

2023年7月3日
日本原燃株式会社
日本原子力発電株式会社
四国電力株式会社
中国電力株式会社
北陸電力株式会社

低レベル放射性廃棄物搬出検査装置における放射能評価プログラム誤り事象の発生を踏まえたプログラムの妥当性に係る検証結果および今後の対応について

1. はじめに

2023年1月26日、日本原燃は、日本原子力発電(株)敦賀発電所、中国電力(株)島根原子力発電所、四国電力(株)伊方発電所、北陸電力(株)志賀原子力発電所（以下、「4発電所」）の低レベル放射性廃棄物（LLW）搬出検査装置（以下、「検査装置」）で使用している均質・均一固化体用放射能評価プログラムに誤りがあることを確認した旨の連絡を日本原子力発電(株)敦賀発電所より受けた。

このことを受け、日本原燃は2月2日に、4発電所より受けた廃棄体の再評価値を基に、事業変更許可申請書の最大放射能濃度を超えないこと、埋設施設の放射能に係る管理基準値を超えない見通しであることを確認した。また、4発電所を除く発電所の検査装置には同様の事象が発生しないことを確認した。

（以上、2月7日面談報告事項）

その後、4発電所の検査装置のプログラム検証を行い、島根原子力発電所の検査装置には固有の再評価プログラム（以下、「島根固有プログラム」）が組み込まれており、これに誤りがあることが新たに見つかったものの、上記以外にはプログラム誤りがないことを確認した。また、4発電所の充填固化体用放射能評価プログラムに誤りがないことも確認した。また、プログラム検証と並行して、4発電所の均質・均一固化体用放射能評価プログラムの誤りおよび島根固有プログラムの誤り（以下、「本事象」）の原因を調査し、再発防止対策を含む今後の対応を検討した。

本報告は、2月7日に報告した事象概要等に加え、プログラムの検証結果および今後の対応を報告するものである。

- 本事象の概要
- 本事象の影響を受ける廃棄体の範囲
- 本事象の影響を受ける廃棄体の埋設状況
- 本事象の影響を受ける廃棄体の放射能・放射能濃度の再評価
- 本事象による埋設施設への影響
- 本事象が生じた問題点と原因
- 今後の対応

2. 本事象の概要

(1) 時系列

本事象に関する時系列を表-1に示す。

表-1 本事象に関する時系列

時 期	経 緯
2022年5月～	検査装置メーカー（以下、「当該メーカー」）は、検査装置で使用する放射能評価プログラムの社内開発(Windows XP 版から Windows10 版対応への変更)を開始した。
2022年9月～	当該メーカーは、検査装置で使用する放射能評価プログラムの社内開発作業の中で、未定義の引数2カ所を確認し、影響評価を開始した。
2023年1月17日	当該メーカーは、検査装置で使用する放射能評価プログラムに関する引数の誤りがあり均質・均一固化体の放射能濃度の計算結果に影響を与えることを確認した。
2023年1月19日	当該メーカーは、過去に4発電所に納入した検査装置で使用している均質・均一固化体用放射能評価プログラムに同様の誤りがあることを確認した。
2023年1月26日 2023年1月27日	日本原子力発電、四国電力、中国電力、北陸電力（以下、「4電力」）は、当該メーカーより、検査装置で使用している均質・均一固化体用放射能評価プログラムに誤りがあるとの報告を受けた。その後、日本原子力発電が本事象について日本原燃へ連絡した。
2023年2月2日	4発電所は、本事象に伴い影響を受ける廃棄体本数、放射エネルギー・放射能濃度の評価値および最大放射能濃度の評価結果を日本原燃へ報告した。
2023年2月7日	日本原燃より本事象について、事象概要、最大放射能濃度を超えないこと、埋設施設の放射エネルギーに関する管理基準を超えない見通しであることを原子力規制庁に説明した。
2023年2月8日～	4電力および当該メーカーは、原子力規制庁への説明結果を踏まえ、放射能評価プログラムに関して、追加の検証作業に着手した。
2023年3月3日	中国電力は、当該メーカーより、島根原子力発電所の均質・均一固化体用放射能評価プログラムの一部に、他発電所には存在しない島根固有プログラムがあり、当該部に別の誤りがあることの報告を受けた。
2023年3月6日	中国電力は、プログラム中の誤りが追加で確認されたことを日本原燃へ連絡した。
2023年3月20日	4電力は、検査装置に使用しているプログラム（均質・均一固化体、充填固化体）の妥当性の検証状況について、日本原燃へ連絡した。
2023年3月31日	4電力は、検査装置に使用しているプログラム（均質・均一固化体、充填固化体）の妥当性の検証結果について、日本原燃へ連絡した。
2023年4月19日	4電力は、他の電力会社に対し実施した、本事象と同様の放射能評価プログラム誤り事象の有無に関するアンケート調査結果を日本原燃へ情報共有した。
2023年4月21日	4発電所は、当該メーカーが行った検査装置に使用しているプログラム（均質・均一固化体、充填固化体）の妥当性の検証結果について、日本原燃へ報告した。
2023年4月26日 2023年4月27日	4発電所は、当該メーカーが行った検査装置に使用しているプログラム（均質・均一固化体、充填固化体）の妥当性の検証結果について立会調査を行い、検証結果の妥当性、本事象で確認されたプログラム誤り以外の誤りがないこと、充填固化体用放射能評価プログラムに誤りがないことを確認した。
2023年5月31日	4発電所は、検査装置に使用しているプログラム（均質・均一固化体、充填固化体）の妥当性の検証結果および今後の対応について、日本原燃へ報告した。
2023年6月5日 2023年6月6日	日本原燃は、4発電所に対して特別監査を実施し、本事象に係る4発電所の不適合処置の状況、検証プロセスおよび検証結果等の確認を行い、当該メーカーが行ったプログラム検証は4発電所により適切に確認されていることを確認した。

(2) 2023年2月7日面談にて報告した事象

- 検査装置の均質・均一固化体用放射能評価プログラムのうち「Co-60 放射能濃度計算」において、計測した Co-60 放射能濃度が正しく取り込まれず、測定した放射能濃度が検出限界値に置き換わり、廃棄体の放射能濃度および放射エネルギーが過小評価される場合があること（以下、「引数誤り事象」）を確認した。

(添付資料(1))

- 引数誤り事象は、この放射能評価プログラムを用いていた4発電所の一部の均質・均一固化体の放射能評価（Co-60 放射能濃度が低く、Cs-137 放射能濃度が有意な領域）において生じたものであり、プログラム内の引数（※）の誤記（「C060（シーオー60）」とすべきところに「C060（シーゼロ60）」と未定義の引数があること）が発生原因である。

※ 引数（ひきすう）：コンピュータプログラムにおいて、外部との値をやり取りするための変数あるいは値のこと

(3) 2月7日以降に新たに確認された事象

(添付資料(2)、(3))

- 均質・均一固化体用放射能評価プログラムの検証において、敦賀発電所・伊方発電所・志賀原子力発電所の均質・均一固化体用放射能評価プログラムには引数誤り事象以外のプログラム誤りがないことを確認した。また、充填固化体用放射能評価プログラムの検証を行い、4発電所の充填固化体用放射能評価プログラムには誤りがないことを確認した。
- 均質・均一固化体用放射能評価プログラムの検証において、島根原子力発電所の均質・均一固化体用放射能評価プログラムには図-1に示すとおり島根固有プログラム（※）が存在し、引数誤り事象の影響を受ける廃棄体も含めて Co-60 放射能濃度が再評価され、正しく出力されていることを確認した。
- 一方で、島根固有プログラム内には、引数誤り事象とは別に変数の指定値誤りがあることを新たに確認した。具体的には、「Cs-137 放射能濃度計算」において計測した Cs-137 放射能濃度が正しく取り込まれず、測定した放射能濃度が検出限界値に置き換わり、廃棄体の放射能濃度および放射エネルギーが過小評価される場合があること（以下、「指定値誤り事象」）を確認した。
- この指定値誤り事象は、島根固有プログラム内で一部の均質・均一固化体用放射能評価（Co-60 放射能濃度が低く、Cs-137 放射能濃度が有意な領域）において生じたものであり、プログラム内の指定値の誤記（「17267」（「Cs」に相当する ASCII コード）とすべきところを「17235」（「CS」に相当する ASCII コード）としていたこと）が発生原因である。

※島根固有プログラム：9つに分かれた廃棄体1体の放射能評価にあたり、9つのスペクトルデータを先に合算して廃棄体1体の放射エネルギーを再評価するプログラム。他の発電所の放射能評価プログラムでは、9つのスペクトルデータ毎の放射エネルギーを計算し、その後合算して廃棄体1体の放射エネルギーを評価しているが、中国電力（株）島根原子力発電所の均質・均一固化体の放射エネルギーは全体的に小さい傾向にあり、1スライス毎に得られるスペクトルデータが小さいため、合算して評価することを志向して採用したものと推定される。

3. 本事象の影響を受ける廃棄体の範囲

プログラム誤りの影響を受ける廃棄体の範囲を整理するため、引数誤り事象で確認された以外のプログラム誤りの有無をプログラム検証により確認した。

プログラム検証の対象範囲は、検査装置導入時からこれまでの過去の不具合発生時に実施してきたプログラム検証状況を整理した結果、プログラム検証が十分ではなかった放射能評価プログラムのみとした。

(添付資料(9))

なお、放射能評価プログラムは、均質・均一固化体と充填固化体で異なるプログラムで放射能評価を実施しており、独立性が確保されているため、それぞれの放射能評価プログラムに対しプログラム検証を行った。

(1) 放射能評価プログラムの検証方法

(添付資料(3))

表-2 に示す 3 種類の検証方法により、本事象以外のプログラム誤りの有無を確認した。

表-3 にこれらの検証方法における検証範囲の網羅性について整理した。網羅的なプログラム検証には、プログラムに誤記がないこと、プログラムの動作が正しいこと、および、プログラムに影響を与える因子が正しいことの確認が必要であるが、これら 3 つの方法によりプログラムの検証を行うことで、検証の網羅性は確保できると考えられる。

表-2 放射能評価プログラムの検証方法

No.	検証方法	検証内容
検証 1	コンパイル (※) によるワーニングの確認	<ul style="list-style-type: none"> 放射能評価プログラムに属する全ソースプログラムについてコンパイルを行い、放射能評価結果に影響を与えるワーニングの(未定義の引数やコマンド誤り)が出ないことを確認する ワーニングが確認された場合は、放射能評価に影響を与えるものであるかを確認する
検証 2	放射能評価プログラムの全パス検証	<ul style="list-style-type: none"> 模擬スペクトルデータを用いて放射能評価プログラムの全パス検証を行い、指定値誤りがなく計算フローに従ってプログラムが動作することを確認する
検証 3	ソースコード点検によるパラメータおよび数式の確認	<ul style="list-style-type: none"> 放射能評価プログラムのソースコードを点検し、パラメータ、数式が適切であり、計算に誤りがないことを確認する

※コンパイル：プログラムの動作・処理内容(ソースコード)を実行可能な形式に変換する作業

表-3 検証範囲の網羅性

No.	検証範囲	検証できる項目	検証の効果
検証 1	プログラム誤記	<ul style="list-style-type: none"> 引数未定義、変数の多重定義 変数の型式の不一致 文法誤り、構文誤り ファイルが存在しない 無効な命令文 関数の括弧の数の不一致 関数・サブルーチンの引数の数の不一致 	<ul style="list-style-type: none"> プログラムの文法上の適切性が確認できる
検証 2	プログラム動作	<ul style="list-style-type: none"> 各プログラムが機能上適切につながって動作すること 想定したルートを通過すること 	<ul style="list-style-type: none"> 総合的な機能上の妥当性が確認できる 指定値誤りのように、文法上誤ってはいないが機能上誤っているものを検出できる
検証 3	プログラム計算結果に影響を与える因子	<ul style="list-style-type: none"> パラメータ 数式 	<ul style="list-style-type: none"> パラメータが正しく読み込まれている 数式が適切である

(2) 放射能評価プログラムの検証結果

(添付資料 (3))

1) 放射能評価プログラムの検証結果

4 発電所の均質・均一固化体および充填固化体の放射能評価プログラムに対し、表-2 に示した 3 種類の検証を実施した結果を表-4 に示す。

検証の結果、均質・均一固化体用放射能評価プログラムの検証において、敦賀発電所・伊方発電所・志賀原子力発電所の均質・均一固化体用放射能評価プログラムには引数誤り事象以外のプログラム誤りがないことを確認した。

また、島根原子力発電所の均質・均一固化体用放射能評価プログラムには島根固有プログラムが存在し、引数誤り事象の影響を受ける廃棄体も含めて Co-60 放射能濃度が再評価され、正しく出力されていることを確認した。一方で、島根固有プログラム内には、引数誤り事象とは別に変数の指定値誤りがあることを確認した。

充填固化体用放射能評価プログラムの検証において、4 発電所の充填固化体用放射能評価プログラムには誤りがないことを確認した。

表-4 プログラムの検証結果

No.	検証結果
検証 1	<ul style="list-style-type: none"> 均質・均一固化体用放射能評価プログラムで確認された引数誤り事象のプログラム誤り以外に放射能評価結果に影響を及ぼすワーニングは検出されなかったことから、プログラムに本事象以外の誤りはないことを確認した。 (引数誤り事象：C060 6 件, C058 6 件) 島根原子力発電所の充填固化体用放射能評価プログラム中には引数誤り事象と同様の引数の記載があるものの、当該引数は充填固化体用放射能評価プログラムでは参照しないサブルーチン中にあるため影響がないことを確認した。なお、敦賀発電所・伊方発電所・志賀原子力発電所で確認された当該引数誤りはコメント機能により無効化されており、コンパイル時のワーニングも発生しなかった。(添付資料 (3))
検証 2	<ul style="list-style-type: none"> 全ての計算フローにおいて引数誤り事象、指定値誤り事象以外のプログラム誤りがないことを確認した。 計算途中でエラーが発生することなく、正しく処理されることを確認した 島根原子力発電所の均質・均一固化体用放射能評価プログラムには島根固有プログラムが存在し、引数誤り事象の影響を受ける廃棄体も含めて Co-60 放射能濃度が再評価され、正しく出力されていることを確認した。 島根固有プログラム内には、引数誤り事象とは別に、新たな指定値誤りがあることを確認した。(添付資料 (4)) (指定値誤り事象：CS137 1 件)
検証 3	<ul style="list-style-type: none"> 実大校正線源の実測に用いられたソースコードについては実測の結果より、それ以外のソースコードについてはソースコード点検によるパラメータの確認により、パラメータおよび数式は適切であり、計算に誤りがないことを確認した。

2) 充填固化体用放射能評価プログラムの構成に基づく確認結果

本事象は、4 発電所の検査装置で使用している均質・均一固化体用放射能評価プログラム(図-1)で確認されたものであるが、1) に示した検証結果に加え、以下に示す確認結果により、充填固化体の放射能評価には影響するものではないことを確認した。

○「均質・均一固化体」と「充填固化体」のプログラムの独立性

- ✓ 4 発電所の検査装置では、廃棄体の種類に応じて運転モードを区分しており、均質・均一固化体と充填固化体は異なるプログラムで放射能評価を実施しているため、独立性が確保されていること

