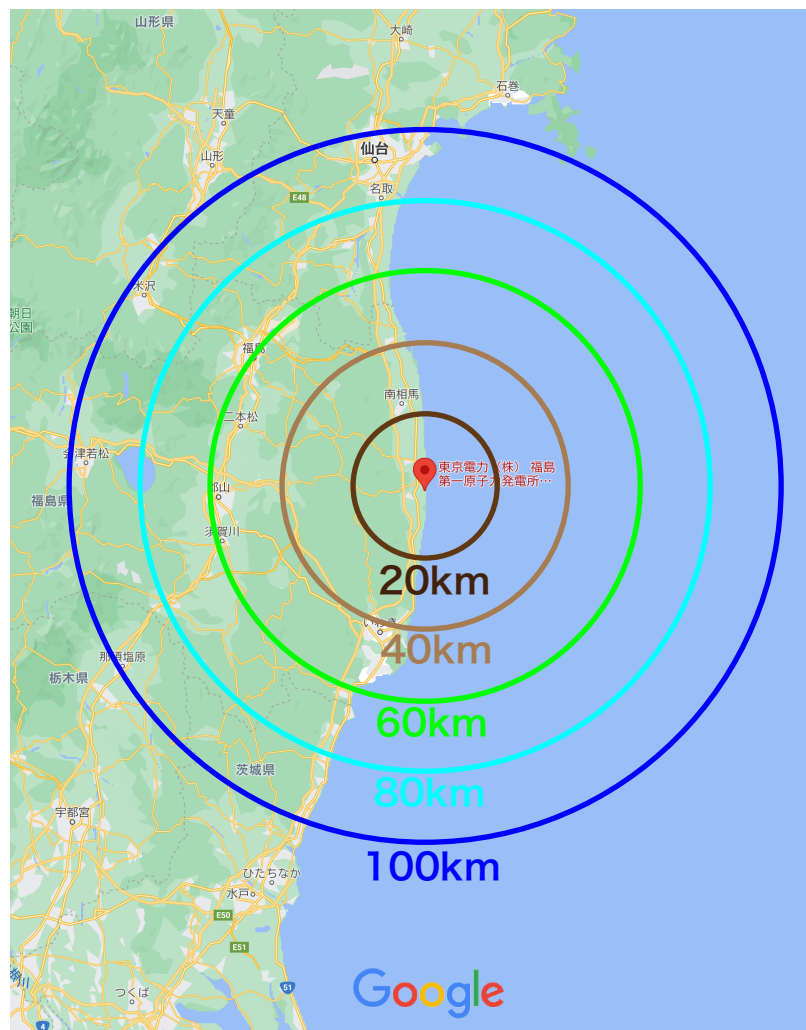


海洋放出処分の分かりにくい点

- トリチウム処理水の海洋放出の目的は？
 - ✓ トリチウム処理水の海洋放出は、今後の燃料デブリの処分などに必要な敷地を確保するためです。
- トリチウムはどうやって処分するの？
 - ✓ トリチウムを海洋に放出処分と言われていますが、ほとんどのトリチウムは β -壊変によって減少します。
- なぜ、1,500 Bq/Lで海洋放出？
 - ✓ 他の放射性核種が含まれているために1,500 Bq/Lで海洋放出と言われていますが、他の放射性核種は多核種除去装置(ALPS)で十分に除去できます。十分に安全が担保されたこの濃度で海洋放出しても、処分に問題ないからです。
- トリチウムの排出量は多くなったの？
 - ✓ 3.11前と比較して、トリチウムの年間の海洋放出量は多くなっていません。

