「シグマ特別専門委員会活動報告と核データの新規ニーズ開拓」

新規ニーズ開拓　(1) 廃止措置分野

－　事業者（エンドユーザ）として核データに望むこと　－

日本原子力発電㈱
廃止措置プロジェクト推進室
田中　健一
kenichi-tanaka@japc.co.jp

知的財産情報　目的外使用･複製･開示禁止　2013年3月　日本原子力発電㈱

目　次

１．はじめに（廃止措置と核データとの接点）

２．廃止措置における放射能インベントリ評価
　２．１　放射能インベントリ評価の手順
　２．２　放射能インベントリ評価の実績
　２．３　放射能インベントリ評価の品質保証

３．放射能インベントリ評価上の課題

４．まとめ　－事業者として核データに望むこと－

知的財産情報　目的外使用・複製・開示禁止　2013年3月　日本原子力発電㈱

1．はじめに（廃止措置と核データとの接点）

＜廃止措置とは＞

「発電所内に残存している放射性物質による周辺公衆への
放射線被ばくのリスクを安全で合理的なレベルまで低減する行為」

＜法律での定義＞

原子炉設置者は，原子炉を廃止しようとするときは，

原子炉施設の解体

その保有する核燃料物質の譲渡し

核燃料物質による汚染の除去

核燃料物質によって汚染された物の廃棄

その他の主務省令で定める措置

を講じなければならない。

（原子炉等規制法第43条の3の2（原子炉の廃止に伴う措置）第1項）

知的財産情報　目的外使用・複製・開示禁止　2013年3月　日本原子力発電㈱

＜原子力発電所の廃止措置実施例（国内）＞

・　日本原子力研究所　動力試験炉（JPDR）
（日本原子力研究開発機構）

運転中のJPDRサイト

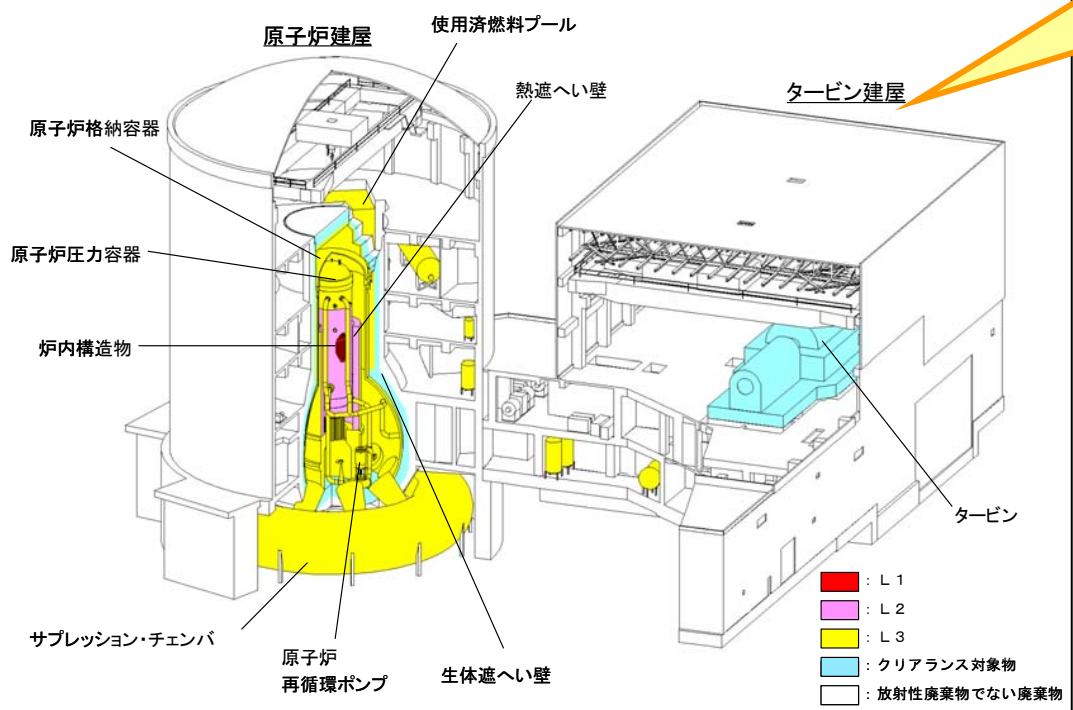