- 「均質・均一固化体」と「充填固化体」のプログラム誤り箇所の相違
 - ✓ 均質・均一固化体用放射能評価プログラムの誤りは、メインプログラムから呼び出すサブルーチンにおいて、Mode1～3 に条件分けされた処理のうち Mode2 の処理部分のみで確認されたこと
 - ✓ 充填固化体用放射能評価プログラムは、均質・均一固化体をベースに作成されており、均質・均一固化体用放射能評価プログラムで確認された誤りは、充填固化体用放射能評価プログラムのサブルーチンの Mode2 にも同様の記述があるものの、充填固化体用放射能評価プログラムでは、サブルーチンの Mode3 しか使用していないため、Mode2 の誤り箇所は計算過程で用いられることはなく、本事象は充填固化体の放射能評価に影響するものではないこと

なお、サブルーチンの Mode1～3 は、均質・均一固化体の放射能評価プログラムを開発した 1990 年頃の計算機性能が低かったことから、データ処理が多い場合を条件分けして処理を書き分けていたものの、充填固化体用放射能評価プログラムを開発した 2000 年頃には計算機性能が向上したため処理を書き分ける必要がなくなり、Mode3 の処理のみを使用する構成で開発された。

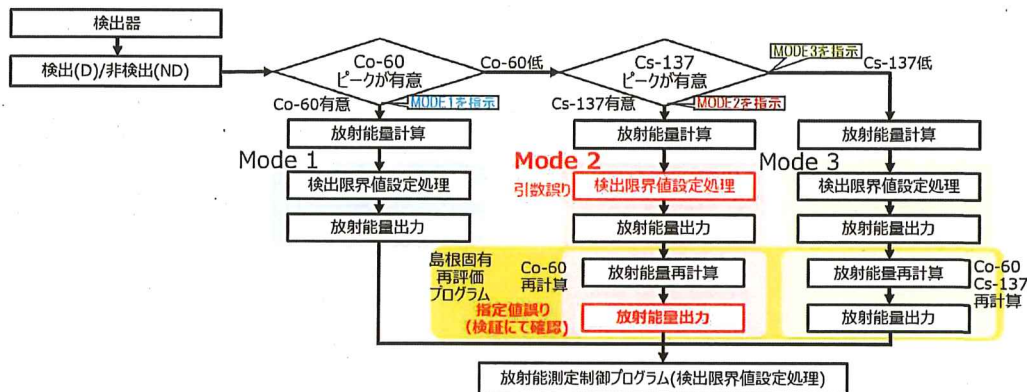


図-1 均質・均一固化体の放射能評価プログラムの概念フロー図

(3) 本事象の影響を受ける廃棄体

1) 4 発電所の廃棄体の影響

(1) および (2) の検証を踏まえ、表-5 に本事象の影響を受ける廃棄体について整理した結果を示す。

引数誤り事象の影響により Co-60 放射能評価値に誤りのある廃棄体は、Co-60 放射能濃度の値や Co-60 検出の有無に着目したスクリーニングの結果、敦賀発電所 (1,436 本) および伊方発電所 (102 本) から発生した均質・均一固化体 1,538 本 (全て埋設済み) となった。

(添付資料 (1))

島根原子力発電所において引数誤り事象の影響を受ける廃棄体は、島根固有プログラムの存在により Co-60 放射能濃度が再評価されるため、本年 2 月 7 日に報告した 570 本から 0 本に変更となることを確認した。また、志賀原子力発電所では均質・均一固化体の搬出実績がないため、引数誤りの影響を受ける廃棄体は 0 本である。

一方、島根固有プログラムで判明した指定値誤り事象は、Co-60 放射能濃度が低く、Cs-137 放射能濃度が有意な領域にて生じるものであるが、島根原子力発電所では過去に燃料損傷は起こっていないこと、および、廃棄体の放射化学分析の結果から、島根原子力発電所から搬出した廃棄体には、当該領域 (Co-60 放射能濃度が低く、Cs-137 放射能濃度が有意な領域) に該当する廃棄体は含まれないとの評価結果を得たことから、指定値誤り事象の影響を受ける廃棄体は 0 本である。

(添付資料 (4))

表-5 本事象の影響を受ける廃棄体の整理結果

廃棄体	事象	敦賀	伊方	島根	志賀	
均質・均一 固化体	放射能評価 プログラム誤り	引数誤り	●	●	●	●
		指定値誤り	—	—	●	—
	放射能 評価値誤り	Co-60	1,436本	102本	0本 (※1)	0本
		Cs-137	—	—	0本 (※2)	—
充填 固化体	放射能評価 プログラム誤り	引数誤り	— (※4)	— (※4)	— (※3)	— (※4)
		指定値誤り	—	—	—	—
	放射能 評価値誤り	Co-60	—	—	—	—
		Cs-137	—	—	—	—

・放射能評価プログラム誤り/放射能評価値誤り ●：あり，—：該当なし

- ※1：島根固有プログラムにより Co-60 放射能量は正しい値に上書きされるため引数誤りの影響なし
 なお、一部の均質・均一固化体の Co-60 放射能量について、表面線量当量率との相関が見られず、高い値を示していたことについて、その要因を調査したところ、電気ノイズの影響であり、プログラム誤り等によるものではないことを確認した
- ※2：Cs-137 が ND 値を示した廃棄体は全て Mode1 または Mode3 を通過するため指定値誤りの影響もなし
- ※3：放射能評価プログラム中に引数誤りがあるものの、当該引数誤りは充填固化体評価プログラムでは参照しないサブルーチン中にあるため影響なし
- ※4：※3 と同様であるが、プログラムソースの当該引数誤りはコメント機能により無効化されており、コンパイル時のワーニングも発生しない

2) 4 発電所以外の発電所の廃棄体への影響

本事象は 4 発電所に共通する当該メーカーの検査装置において発生するものである。
 本事象に関し、4 電力は他の電力会社に対し、本事象と同様の放射能評価プログラム誤り事象の有無を調査するためのアンケート調査を実施した。調査の結果、4 電力は他の電力会社より、4 発電所を除く発電所においては、以下に示すとおり本事象と同様の事象は発生せず、影響はないとの回答を受領し、日本原燃に調査結果を情報共有した。

- 他の発電所で用いている検査装置では、4 発電所に共通する当該メーカーの検査装置・放射能評価プログラムを使用しておらず、同様のプログラム誤りは存在しないこと。
- 仮に、プログラム誤りがあった場合は、コンパイル時のエラー出力やプログラム停止により実行プログラムが作成されることはないため、未定義の引数が存在するプログラムとはならないこと。
- 他の発電所で用いている検査装置では、本事象に係る不適合処置として当該メーカーが実施することとしたプログラム検証に相当することを既に行っており、問題はないことが確認されていること。

4. 本事象の影響を受ける廃棄体の埋設状況

(1) 敦賀発電所および伊方発電所への影響

廃棄物埋設確認申請済みの敦賀発電所および伊方発電所（以下、「2 発電所」）について、均質・均一固化体埋設時の申請書番号、埋設本数および本事象の影響を受ける本数（対象設備）を整理した。

1 号廃棄物埋設地におけるこれらの廃棄体の埋設状況図を添付資料（5）に示す。

5. 本事業の影響を受ける廃棄体の放射エネルギー・放射能濃度の再評価

(1) 再評価の方法

2 発電所では、本事業の影響を受ける廃棄体の測定時のスペクトルデータは現存していないため、スペクトルデータを用いた Co-60 放射エネルギーの再計算ができない状況にある。

3. (3) に示したとおり、本事業の影響を受ける廃棄体は 2 発電所から発生した均質・均一固化体であり、放射性廃棄物である濃縮廃液を固化化材料（セメントまたはアスファルト）で固化化したものである。濃縮廃液は固化化処理前に攪拌された状態であり、これをセメントまたはアスファルト固化装置において均質・均一に練り混ぜ・混合したものであることから、廃棄体中の放射性物質は一様に分布した状態である。

表-6 に本事業の影響を受ける廃棄体の種類を示す。

表-6 本事業の影響を受ける廃棄体の種類

放射性廃棄物	敦賀発電所	伊方発電所	
	濃縮廃液	濃縮廃液	
固化化材料	セメント	セメント	アスファルト
濃縮廃液の発生号機	1 号機	1, 3 号機	1, 2 号機

本事業の影響を受ける廃棄体の表面線量当量率は、濃縮廃液の主要核種である Co-60（および Cs-137）からの γ 線からの寄与が大半であり、 β 線を放出する難測定核種からの寄与は殆どない。このため、放射性物質が一様に分布した状態である均質・均一固化体の表面線量当量率と放射エネルギーとの間には相関関係があると考えられる。

2 発電所において、本事業の影響を受けていない埋設済みの均質・均一固化体の表面線量当量率と Co-60 放射エネルギーの分布を調査した結果、良好な相関関係が得られたことから、発電所毎に全ての分布点を包絡する換算係数（Co-60 放射エネルギー／表面線量当量率）を設定し、本事業の影響を受ける廃棄体の表面線量当量率から保守的となる放射能濃度・放射エネルギーを再評価した。

なお、均質・均一固化体に Cs-137 放射エネルギーが含まれている場合は、表面線量当量率と Co-60 放射エネルギーの分布点が高線量側にシフトし、分布点を包絡する換算係数が小さくなることから、表面線量当量率に寄与する放射能の全量が Co-60 の放射エネルギーに等しいものと仮定した上記の換算係数は保守性を有していると評価できる。

(添付資料 (6))

6. 本事業による埋設施設への影響

(1) 影響の概要

本事業の影響により、申請済みの廃棄物埋設確認申請書（廃棄体用）の放射能濃度および放射エネルギーの値が変動し得る。このため、2 発電所が計算した保守的な再評価値を用い、日本原燃において本事業による埋設施設への影響を評価した。

評価の結果、以下に示すとおり、本事業は過去に日本原燃が行った最大放射能濃度に関する廃棄物確認結果および埋設放射エネルギーに関する施設確認結果に影響を及ぼすものではないと判断した。

(2) 影響評価結果

1) 最大放射能濃度

本事業の影響を受ける廃棄体について、2 発電所が行った放射能濃度の再評価結果により、日本原燃において以下を確認した。

- 2 発電所とも、再評価後の廃棄体の放射能濃度の最大値は、事業変更許可申請書および保安規定に記載した最大放射能濃度を超過していないこと (表-7)
- 2 発電所とも、再評価後の廃棄体の Co-60 の放射能濃度の最大値は、難測定核種に対する Co-60 のスクリーニングレベルを超過していないこと

表-7 本事象の影響を受ける廃棄体の放射能濃度の再評価結果（最大値）

許認可上の 最大放射能濃度 (Bq/ton)		放射能濃度の最大値 (Bq/ton)			
		敦賀		伊方	
		再評価前	再評価後	再評価前	再評価後
Co-60	2.7E+12	3.7E+5	1.8E+9	3.7E+5	1.6E+8
C-14 (PWR)	8.5E+9	— (BWRのため対象外)	— (BWRのため対象外)	7.3E+5	1.4E+8
Ni-59	8.8E+9	4.7E+3	9.7E+6	4.3E+4	7.2E+6
Ni-63	1.1E+12	5.0E+5	1.3E+9	4.7E+6	9.1E+8
Nb-94	8.5E+7	1.5E+2	3.5E+5	1.6E+3	2.9E+5

2) 埋設放射能

日本原燃において、本事象の影響を受ける2発電所の廃棄体について、放射能の値を再評価値に置き換えた場合の埋設放射能を推定した。推定結果の概要を表-8に示す。

再評価後の埋設放射能は、事業変更許可申請書に記載の総放射能および保安規定に記載の管理値を下回っていることを確認した。

(添付資料(7))

表-8 埋設放射能の推定結果

管理項目	最も変化が 大きい核種	再評価に伴う 増加割合	再評価後の 放射能(Bq)	管理基準値 (Bq)
1号埋設地1~6群の 総放射能	Nb-94	0.2%	2.22E+09	2.5E+10
埋設設備群単位の 埋設放射能	Nb-94 (1群)	0.5%	2.49E+08	4.1E+09
1埋設設備単位の 埋設放射能	Nb-94 (1C埋設設備)	0.9%	8.02E+07	1.6E+09

7. 本事象が生じた問題点と原因

(1) 調査概要

本事象の発生後、4電力および当該メーカーは、本事象の発生に係る原因を特定するための調査を実施した。

4発電所の検査装置においては、1992年の装置導入時をはじめとして、OS変更および検査対象廃棄体の追加等によるプログラム更新時ならびに検査装置不具合等の節目において、プログラムの検証が実施される機会があったものの、結果的に本事象が発生するまで、プログラムに誤りがあったことを確認することができなかった。

検査装置の開発・納入から現在に至るまでの出来事流れ図を添付資料(8)に示す。出来事流れ図より、本事象に係る問題点について、以下の4つの観点から調査を行った。

- 発電所における検査装置導入時
- プログラム更新時
- 過去の不具合の水平展開時
- 定期点検時

(2) 調査結果（本事象に係る問題点）

1) 発電所における検査装置導入時

本事象のプログラム誤りは、発電所への検査装置導入時から生じていたことが確認されている。

発電所導入前に、実大校正線源にて機能・性能確認を実施している。均質・均一固体用放射能評価プログラムはメインプログラムから呼び出すサブルーチン(RESUPD)において、Mode1~3のプログラムパスに条件分けされた処理を行っているが、実大校正線源による確認は、当該メーカーにおいて全てのModeでの計算過程を考慮した検証を行ったことの記録等が残っ

ておらず、一部のプログラムパス (Mode) のみの確認であり、全ての Mode での検証はできていなかったと推定される。

また、各発電所においても、Mode が多岐にわたっていることを把握できていなかったと推定される。

2) プログラム更新時

3 発電所 (敦賀発電所、伊方発電所、島根原子力発電所を指す。) では、2001 年～2006 年にかけて Windows 化に伴う放射能計算機更新が行われている。本プログラム更新にあたっては、引数誤り事象発見時と同様に、実行ファイル作成時にコンパイルを行っており、コンパイル時に懸念事項がある場合はワーニングメッセージが表示される。したがって、上記プログラム更新時にも引数誤りのワーニングメッセージが表示されていたと推定される。

しかし、今回引数誤りがあったプログラム部については、当該メーカーでは過去のプログラム更新時に、何らかの理由でワーニングメッセージについて適切に対応・処置されなかったと推定される。また、検査装置導入時と同様に全ての Mode での検証ができていなかったため、指定値誤りが確認できなかったものと推定される。

3) 過去の不具合の水平展開時

検査装置のプログラムは、過去の不具合発生時 (2008 年、2016 年、2017 年、2019 年) に、それぞれの不具合の原因に応じ、水平展開としてプログラム検証を実施してきた。

(添付資料 (9))

しかしながら、過去にプログラム検証を行った箇所は、本事象が発生した箇所とは別の箇所であったこと、および、今回プログラム誤りがあった放射能評価プログラムは当該メーカーが作成したものであり、発電所納入時に行ったプログラム検証をもって問題なしとしていたことから、水平展開時において再度のプログラム検証はなされていなかった。

加えて、4 発電所ともプログラム作成時のプログラム仕様書がなかったことにより、詳細なプログラムの設計を確認することができなかった。

これらにより、水平展開時のプログラム検証の中では本事象に係るプログラム誤りが発見できなかった。

4) 定期点検時

4 発電所では、定期点検時に実大校正線源を用いて測定機能が維持されていることを確認している。この点検では、各 Mode に誤りがないことは検査装置導入時に確認されていることを前提とし、検査装置全体の動作確認を行うことを主としたものであったことから、プログラム誤りが発見できなかったと推定される。

(3) 問題点の発生原因 (4 電力および当該メーカー)

