



2022年秋の大会

核データ部会、シグマ調査専門委員会企画セッション

原子炉の廃止措置における放射化断面積データの現状と利用(4)

## 埋設処分に向けた研究炉廃棄物の放射化計算の 検討状況

2022年9月9日

原子力機構 埋設事業センター  
河内山真美、坂井章浩

# はじめに

---

## 背景

原子力機構では、研究施設等廃棄物の埋設処分に係る検討の一環として、研究炉の解体によって発生する廃棄物に対し新しいライブラリ(JENDL-4.0等)を用いた計算による放射能インベントリの評価手法を検討

## 発表内容

1. 新しいライブラリを用いた放射能評価
2. 評価した放射能の埋設処分への適用検討

# 1. 新しいライブラリを用いた放射能評価

---

- 新しいライブラリとしてJENDL-4.0及びJENDL/AD-2017を基に作成した断面積を用いて計算を実施
- 立教大学研究炉を対象として、過去の計算及び分析値と比較

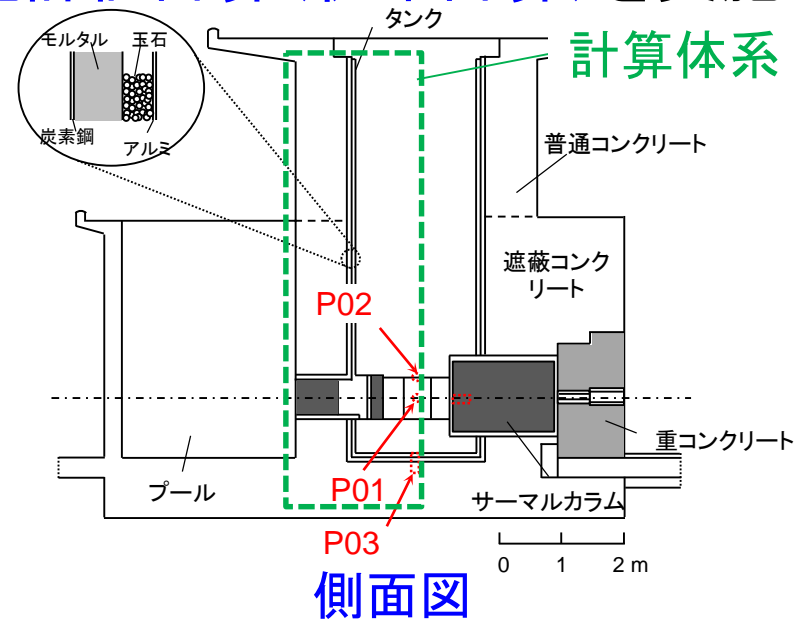
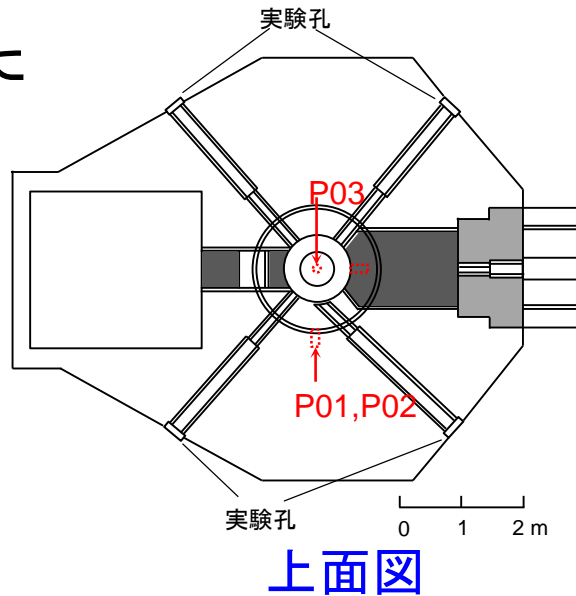
1. 立教大炉について
2. 放射能評価の計算フロー
3. 中性子輸送計算の結果
4. 放射能濃度の計算結果、分析値との比較