廃止措置終了後のJPDR跡地
1996．３　完了

1986．12　解体作業開始 ～1996．３　完了
費用：約230億円（含技術開発）
放射性廃棄物：3，770トン

＜放射能インベントリ評価の位置付け＞

放射能インベントリ評価は廃止措置業務（準備作業）の最初に実施され、その評価結果は、以降のすべての業務で用いられる。

放射能インベントリ評価



敦賀発電所１号機の放射能レベル区分例

- 解体工法計画
- 廃棄物処理処分計画
- クリアランス計画
- 安全評価
- 解体引当金評価
- 法手続書類作成

＜放射能インベントリ評価の位置づけ＞

放射能インベントリ（放射性核種生成量）評価は，

- 原子炉施設の廃止措置及び放射性廃棄物処理処分の安全評価

  ⇒周辺公衆の安全評価（被ばく量評価）のソースターム

  ⇒放射線業務従事者の被ばく線量評価のソースターム

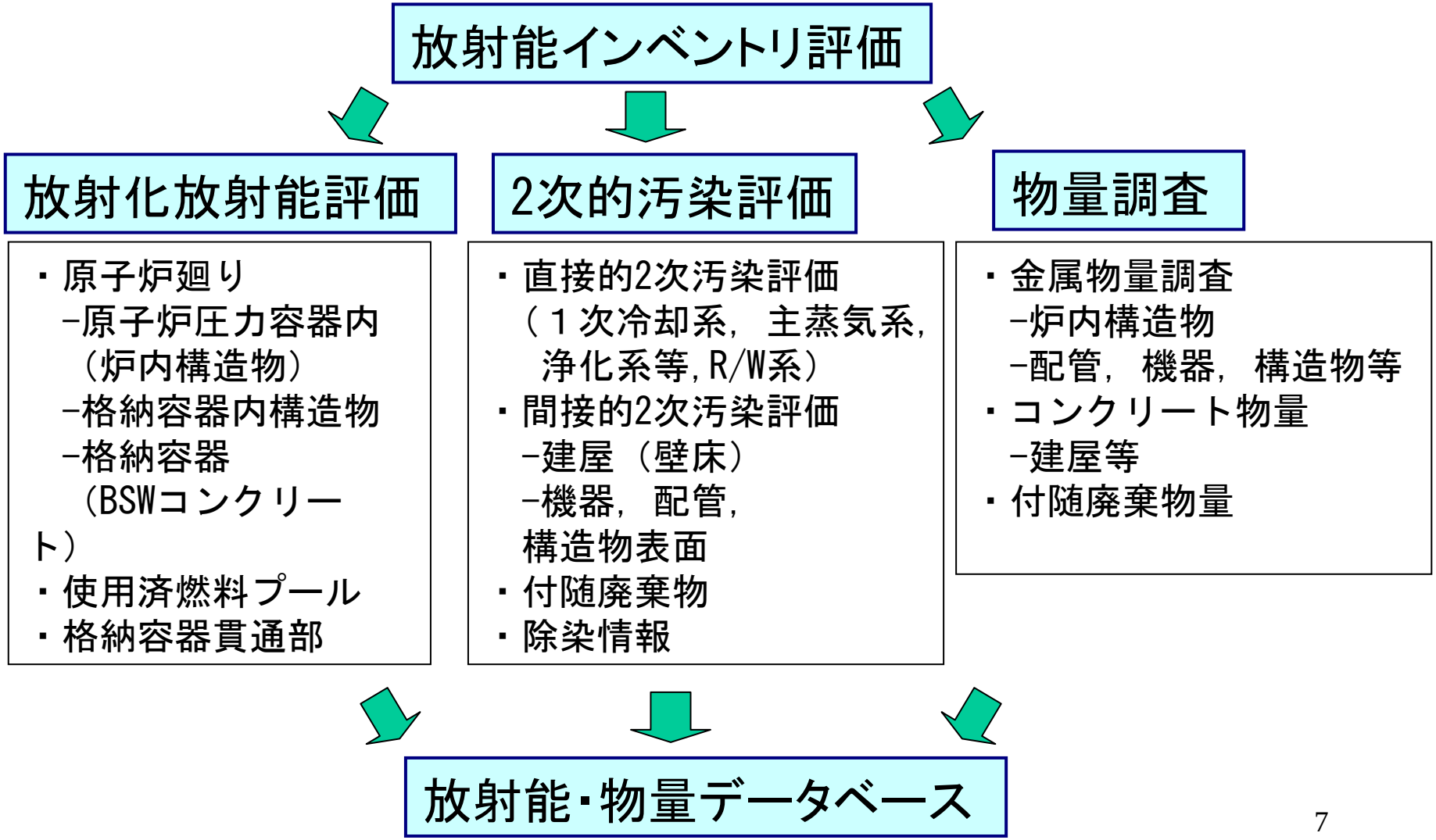
- 原子炉施設で発生する廃棄物量評価

廃止措置及び放射性廃棄物処理処分を

安全かつ合理的に

実施するために必須な情報である。

＜放射能インベントリ評価の構成＞



＜放射化放射能評価＞

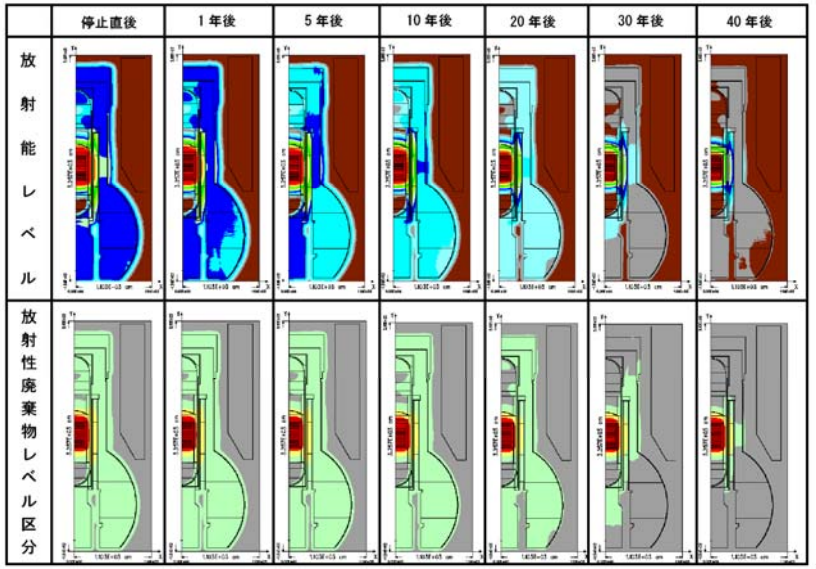
・実測による評価
- −中性子束測定
  金属箔による測定
  （原子炉廻り，格納容器貫通部）
- −試料採取・測定
  - *コンクリートコアボーリング
  - *金属試料採取（交換部品等）
- −建屋線量測定，放射能濃度測定

・解析による評価
- ***−中性子束分布計算***
  *2次元，3次元計算の実施
- ***−放射能分布計算***，レベル区分
  分布評価，放射能濃度分布評価
  *時間依存分布評価