本事象が生じた問題点および問題点の原因を 表-9 に示す。本事象が生じた問題点は、表-9 に示した原因により、以下の 2 つの事象が生じてしまったことであると考えられる。

- プログラム実行ファイル作成時 (コンパイル時) の警告の見落とし
- プログラム作成時の検証不足

表-9 本事象が発生した問題点および問題点の原因

問題点		原因
①	当該メーカーにて、プログラム作成時に検証が不足していた。 (全ての計算過程を考慮した検証ができていなかった)	プログラム作成当時、当該メーカー内にはプログラム検証において全ケースでの検証を規定するルールがなかった。
②	当該メーカーにて、プログラム実行ファイル作成時(コンパイル時)のワーニングを見落とした。	プログラム作成当時、当該メーカー内にはコンパイル時のワーニング処置、警告に対する影響評価を行うルールがなかった。
③	2008年、2017年の水平展開時にプログラム仕様書がなく、検証が不足していた。	プログラム作成当時、当該メーカー内にはプログラムの詳細仕様を文書化して保管するルールがなかった。

(4) 発生原因(日本原燃)

日本原燃は、過去の電力不具合事象(直接原因)を踏まえ、是正処置対応として、電力各社との合意事項を定めた「監査ガイドライン」を含む社内規程類の見直しを実施している。

また、水平展開調査として過去の不具合で特定された直接原因に係る確認を実施している。

過去の不具合対応の他、これまでの検査装置の機能確認や自主検査監査を通じて、検査装置が健全であるとの認識があった。

本事象では、「警告の見落とし」「検証不足」などが挙げられていることから、過去の是正処置により「監査ガイドライン」に規定した「検査装置の新規設置、改造時に電力が実施する検証」に照らした場合、本事象を踏まえるとプログラム検証範囲の網羅性に関する視点が不足していたものと考えている。

(添付資料(10))

8. 今後の対応

(1) 不適合管理の状況

本事象の発生を受け、日本原燃および4電力では、以下のとおり不適合管理を実施中であり、遅滞なく処置を進めていくこととする。

1) 日本原燃における不適合管理

日本原燃では、本事象発生後の2023年1月30日に以下の処置項目を含む不適合処置計画を策定しており、本計画に基づき処置を進めていく。本計画については、放射能評価プログラムの検証に関する4電力からの報告、原子力規制庁への報告結果等を踏まえ、CAP活動を通じて必要に応じ変更を行う。

(日本原燃における不適合処置計画の概要)

- ・放射能評価プログラムの誤りの影響を受けている1号埋設設備の埋設放射エネルギーについて、再評価値の修正が完了するまでの間、暫定値に置き換え、管理データとして使用する。(実施中)
- ・電力より対象廃棄体の放射能濃度等の再評価値の提示を受けた後、計算機データおよび保安記録の値を再評価値に修正する。(未実施)

2) 4電力における不適合管理

4電力における不適合管理計画の概要を示す。4電力では、日本原燃および当該メーカーと連携しつつ、本計画に基づき処置を進めていく。

(4 電力における不適合処置計画の概要)

- ・不適合の識別として均質・均一固化体の検査禁止措置等の対応を実施する。(実施済)
- ・本事象の影響を受けた廃棄体を有する発電所については、影響を受ける廃棄体の特定および影響評価(再評価)を行い、何れの廃棄体についてもスクリーニングレベルを超えていないこと、および放射能濃度が事業変更許可申請書に記載されている最大放射能濃度を超えていないことの確認を実施する。(実施済)
- ・本検査装置を今後も用いる発電所については、当該プログラムの改修対応を実施する。(実施中)

(2) 今後の対応

1) 4 電力の対応 (7. (3) の原因を踏まえた対応)

①当該メーカーの是正処置に対する対応

当該メーカーにて以下の処置内容が行われていることを確認する。(実施中)

- ・プログラム検証において全ケースを対象とすることを規定化する。
- ・プログラムコンパイル時のワーニング処置、警告に対する影響評価を行うことを規定化する。
- ・プログラム詳細仕様を文書化して保管することを規定化する。

②検査装置の設置/改造等の調達事項の明確化

メーカーに以下の要求を行うことを規定化する。(実施中)

- ・プログラムに係る設備図書を提出すること。
- ・プログラム内部で分岐処理している場合は、設備図書に分岐処理毎の評価方法を明確にするとともに、全分岐処理の評価方法の妥当性を検証すること。

2) 日本原燃の対応 (7. (4) の原因を踏まえた対応)

①4 電力に対する特別監査の実施

4 電力より報告を受けた検証結果等に対する特別監査を実施し、放射能評価プログラム誤りに関する検証プロセスおよび検証結果の確認、評価係数および評価値算出に使用した廃棄体データ等について確認する。(実施済)

上記に加え、4 電力の是正処置完了後、是正処置が確実に行われていることを特別監査にて確認する。(4 電力の是正処置完了報告後、速やかに)

②本事象を踏まえた監査基準の変更

プログラムの検証方法を確認する上で、検証範囲の網羅性に関する視点が不足していたことに鑑み、検査装置の新規設置、改造時に電力が実施する検証方法について、検証範囲の網羅性(ワーニングチェック、分岐プログラムの検証、ソースコード点検等)の視点からも深掘りできるよう、監査基準(廃棄体確認監査に係る電力各社との合意事項を定めた当社規定「監査ガイドライン」)を改正する。(電力各社と合意が得られ次第、速やかに)

3) 4 発電所から発生する廃棄体の埋設に向けた対応

4 電力が行った検証結果等について、8. (2) 2) ①に示す特別監査を通じて、充填固化体の放射能評価に影響しないことを確認できたため、日本原燃および4 電力は4 発電所から発生する充填固化体の埋設に向けた諸準備に着手したいと考えている。

一方、均質・均一固化体の放射能評価プログラムについては、各社における CAP 活動を通じ、本事象に係る原因を踏まえた是正処置に取り組むこととする。また、是正処置により、改修された放射能評価プログラムを検証し、均質・均一固化体の埋設に向けた諸準備に着手したいと考えている。

9. 添付資料

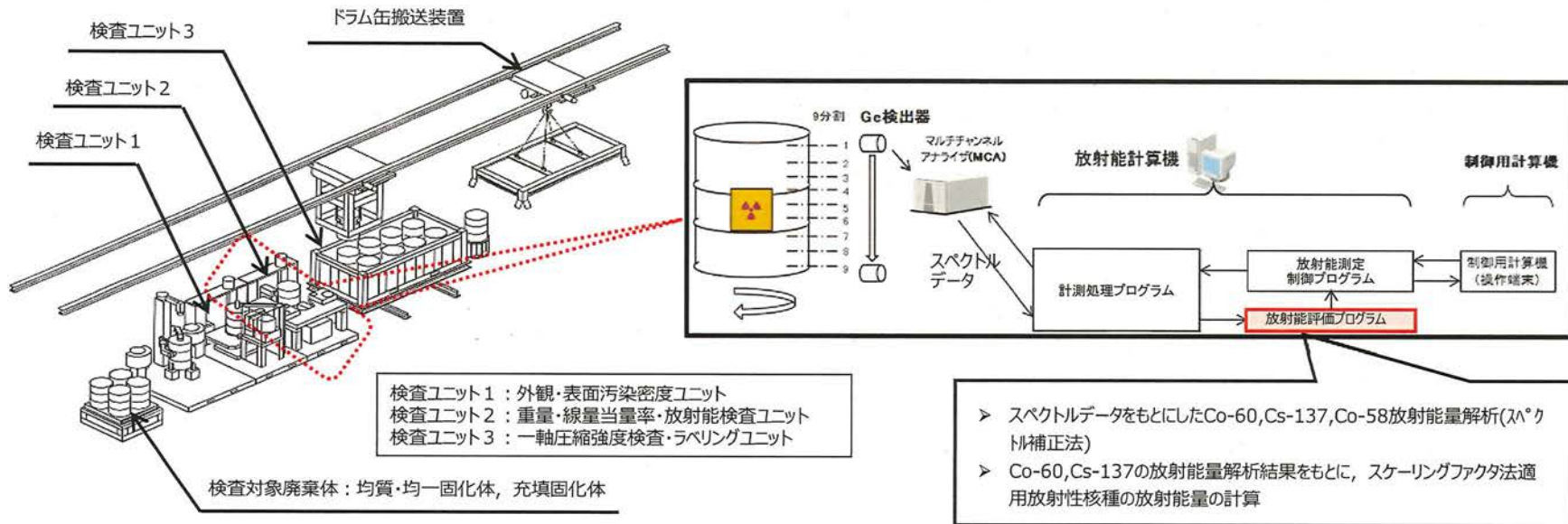
- (1) 低レベル放射性廃棄物搬出検査装置 均質・均一固化体放射能評価プログラム誤り（引数誤り事象）について
- (2) 低レベル放射性廃棄物搬出検査装置 均質・均一固化体放射能評価プログラム誤り（指定値誤り事象）について
- (3) 低レベル放射性廃棄物搬出検査装置 均質・均一固化体放射能評価プログラム誤りについて
－放射能評価プログラム検証結果－
- (4) 低レベル放射性廃棄物搬出検査装置 均質・均一固化体放射能評価プログラム誤り（指定値誤り事象）の影響評価について
- (5) 本事象の影響を受ける確認申請、廃棄体本数および埋設状況図について
- (6) 均質・均一固化体の再評価方法について（敦賀発電所，伊方発電所）
- (7) 埋設放射能評価結果
- (8) 出来事流れ図
- (9) 過去の不具合における水平展開の実施状況
- (10) 過去の不具合事例における原燃対応実績

以 上

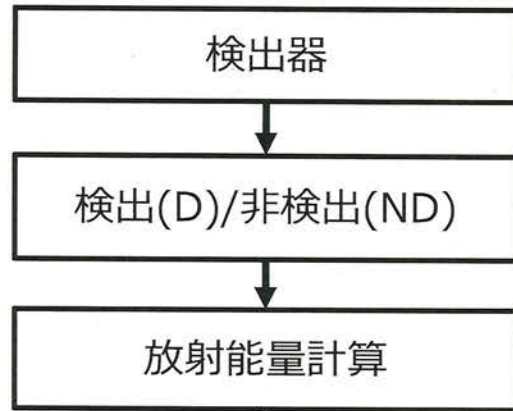
**低レベル放射性廃棄物搬出検査装置
均質・均一固化体放射能評価プログラム誤り
（引数誤り事象）について**

(1) 事象概要

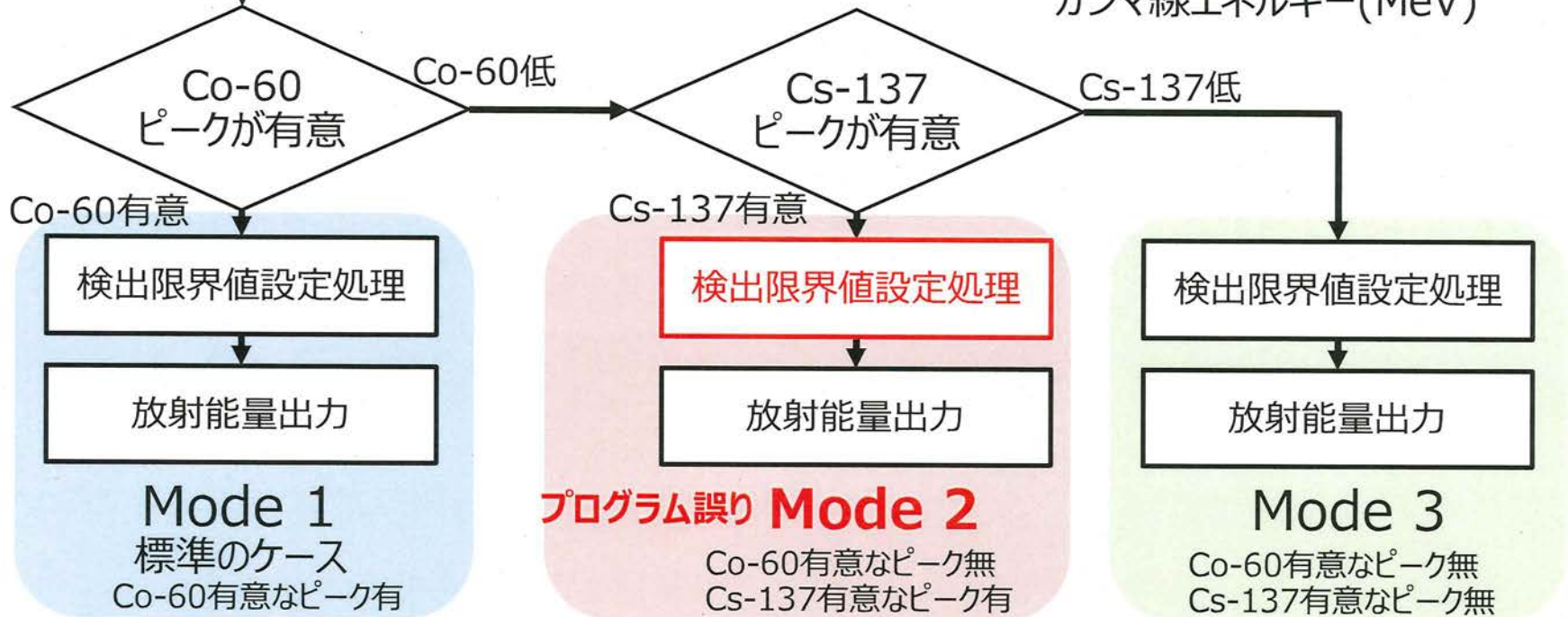
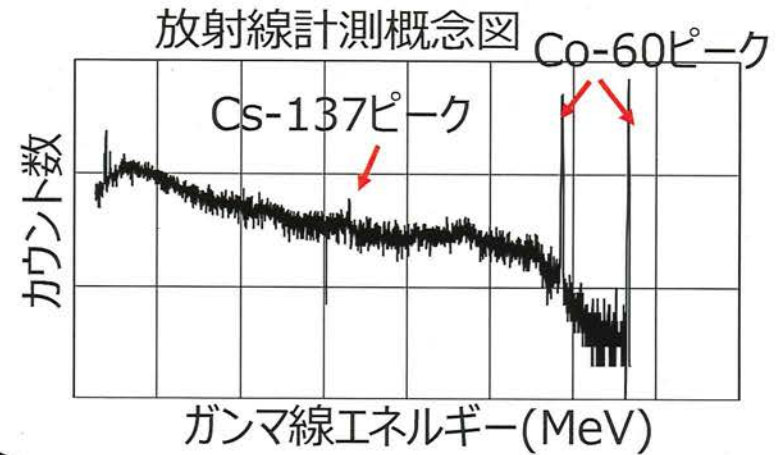
- ◆ 低レベル放射性廃棄物(LLW)搬出検査装置で使用している「放射能評価プログラム」のサブルーチン※1中の引数に関し、「C060 (シーオー60), C058 (シーオー58)」と記載すべきところを「C060 (シーゼロ60), C058 (シーゼロ58)」とそれぞれ未定義の引数があることを確認
 - ◆ 未定義の引数による放射能評価値(Co-60,Cs-137,Co-58)への影響を確認したところ, Ge検出器で得られたスペクトルデータをもとに放射能解析を行ったCo-60放射能濃度の値が, 誤って検出限界値(3.7E+05Bq/t) となる場合があることが判明
(Co-58に関しても同様に未定義の引数を確認しているが, 放射エネルギーおよび放射能濃度への影響はない)
 - ◆ このため, 日本原燃へ提出する「廃棄物埋設確認申請書(廃棄体用)」の放射エネルギーおよび放射能濃度に誤った値が記載されている廃棄体がある(本事象は, 検査対象廃棄体のうち, 均質・均一固化体の放射能評価において生じる)
 - ◆ 充填固化体は均質・均一固化体とは異なるプログラムであるため本事象による影響はない
- ※1:放射エネルギーの結果として検出限界値とする放射エネルギーを選択するプログラム