# 1-1 立教大学研究炉について

## これまでの経緯

研究炉の共通的な放射能評価手法検討のため、  
試料採取及び放射化学分析と放射能評価計算(従来計算)を実施

- ✓ タンク型の軽水による自然冷却
- ✓ 実験孔、サーマルカラムあり



## 放射化学分析

試料採取場所: アルミニウムタンク周辺のP01、P02、P03

材質: アルミニウム、炭素鋼、生体遮蔽コンクリート

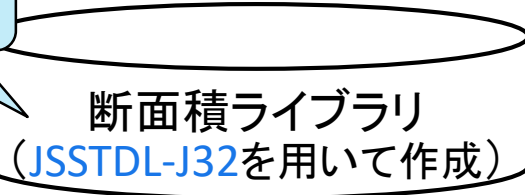
核種: H-3、Co-60、Ni-63、Eu-152

# 1-2 放射能評価計算のフロー

本検討では、DORT計算及びORIGEN-S計算で新しいライブラリを使用

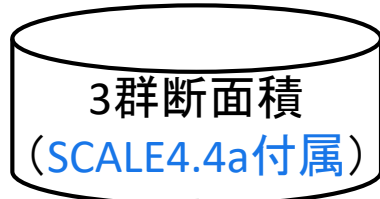
## 従来の検討

JENDL-3.2  
から作成



中性子輸送計算  
DORT(100群)

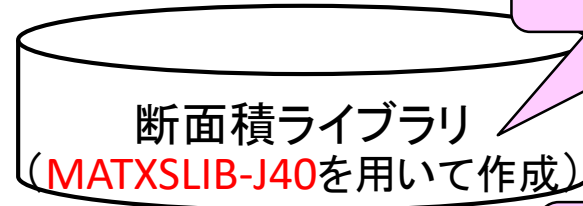
3群



放射化放射能計算  
ORIGEN-ARP  
(SCALE4.4a付属)

## 本検討

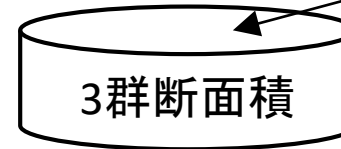
JENDL-4.0から作成



中性子輸送計算  
DORT(199群)

3群

199群



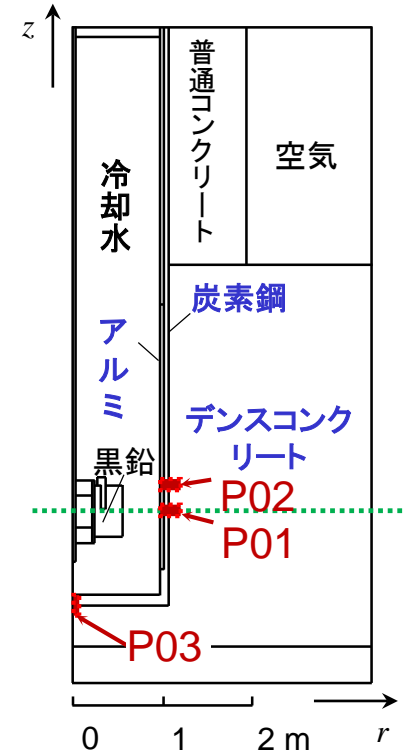
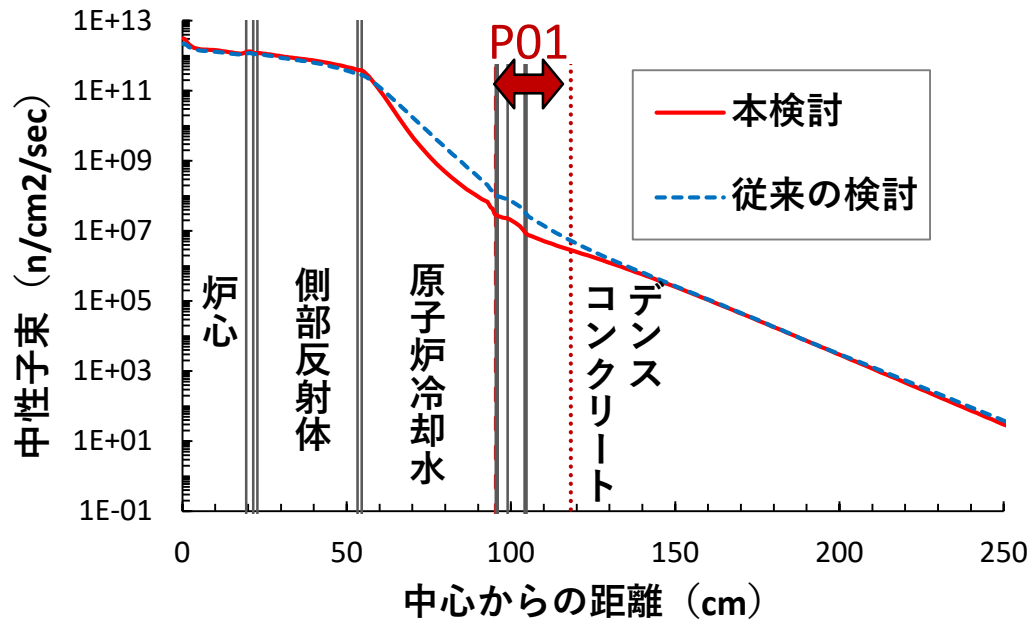
JENDL/AD-2017  
から作成