⇒半減期１ヶ月以上（希ガスなどを除く）
１７８核種を評価対象

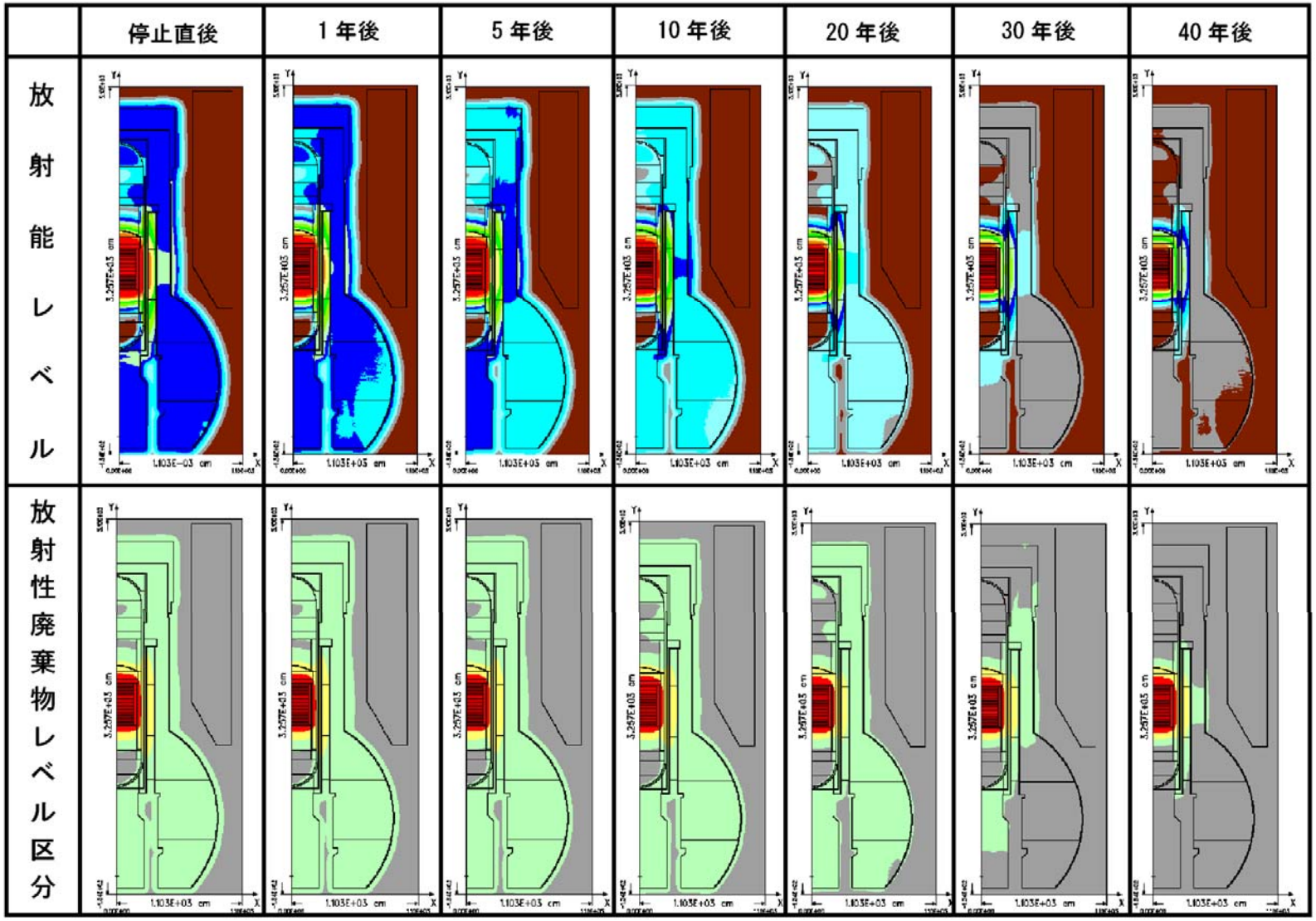
金属箔設置による中性子束の測定

生体遮へい壁の
コンクリートコアボーリング



原子炉廻りの放射能レベル区分等の時間変化例

放射能レベルの時間変化例（PCV内炭素鋼）

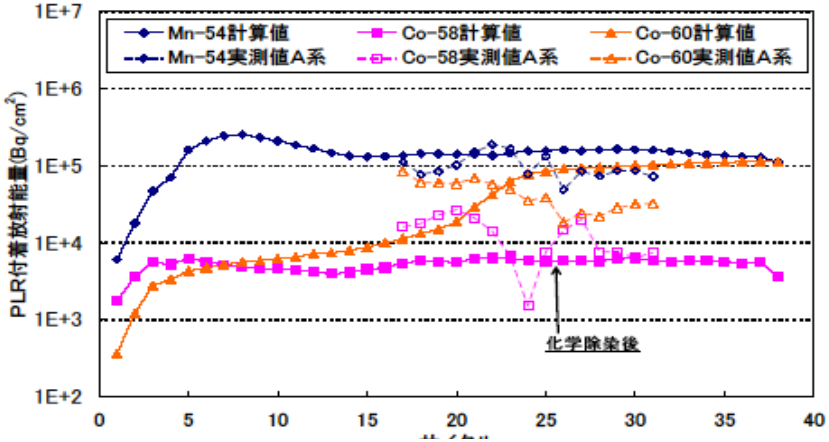


＜2次的汚染評価＞

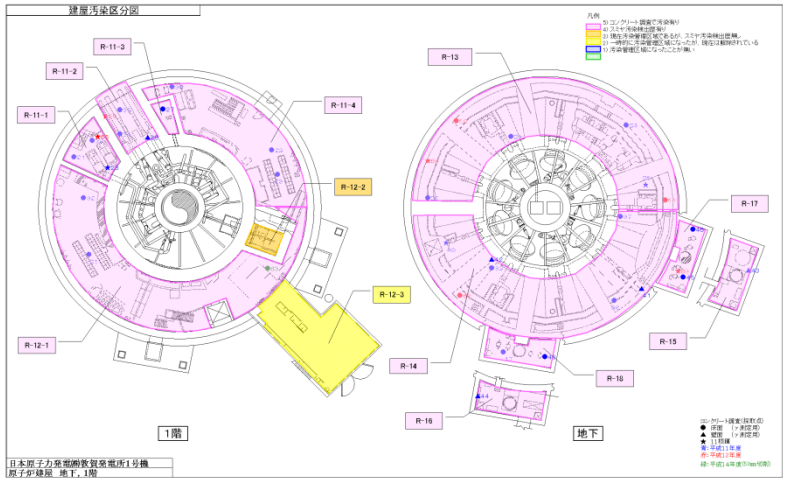
・直接的2次汚染評価
　－１次冷却系，主蒸気系，給水系，
　　浄化系，オフガス系，R/W系を対象
　－イオン，クラッド及びH-3の付着・脱離モデルによる計算
　－炉水放射能濃度，オフガス発生量及び配管内放射性核種付着量調査
　　の実施