(2) 均質・均一固化体放射能評価プログラム概要



※：各スライスの検出/非検出の情報より1スライスでも検出された場合に廃棄体全体で検出と評価



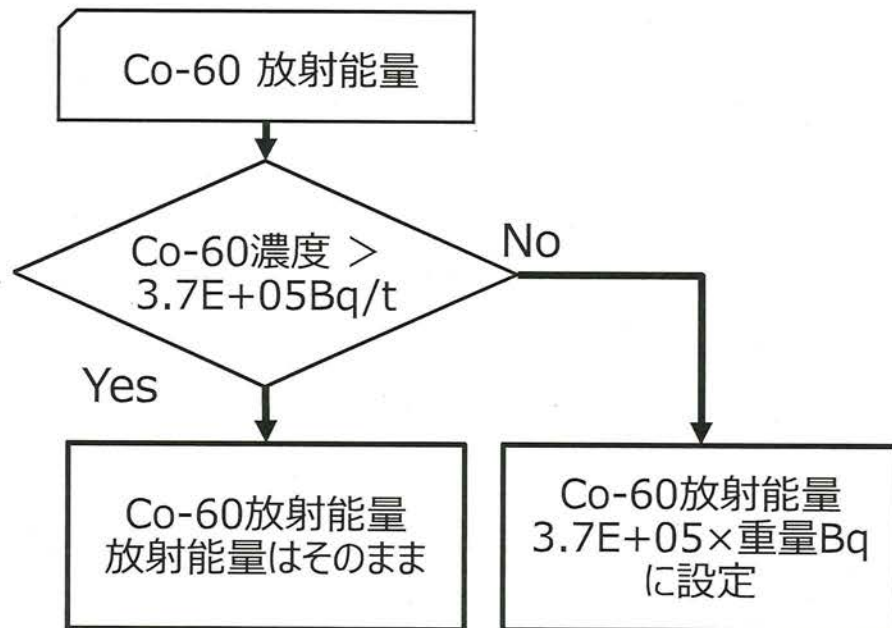
(3) 計算処理のフロー (正処理のケースと誤処理のケース : Co-60)

検出限界設定処理(Mode 2)のプログラム内の引数に誤記

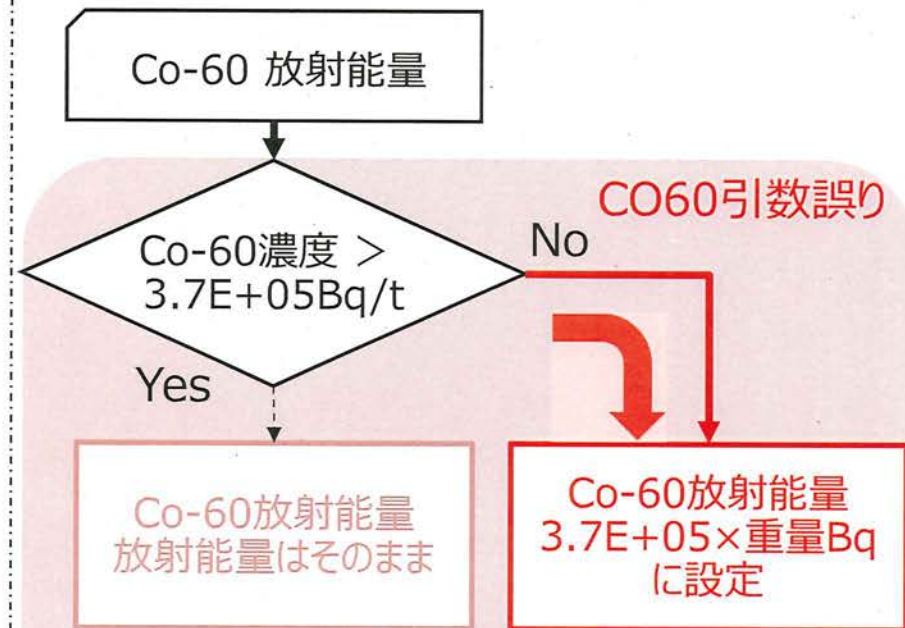
正「CO60 (シーオー60)」

誤「C060 (シーゼロ60)」

正処理
検出限界値設定処理
(Co-60有意なピーク無,Cs-137有意なピーク有)



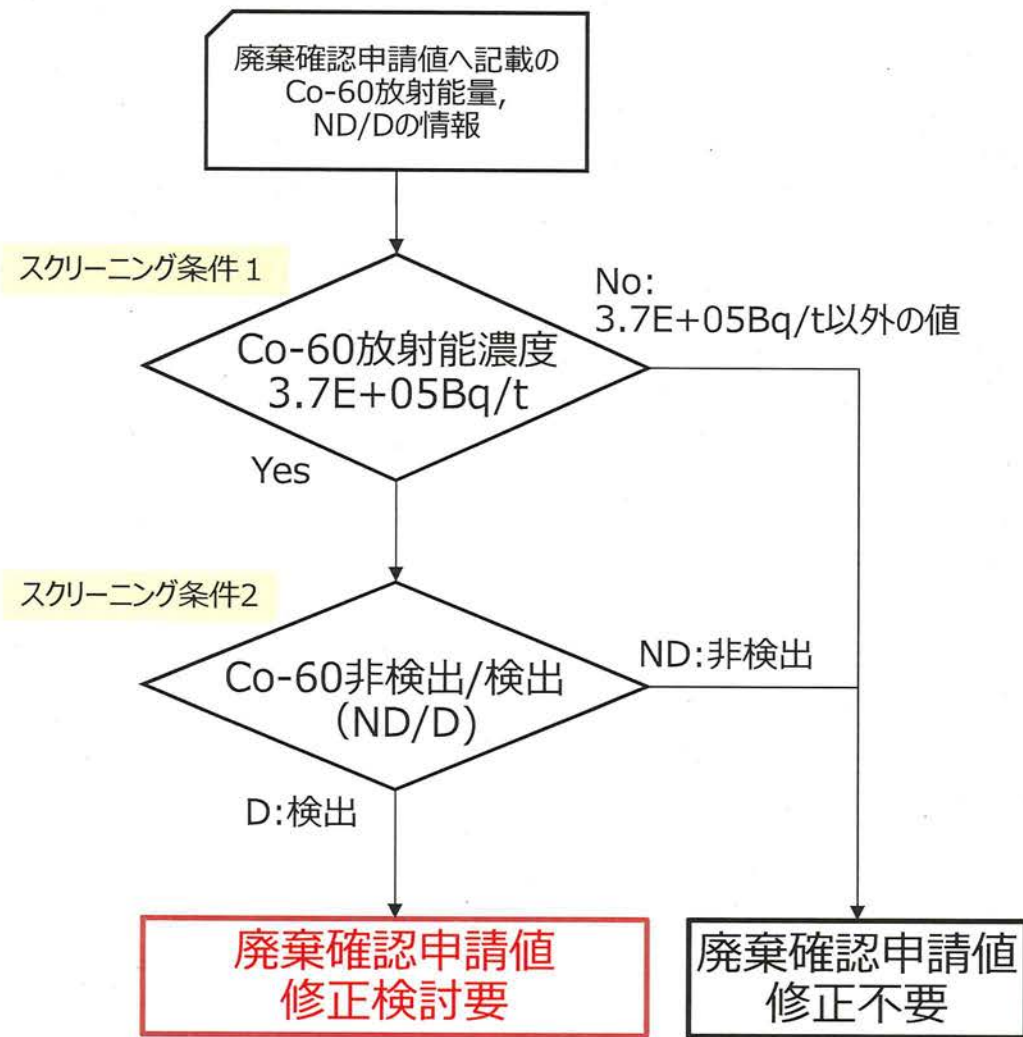
誤処理 (引数誤り) 検出限界値設定処理
(Co-60有意なピーク無,Cs-137有意なピーク有)



引数が3.7E+05より大きい場合
正しい放射能量となる。(測定例無し)

(4) 廃棄確認申請値への影響対象スクリーニング(1993年)

廃棄確認申請値への影響有無を確認するため、以下のフローにてスクリーニングを実施



スクリーニング条件1

プログラムの誤記部を通過し計算した場合、Co-60放射能濃度は $3.7E+05Bq/t$ に上書される。Co-60放射能濃度が $3.7E+05Bq/t$ 以外の値の場合、誤記の影響を受けていないと判断する。

スクリーニング条件2

(1)Co-60非検出の場合

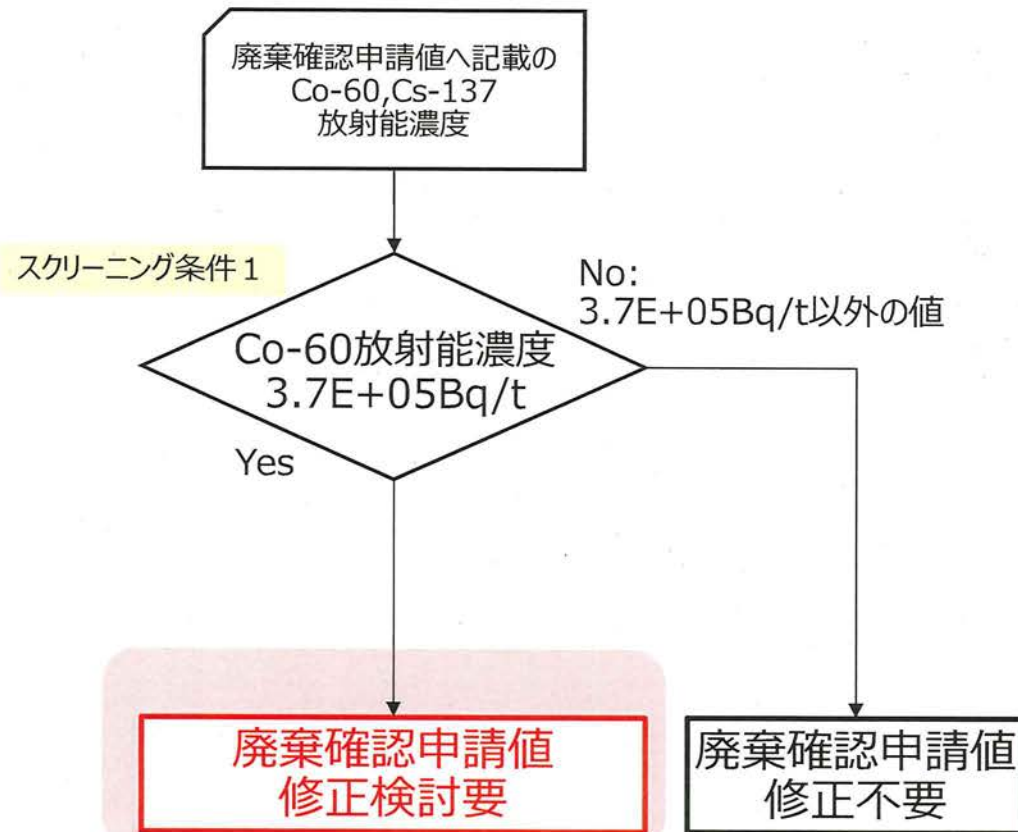
Co-60放射能濃度は検出限界値と同じ $3.7E+05Bq/t$ となる。

(2)Co-60検出の場合

Co-60に測定値が記載されるところを誤記のあったプログラムにより $3.7E+05Bq/t$ と上書きされている可能性があるため、再計算により廃棄確認申請値修正要否を検討する。

(5) 廃棄確認申請値への影響対象スクリーニング(1994年以降)

廃棄確認申請値への影響有無を確認するため、以下のフローにてスクリーニングを実施



スクリーニング条件 1

プログラムの誤記部を通過し計算した場合、Co-60放射能濃度は $3.7E+05Bq/t$ に上書される。Co-60放射能濃度が $3.7E+05Bq/t$ 以外の値の場合、誤記の影響を受けていないと判断する。

(6) 引数誤りの影響を受けた廃棄体

- 影響対象スクリーニング方法に従い、引数誤りの影響を受けた廃棄体を下表のとおり整理した。
- なお、島根原子力発電所では引数誤りの影響を受けた廃棄体はない。
また、志賀原子力発電所では過去に均質・均一固化体を搬出した実績はない。

スクリーニング結果

	敦賀発電所			伊方発電所			合計
	1993年	1994年以降	小計	1993年	1994年以降	小計	
搬出済の 均質・均一固化体 全数	1,304	5,320	6,624	504	4,560	5,064	11,688
スクリーニング条件1	389	1,050		10	92		
スクリーニング条件2	386			10			
スクリーニング結果	386	1,050	1,436	10	92	102	<u>1,538</u>

別紙 1 : プログラムソース

```
Resupd.for - メモ帳  
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)  
DEN = C060 / WT / 1000  
DEN = C058 / WT / 1000
```

正 : CO(オー)60, 誤 : C0(ゼロ)60

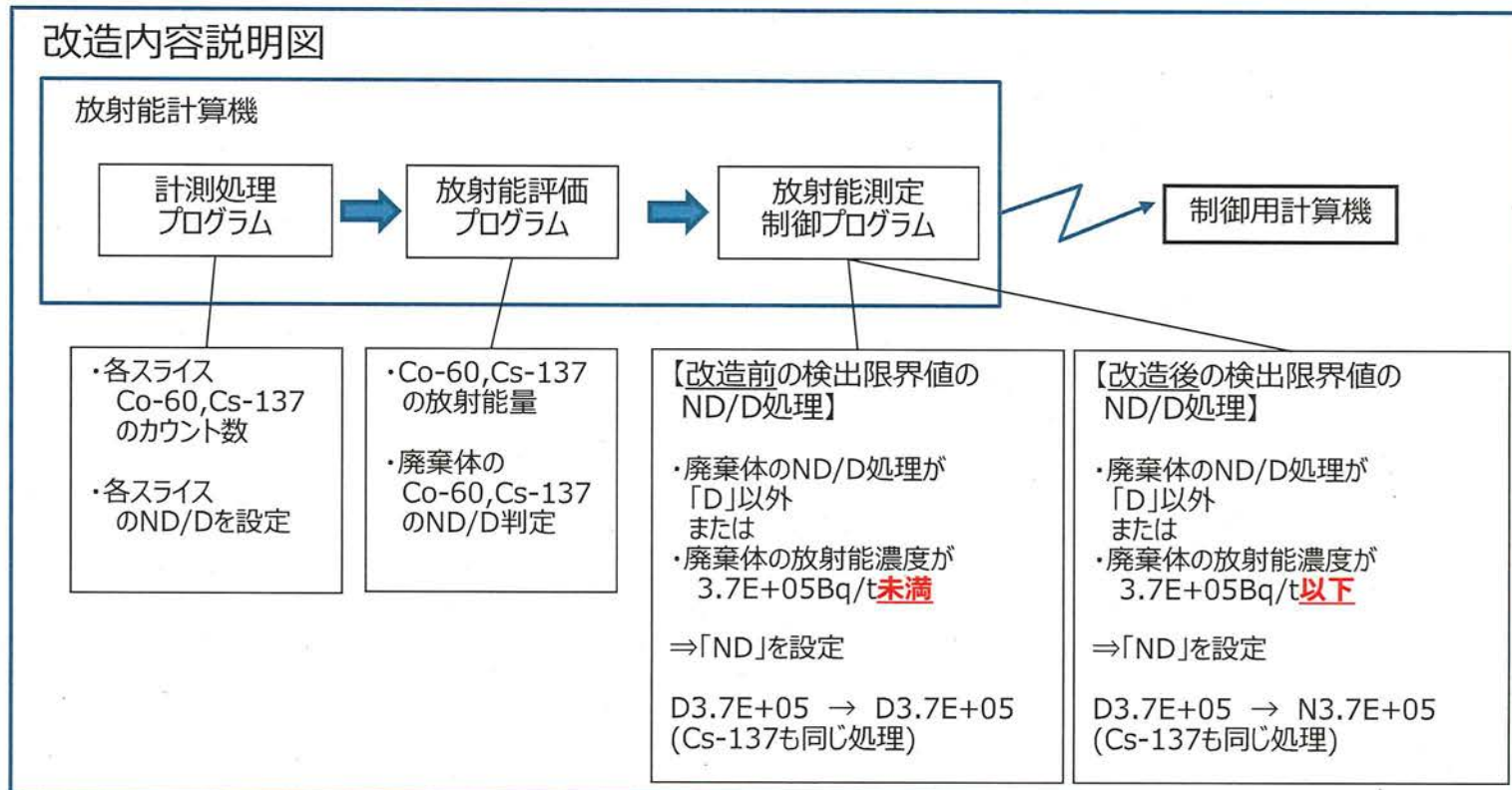
正 : CO(オー)58, 誤 : C0(ゼロ)58

別紙2 : Co-60, Cs-137 ND/D判定の変更

放射能測定制御プログラムにおけるND/D処理判定について、1994年度の搬出検査のために改造※1しており、放射能評価プログラムにおける放射能評価結果が検出限界値以下を示す場合においてND処理を行うよう変更した。

