

# トリチウムの物性等について

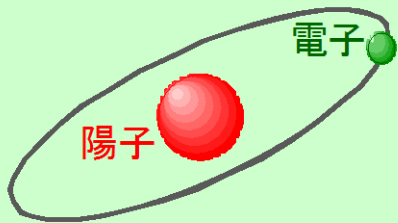
平成28年12月16日

量子科学研究開発機構

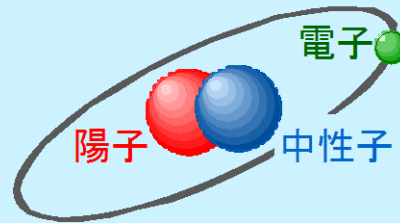
山西 敏彦

# トリチウムとは

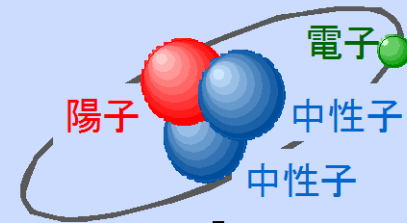
プロチウム(軽水素)  
いわゆる「水素」



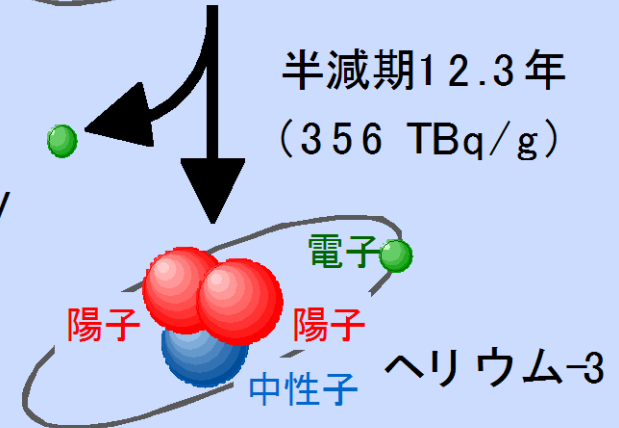
デュートリウム(重水素)  
自然界に水素の  
約0.015% 存在



トリチウム(三重水素)  
自然界に水素の  
(0.1~10) × 10<sup>-18</sup> 程度存在



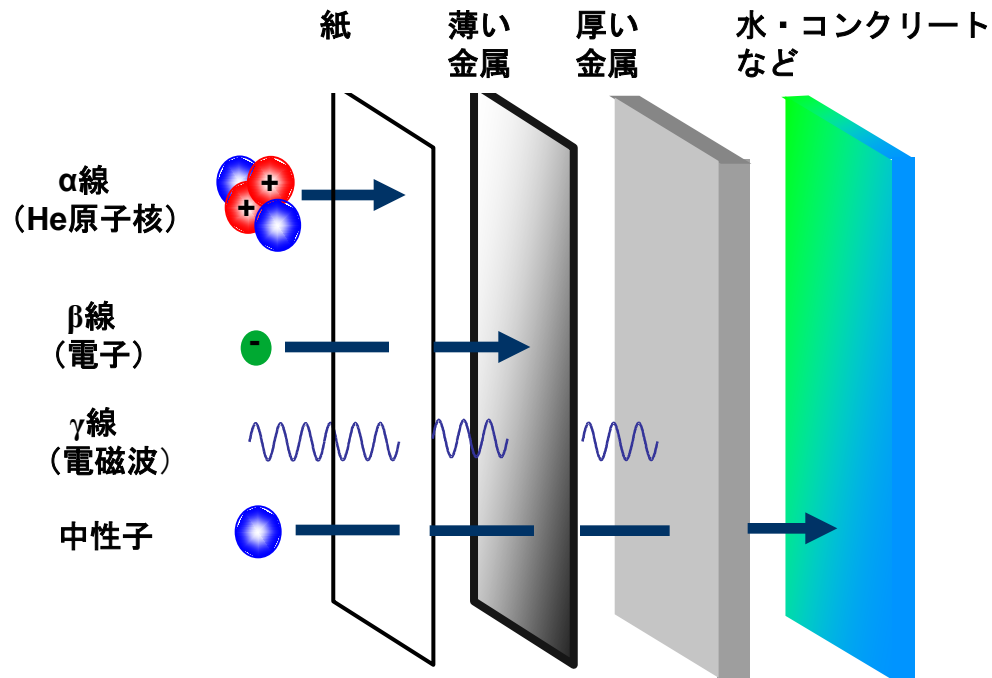
半減期12.3年  
(356 TBq/g)