・間接的2次汚染評価
　－建屋（壁床），機器，配管，
　　構造物表面汚染調査
　－建屋内汚染マップの作成
・付随廃棄物量推定
・除染情報

2次汚染の核種組成は
－燃料燃焼計算
－放射化計算評価
で求める。



1次系の放射性核種付着量評価結果例



建屋汚染マップ例

＜廃止措置と核データの接点＞

「廃止措置」では，放射能インベントリ評価における

－中性子束分布計算

－中性子照射による放射化計算

－燃料の燃焼計算

で用いる*「断面積ライブラリ」として核データを利用する。*

＜放射能インベントリ評価の実績＞

・JPDR　・東海発電所　・ふげん発電所　・（敦賀発電所１号機）

使用している「断面積ライブラリ」は

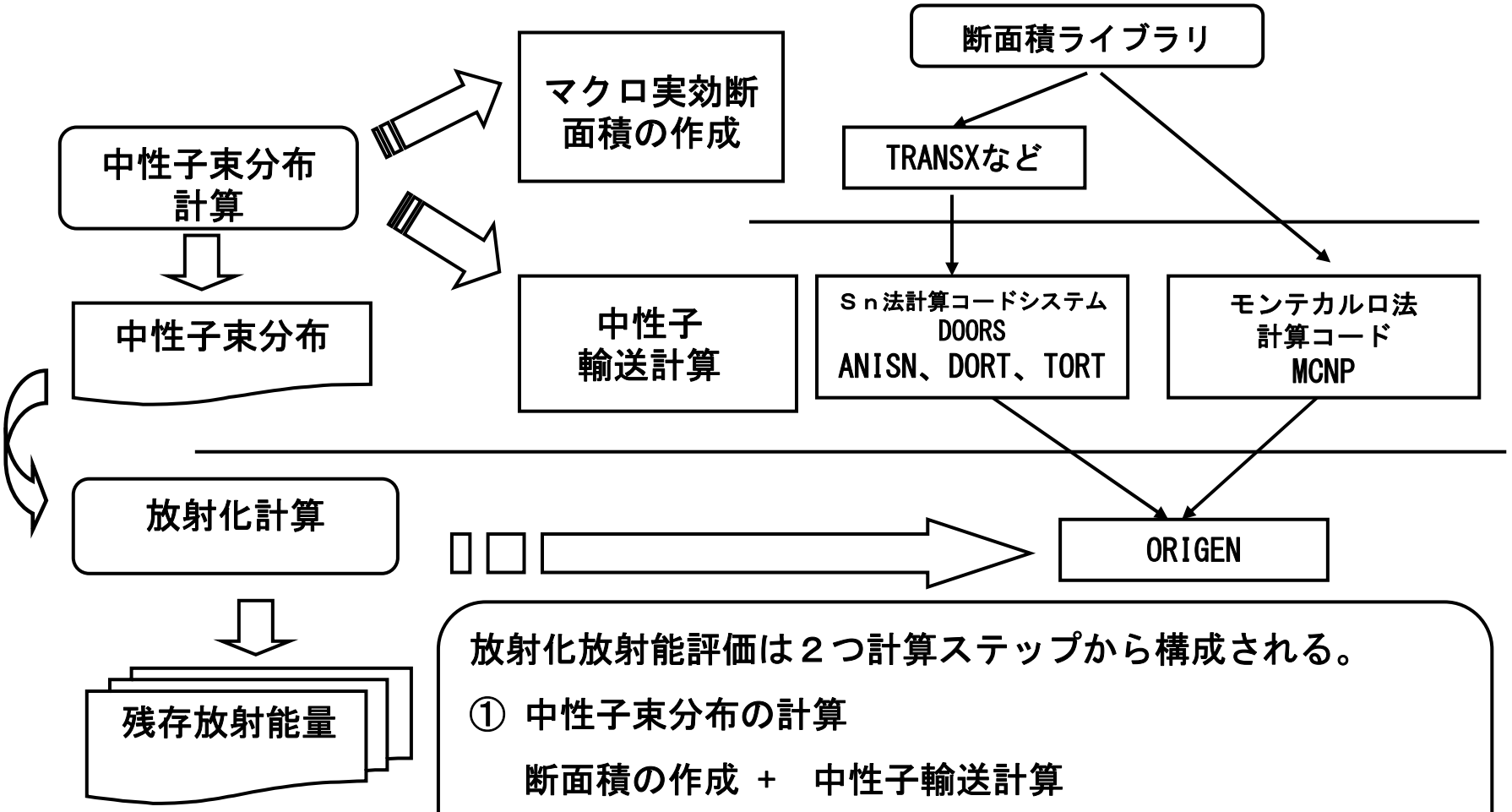
「遮蔽計算」「炉心燃焼計算」などで用いられているものを利用

放射能インベントリ評価の特性，評価信頼性に対する要求を踏まえた

専用の断面積ライブラリが必要ではないか！？

２．１　放射能インベントリ評価の手順

＜放射化放射能の手順と計算コードの構成＞



放射化放射能評価は２つ計算ステップから構成される。

① 中性子束分布の計算

　断面積の作成 ＋　中性子輸送計算

② 放射化計算

２．２　放射能インベントリ評価の実績(1/2)

評価対象	計算分類	計算コード， 断面積ライブラリ	説明
JPDR	中性子束 分布計算	ENDF/B-IV AMPX-II PROF-GROUCH-GII ANISN，DOT3.5	AMPX-II によって *ENDF/B-IV* から 208 群の無限希釈断面積を作成している。材料温度は 300K，560K，900K 及び 1200K の４種類を設定している。この断面積を PROF-GROUCH-GII よって自己遮蔽効果を考慮した上で 48 群に縮約し実効断面積を作成し，ANISN によって 7 群に縮約し，DOT3.5 で 2 次元中性子束分布を計算している
	放射化 計算	ORIGEN-MD DCHAIN-MD	ORIGEN-MD，DCHAIN-MD はそれぞれ ORIGEN-79 及び DCHAIN を基にして，中性子束分布を直接読み込む機能を追加したものである。DCHAIN-MD は 7 群の中性子束を用いて計算している。
東海発電所	中性子束 分布計算	VITAMIN-C AMPX－II ANISN，DOT3.5， TORT	AMPX-II によって *VITAMIN-C* から 171 群の実効断面積を作成している。材料温度は 793K，550K，300K の３種類を設定している。ANISN によって 21 群に縮約し，DOT3.5 で 2 次元中性子束分布を計算。配管の貫通部で TORT を使用している
	放射化 計算	NJOY ORIGEN-GCR	ORIGEN2 の放射化断面積ライブラリをガス炉用に置き換えたものである。1 群放射化断面積は，NJOY コードで *JENDL-2，JENDL-3 及び BNL-325* を参照し 137 群の実効断面積を作成し，ANISN によって 1 群に縮約している。
ふげん	中性子束 分布計算	JSSTDL MACROJ ANISN，DOT3.5	*JSSTDL （100 群）* を MACROJ コードで処理してマクロ断面積を作成している。ANISN で 100 群から 13 群，21 群及び 25 群の３種類の縮約断面積を作成している。2 次元計算結果は実測した値との比較では 25 群が最も良い一致を示していた。
	放射化 計算	ORIGEN79 (ORIGEN2)	ORIGEN79 で計算を行う他，NJOY コードにより *JENDL-3.2 及び ENDF/B-VI* を用いて 199 群の放射化断面積を作成し，これを原子炉廻りの 199 群スペクトルで 1 群に縮約している。ORIGEN-79 による計算結果とここで新たに作成した 1 群断面積（ORIGEN2 を使用）では計算結果の比較では両者に大きな差はなかった。

２．２　放射能インベントリ評価の実績(2/2)

評価対象	計算分類	計算コード，断面積ライブラリ	説明
東海発電所原子炉廻り燃料交換機	中性子束分布計算	FSXLIB-J33 FSXLIB-J40 MCNP5	原子炉廻りの計算は *FSXLIB-J33* を，燃料交換機廻りの計算では *FSXLIB-J40* を用いて中性子束分布の計算を実施した。中性子束は VITAMIN-B6（199 群）に編集して出力した。
	放射化計算	ORIGEN-S (SCALE6.1) DCHAIN-SP2001	ORIGEN-S (SCALE6)では，199 群の中性子束を COUPLE コードに入力し断面積の処理を行った上で計算を行っている。DCHAIN コードについても同様に MCNP5 の結果（199 群の中性子束）をそのまま入力している。
敦賀発電所１号機	中性子束分布計算	MATXSLIB-J33 TRANSX DORT，TORT	*MATXSLIB-J33* を TRANSX で処理して中性子束分布計算に使用している。材料温度は 600K と 300K を設定した。中性子束は 175 群で計算し，結果を 3 群に縮約している。
	放射化計算	ORIGEN-S (SCALE5.1)	3 群に縮約した中性子束を用いて放射化計算を実施している。

放射能インベントリ評価の実績は少なく，

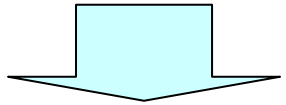
放射能インベントリ評価手法は改善の余地が大いにある。

２．３　放射能インベントリ評価の品質保証（1/4）

法令の要求事項

「発電用原子炉の設置，運転に関する規則　第七条の三」

- 原子力事業者の業務に関する品質保証活動は，法令に定められた事項
- 品質保証は，原子力発電所保安活動として位置づけられている。



- この条文に書かれている内容を実施することは，ISO9000の認証を取得することとほぼ同じことになる。
- 保安検査が年４回あることとペナルティがある分，ISO9000の認証より厳しい。