MAXS/AD-2017  
(199群)

放射化放射能計算  
ORIGEN-S(SCALE6.0付属)

# 1-3 中性子輸送計算結果

従来検討 (JSSTD-L-J32) と本検討 (MATXSLIB-J40) の  
炉心中心高さでの熱中性子束分布

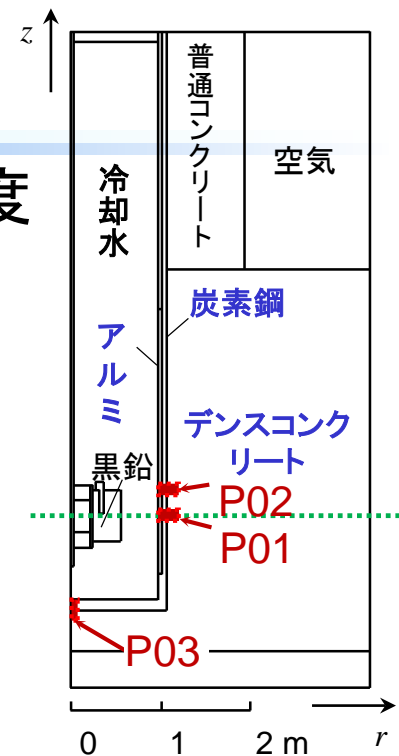


本検討の方が一部領域で熱中性子束の分布が小さくなる傾向  
→従来計算に比べ群数が増え、熱中性子束の挙動がより正確  
に評価できるようになったため

# 1-4 放射能濃度の結果

## 試料の放射化学分析、従来計算、本計算の放射能濃度

材質	核種	試料採取位置	(a)分析 (Bq/g)	(b)従来計算 (Bq/g)	(c)本計算 (Bq/g)
アルミニウム	H-3	P01	0.105 ± 0.001	<b>0.962</b>	<b>0.0570</b>
		P02	0.0255 ± 0.0007	<b>0.762</b>	<b>0.0364</b>
		P03	0.00234 ± 0.00052	<b>0.401</b>	<b>0.0367</b>
	Co-60	P01	0.154 ± 0.006	<b>0.315</b>	<b>0.100</b>
		P02	0.0682 ± 0.0045	<b>0.205</b>	<b>0.0647</b>
		P03	0.0417 ± 0.005	<b>0.148</b>	<b>0.0630</b>
	Ni-63	P01	0.314 ± 0.009	<b>0.190</b>	<b>0.135</b>
		P02	0.119 ± 0.009	<b>0.118</b>	<b>0.0986</b>
		P03	0.0588 ± 0.005	<b>0.117</b>	<b>0.107</b>
炭素鋼	H-3	P03	<0.0016	<b>0.421</b>	<b>0.173</b>
	Co-60	P01	3.38 ± 0.07	<b>7.91</b>	<b>3.09</b>
		P02	1.45 ± 0.03	<b>4.88</b>	<b>1.97</b>
		P03	0.785 ± 0.019	<b>4.50</b>	<b>1.35</b>
	Ni-63	P01	0.588 ± 0.019	<b>0.990</b>	<b>0.364</b>
		P02	0.258 ± 0.016	<b>0.625</b>	<b>0.256</b>
		P03	0.0727 ± 0.0086	<b>0.414</b>	<b>0.162</b>
Eu-152	P03	<0.077	<b>0.0820</b>	<b>0.0347</b>	
コンクリート	H-3	P01	9.91 ± 0.01	<b>23.0</b>	<b>7.95</b>
		P02	4.79 ± 0.01	<b>15.5</b>	<b>5.69</b>
		P03	1.136 ± 0.003	<b>6.05</b>	<b>3.60</b>
	Co-60	P01	1.13 ± 0.02	<b>1.92</b>	<b>0.890</b>
		P02	0.518 ± 0.01	<b>1.26</b>	<b>0.617</b>
		P03	0.18 ± 0.002	<b>0.958</b>	<b>0.383</b>
	Eu-152	P01	1.38 ± 0.02	<b>1.97</b>	<b>0.690</b>
		P02	0.536 ± 0.01	<b>1.32</b>	<b>0.577</b>
		P03	0.116 ± 0.002	<b>0.647</b>	<b>0.328</b>