天然水中のトリチウム  
… 1Bq/l 程度  
人体中のトリチウム  
… 数十Bq/人

トリチウムの出すβ線:  
最大エネルギー18.6keV  
最大飛程 5mm 空气中  
6μm 水中

# 放射線の種類と遮へい

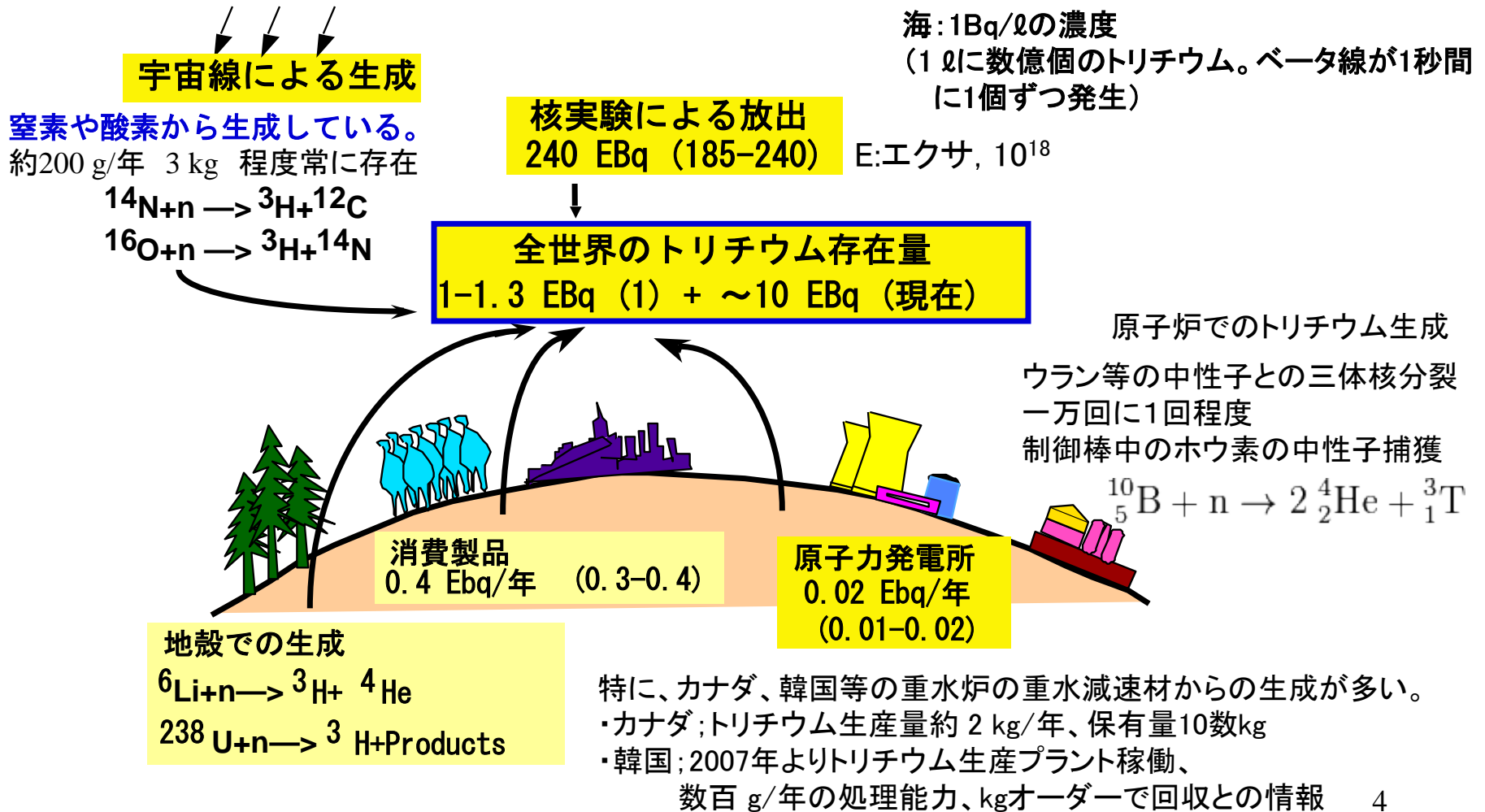


## 放射線の特徴

- α線：電気を帯びて重いので紙一枚ですぐに止まる。
- β線：電気を帯びているので薄い金属ですぐに止まる。
- γ線：電磁波の一種なので、金属は透過しにくい。
- 中性子：電気を帯びていない。重い物質では止まりにくく、軽い物質に衝突して止まる。