２．３　放射能インベントリ評価の品質保証（2/4）

評価で用いる物理量

－原則として公開文献を参照

－参照する文献は，

・権威ある機関によってレビューされたもの

・文献に記載されている数値を用いることは，
「安全（保守）側評価」であることを求められる。

使用する計算コードの品質保証

－［実績主義」

⇒当該の解析コード又は類似の解析コードに
十分な使用実績があることのエビデンスが求められる。

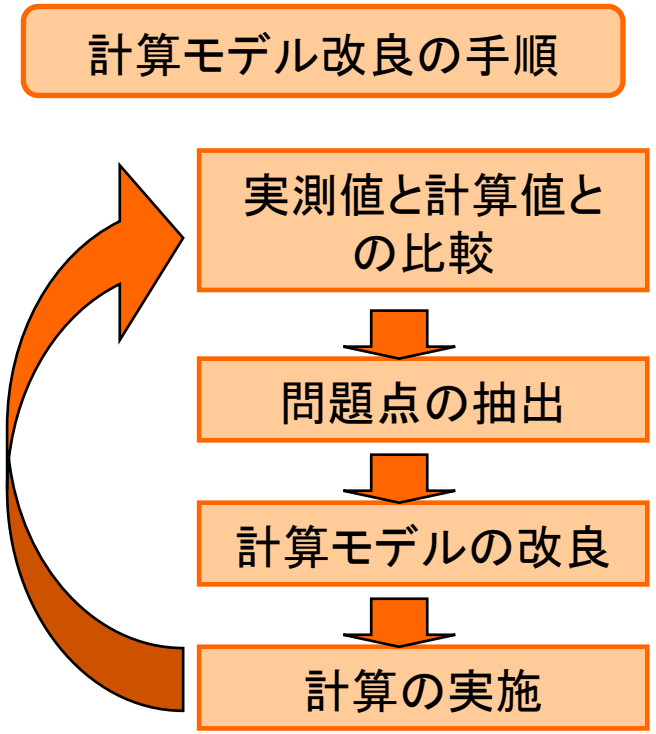
核データの利用についても同様のことが求められるのか？？

２．３　放射能インベントリ評価の品質保証（3/4）

＜評価結果の信頼性＞

・実測による評価の役割
  –計算による評価結果の信頼性検証
  –計算による評価における計算モデル改良による信頼性の向上

・計算による評価
  –物量評価で用いる放射化放射能の算出
  –放射化放射能分布の把握



「実測値と計算値の比較（C/M）」=「計算値」／「実測値」

２．３　放射能インベントリ評価の品質保証（4/4）

＜目標とする信頼性＞

評価の信頼性の尺度（実測値と計算値の比較による判断尺度）

・定量的な信頼性について

－　実測値と計算値の比(C/M) が3倍以内である場合，
　　高い信頼性があるといえる。

－　実測値と計算値の比(C/M) が1桁（10倍以内）の場合，
　　許容できる信頼性であるといえる。

・定性的な信頼性について

－　計算値が実測値を下回ることがない場合，
　　保守的な信頼性があるといえる。

－　計算値が実測値と同様な傾向を示す場合，
　　現実的な信頼性があるといえる。

このような信頼性の尺度は
他の分野に比べて
目標レベルが低い！

IAEA., *Evaluating the Reliability of Predictions Made Using Environmental Transfer Models*, SAFETY SERIES No.100, International Atomic Energy Agency, (1989). ISBN 9201240899.

知的財産情報　目的外使用・複製・開示禁止　2013年3月　日本原子力発電㈱

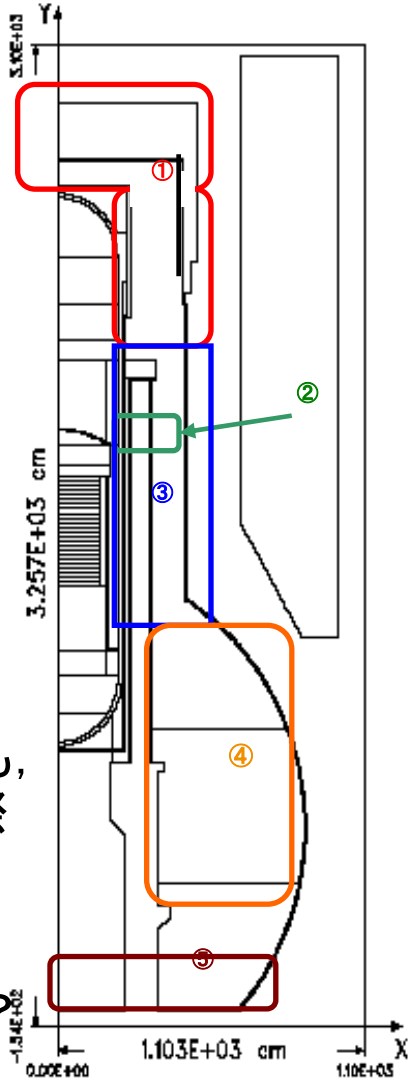
3.　放射能インベントリ評価上の課題（2/6）

・中性子束分布計算で使用する多群断面積ライブラリについて

- 断面積ライブラリの違いでC/Mが差が出る。
  - ⇒C/Mが“1”に近いほうが「良い」断面積なのか？
  - ⇒エネルギー群数の違いだけか？
  - ⇒縮約で用いたスペクトルの違い？

- 「軽水炉の標準的スペクトル」で縮約を行っている。
  - ⇒原子炉廻りの構造物材料は鉄が主成分であることを考慮にいれても，縮約で用いているスペクトルと実際ものは違いは大きすぎないか？