→ 安全性は3.11前と変わりません。

海洋放出したトリチウムは検出されるか？



✓ トリチウム処理水は1,500 Bq /L未満の濃度で海洋放出を予定しています。

→ トリチウムは環境中にたくさん存在するので、海水により2,000倍に希釈されたら環境中のトリチウムと区別ができなくなります。

✓ 平均濃度620,000Bq/Lのトリチウム処理水を、1日500トン処理すると仮定すると、1日あたりの排水量は21万トンです。

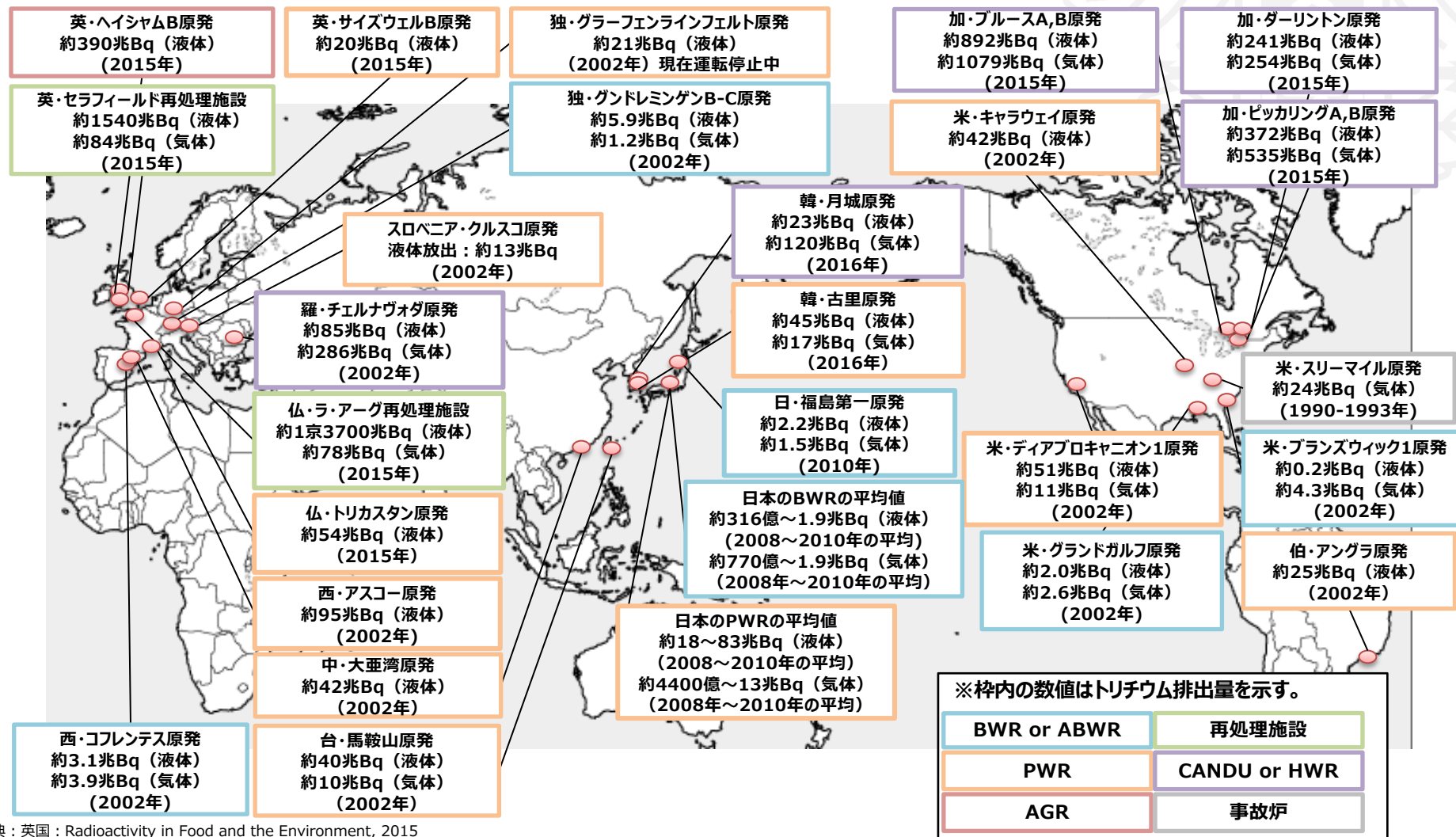
• 平均の水深が20mとすると、

➤ 21万トン: $100\text{m} \times 100\text{m} \times 20\text{m}$

➤ 21万トン $\times$ 2,000: $4.6\text{km} \times 4.6\text{km} \times 20\text{m}$

海水の希釈効果は非常に大きいので、放出口付近から数キロメートルも離れれば検出は非常に困難です。

世界の原子力施設からのトリチウムの放出



<参考> 1兆Bq≒約0.019g (トリチウム水)

(出典: 経済産業省資料)

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: 韓国原子力安全委員会「Korean Sixth National Report under the Joint Convention on the safety of spent fuel Management and on the safety of radioactive Waste Management」
 日本: 平成25年度原子力施設運転管理年報 (原子力安全基盤機構)
 その他の国々: UNSCEAR「2008年報告書」

世界の原子力施設からのトリチウムの年間放出量

- ✓ フランス ラ・アーグ再処理施設(2015年):

約 1.37×10^{16} Bq (**38 g-T₂**)

1Fの600倍

- ✓ イギリス セラフィールド再処理施設(2015年):

約 1.54×10^{15} Bq (**4.3 g-T₂**)

1Fの67倍

- ✓ カナダ ダーリントン原子力発電所(2015年):

約 2.4×10^{14} Bq (**0.67 g-T₂**)

1Fの10倍強

- ✓ 韓国 月城原子力発電所(2016年):

約 2.3×10^{13} Bq (**0.064 g-T₂**)

1Fとほぼ同じ

- ✓ 福島第一原子力発電所の年間最大放出量:

最大 2.2×10^{13} Bq (**0.063 g-T₂**)

まとめ

トリチウム処理水は、他の放射性物質を取り除いた後に希釈して海洋に放出処分する方法が、**最も安全・確実**です。

これに対し、東京電力は、トリチウム以外が十分にきれいになった水を海洋放出する計画です。

- ✓ 海洋へのトリチウムの放出量は、3.11以前と比べて多くなっていません。
- ✓ 海洋放出した場合は海水により希釈されるので、放出口から数kmも離れれば、検出は困難です。

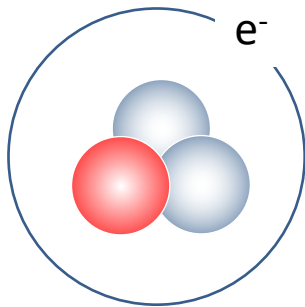
トリチウムの専門家として、

計画通りに海洋放出処分が行われるかぎり問題はない

と、判断します。

従って、東京電力が計画通りにトリチウム処理水を処分することを、しっかりと監視・見守ることが大事です。

ご清聴ありがとうございました。



トリチウム濃度と年間被曝線量(食品＋水)

	トリチウム 濃度 (Bq / L)	この水を1年間摂取し続けた 時の年間被ばく線量* (mSv / 年)
マウスを用いた実験で、発がん頻度が自然発生と同程度であったトリチウム濃度。これ以上の濃度での実験では、発がん頻度が上昇。	139,000,000	2,055
オーストラリアの飲料水中のトリチウムの濃度限度	76,103	1.17
ICRPがこの濃度未満であれば人体に問題ないとする濃度	60,000	0.89
管理区域・原子力施設からの排水基準	60,000	0.89
WHOの飲料水のガイドライン	10,000	0.15
カナダの飲料水中のトリチウムの濃度限度	7,000	0.10
東京電力が海洋放出を検討している濃度	1,500	0.02
飲料水の連邦基準(USA)	740	0.011
核実験当時の降水中のトリチウム濃度	110	0.0016
ヨーロッパ(EU)の飲料水中のトリチウムの濃度限度	100	0.0015
現在の降水中のトリチウム濃度	0.5	0.0000074
海水中のトリチウム濃度	0.1	0.0000015