ちなみに、トリチウムのβ線はエネルギーが小さいため（最大18keV、テレビの電子銃の電子線エネルギーより小さい）、紙1枚で遮へいが可能。

# 環境中のトリチウム



UNSCEAR 2000年報告書

シンポジウム「核融合炉の安全性及びトリチウム」より

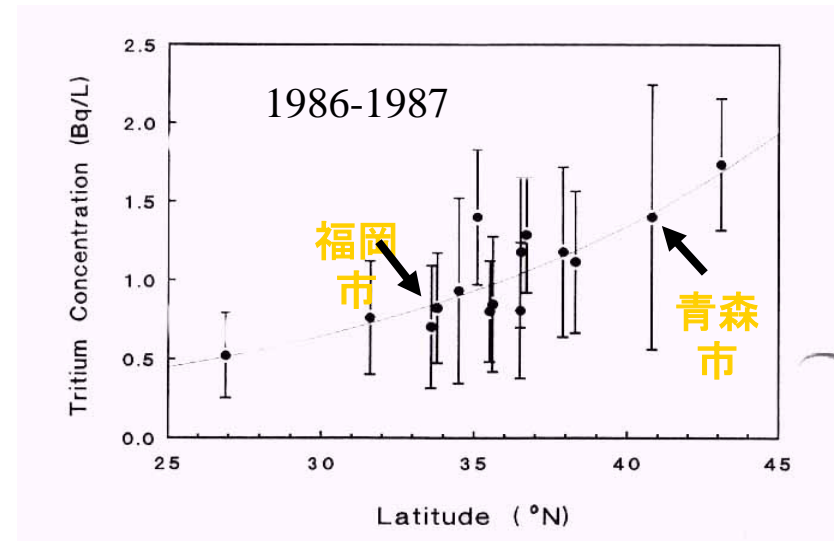
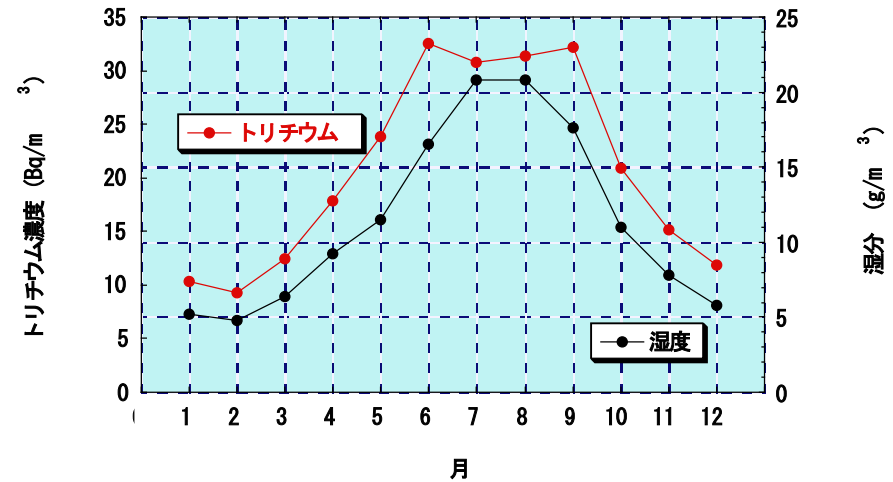
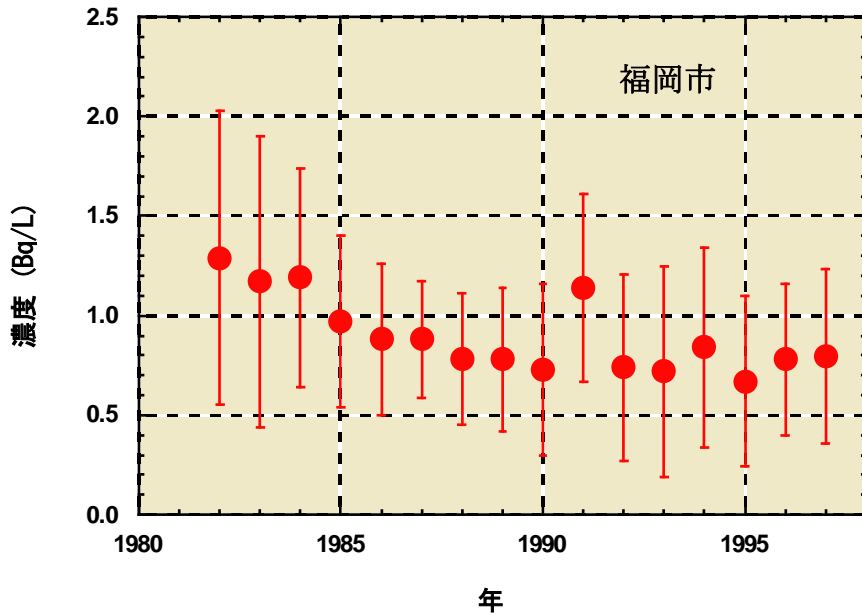
主催: 日本原子力学会核融合炉ブランケット工学特別専門委員会 2003年3月20日 青森国際ホテル