- ⇒要求する信頼性は与える影響は？

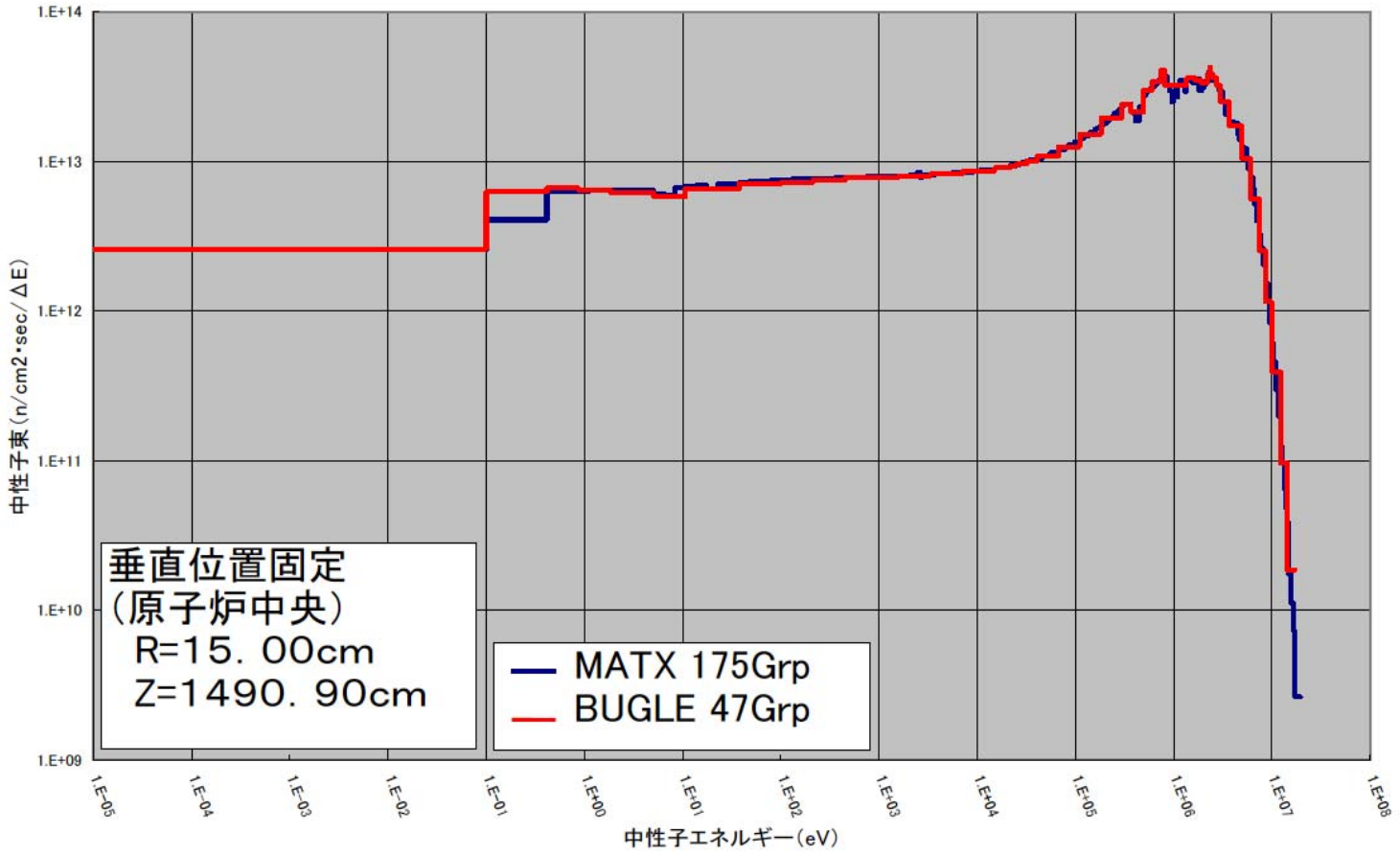


Pos No.	Reg No.	47Grp C/M	47Grp Ave.	175Grp C/M	175Grp Ave.
1		2.4		1.7	
2		2.1		1.5	
3		3.9		2.9	
4	①	2.1	4.1	1.4	3.1
16		4.4		3.7	
17		5.3		4.6	
18		8.3		6.1	
5		4.2		6.3	
6		0.7		0.4	
7		1.4		0.8	
19		2.1		1.3	
20	②	2.6	2.1	1.6	1.6
21		1.6		0.9	
22		1.0		0.6	
23		3.7		2.1	
24		1.5		0.8	
8		10.4		10.0	
9		3.6		5.0	
10	③	16.3	7.5	19.7	9.0
11		4.0		5.8	
12		3.4		4.6	
13		2.3		2.1	
14		9.9		9.9	
15	④	9.0	5.6	9.0	5.6
25		4.6		4.9	
26		2.2		2.0	
27		12.7		14.8	
28	⑤	10.2	34.7	9.6	27.8
29		59.8		44.7	
30		56.0		42.2	