なお、充填固化体の放射能測定制御プログラムにおいては、上記のND/D処理判定プログラムは導入していない。

※1：廃棄体搬出確認マニュアル(データ授受に係るマニュアル)と整合させるため、核種毎の放射能濃度が検出限界値以下の場合にND判定とする運用に変更

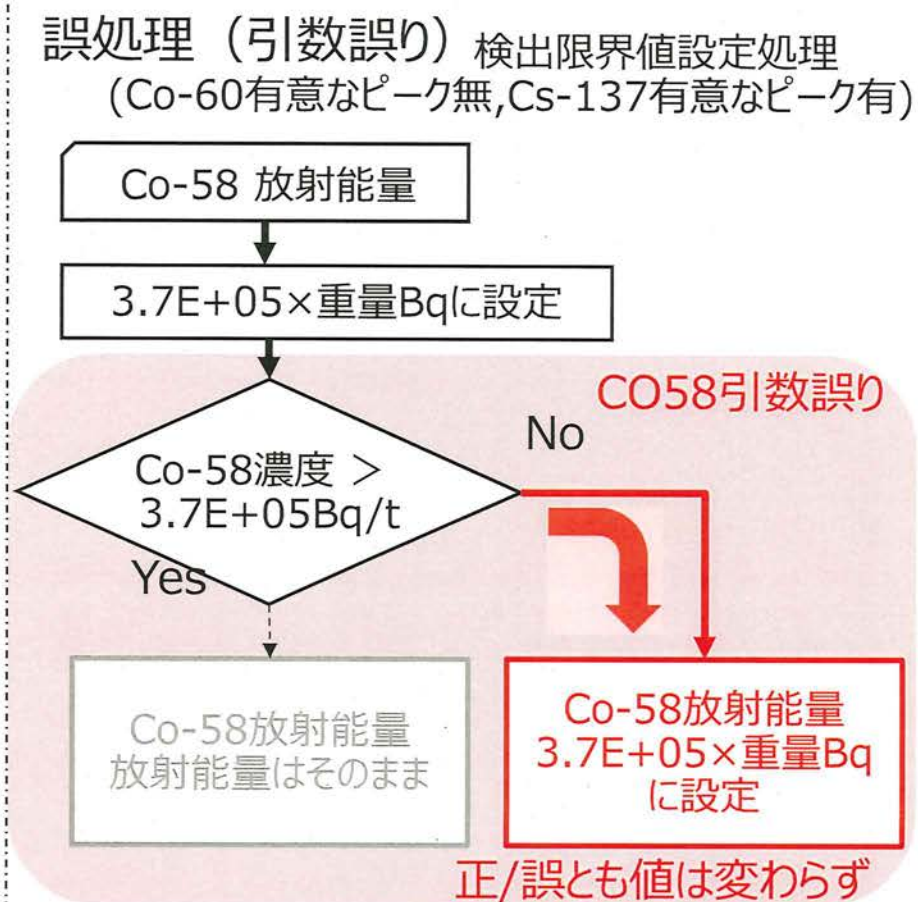
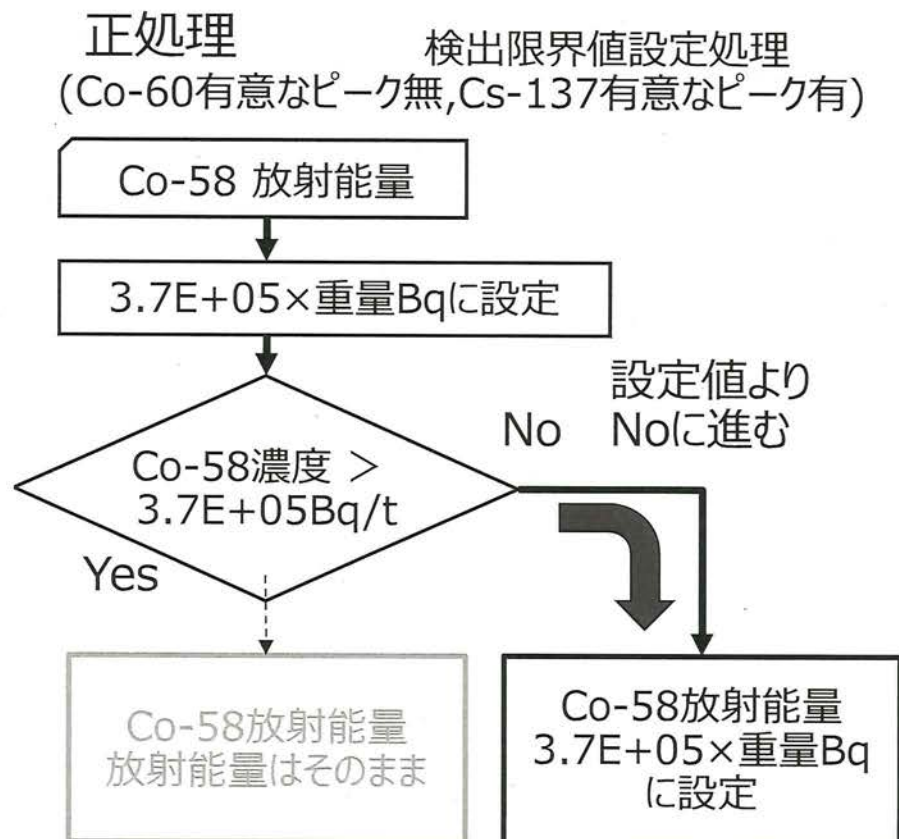


別紙3：計算処理のフロー（正処理のケースと誤処理のケース：Co-58）

検出限界設定処理(Mode 2)のプログラム内の引数に誤記

正「C058 (シー~~オ~~-58)」

誤「C058 (シー~~ゼロ~~58)」



**低レベル放射性廃棄物搬出検査装置
均質・均一固化体放射能評価プログラム誤り
（指定値誤り事象）について**

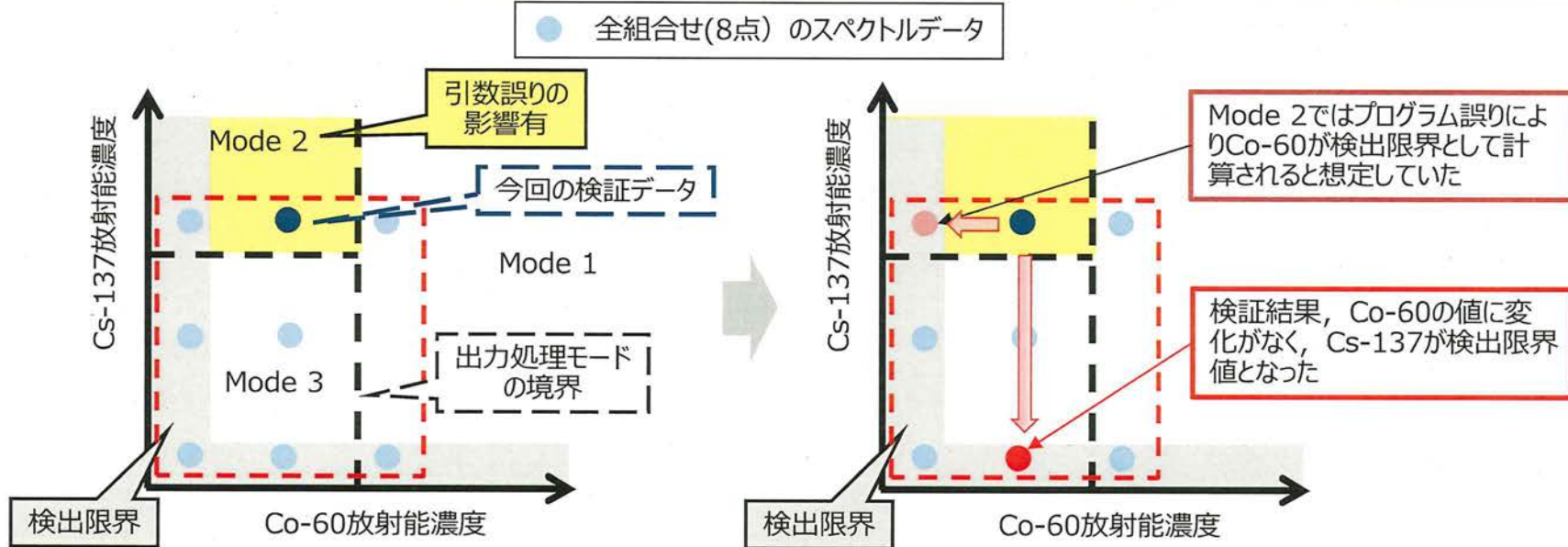
(1) 事象概要

◆ 事象

- ✓ 中国電力(株)島根原子力発電所のLLW搬出検査装置の放射能評価プログラムの全パス検証において、ロジックツリーに基づきコバルトおよびセシウム条件の全ての組み合わせ（8点）で検証を実施
- ✓ 均質・均一固化体放射能評価プログラムのうち、コバルトが低く、セシウムに有意なピークがある条件（Mode 2）において、島根**固有の再評価プログラム**に誤りがあることを確認

◆ 既知のスペクトルデータ（Mode 2）の条件における計算の結果、下記【今回の検証データ】に関し

- ① **Co-60が検出限界値ではなかった**（引数誤りの影響は受けなかった）
- ② **Cs-137が検出限界値**となった



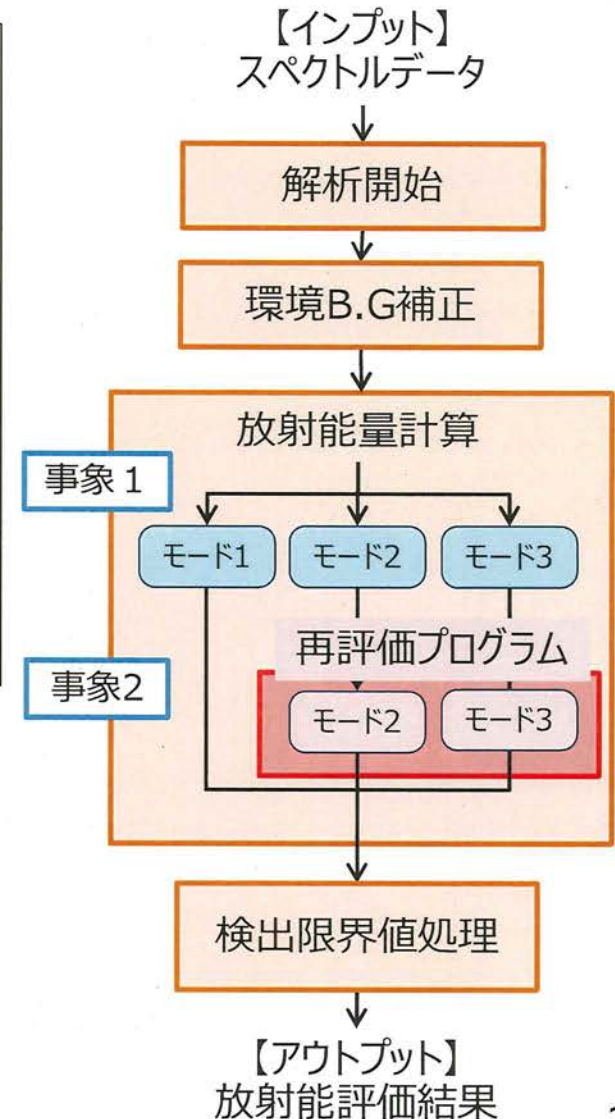
<均質・均一固化体放射能評価出力処理プログラム検証概念図>

(2) 原因

【原因】

- ◆ 島根固有のソースコードを解読し、**再評価プログラム**※1 (モード2) において、以下の原因を特定
 - 再評価プログラムでは、Co-60を新たにスペクトルデータから再登録する
 - ✓ Co-60の引数誤りの影響は正しい値に上書き
 - ✓ Cs-137は放射エネルギー計算をそのまま引き継ぐ
 - 再評価プログラム (モード2) において、"CS"と"Cs"の誤りがあり、セシウムの放射エネルギーを引き継げず0になる
 - 後段の検出限界値処理により、セシウム濃度が $3.7E+05$ Bq/tになる。

※1 再評価プログラム：廃棄体の放射エネルギー測定においては、廃棄体1体の領域を9つに分けて測定し、そこで得られた9つのスペクトルデータ毎の放射エネルギーを計算、その後合算して廃棄体1体の放射エネルギーを評価しているところを、9つのスペクトルデータを先に合算したのちに放射エネルギーを再評価するプログラム。中国電力(株)島根原子力発電所の均質・均一固化体は、全体的に放射エネルギーが小さい傾向にあり、1スライス毎に得られるスペクトルデータが小さいため、合算して評価することを志向して採用したものと推定される。



補足1 : 当該プログラム

```

RSLT.FOR - メモ帳
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
OPEN(1, FILE='e:\ANA\RES', ACCESS='DIRECT', RECL=8,
@
FORM='UNFORMATTED')
100 READ(1, RECL=IP) IRES
I EL(IP) = IRES(1)
ELSE IF (IEL(IP) .EQ. 17235) THEN
OPEN(1, FILE='e:\ANA\RES', FORM='UNFORMATTED', ACCESS='DIRECT',
@
RECL=8)
    
```

放射能評価結果を書き込んだRESファイル (中間ファイル)

RESファイルから“IRES”への核種情報, 放射エネルギー読み

Cs-137の元素名として“Cs”(ASCIIコード17267)を読み
I EL(IP)へ17267を代入

“Cs”(17267)と“CS”(17235)の判定が不一致となり, そ
れ以降の放射エネルギー計算がスキップ
(Cs-137の放射エネルギーRD(IP) = 0となる)