* 年間被曝線量は、1日に2.25Lの水(水として1.65L、その他の食品から0.6L)を摂取するとして計算

有機結合型トリチウム(OBT)濃度について

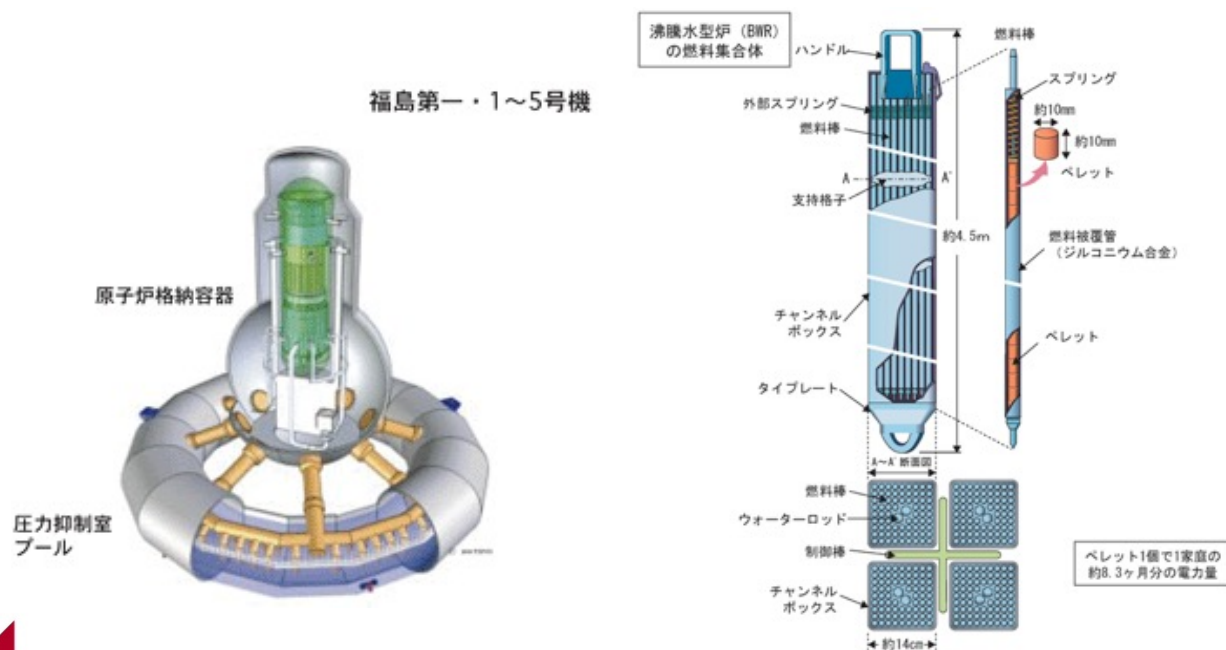
	トリチウム 濃度 (Bq / kg)	この食品を1年間摂取し続けた時の年間被曝線量* (mSv / 年)
WHOの飲料水のガイドライン	10,000	0.15
放射性セシウムの基準値 一般食品 (厚生労働省)	100	0.07
国際連合食料農業機関(FAO)及び世界保健機関(WHO)による、 「食品及び飼料中の汚染物質及び毒素に関するコーデックス一般規格(CODEX STAN 193-1995)」 乳児用食品以外の食品(有機結合したトリチウム)	10,000	0.02
放射性セシウムの基準値 乳幼児 (厚生労働省)	50	0.02
東京電力が海洋放出を検討している濃度	1,500	0.02
国際連合食料農業機関(FAO)及び世界保健機関(WHO)による、 「食品及び飼料中の汚染物質及び毒素に関するコーデックス一般規格(CODEX STAN 193-1995)」 乳児用食品(有機結合したトリチウム)	1,000	0.002
ヨーロッパ(EU)の飲料水中のトリチウムの濃度限度	100	0.0015
現在の降水中のトリチウム濃度	0.5	0.0000074
海水中のトリチウム濃度	0.1	0.0000015

ニュースでトリチウム処理水って聞くけど・・・

- 原子力発電所では、発電に伴ってトリチウムが生成します。



- 生成したトリチウムは通常は燃料中に閉じ込められます。



原子力施設からのトリチウムの放出

- 原子力発電所では、放出の管理目標値を保安規定に定めて管理しています。
福島第一原子力発電所の放出の管理目標値: 2.2×10^{13} Bq/年(22兆Bq/年)
 東海再処理施設: 1.9×10^{15} Bq/年
- ✓ ほとんどの原子力施設は、放出管理目標値の1/10ぐらいの量を放出している。
- ✓ 沸騰水型よりも加圧水型の方がトリチウムの排出量が多い。

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
東京電力 福島第一 原子力発電所	1.4E12	1.0E12	1.3E12	2.6E12	1.4E12	1.6E12	2.0E12 (0.0056g)	-	-	-
北海道電力 泊原子力発電 所	2.2E13	1.9E13	3.1E13	2.9E13	2.7E13	2.0E13	3.0E13	3.3E13	3.8E13	8.7E12
九州電力 玄海原子力発 電所	9.5E13	7.3E13	7.4E13	9.9E13	8.6E13	6.9E13	8.1E13	1.0E14	5.6E13	2.0E12
日本の原子力 発電所の合計	4.1E14	4.2E14	3.7E14	3.9E14	4.0E14	3.4E14	3.9E14 (1.1g)	3.6E14	3.1E14	4.9E13

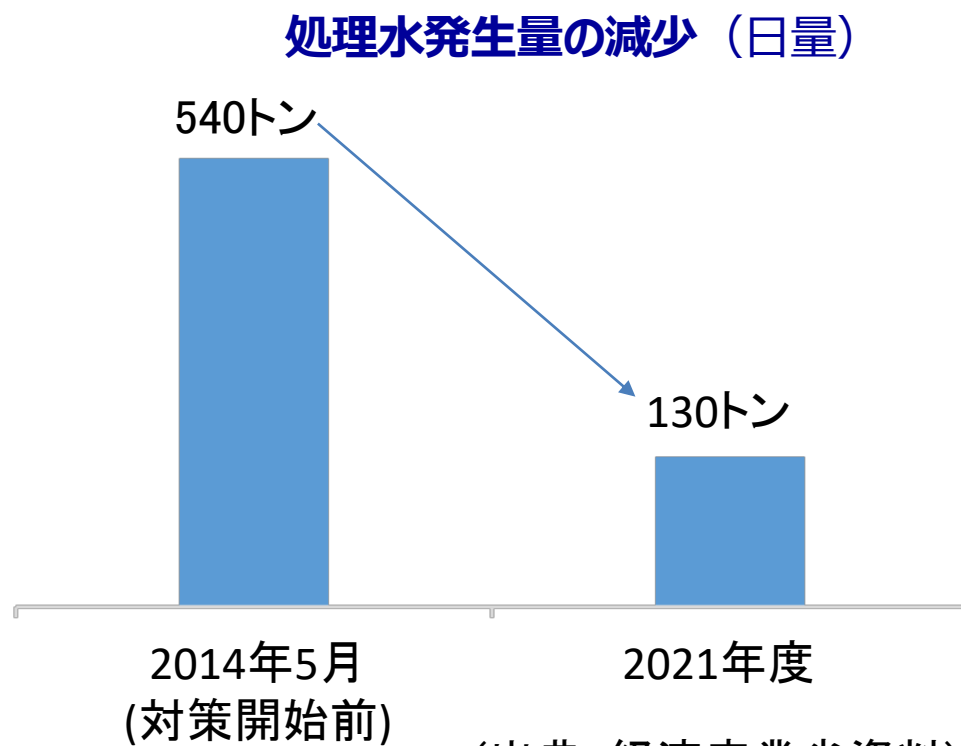
単位 Bq

(出典:平成25年度版 原子力施設運転管理年報)