# 1-4 放射能濃度の結果(比較)

## 放射化学分析、従来計算、本計算の放射能濃度の比較

材質	核種	試料採取位置	(d) 本計算 / 分析	(e) 本計算 / 従来計算
アルミニウム	H-3	P01	0.54	0.06
		P02	1.4	0.05
		P03	16	0.1
	Co-60	P01	0.65	0.32
		P02	0.95	0.32
		P03	1.5	0.43
	Ni-63	P01	0.43	0.71
		P02	0.83	0.84
		P03	1.8	0.91
炭素鋼	H-3	P03	>108	0.41
	Co-60	P01	0.91	0.39
		P02	1.4	0.40
		P03	1.7	0.30
	Ni-63	P01	0.62	0.37
		P02	0.99	0.41
		P03	2.2	0.39
Eu-152	P03	>0.45	0.42	
コンクリート	H-3	P01	0.80	0.35
		P02	1.2	0.37
		P03	3.2	0.60
	Co-60	P01	0.79	0.46
		P02	1.2	0.49
		P03	2.1	0.40
	Eu-152	P01	0.50	0.35
		P02	1.1	0.44
		P03	2.8	0.51

### ■ 分析に対する本計算の比

0.4～3.2倍程度で一致

P03のH-3の値が大きく外れている  
→起源元素Liの設定が大きすぎた(文献値を用いた)

### ■ 従来計算に対する本計算の比

0.1～0.9倍で一致

従来計算との差は、中性子束の違い  
(ライブラリの影響)

これらの差を考慮して、廃棄物  
に対する放射能評価に計算を  
適用していく。



## 2. 評価した放射能の埋設処分への適用検討

埋設事業申請では、放射能評価の結果を用いて埋設処分区分(ピット処分、トレンチ処分など)の決定、被ばくへの寄与が大きい重要核種の選定が必要

1. 埋設処分に必要な検討のフロー
2. 基準線量相当濃度C[Bq/t]について
3. JPDR原子炉について(埋設対象廃棄物)
4. 埋設処分区分の判定の検討
5. 重要核種の選定の検討

➤JPDR原子炉※の保管コンクリートを対象として、予備的に評価を実施した

## 2-1. 埋設処分に必要な検討のフロー

1、埋設対象廃棄物の平均放射能濃度 $D$ [Bq/t]を算出

- ✓ 線量評価シナリオにおける基準線量相当濃度 $C_i$
- ✓ 相対重要度( $D_i/C_i$ )

2、埋設処分区分の判定

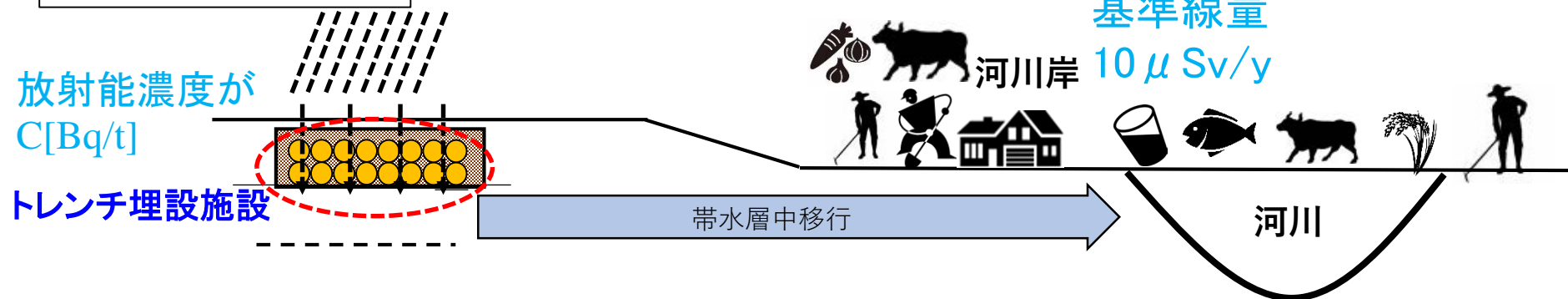
各被ばく線量評価シナリオで $\sum_i (D_i/C_i) < 1$ ならば、埋設可能