RESファイルへCs-137のRD(IP) = 0を書き込み

後段の放射能測定制御プログラムの下限処理により
Cs-137 : 3.7E+05Bq/t×重量 になる

核種	ASCII
Cs	17267
CS	17235
Co	17263
CO	17231

Mode 2では17267とすべき
を17235と記載した。
Cs,Co : スペクトルファイル
・中間ファイルでの表記
CO,CS : 直接入力の場合の
RESファイルへの表記

補足2：ASCIIコード記載部の確認結果（1／4）

◆ 4発電所の放射能評価プログラムを構成するサブルーチン（下表）のプログラムに関し、ASCIIコード記載部の適否を確認

	島根	敦賀	伊方	志賀
均質・均一	LIBDTX (A) LIBDTX2 (A) RESUPD (B) <u>RSLT 当該(C)</u> 当該以外(B)	LIBDTX (A) LIBDTX2 (A) RESUPD (B)	LIBDTX (A) LIBDTX2 (A) RESUPD (B)	LIBDTX (A) LIBDTX2 (A) RESUPD (B)
直接充填	LIBDTX (A) LIBDTX2 (A) RESUPD (B)	LIBDTX (A) LIBDTX2 (A) RESUPD (B)	LIBDTX (A) LIBDTX2 (A) RESUPD (B)	LIBDTX (A) LIBDTX2 (A) RESUPD (B)
溶融	LIBDTX (A) LIBDTX2 (A) RESUPD (B)	LIBDTX (A) LIBDTX2 (A) RESUPD (B)	—	—

(A)大文字，小文字両方を考慮しており問題なし

(B)適用するASCIIコードに誤り無し

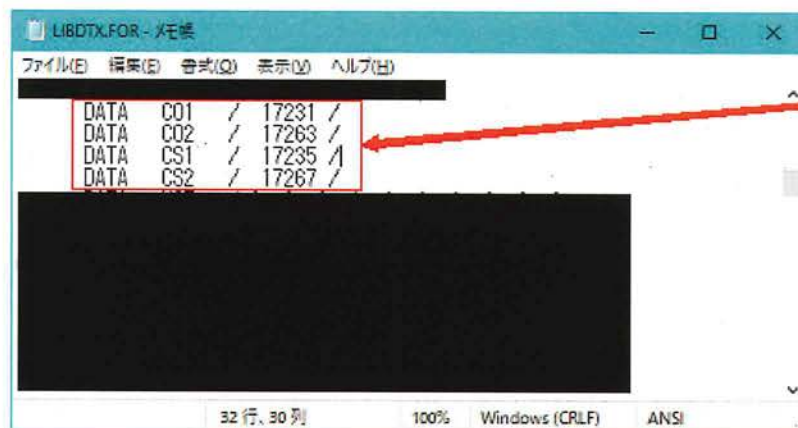
(C)適用するASCIIコードに誤り有り

【確認結果】

➔ 島根固有の再評価プログラム（RSLT）におけるMode 2の部分のみASCIIコードに誤り

補足2 : ASCIIコード記載部の確認結果 (2 / 4)

【LIBDTX】 (LIBDTX2も同様)



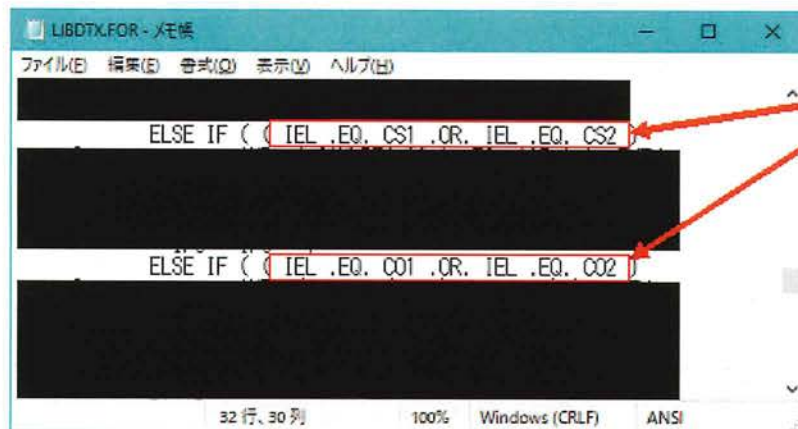
LIBDTX.FOR - 変換

```
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
```

DATA	CO1	/	17231	/
DATA	CO2	/	17263	/
DATA	CS1	/	17235	/
DATA	CS2	/	17267	/

32行, 30列 100% Windows (CRLF) ANSI

変数にASCIIコードを設定



LIBDTX.FOR - 変換

```
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
```

```
ELSE IF ( IEL .EQ. CS1 .OR. IEL .EQ. CS2 )
```

```
ELSE IF ( IEL .EQ. CO1 .OR. IEL .EQ. CO2 )
```

32行, 30列 100% Windows (CRLF) ANSI

大文字・小文字両方を用いて判定しており問題なし

補足2 : ASCIIコード記載部の確認結果 (3 / 4)

【RESUPD】



```
Resupd.for - メモ帳  
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)  
IEL(IP) = 17231  
IEL(IP) = 17231  
1行、1列 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

“CO”を新規に設定 (変数に代入) しており問題なし



```
Resupd.for - メモ帳  
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)  
IEL(1) = 17231  
IEL(2) = 17235  
IEL(3) = 17231  
1行、1列 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

“CS”を新規に設定 (変数に代入) しており問題なし

補足2 : ASCIIコード記載部の確認結果 (4 / 4)