○本配置図は、現状（2017年9月）の敷地の利用状況と現段階の利用計画に基づき作成。
○また、将来の廃炉作業の進捗に応じて、施設の設定・廃止が必要となることから、適宜計画の見直しを実施。

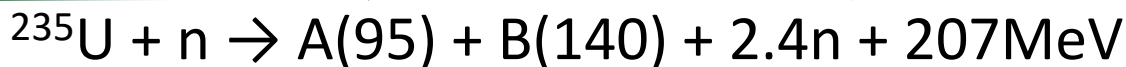
処理水の発生を減らすことは出来ないのか？

- ◇ 凍土壁やサブドレンなど様々な対策により、処理水の発生量は減っています（対策前1日約540トン → 対策後1日約140トン）。
- ◇ タンク設置のペースは、「2日に1基」から、「1週間に1基」へ減っています。

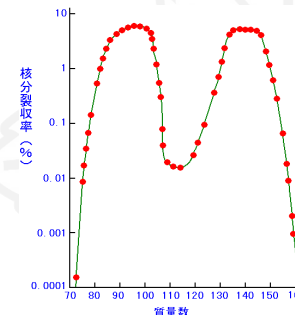


（出典：経済産業省資料）

核分裂で生成する放射性核種



核分裂により80種以上の核種が生成します。



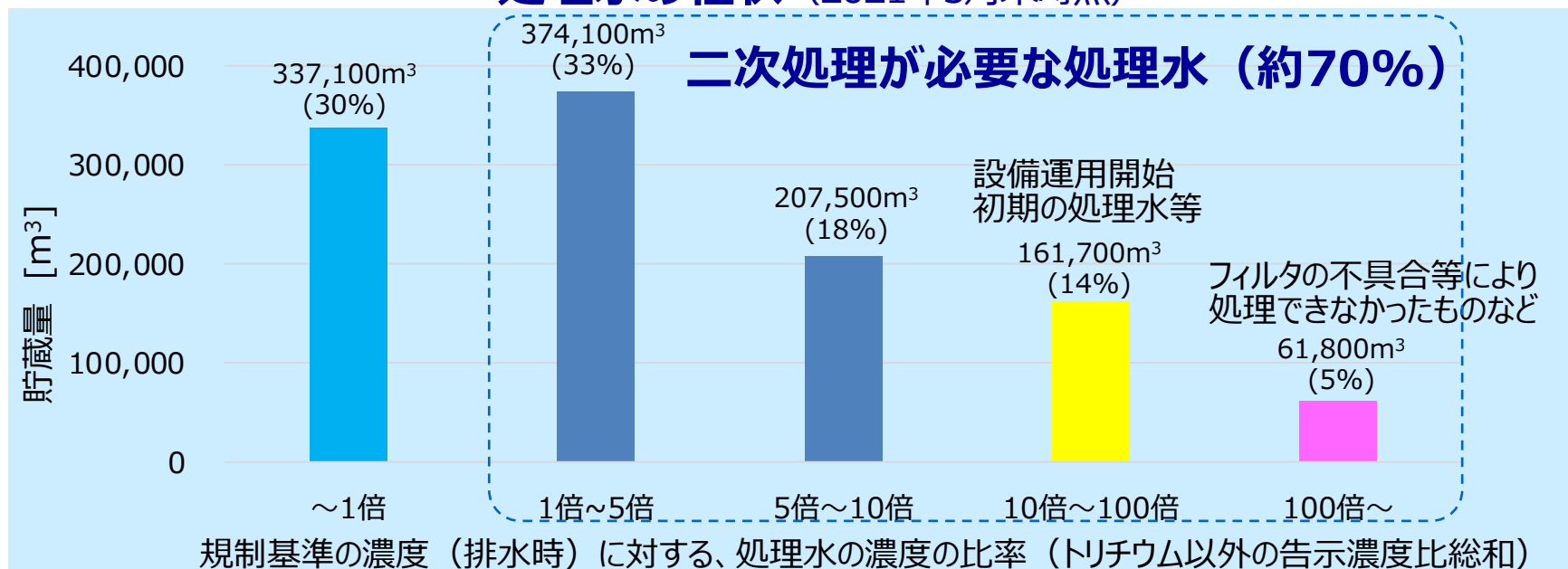
核種	核分裂収率 (%)	半減期	β線 (MeV)	γ線 (MeV)
$^{85}\text{Kr} \rightarrow ^{85}\text{Rb}$	0.3	10.8 y	0.672	0.514
$^{89}\text{Sr} \rightarrow ^{89}\text{Y}$	4.8	51 d	1.463	
$^{90}\text{Ba} \rightarrow ^{90}\text{Kr} \rightarrow ^{90}\text{Rb} \rightarrow ^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y} \rightarrow ^{90}\text{Zr}$	5.8	28 y	0.544	
$^{95}\text{Kr} \rightarrow ^{95}\text{Rb} \rightarrow ^{95}\text{Sr} \rightarrow ^{95}\text{Y} \rightarrow ^{95}\text{Zr} \rightarrow ^{95}\text{Nb} \rightarrow ^{95}\text{Mo}$	6.2	65.5 d	0.396, 0.360	0.235, 他
$^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc} \rightarrow ^{99}\text{Tc} \rightarrow ^{99}\text{Ru}$	6.1	65.94 h	1.21	(0.141)
$^{131}\text{Sn} \rightarrow ^{131}\text{Sb} \rightarrow ^{131}\text{Te} \rightarrow ^{131}\text{I} \rightarrow ^{131}\text{Xe}$	3.1	8.05 d	0.608, 0.335	0.365, 他
$^{133}\text{Xe} \rightarrow ^{133}\text{Cs}$	6.6	5.27 d	0.347	0.081
$^{135}\text{Xe} \rightarrow ^{135}\text{Cs} \rightarrow ^{135}\text{Ba}$	6.3	9.14 h	0.91	0.250
$^{137}\text{I} \rightarrow ^{137}\text{Xe} \rightarrow ^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137\text{m}}\text{Ba} \rightarrow ^{137}\text{Ba}$	6.2	30 y	0.514	(0.662)
$^{144}\text{Ce} \rightarrow ^{144}\text{Pr} \rightarrow ^{144}\text{Nd}$	6.0	285 d	0.309, 0.175	0.134, 他
$^{147}\text{Pm} \rightarrow ^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd}$	2	2.64 y	0.225	