3、埋設処分における重要核種の選定  
被ばく線量評価シナリオ毎に $(D_i/C_i)$ が大きいものを重要核種の候補として選定

## 2-2 トレンチ埋設の基準線量相当濃度C[Bq/t]

- ✓ 埋設処分後の周辺公衆への被ばく線量評価シナリオにおいて、  
基準線量：**10  $\mu$  Sv/y**(自然事象シナリオ)  
**300  $\mu$  Sv/y**(人為事象シナリオ) に相当する廃棄物の放射能濃度**C[Bq/t]**
- ✓ 線量評価シナリオ毎、核種毎に算出される
- ✓ 現在、原子力機構で**概念設計**に対して基準線量相当濃度\*を試算している

### 自然事象シナリオ



### 人為事象シナリオ



## 2-2 トレンチ埋設の基準線量相当濃度(つづき)

### ◆ 線量評価シナリオと基準線量相当濃度C[Bq/t]の例

		(自然事象10 $\mu$ Sv/y)					(人為事象300 $\mu$ Sv/y)	
		河川水	灌漑水	河川岸			跡地利用	
		河川水 利用	河川水/ 灌漑水利用	河川岸 建設	河川岸 居住	河川岸 農耕作業	建設	居住
		[Bq/ton]						
1	H-3	5.2E+08	3.4E+09	6.6E+15	3.7E+16	6.1E+09	2.1E+15	4.3E+09
3	Be-10	2.3E+09	1.3E+10	1.1E+11	3.7E+11	1.5E+10	2.7E+11	2.5E+10
・								
・								
219	Fm-257	2.4E+13	2.5E+13	8.2E+12	2.5E+13	4.8E+12	5.8E+10	8.1E+11
220	Md-258	1.5E+13	2.8E+13	2.1E+13	8.3E+13	1.9E+13	8.9E+12	1.9E+14

### ◆ 相対重要度 ( $D_i/C_i$ )

基準線量相当濃度 $C_i$ に対する廃棄物の平均放射能濃度 $D_i$ の比で、埋設処分の線量基準に対する裕度を示す。

例えば、一つの核種で $D/C=1$ になってしまふとこの時点で自然事象シナリオの10 $\mu$  Sv/yになってしまふ。

# 2-3 JPDR原子炉について



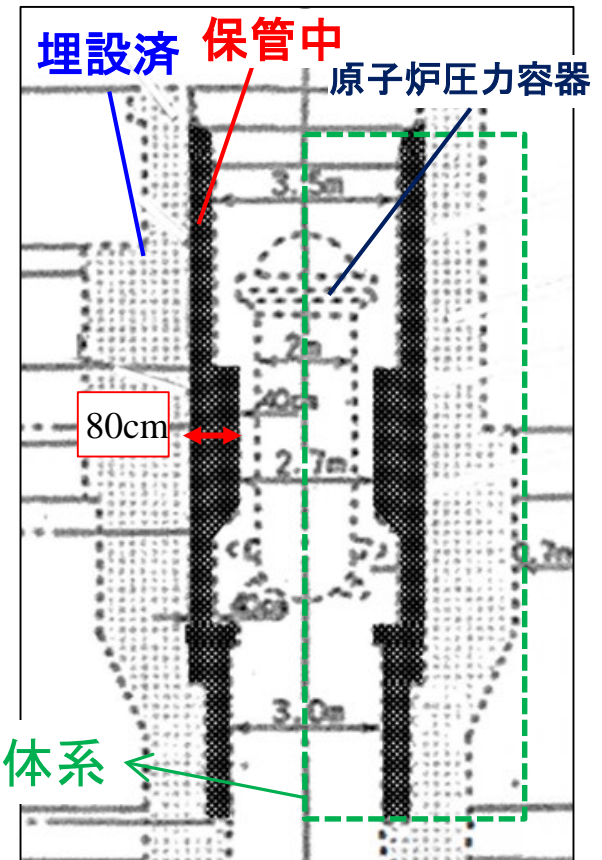
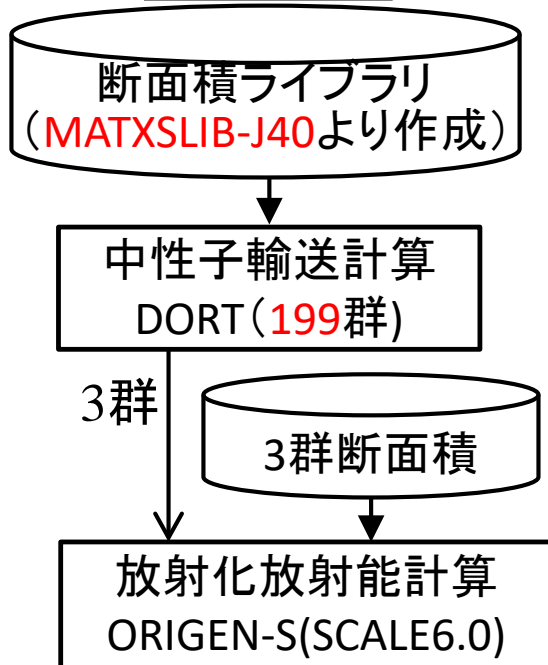
## 概要