【RSLT】

```
RSLT.FOR - X70帳
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
IF( IEL(IP) .EQ. 17231) THEN
ELSE IF( IEL(IP) .EQ. 17235) THEN
1行, 1列 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

IEL(IP) (RESUPDで設定した
"CO"(17231)) と一致しており問題なし

【当該】
IEL(IP)("Cs"17269)≠"CS"17235
不一致により当該部をスキップ
想定する動作と異なる

低レベル放射性廃棄物搬出検査装置

均質・均一固化体放射能評価プログラム誤りについて

－ 放射能評価プログラム検証結果 －

1 放射能評価プログラムに確認されたエラーについて

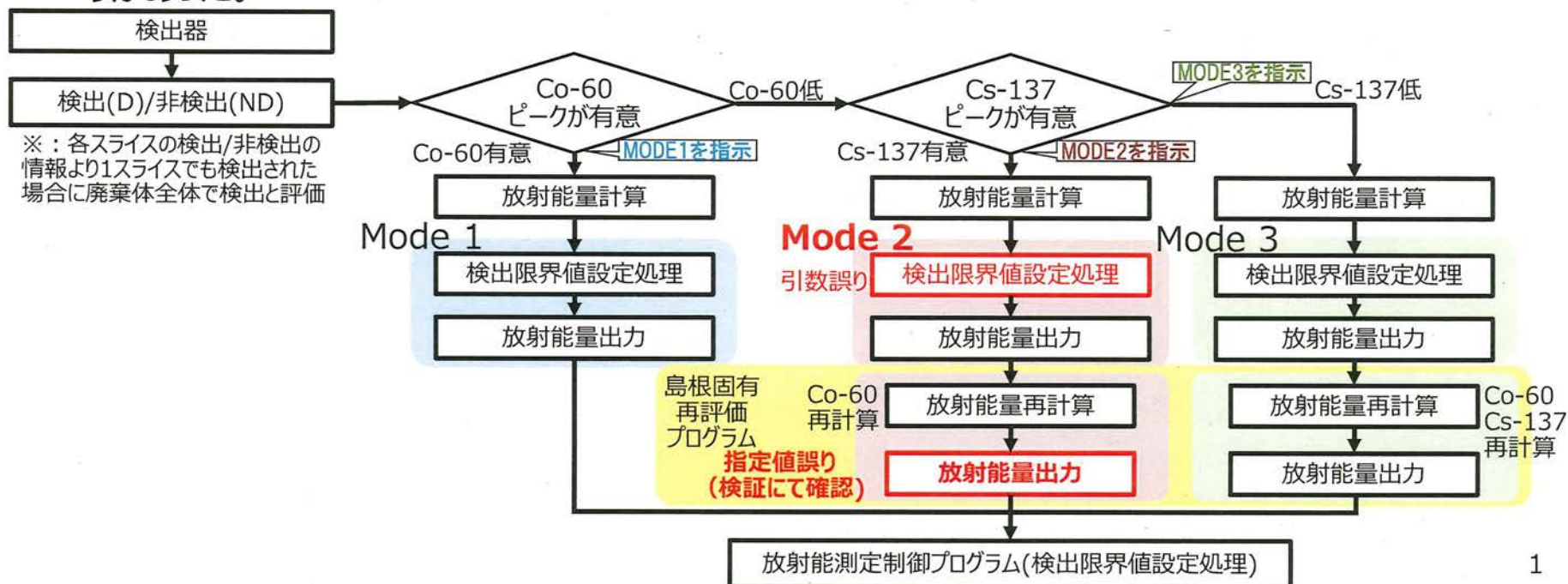
LLW放射能評価プログラムについて、以下2つの事象が確認された。

【事象1（引数誤り）】

当該メーカーにおけるLLW検査装置プログラムの社内開発において、均質・均一固化体の放射能評価プログラムに未定義の引数があり、ガンマ線スペクトルにおいてコバルトにピークが無く、セシウムに有意なピークがある条件では、計測結果に関わらず検出限界値処理設定にてコバルト濃度を検出限界値と表示する誤りがあった。

【事象2（指定値誤り）】

均質・均一固化体の放射能評価プログラムの全ての計算過程における検証を進める中で、中国電力島根原子力発電所の放射能評価プログラムの後段の再評価プログラムに指定値の誤りがあった。



2 放射能評価プログラムの検証について

放射能評価プログラムにおける問題の有無を確認するため、以下の検証を実施する。

【検証1 コンパイルによるワーニングの確認】

放射能評価プログラムに属する全ソースプログラムについてコンパイルを行い、放射能評価結果に影響を与えるワーニング（未定義の引数やコマンド誤り）が出ないことを確認する。

【検証2 放射能評価プログラムの全パス検証】

模擬のスペクトルデータを用いて放射能評価プログラムの全パス検証を行い、指定値誤りがなく計算フローに従ってプログラムが動作することを確認する。

【検証3 ソースコード点検によるパラメータの確認】

放射能評価プログラムの計算結果の妥当性は、実大校正線源を用いて確認しているが、放射能評価プログラムのソースコードを点検し、パラメータ、数式が適切であり、計算に誤りが無いことを確認する。

3 検証範囲の網羅性

網羅的なプログラム検証には、プログラムに誤記がないこと、プログラムの動作が正しいこと及びプログラムに影響を与える因子が正しいことの確認が必要

検証方法	検証範囲	検証できる項目	検証の効果
コンパイルによるワーニングの確認	プログラムの誤記	<ul style="list-style-type: none"> 引数未定義, 変数を2回定義 変数の型式の不一致 文法誤り, 構文誤り ファイルが存在しない 無効な命令文 関数の括弧の数の不一致 関数・サブルーチンの引数の数の不一致 	<ul style="list-style-type: none"> プログラムの文法上の適切性が確認できる。
放射能評価プログラムの全パス検証	プログラムの動作	<ul style="list-style-type: none"> 各プログラムが機能上適切につながって動作すること 想定したルートを通過すること 	<ul style="list-style-type: none"> 総合的な機能上の妥当性が確認できる。 指定値誤りのように, 文法上誤ってはいないが機能上誤っているものを検出できる。
ソースコード点検によるパラメータ及び数式の確認	プログラムの計算結果に影響を与える因子	<ul style="list-style-type: none"> パラメータ 数式 	<ul style="list-style-type: none"> パラメータが正しく読み込まれている。 数式が適切である。

コンパイルによるワーニングの確認

5 コンパイルによるワーニングの確認

コンパイル対象となる放射能評価プログラム（当該メーカー製）のソースプログラム数は下表のとおり。

No.	処理		実行ファイル名	ソースプログラム数				
				敦賀	島根	伊方	志賀	
1	放射能解析開始処理		RADSTR.EXE	1	1	1	1	
2	環境バックグラウンド補正処理		ENVBAK.EXE	1	1	1	1	
			ENVBAK2.EXE	1	1	1	1	
3	放射能解析処理	均質・均一	ANAGO.EXE	50	50	50	50	
			spcsum.EXE ^{注2}	—	1	—	—	
			Lump.EXE ^{注2}	—	6	—	—	
		充填	溶解	ANAGO0.EXE	25	25	—	—
				ANAGO1.EXE	55	55	—	—
			直接充填	ANAGO2.EXE	19	62	19 ^{注1}	19 ^{注1}
		ANAGO3.EXE	60	—	60 ^{注1}	60 ^{注1}		
小計			212	202	132	132		
合計			678					

注1；伊方,志賀の直接充填写放射能解析処理実行ファイルの中身は,敦賀のANAGO2.EXE及びANAGO3.EXEと同様だが,実行ファイルの固有名詞はそれぞれANAGO0.EXEとANAGO1.EXEとなっている。

注2；島根固有プログラム

- 4プラント分のソースプログラム全678個について,それぞれコンパイルを実施した。
- コンパイルの結果,次項の通りワーニングが確認されたが,放射能評価値に影響するものはないことを確認した。(引数誤り C060 6件, C058 6件)

6 コンパイルによるプログラムの検証

No.	処理		ワーニング発生有無 種類				
			敦賀	島根	伊方	志賀	
1	放射能解析開始処理		無し	無し	無し	無し	
2	環境バックグラウンド補正処理		無し	無し	無し	無し	
3	放射能解析 処理	均質・均一	B	A, B (島根固有プログラム:無し)	B	A, B	
		充填	溶融	無し	A, (B※1, ※2)	-	-
			直接充填	A, C	A (2か所) , (B※1, ※2)	A, C	A, C

<発生ワーニングの解説>

A; Warning: Alignment of variable or array is inconsistent with its data type. [CP0]

⇒本ワーニングは変数または配列のアライメントがデータ型と一致していないことを表すメッセージだが、CP0[4バイト]は、ICOND(1608)[2バイト]とICOND(1609)[2バイト]を使用しており、使用するバイト数が一致しているため、問題はない。

B; Warning: Variable C060 is used before its value has been defined.

Warning: Variable C058 is used before its value has been defined.

⇒本ワーニングによって、均質・均一固化体の放射能評価結果のうち、Co-60の放射能評価結果が誤った結果になる場合がある。
(=今回の事象(ハッチング部))

⇒※1 充填固化体の放射能評価プログラムへの影響が無いことを確認した。

C; Warning: Variable RMT is used before its value has been defined.

⇒本ワーニングはRMTという変数に関するものだが、RMTは放射能解析プログラムの実行状態をログに表示する際用いるものであり、放射能解析に使用しないため、問題はない。

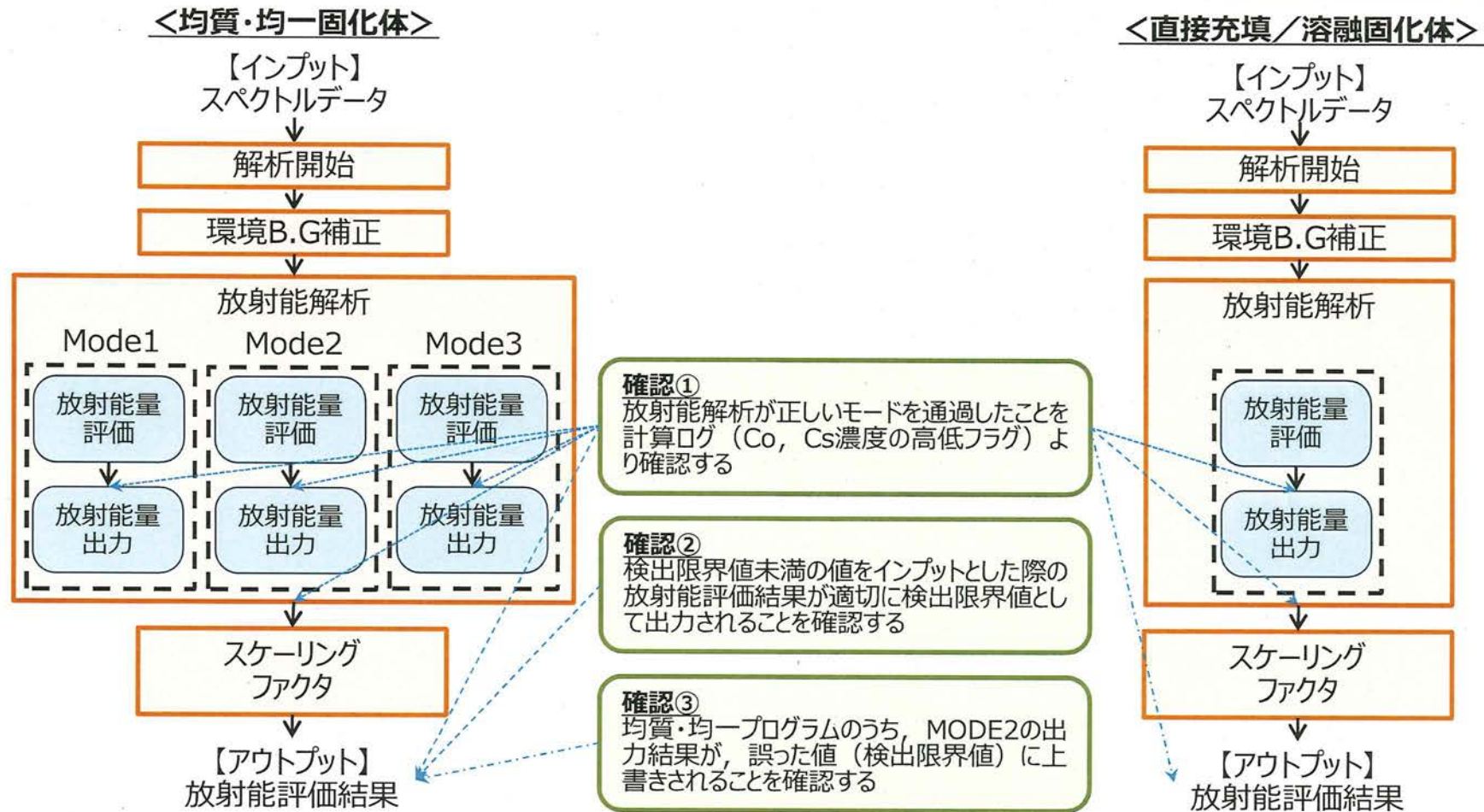
※2: 島根を除くプラント(3プラント)の直接充填固化体ソースファイルのコンパイルでBのワーニングが出なかった件に関する解説

3プラントの直接充填固化体のソースファイルを確認したところ、Bのワーニング発生要因となるC060及びC058に関する誤ったコマンドが記載されていた。しかしながらそれら誤ったコマンドはコメントとして無効化され、正しいコマンドがソースファイルに追記された状態となっていた。以上より、3プラントの直接充填固化体のソースファイルに誤ったコマンドはコメントとして残っていたが、コンパイル時にBのワーニングは発生しなかった。

全パス検証によるプログラムの動作確認

8 放射能評価プログラムの全パス検証

放射能評価プログラム上の分岐を考慮した模擬スペクトルを作成し、放射能評価プログラムにて期待されるパスにより処理されることを確認する。



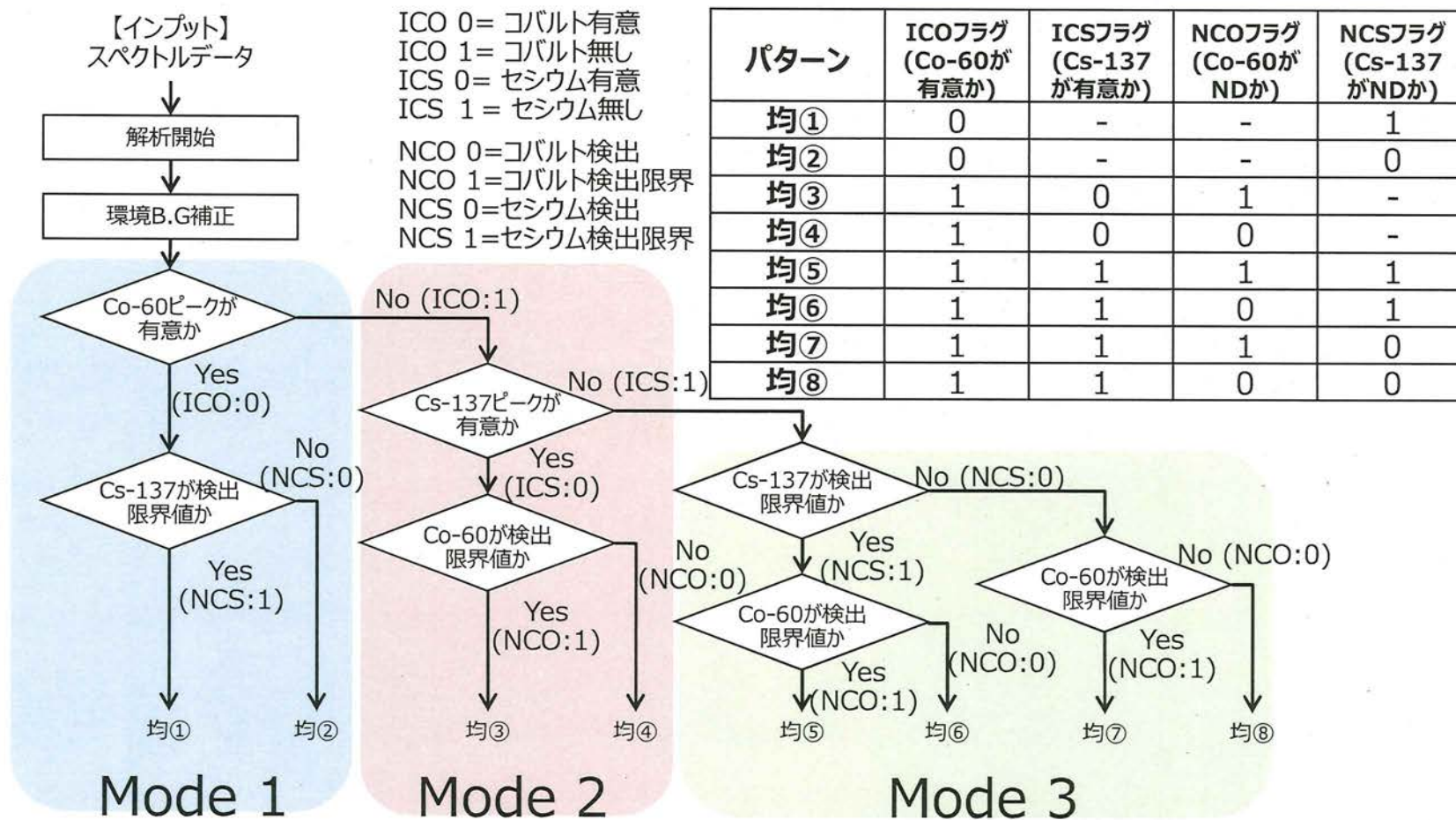
9 全パス検証の内容

	敦賀	伊方	志賀	島根
均質・均一	3モード8パターン 検証完了	3モード8パターン 検証完了	3モード8パターン 検証完了	3モード8パターン 検証完了
直接充填	4パターン 検証完了	4パターン 検証完了	4パターン 検証完了	6パターン 検証完了
溶融	5パターン 検証完了	対象外	対象外	5パターン 検証完了

- 全パス検証は、発電所、固化体の全組み合わせにより検証
- 直接充填・溶融にはモード分けがないため、パターン分けのみ

10 均質・均一固化体の放射能評価プログラム全パス検証

均質・均一固化体の放射能評価プログラム分岐上の3モード8パターンのインプットによる全パス検証を行う。



11 均質・均一固化体の放射能評価プログラム全パス検証結果 (敦賀・伊方・志賀)

均①～均⑧についてプログラム分岐上の3モード8パターンのインプットによる全パス検証を実施し、以下の観点で確認した結果、均③・④について引数誤り(今回の事象)を検出するとともに、他の引数誤りがないことを確認した。

- a.引数誤りによる挙動が検出されること。(Mode2のCo濃度が検出限界値として出力)