トリチウム処理水に含まれている他の核種の状況

- ◇ 処理水にはトリチウム以外にも規制基準以上の放射性物質が残っています。
- ◇ ALPS処理は、貯蔵されている水が 敷地外に与える影響（敷地境界線量）を急いで下げるため、事故発生からしばらくの間は処理量を優先して実施したためです。
- ◇ 複数の核種が混ざっている場合は、告示濃度比総和が1未満で排水することができます。

$$\frac{A\text{核種の濃度}}{A\text{核種の濃度限度}} + \frac{B\text{核種の濃度}}{B\text{核種の濃度限度}} + \frac{C\text{核種の濃度}}{C\text{核種の濃度限度}} + \dots + \dots < 1$$

処理水の性状（2021年3月末時点）



トリチウム以外の核種の除去は可能か？

◇ 複数の核種が混ざっている場合は、**告示濃度比総和が1未満**で排水することができます。

$$\frac{A\text{核種の濃度}}{A\text{核種の濃度限度}} + \frac{B\text{核種の濃度}}{B\text{核種の濃度限度}} + \frac{C\text{核種の濃度}}{C\text{核種の濃度限度}} + \dots + \dots < 1$$

➤ 東京電力では62核種 + ^{14}C + ^3H について測定し、1以下で放出する。

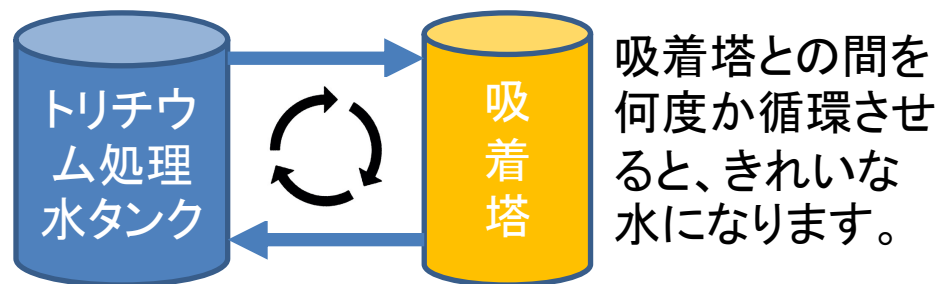


多核種除去設備 (ALPS)

62核種 + ^{14}C について二次処理前後で測定した結果、十分に除去できたそうです。

	二次処理前	二次処理後
J1-C群	2,406	0.35
J1-G群	387	0.22

東京電力では、**告示濃度比総和が1よりも十分に小さくなるまで処理する**そうです。

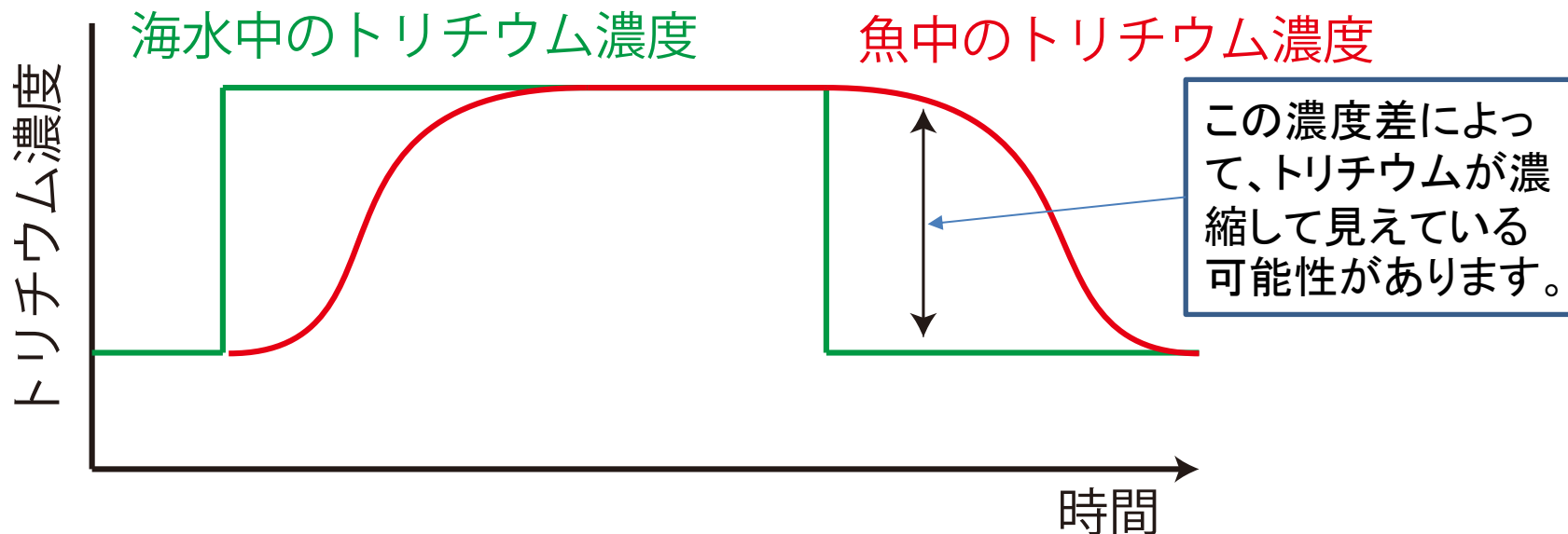


(出典: 東京電力資料)

トリチウムの生体濃縮は起きるのか？

生体へのトリチウムの取り込みに関する研究は、イギリスやカナダで報告されています。

- ✓ 海水のトリチウム濃度変化に対して、魚のトリチウム濃度変化は遅れます。



◆ 私の体の中ではトリチウムの濃縮は観測されていません。

東京電力が計画しているトリチウム処理水中での魚などの飼育により、生物におけるトリチウム濃縮挙動が明らかになると思われます。

有機結合型(OBT)のトリチウムはできるのか？

トリチウム水から有機結合型トリチウムができる反応は、光合成と同位体交換反応が考えられます。

✓ 光合成



(参照: Wikipedia)