JPDRは、1996年に解体が終了

- ✓ 生体遮蔽コンクリートのうち比較的外側の部分については既に埋設済み
- ✓ 表面から80 cm以内の生体遮蔽コンクリート(黒塗り部分)は、現在保管中

⇒保管中のコンクリートを埋設対象廃棄物として、埋設処分区分及び重要核種の選定手法を検討

## 計算フロー



JPDR断面図

## 2-4 埋設処分区分の判定

放射化計算結果と廃棄物の体積等から対象廃棄物の  
140核種*i*に対する**平均放射能濃度** $D_i(\text{Bq/t})$ を算出



a) 処分区分判定 (**トレンチ埋設処分の可否**)

i. 線量評価シナリオ毎に**相対重要度** ( $D_i/C_i$ ) 算出

ii. 全ての線量評価シナリオで $\sum_i(D_i/C_i) < 1$ ならば、埋設可能

対象廃棄物の相対重要度 ( $D_i/C_i$ ) とシナリオ毎の和  $\sum_i(D_i/C_i)$

		河川水	灌漑水	河川岸			跡地利用 (人為事象300 $\mu\text{Sv/y}$ )	
		河川水 利用	河川水/ 灌漑水利用	河川岸 建設	河川岸 居住	河川岸 農耕作業者	建設	居住
1	H-3	6.4E-01	9.8E-02	5.1E-08	9.1E-09	5.5E-02	1.6E-07	7.8E-02
	...							
140	Es-255	0	0	0	0	0	0	0
	合計	8.17E-01	1.08E-01	4.28E-03	7.88E-04	6.86E-02	1.06E-01	1.45E-01

すべてのシナリオにおいて $\sum_i(D_i/C_i) < 1 \Rightarrow$  トレンチ埋設処分可能と評価された

## 2-5 重要核種の選定(フロー案)

### b-1) 相対重要度による重要核種の選定

1) 線量評価シナリオ毎に相対重要度  $(D_i/C_i)$  の最大値  $(D_i/C_i)_{MAX}$  を選出

2) 線量評価シナリオ毎で  $(D_i/C_i) / (D_i/C_i)_{MAX}$  が1%以上となる核種  $i$   
※ただし  $(D_i/C_i) < 0.001$  の核種は線量が十分低いため除いている

重要核種の候補

被ばくへの寄与が大きい核種を選択

今回は、ここまでの検討結果を紹介

b-2) 第二種廃棄物埋設事業規則で放射能濃度上限が定められる核種  
(トレンチの場合 Co-60, Sr-90, Cs-137)

その他条件

重要核種

## 2-5重要核種の選定(試算結果)

対象廃棄物に対する $(D_i/C_i)/(D_i/C_i)_{MAX}$ の試算結果

$$(D_i/C_i)/(D_i/C_i)_{MAX} \geq 0.01$$

No.	核種	河川水	灌漑水	河川岸			跡地利用 (人為事象300 $\mu$ Sv/y)	
		河川水 利用	河川水/ 灌漑水利用	河川岸 建設	河川岸 居住	河川岸 農耕作業者	建設	居住
1	H-3	1E+00	1E+00	3E-05	1E-05	1E+00	2E-06	1E+00
3	C-14	3E-01	2E-03	8E-07	1E-06	3E-03	2E-06	2E-02
7	Cl-36	7E-05	2E-03	1E-05	5E-06	7E-03	3E-06	4E-02
9	Ca-41	5E-04	8E-03	7E-06	2E-06	--	1E-06	8E-02
21	Sr-90	3E-06	8E-05	2E-07	3E-08	3E-04	7E-07	5E-02
66	Eu-152	5E-10	3E-08	1E-05	7E-06	6E-07	1E+00	3E-01