# 環境中のトリチウム2

雨のトリチウム濃度(年平均)

大気中のトリチウム濃度は湿分に連動して変化する

雨のトリチウム濃度は緯度依存性を示す

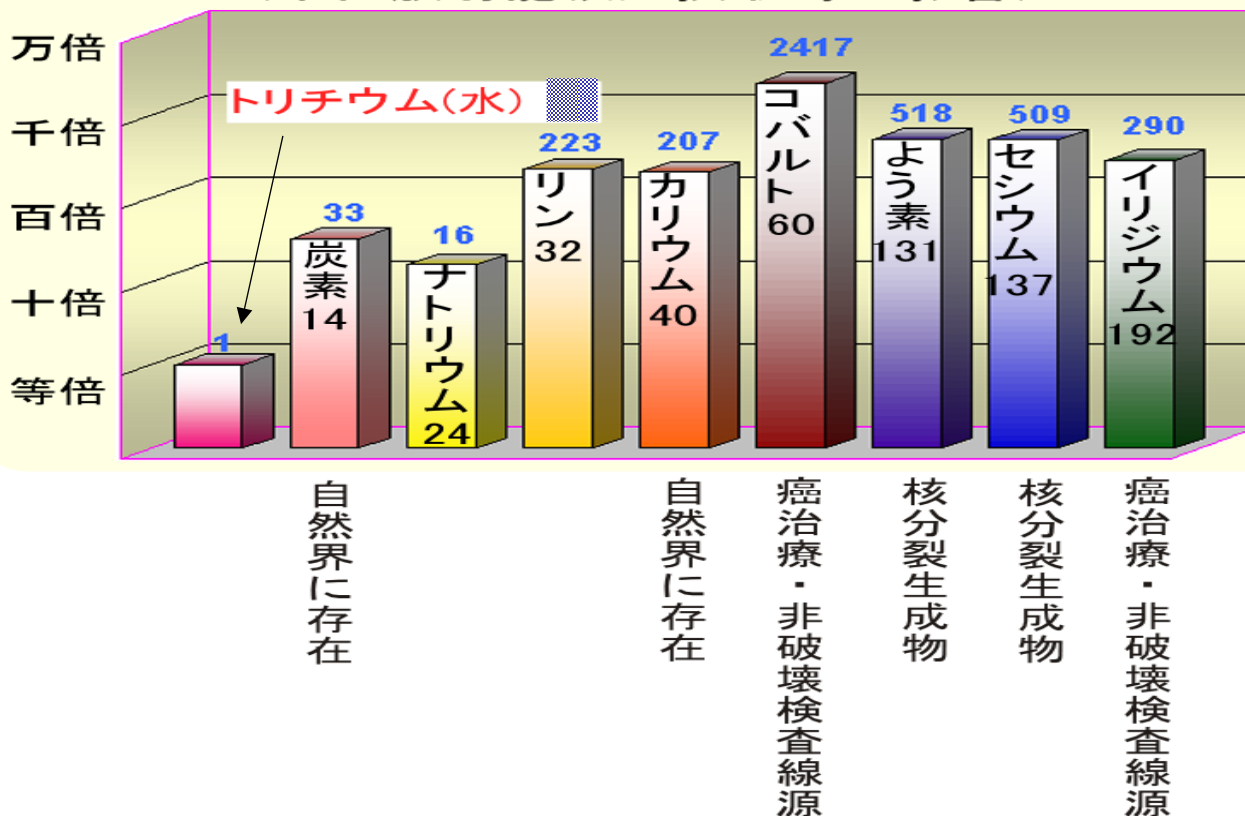


シンポジウム「核融合炉の安全性及びトリチウム」より

主催: 日本原子力学会核融合炉ブランケット工学特別専門委員会 2003年3月20日 青森国際ホテル

# トリチウムの生物影響

トリチウムとよく知られた放射性核種との生物影響の比較  
(単位放射能吸入摂取時の影響)



体重65kgの人は  
カリウム40  
4000 Bq  
炭素14  
3700 Bq  
トリチウム水  
100 Bq

新陳代謝  
水素の仲間は**水の形で10日**、**有機物の場合で平均40日**で入ってきた量の半分が体外に排出されます。

生体内の濃縮はない。

半致死線量は、マウス腹腔内投与で0.56~0.93GBq/g(体重)

放射線医学総合研究所特別研究報告書  
トリチウムの化学 トリチウムの化学研究専門部会日本原子力学会(1982)  
「講座 トリチウム生物影響研究の動向」(Journal of Plasma and Fusion Research Vol.88)

# トリチウムに関する我が国の規制

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律の告示で定められた値

トリチウムの化学形	実効線量係数 (mSv/Bq)		濃度限度 (Bq/cm <sup>3</sup> )		
	吸入	経口	放射線作業従事者の呼吸する空気中 (3ヶ月の平均値)	周辺監視区域外の空気中 (3ヶ月の平均値)	周辺監視区域外の水中 (3ヶ月の平均値)
元素状水素	$1.8 \times 10^{-12}$		$1 \times 10^4$	$7 \times 10^1$	
メタン	$1.8 \times 10^{-10}$		$1 \times 10^2$	$7 \times 10^{-1}$	
水	$1.8 \times 10^{-8}$	$1.8 \times 10^{-8}$	$8 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^1$
有機物(メタン以外)	$4.1 \times 10^{-8}$	$4.2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^1$
上記を除く化合物	$2.8 \times 10^{-8}$	$1.9 \times 10^{-8}$	$7 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^{-3}$	$4 \times 10^1$

(福島第一原発) 汚染水量:約76万m<sup>3</sup>、濃度:300~3000 Bq/cm<sup>3</sup>、  
トリチウム量:約2g 2015年12月東電報告書より

# 日本の濃度限度(周辺監視区域外での濃度限度)

- 濃度限度(60,000Bq/リットル)は、この濃度の水を70歳になるまでの期間、飲料水として飲み続けたとき、経口摂取による内部被ばくの平均線量率が1年当たり1ミリシーベルト(公衆に対する実効線量限度)に達するという安全側(保守的)モデルに基づいて計算された濃度