海藻や植物プランクトンへの取り込み

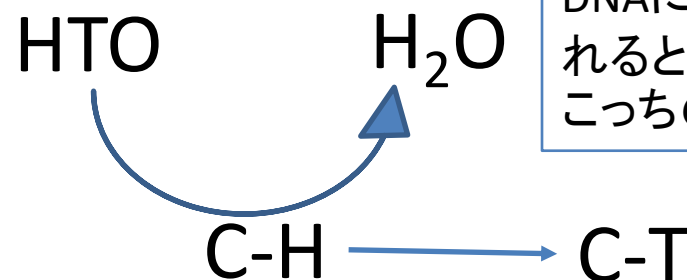


魚、人

光合成では、水中のトリチウムはセルロースに取り込まれるため、食べたとしても、ほとんどのトリチウムはそのまま排出されます。

セルロースの様な有機物に含まれたトリチウムが、いきなりDNAの中に取り込まれることはありません。

✓ 同位体交換反応



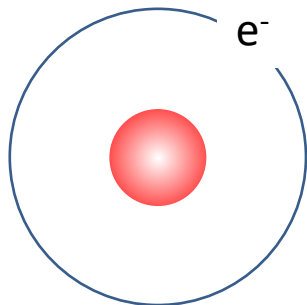
DNAに取り込まれるとしたらこっちの反応

どちらの反応も反応速度は非常に遅いので、簡単にはトリチウム水と同じ濃度にはなりません。

東京電力が計画しているトリチウム処理水中での魚などの飼育により、有機結合型トリチウムの生成挙動が明らかになると思われます。

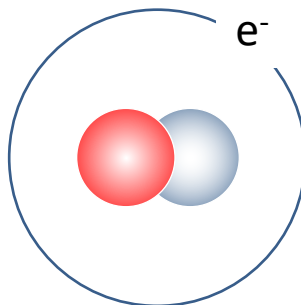
トリチウムの同位体効果

水素



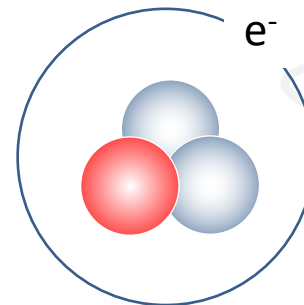
質量数:1

重水素

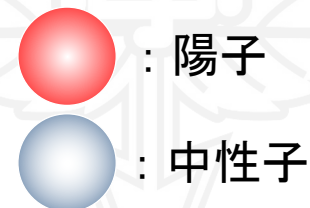


質量数:2

トリチウム



質量数:3



- 水素同位体の化学的性質は同じです。
- 水素同位体は重さが違うため、物理的特性に若干の違いがあります(同位体効果)。

	H ₂	D ₂	T ₂
沸点(K)	20.28	23.87	25.04

- 水状でも同位体効果があります。

この差を用いてトリチウムを分離できますが、差は非常に小さいので、分離は大変です。

	H ₂ O	D ₂ O	T ₂ O
分子量	18.0153	20.0275	22.0315
融点(°C)	0	3.79	4.49
沸点(°C)	100	101.4	101.5
密度(g/ml)	1.000	1.105	1.215

水の中からトリチウムを取り除くことはできるのか？

水の中のトリチウムを濃縮する技術は存在しますが、**濃度の高いトリチウム水と低いトリチウム水に分けているだけです。**

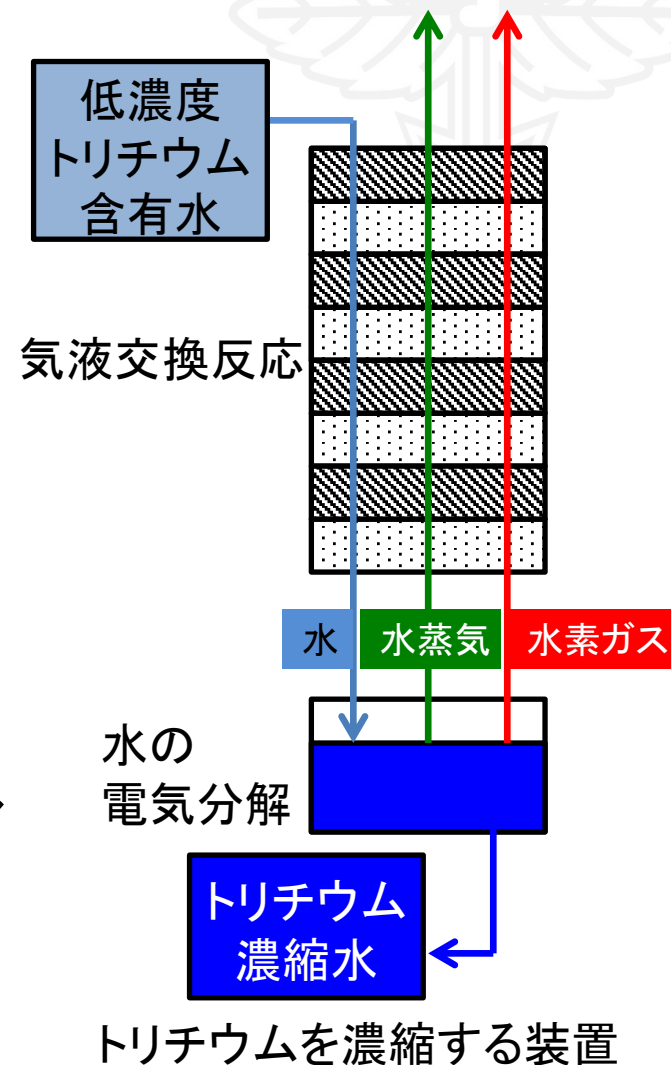
〈問題点〉

1. 処理に非常に時間が掛かる。
2. 濃縮後に生成するトリチウム濃度の高い水の処分ができない。
3. 水の中からトリチウムを完全に取り除くことはできない。
4. 濃縮後に発生するトリチウム濃度の低い水の処分ができない。

〈現実的な処分法〉

トリチウム処理水は、他の放射性物質を取り除いた後に、排水中の濃度限度 (60,000 Bq/L) 以下に希釈し、環境中のトリチウム濃度が上昇しないように**管理しながら海洋に放出することです。**