トレンチ処分の重要核種の候補として、

H-3、C-14、Cl-36、Ca-41、Sr-90、Eu-152が選出

⇒これらの核種について、埋設事業許可申請時に**廃棄物全体の総放射エネルギー及び廃棄体毎の最大放射能濃度の評価が必要**

このように重要核種を選定する方法を検討している



# まとめと今後

## まとめ

1. 埋設処分に向けた放射能評価計算において、新しいライブラリを用いた手法を検討している  
⇒新しいライブラリを用いた計算が埋設処分対象廃棄物の放射能評価に適用できる見通しが得られた
2. 計算による放射能の評価結果から埋設処分区分判定と重要核種を選定する方法を検討している

## 今後

埋設事業を合理的に進めるため、引き続き、最新のライブラリを用いた埋設処分対象廃棄物に対する放射能評価の検討を進める

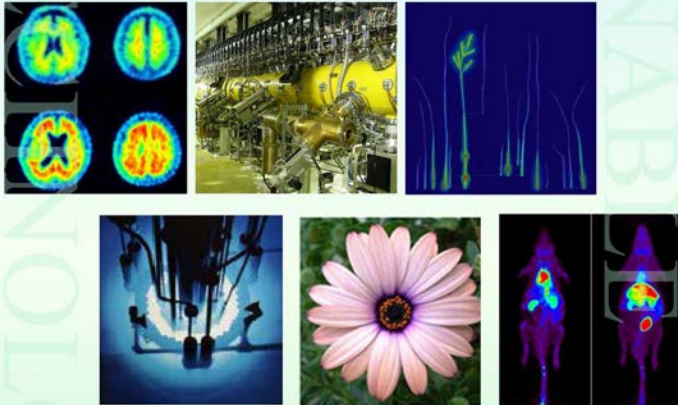
- ✓ 199群の中性子スペクトルをそのまま用いて作成された1群ライブラリを用いるORIGENコード(SCALE6.2付属)の導入の検討など

# ご清聴ありがとうございました

未来へげんき  
To the Future / JAEA

## 研究や医療などから発生する 放射性廃棄物の埋設をめざして

～持続可能な原子力の研究や放射線利用のために～



国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

お問合せはこちらまで

お問い合わせ窓口を設置しています。埋設事業についての疑問や不安などにつきましては、お気軽にお問い合わせください。

原子力機構のホームページ  
QRコード



原子力機構のホームページ

<https://www.jaea.go.jp>

「研究施設等廃棄物への取り組み」  
をクリックしてください。



埋設事業サイト  
<https://www.jaea.go.jp/04/maisetsu/>  
「お問い合わせ」を  
をクリックしてください。

埋設施設の実現により持続可能な原子力の研究や放射線利用に貢献します

私たち日本原子力研究開発機構は、1956年以降60年以上にわたり、放射性物質に関わる様々な研究を積み重ねてきました。

私たちには放射性物質を安全に扱う知識・技術があります。

これによって、私たちは埋設施設周囲の安全な環境をかたく守り、同時に持続可能な原子力の研究や放射線利用の実現に貢献します。

(お知らせ)