- 廃液中又は排水中の濃度(Bq/立方cm)
      - = 1(mSv/年) × 70(年) / [生まれてから成人になり70歳に至るまでの以下の量の合計 {各年齢層の線量係数(mSv/Bq) × 各年齢層の摂水量(立方cm/年) × 適用年数(年)}]
- ここで、各年齢層の摂水量と適用年数は下表に示す値である。

年齢層	各年齢層の摂水量	適用年数
0歳≦3月児<1歳	$1.4 \times 10^3$ (cm <sup>3</sup> /日) × 365(日/年)	1年間
1歳≦1歳児<3歳	$1.4 \times 10^3$ (cm <sup>3</sup> /日) × 365(日/年)	2年間
3歳≦5歳児<8歳	$1.6 \times 10^3$ (cm <sup>3</sup> /日) × 365(日/年)	5年間
8歳≦10歳児<13歳	$1.8 \times 10^3$ (cm <sup>3</sup> /日) × 365(日/年)	5年間
13歳≦15歳児<18歳	$2.4 \times 10^3$ (cm <sup>3</sup> /日) × 365(日/年)	5年間
18歳≦成人<70歳	$2.65 \times 10^3$ (cm <sup>3</sup> /日) × 365(日/年)	52年間

下記の出典をもとに作成した。

[出典]河合勝雄ほか:ICRPの内部被ばく線量評価法に基づく空气中濃度等の試算、日本原子力研究所、(2000年1月)p.7 ATOMICA

- 米国(37,000Bq/リットル)は1年間に730リットル(2リットル/日)摂取した場合に受ける線量が0.5mSv以下になるように設定された値
- 韓国(40,000Bq/リットル)は米国と同様の根拠で、数字を丸めたもの



# トリチウムの分析(1)

適用頻度	分析名	測定原理	対象	分析限界	オンライン	備考
○	電離箱	ベータ線によるイオン化気体の電荷を電極に集めて測定	気体	0.1 – 0.001Bq/cc	○	通気式の場合
○	比例計数管	ベータ線によるイオン電子を強磁場で増幅し測定する。	気体	10 Bq/cc	○	通気式の場合、汚染検出サーベイメータとして使用されている。
	レーザーラマン	試料にレーザーを照射して、発生したラマン散乱光を分光して検出	水素、メタン	1000 ppm	○	同位体分析可能、実験室レベルでは完成している。
○	ガスクロマトグラフ	キャリアガスとの熱伝導度の差(電離箱)	気体、水蒸気	100 ppm(10 ppb)		同位体分析可能、電離箱と組み合わせることで、分析感度を上げることが可能。
	マイクロガスクロ	同上	気体	1000 ppm	△	トリチウム分析の場合、気密化、同位体分析への適用を開発中

# トリチウムの分析(2)

	質量分析	質量差	気体	100 ppm	○	確立している。水素に関する再現性を改良中。
○	液体シンチレーション	有機溶剤に蛍光材を入れたカクテルにトリチウム液体を入れ、ベータ線による発光を光電子として計測	液体	0.01Bq/cc		確立している。通常の液シン装置による。
	赤外分光	赤外線を照射して透過光を分析	水	定性的分析	○	定量分析の精度向上に向けて開発中
○	イメージングプレート	蛍光体を塗布したフィルムに放射線があたりエネルギーが蓄積され、レーザー光をあてることで、発光する量を測定する。	固体 (液体)	100- 1000Bq/cm <sup>2</sup>		確立している。液体に適用する研究も行われている
○	制動X線	ベータ線による制動X線及び特性X線を半導体検出器で測定。	固体 (気体、液体)	1000- 10000Bq/cc	○	確立している。比較的高濃度用。
○	熱量法	トリチウム崩壊熱の測定	液体、 固体	1M Bq/cc 程度		低濃度測定への適用を目指し開発中。

J. Plasma and Fusion Research, 79, 1078 (2003).

J. Plasma Fusion Research 85, 13(2009).

トリチウムの化学トリチウムの化学研究専門部会日本原子力学会(1982)