知的財産情報　目的外使用・複製・開示禁止　2013年3月　日本原子力発電㈱

3.　放射能インベントリ評価上の課題（2/6）

・中性子束分布計算で使用する多群断面積ライブラリについて

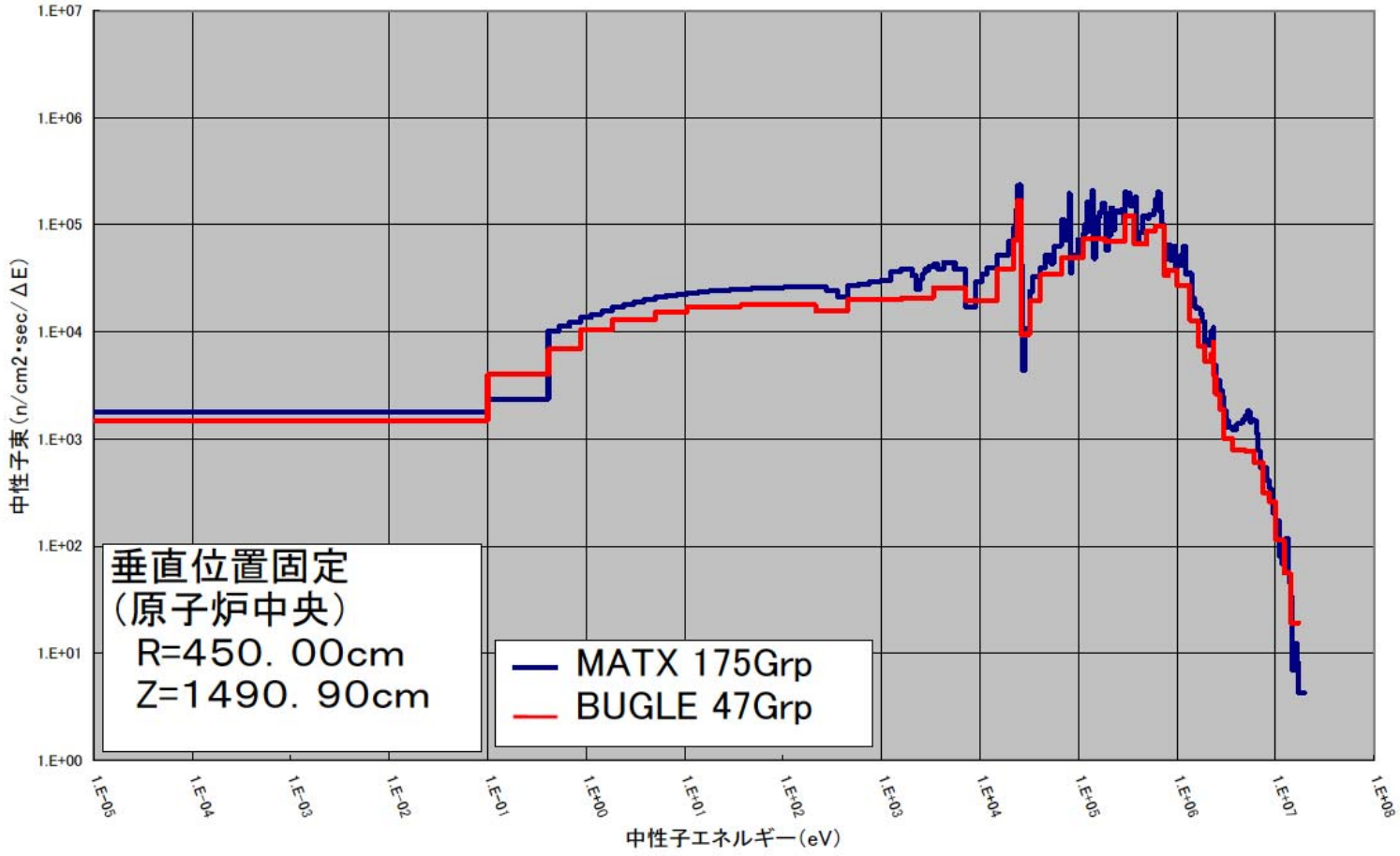


原子炉中心（炉心中央部）

知的財産情報　目的外使用・複製・開示禁止　2013年3月　日本原子力発電㈱

３．　放射能インベントリ評価上の課題（2/6）

・中性子束分布計算で使用する多群断面積ライブラリについて

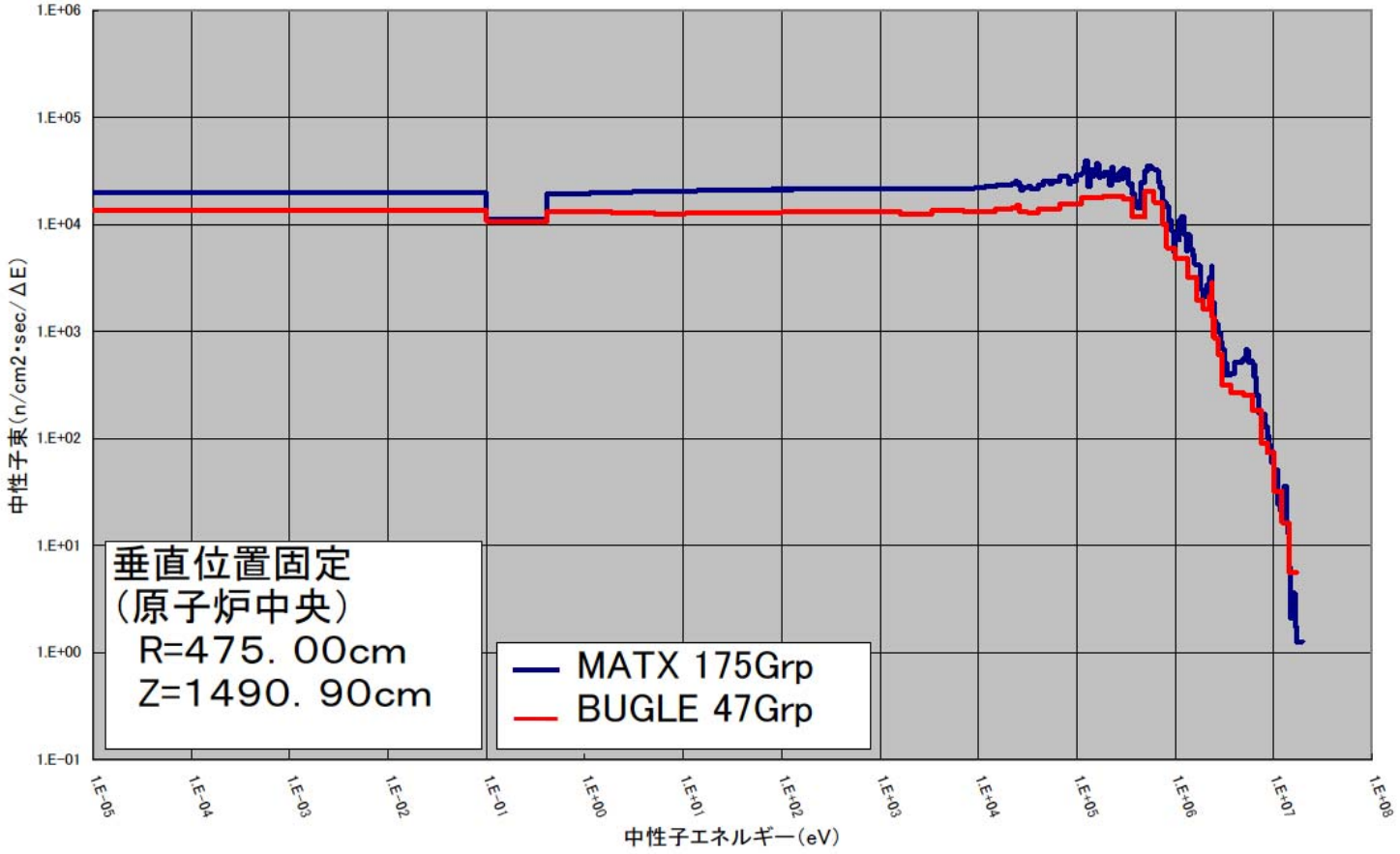


格納容器（RSW外側）

知的財産情報　目的外使用・複製・開示禁止　2013年3月　日本原子力発電㈱

３．　放射能インベントリ評価上の課題（2/6）

・中性子束分布計算で使用する多群断面積ライブラリについて

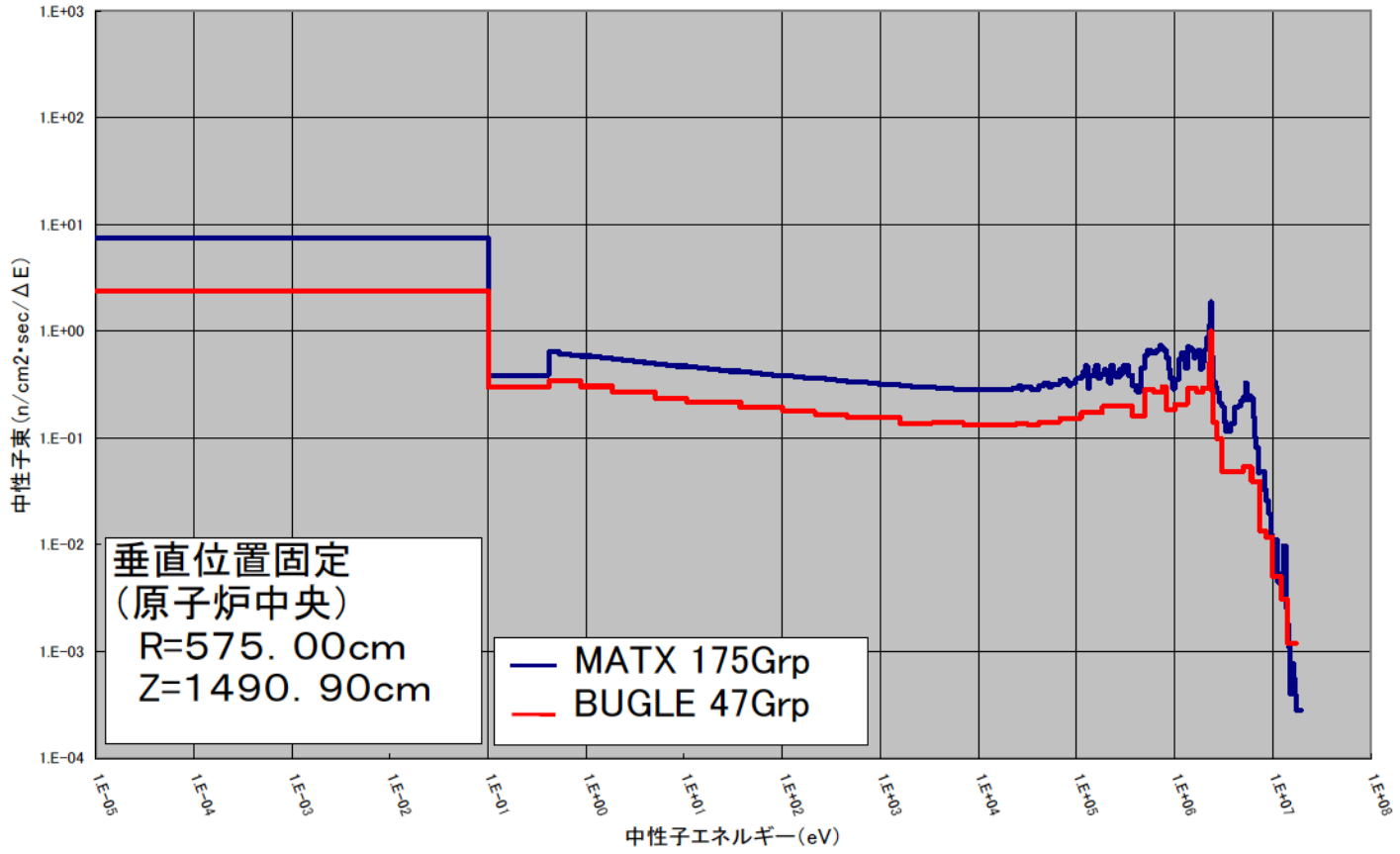


生体遮蔽（入射直後）

知的財産情報　目的外使用・複製・開示禁止　2013年3月　日本原子力発電㈱

3.　放射能インベントリ評価上の課題（2/6）

・中性子束分布計算で使用する多群断面積ライブラリについて



生体遮蔽（深層透過後）

知的財産情報　目的外使用・複製・開示禁止　2013年3月　日本原子力発電㈱

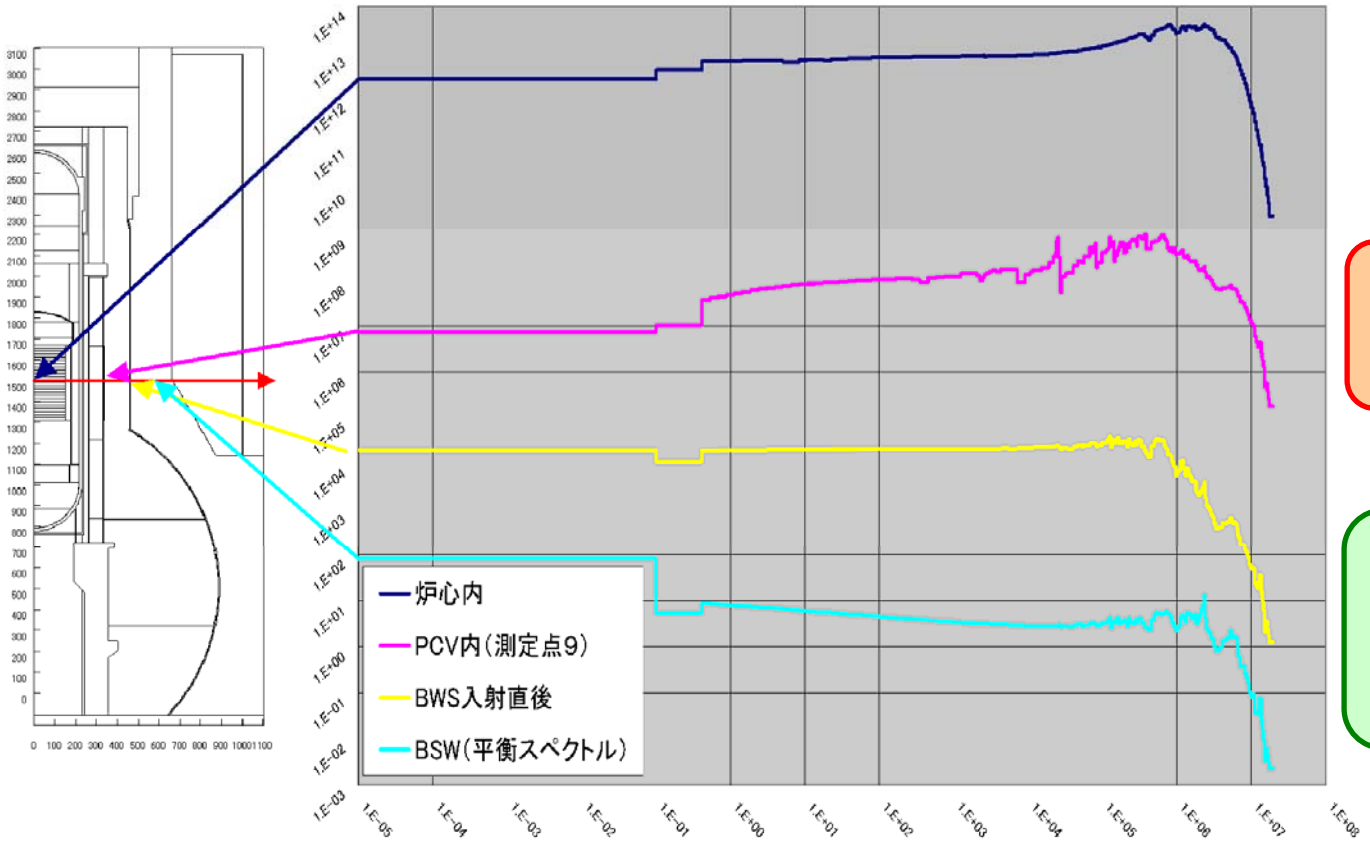
3.　放射能インベントリ評価上の課題（3/6）