埋設事業センターのパンフレットを更新しました。

---

# · 參考資料

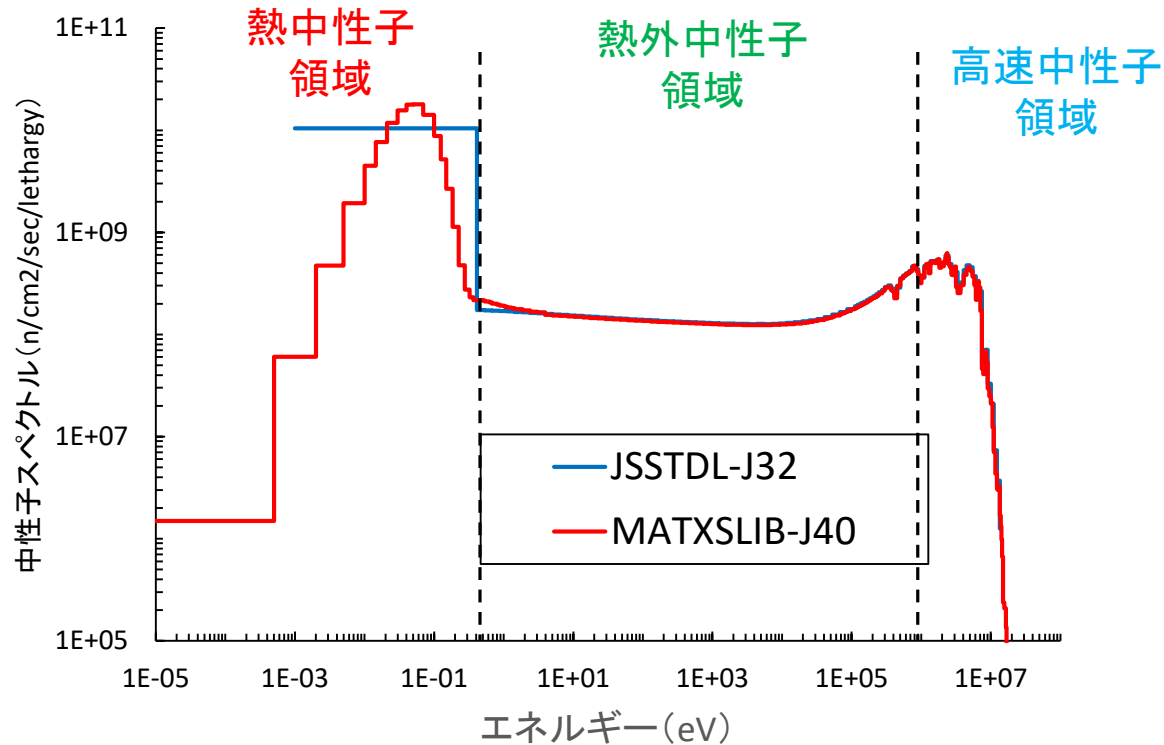
# 1-4 採取試料の分析値と計算の比較(補足)

材質	核種	試料採取位置	(a)分析 (Bq/g)	(b)従来計算 (Bq/g)	(c)本計算 (Bq/g)	(d)本計算/ 分析	(e)本計算/ 従来計算
アルミニウム	H-3	P01	0.105 ± 0.001	0.962	0.0570	0.54	0.06
		P02	0.0255 ± 0.0007	0.762	0.0364	1.4	0.05
		P03	0.00234 ± 0.00052	0.401	0.0367	16	0.1
	Co-60	P01	0.154 ± 0.006	0.315	0.100	0.65	0.32
		P02	0.0682 ± 0.0045	0.205	0.0647	0.95	0.32
		P03	0.0417 ± 0.005	0.148	0.0630	1.5	0.43
	Ni-63	P01	0.314 ± 0.009	0.190	0.135	0.43	0.71
		P02	0.119 ± 0.009	0.118	0.0986	0.83	0.84
		P03	0.0588 ± 0.005	0.117	0.107	1.8	0.91
炭素鋼	H-3	P03	<0.0016	0.421	0.173	>108	0.41
	Co-60	P01	3.38 ± 0.07	7.91	3.09	0.91	0.39
		P02	1.45 ± 0.03	4.88	1.97	1.4	0.40
		P03	0.785 ± 0.019	4.50	1.35	1.7	0.30
	Ni-63	P01	0.588 ± 0.019	0.990	0.364	0.62	0.37
		P02	0.258 ± 0.016	0.625	0.256	0.99	0.41
		P03	0.0727 ± 0.0086	0.414	0.162	2.2	0.39
	Eu-152	P03	<0.077	0.0820	0.0347	>0.45	0.42
	コンクリート	H-3	P01	9.91 ± 0.01	23.0	7.95	0.80
P02			4.79 ± 0.01	15.5	5.69	1.2	0.37
P03			1.136 ± 0.003	6.05	3.60	3.2	0.60
Co-60		P01	1.13 ± 0.02	1.92	0.890	0.79	0.46
		P02	0.518 ± 0.01	1.26	0.617	1.2	0.49
		P03	0.18 ± 0.002	0.958	0.383	2.1	0.40
Eu-152		P01	1.38 ± 0.02	1.97	0.690	0.50	0.35
		P02	0.536 ± 0.01	1.32	0.577	1.1	0.44
		P03	0.116 ± 0.002	0.647	0.328	2.8	0.51

✓親元素の設定が実際の元素分析の結果より小さく、過少評価されている可能性があるもの

✓親元素が検出限界値で、文献等のデータに比べて高いため文献等のデータを用いたもの

# 冷却水領域での中性子スペクトル



R = 63.6 cm (@炉心高さ)

JSSTDJ-J32では、熱中性子束領域の群数が少ないために、正確に反映できていないところがある。