・CECEシステム



市販されているトリチウムを含んだ物

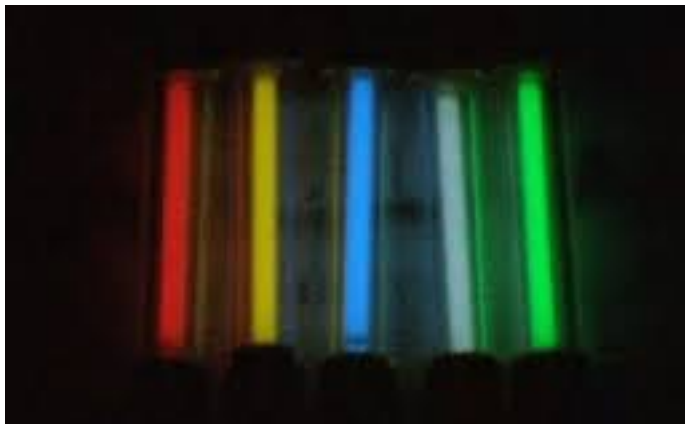
市販されている物の中で、トリチウムを含んだ物は時計のみ。
1個あたり、1 GBq(10億ベクレル)以下のトリチウムを含んだ時計の
販売が許可されています。

時計の蛍光塗料としてトリチウムが使用されている。



T25は、25ミリキュリー(mCi)のこと。
 $25\text{mCi} = 9.25\text{億ベクレル}$

トリチウム夜光管は絶対に買わないでください



インターネット上には、トリチウムをガラス管に封じ込めた夜光管が販売されています。

トリチウムを化学物質扱いしている国では、トリチウム夜光管が販売されています。

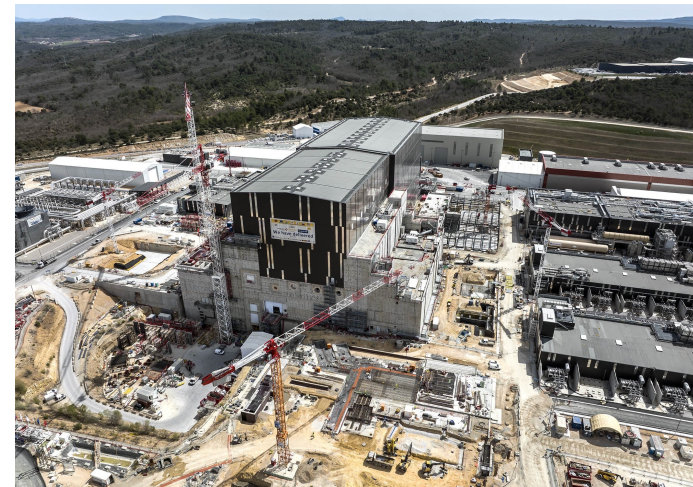
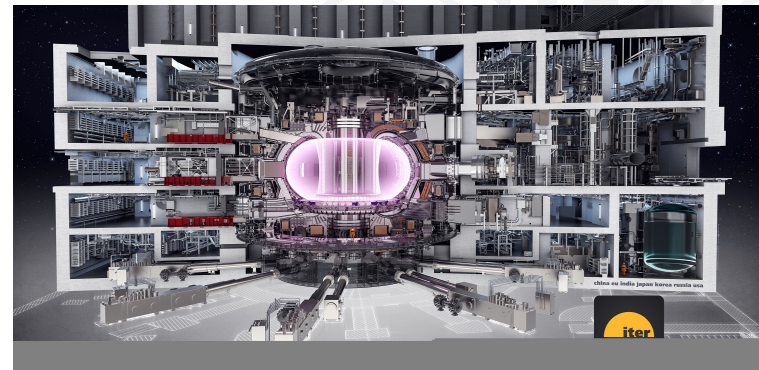
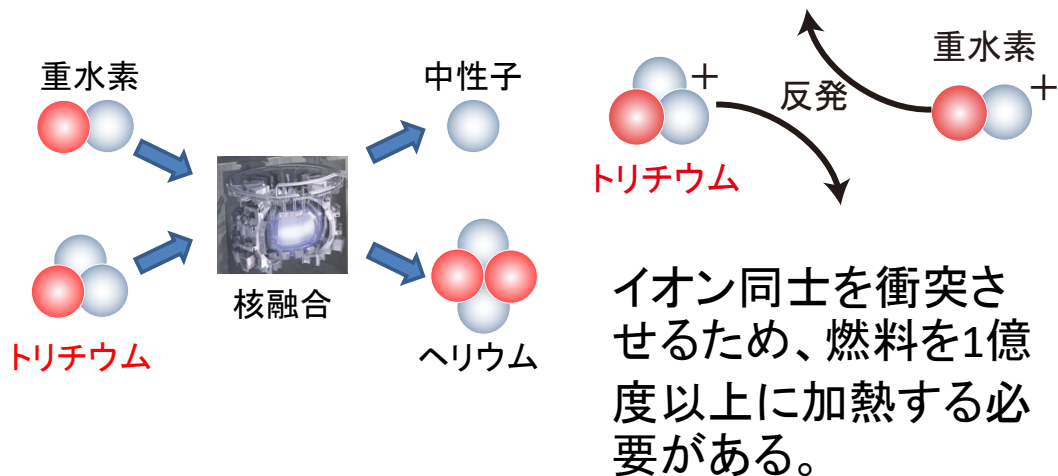
日本はトリチウムを放射性物質として管理するため、トリチウム夜光管の販売は違法です。所持するだけでも違法です。

核融合とトリチウム

核融合は、太陽の中で起きている反応

- 暴走しにくい
- 長寿命の放射性核種ができない
- 事故時に燃料がメルトダウンしない
- 地球上には燃料が多量にある

- × 放射性核種であるトリチウムを燃料として使う (ITERで約3kg, 原型炉で30kg以上)
- × 数百年間の管理が必要な放射性廃棄物が発生する
- × 今日ある技術では実現できない→21世紀後半までに発電実証