・放射化計算で使用する放射化断面積ライブラリについて

　― 「軽水炉の標準的スペクトル」で縮約を行っている。

　⇒ JAEAにスペクトル依存の断面積ライブラリ作成を依頼

＜原子炉廻りの中性子スペクトルの例：小型BWR＞



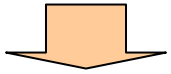
熱群の詳細化が必要！？

MATXS-J40で熱群の詳細化が実現

4. まとめ　－事業者として核データに望むこと－

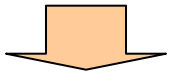
・廃止措置と核データの接点

⇒　断面積ライブラリとして核データを利用する。



放射能インベントリ評価の特性，評価信頼性に対する要求を踏まえた

専用の断面積ライブラリが必要ではないか！？



その．１　断面積ライブラリが参照する核データは統一したい。

・断面積，半減期，同位体存在比，原子量など参照先を一本化したい。

⇒JENDLに基づく一貫した断面積ライブラリセットが理想

⇒半減期，同位体組成比は“JAEA-Data/Code2012-014”を参照することに統一している。

４．まとめ　－事業者として核データに望むこと－

その．２「免責事項」を明らかにして欲しい。

⇒　核データを断面積に加工して使用する場合の制限を明確にして欲しい。

→　核データの使用マニュアルの制定が理想

その．３「信頼性保証」付であってほしい。

⇒「どのような使い方をしたら，どのようになる。」が予め知りたい。

→　ベンチマーク計算の充実