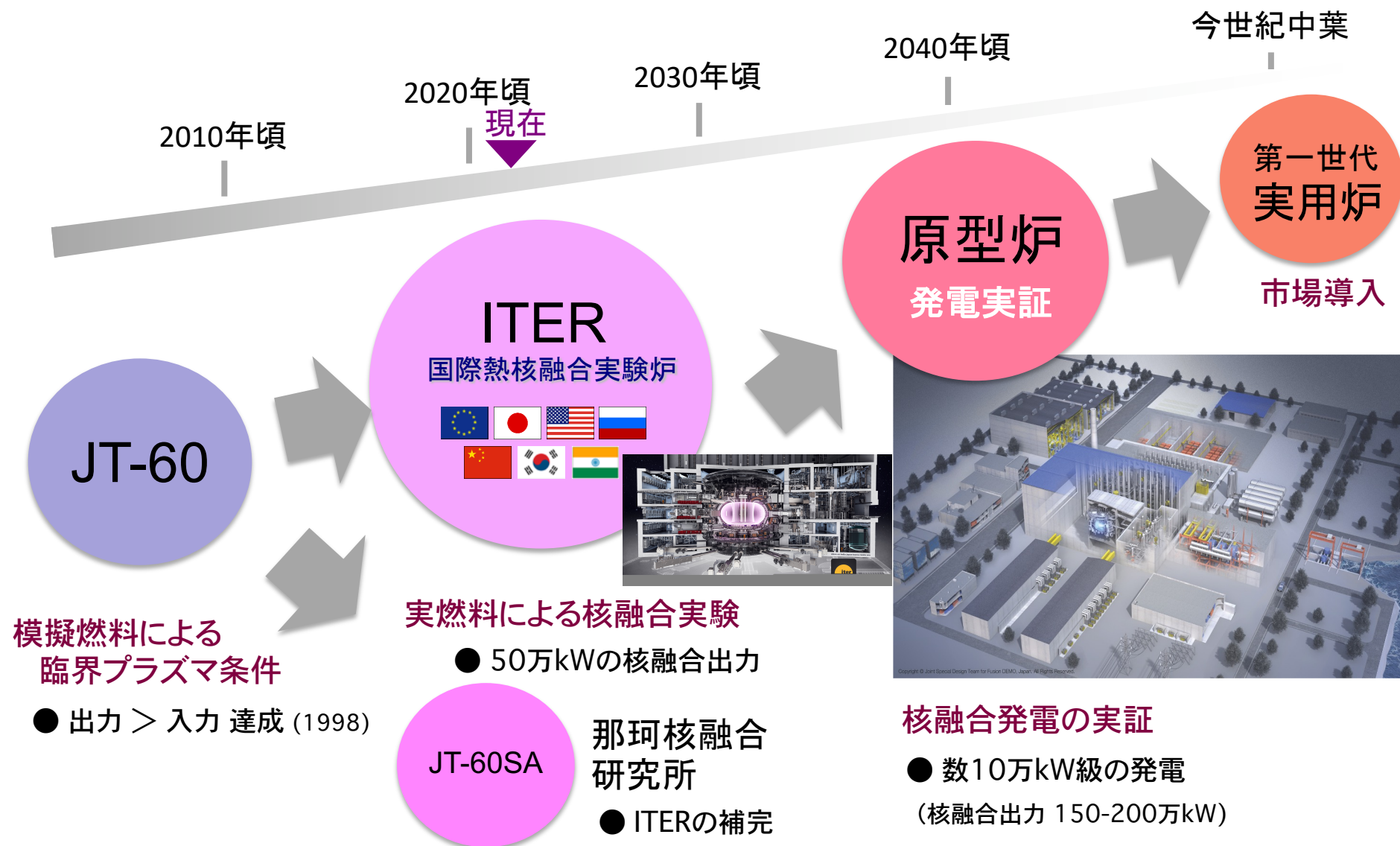


フランスに建設中のITER

核融合発電の実現に向けたロードマップ

DEMO DESIGN
JOINT SPECIAL TEAM

原型炉設計合同特別チーム



過去に報告されたトリチウムの被ばく事故

表3 ヒトのトリチウム摂取例

症例	年齢(性)	取扱ったトリチウム量	被ばく線量/期間	臨床症状	転帰	尿中トリチウム量 Bq/ml(nCi/ml)
A1	60(男)	7550Ci/7.4年 (2.8×10^{14} Bq/7.4年)	300~600レム/7.4年 (3~6Sv/7.4年)	正色素性貧血 ^{a)} → 汎血球減少症 ^{b)}	死亡	$1.9 \sim 41 \times 10^3$ (51~1120)
A2	28(女)	3800Ci(?) / 6.3年 (1.4×10^{14} Bq/6.3年)	124~278レム/6.4年 (1.2~2.8Sv/6.4年)	正色素性貧血	生存	$0.07 \sim 6.8 \times 10^3$ (2.0~183)
A3	61(男)	—	—	無症状	生存	$0.37 \sim 3.3 \times 10^3$ (10~89)
A4	35	—	—	無症状	生存	$0.04 \sim 1.8 \times 10^3$ (1~48)
B1	—	—	—	—	生存	—
B2	—	数1000Ci/3年	1000~2000レム/3年 (10~20Sv/3年)	高色素性貧血 ^{c)} → 難治性汎血球減少症	死亡	$2 \sim 4.3 \times 10^3$ (53~117)
B3	—	—	—	—	生存	—

a) 正色素性貧血: 赤血球中のヘモグロビンの量は正常であるが、赤血球の数が少ない。溶血性貧血、白血病に伴う貧血、再生不良性貧血、がんに合併した貧血、腎性貧血などがこれに入る。

b) 汎血球減少症: 赤血球、白血球、血小板のすべてにおいて数が減少している。

c) 高色素性貧血: 赤血球中のヘモグロビン量は正常値より多いが、赤血球数が少ない。悪性貧血、肝疾患による貧血、再生不良性貧血など。

(参考として)・年間実効線量当量限度: 50mSv(5レム)

・1Sv=100レム

・尿中トリチウム量が年間を通じて1Bq/mlあった時は0.023mSv/年(ただしQ値を1と仮定)被ばくする。

・1nCi=37Bq

[出所] Seelentag, 1973; 平嶋, 1988

[出典] 沢田 昭三, 岡田 重文: 核融合研究者のためのトリチウムの安全取扱いの目安-1990、8章ヒトのトリチウム摂取による障害、平成元年度文部省科学研究費補助金報告書

外国では夜光塗料にトリチウム使われており、夜光塗料を用いた掲示板の工場で被曝事故が起きています。

トリチウムによる死亡例が2件報告されているが、共に数Svから数10Svの被ばくをしています。