- b.引数誤り以外の計算エラーがないこと。
- c.検出限界値未満の値が検出限界値として出力されること。

パターン	Mode	ICO フラグ	ICS フラグ	NCO フラグ	NCS フラグ	結果
均①	1	0	-	-	1	計算エラー無し 検出限界値未満のCs濃度値が検出限界値として出力
均②	1	0	-	-	0	計算エラー無し
均③	2	1	0	1	-	引数誤り以外の計算エラー無し 検出限界値未満のCo濃度値が検出限界値として出力
均④	2	1	0	0	-	引数誤りの挙動を確認 引数誤り以外の計算エラー無し
均⑤	3	1	1	1	1	計算エラー無し 検出限界値未満のCoとCs濃度値が検出限界値として出力
均⑥	3	1	1	0	1	計算エラー無し 検出限界値未満のCs濃度値が検出限界値として出力
均⑦	3	1	1	1	0	計算エラー無し 検出限界値未満のCo濃度値が検出限界値として出力
均⑧	3	1	1	0	0	計算エラー無し

ICO 0= コバルト有意 ICO 1= コバルト無し ICS 0= セシウム有意 ICS 1= セシウム無し
NCO 0=コバルト検出 NCO 1=コバルト検出限界 NCS 0=セシウム検出 NCS 1=セシウム検出限界

12 均質・均一固化体の放射能評価プログラム全パス検証結果 (島根)

均①～均⑧についてプログラム分岐上の3モード8パターンのインプットによる全パス検証を実施し、以下の観点で確認した結果、均③・④について指定値誤り(今回の事象)を検出するとともに、他の指定値誤りがないことを確認した。

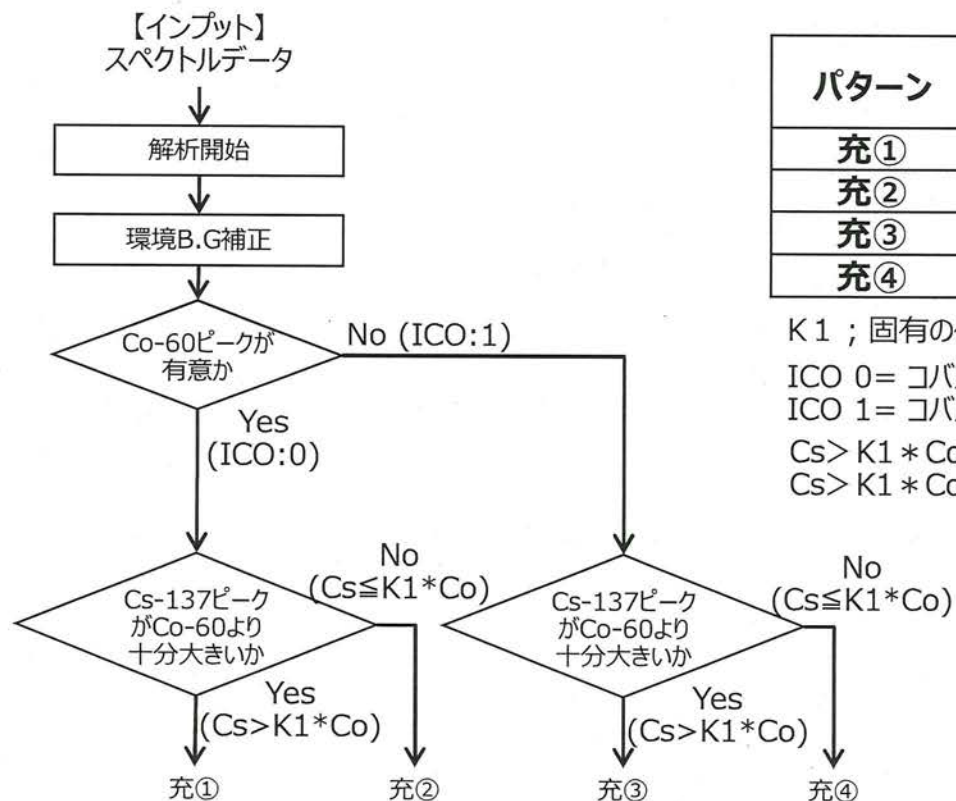
- a. 指定値誤りによる挙動が検出されること。(Mode2のCs濃度が検出限界値として出力)
- b. 指定値誤り以外の計算エラーがないこと。
- c. 検出限界値未満の値が検出限界値として出力されること。

パターン	Mode	ICO フラグ	ICS フラグ	NCO フラグ	NCS フラグ	結果
均①	1	0	-	-	1	計算エラー無し 検出限界値未満のCs濃度値が検出限界値として出力
均②	1	0	-	-	0	計算エラー無し
均③	2	1	0	1	-	指定値誤りの挙動を確認 指定値誤り以外の計算エラー無し 検出限界値未満のCo濃度値が検出限界値として出力
均④	2	1	0	0	-	指定値誤りの挙動を確認 指定値誤り以外の計算エラー無し
均⑤	3	1	1	1	1	計算エラー無し 検出限界値未満のCoとCs濃度値が検出限界値として出力
均⑥	3	1	1	0	1	計算エラー無し 検出限界値未満のCs濃度値が検出限界値として出力
均⑦	3	1	1	1	0	計算エラー無し 検出限界値未満のCo濃度値が検出限界値として出力
均⑧	3	1	1	0	0	計算エラー無し

ICO 0= コバルト有意 ICO 1= コバルト無し ICS 0= セシウム有意 ICS 1= セシウム無し
NCO 0=コバルト検出 NCO 1=コバルト検出限界 NCS 0=セシウム検出 NCS 1=セシウム検出限界

13 直接充填固化体の放射能評価プログラム全パス検証 (敦賀・伊方・志賀)

敦賀，伊方及び志賀の直接充填固化体は，放射能評価プログラム分岐上の4パターンのイン
プットによる全パス検証を行う。



パターン	ICO フラグ	Cs>K1*Co
充①	0	Yes
充②	0	No
充③	1	Yes
充④	1	No

K1 ; 固有の係数

ICO 0 = コバルト有意

ICO 1 = コバルト無し

Cs > K1 * Co Yes = セシウム有意

Cs > K1 * Co No = セシウム有意ではない

14 直接充填固化体の放射能評価プログラム全パス検証結果 (敦賀・伊方・志賀)

充①～充④についてプログラム分岐上の4パターンのインプットによる全パス検証を実施し、エラーが生じないことを確認した。

パターン	ICO フラグ	Cs>K1*Co	結果
充①	0	Yes	計算エラー無し
充②	0	No	計算エラー無し
充③	1	Yes	計算エラー無し
充④	1	No	計算エラー無し

ICO 0= コバルト有意

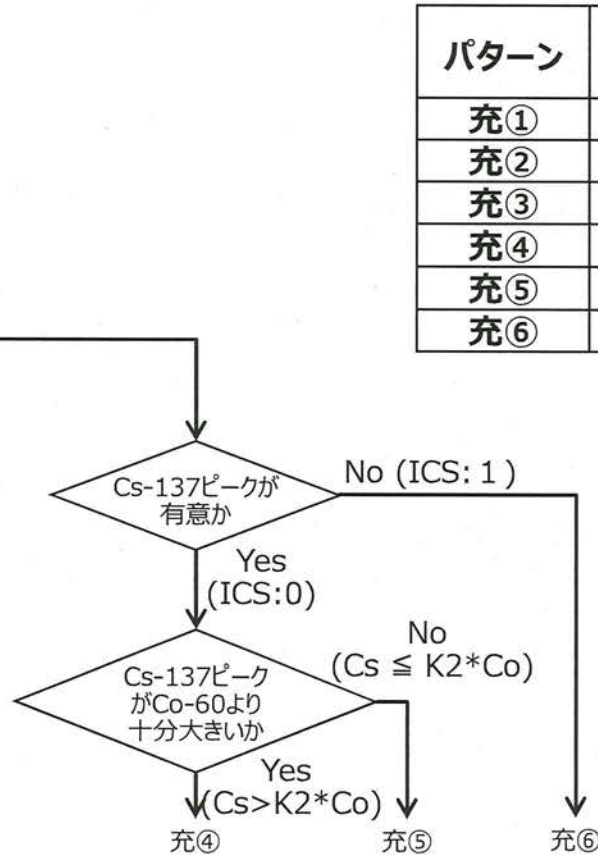
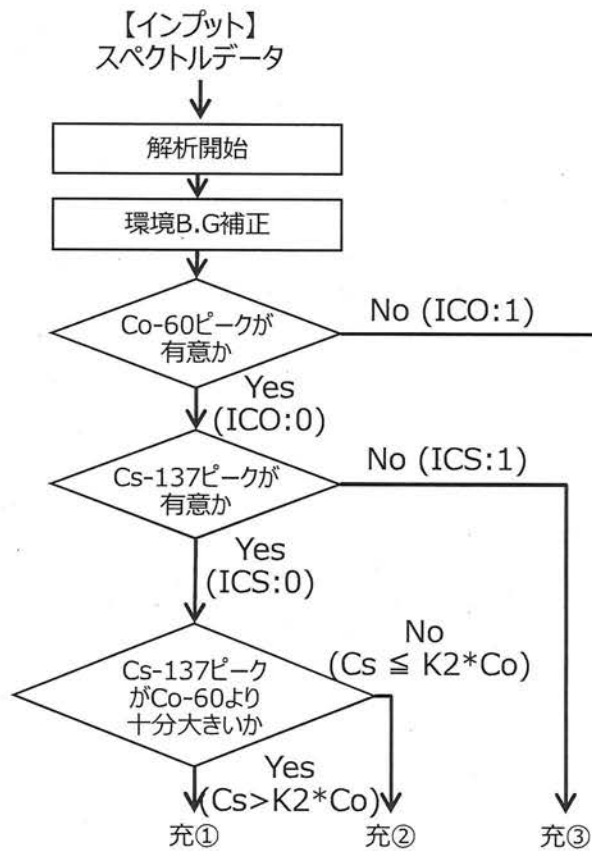
ICO 1= コバルト無し

Cs> K1 * Co Yes= セシウム有意

Cs> K1 * Co No = セシウム有意ではない

15 直接充填固化体の放射能評価プログラム全パス検証 (島根)

島根の直接充填固化体は放射能評価プログラム分岐上の6パターンのインプットによる全パス検証を行う。



パターン	ICO フラグ	ICS フラグ	Cs>K2*Co
充①	0	0	Yes
充②	0	0	No
充③	0	1	-
充④	1	0	Yes
充⑤	1	0	No
充⑥	1	1	-

K2 ; 固有の係数

ICO 0 = コバルト有意
ICO 1 = コバルト無し
ICS 0 = セシウム有意
ICS 1 = セシウム無し

Cs > K2 * Co Yes = セシウム有意
Cs > K2 * Co No = セシウム有意ではない

16 直接充填固化体の放射能評価プログラム全パス検証結果 (島根)

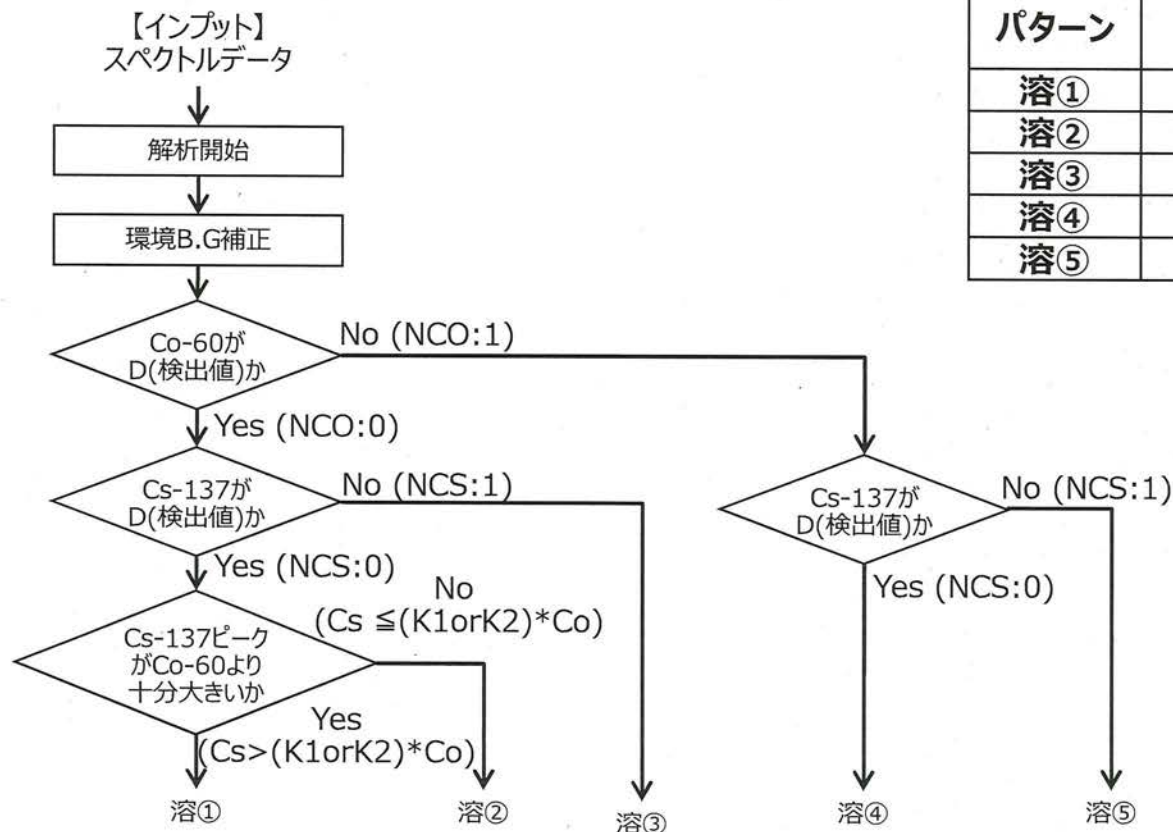
充①～充⑥についてプログラム分岐上の6パターンのインプットによる全パス検証を実施し、エラーが生じないことを確認した。

パターン	ICO フラグ	ICS フラグ	Cs>K2*Co	結果
充①	0	0	Yes	計算エラー無し
充②	0	0	No	計算エラー無し
充③	0	1	-	計算エラー無し
充④	1	0	Yes	計算エラー無し
充⑤	1	0	No	計算エラー無し
充⑥	1	1	-	計算エラー無し

ICO 0= コバルト有意
 ICO 1= コバルト無し
 ICS 0= セシウム有意
 ICS 1= セシウム無し
 Cs> K2 * Co Yes= セシウム有意
 Cs> K2 * Co No = セシウム有意ではない

17 溶融固化体の放射能評価プログラム全パス検証 (敦賀・島根)

敦賀，島根の溶融固化体の放射能評価プログラム分岐上の5パターンのインプットによる全パス検証を行う。



パターン	NCO フラグ	NCS フラグ	Cs>K1*Co Cs>K2*Co
溶①	0	0	Yes
溶②	0	0	No
溶③	0	1	-
溶④	1	0	-
溶⑤	1	1	-

K1,K2 ; 固有の係数

NCO 0=コバルト検出
NCO 1=コバルト検出限界
NCS 0=セシウム検出
NCS 1=セシウム検出限界

Cs > K1 * Co Yes= セシウム有意
Cs > K1 * Co No = セシウム有意ではない
Cs > K2 * Co Yes= セシウム有意
Cs > K2 * Co No = セシウム有意ではない

18 溶融固化体の放射能評価プログラム全パス検証結果 (敦賀・島根)

溶①～溶⑤についてプログラム分岐上の5パターンの入力による全パス検証を実施し、エラーが生じないことを確認（溶融固化体の全パス検証では充填固化体の模擬スペクトルをベースに溶融固化体の重量等を想定した入力に変更）した。

模擬のスペクトルデータを用い、全パス検証を実施

パターン	NCO フラグ	NCS フラグ	Cs>K1*Co Cs>K2*Co	結果
溶①	0	0	Yes	計算エラー無し
溶②	0	0	No	計算エラー無し
溶③	0	1	-	計算エラー無し
溶④	1	0	-	計算エラー無し
溶⑤	1	1	-	計算エラー無し

NCO 0=コバルト検出
 NCO 1=コバルト検出限界
 NCS 0=セシウム検出
 NCS 1=セシウム検出限界

Cs> K1 * Co Yes= セシウム有意
 Cs> K1 * Co No = セシウム有意ではない

Cs> K2 * Co Yes= セシウム有意
 Cs> K2 * Co No = セシウム有意ではない

19 全パス検証結果

全パス検証の結果,引数誤り及び指定値誤りを検出するとともに,それ以外の誤りは検出されず,放射能評価プログラムは期待されるパスにより処理されることを確認した。

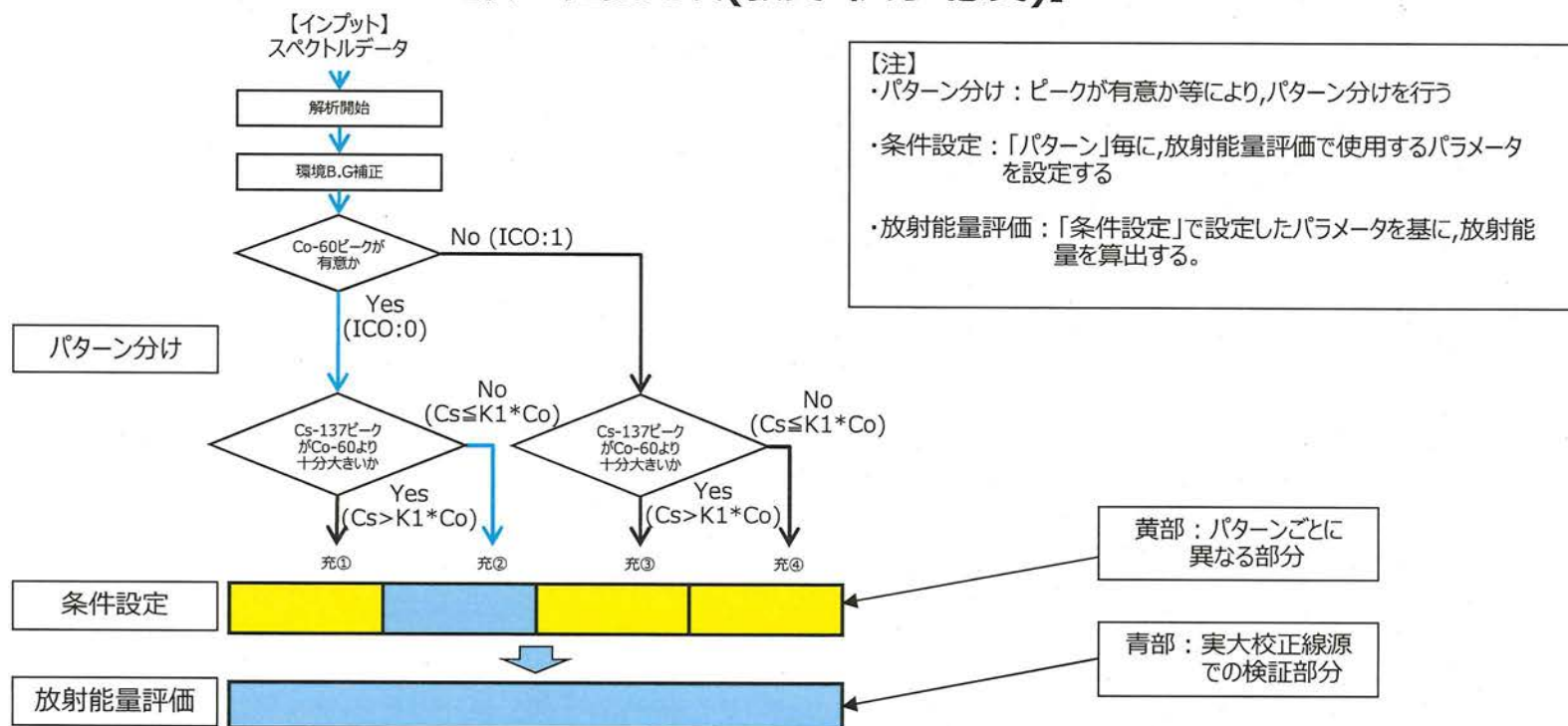
	敦賀	伊方	志賀	島根
均質・均一	3モード8パターン 問題なし (引数誤りを検出)	3モード8パターン 問題なし (引数誤りを検出)	3モード8パターン 問題なし (引数誤りを検出)	3モード8パターン 問題なし (指定値誤りを検出)
直接充填	4パターン 問題なし	4パターン 問題なし	4パターン 問題なし	6パターン 問題なし
溶融	5パターン 問題なし	(対象外)	(対象外)	5パターン 問題なし

ソースコード点検によるパラメータ及び 数式の確認

21 ソースコード点検によるパラメータ等の確認の目的・範囲

- プログラムの計算結果に影響を与える因子が無いことを確認するため、ソースコード点検によるパラメータ及び数式の確認を実施する。
- 放射能評価プログラムは、全パス検証で示した「パターン分け」の後、「条件設定」と「放射能評価」に分かれる。「放射能評価」は各パターンの共通部分であり、実大校正線源の実測により確認していることより、パターンごとに設定が異なる「条件設定」を確認の範囲とした。

【例：直接充填(敦賀・伊方・志賀)】



22 パラメータの検証について

1. インットパラメータ傾向比較

放射能評価プログラムが問題ないことの検証として、放射能評価プログラムに用いるパラメータのうち、廃棄体毎に設定するパラメータ（廃棄体種類、重量、密度等）を除くすべてのインットパラメータ（242件）の確認を行った。

その確認方法としては、実大校正線源の測定結果が所定の範囲に入っていることを踏まえて、4 発電所（島根原子力発電所、敦賀発電所、伊方発電所、志賀原子力発電所）で設定されているインットパラメータを横並びで比較し、その傾向に差がないことを確認した。

なお、廃棄体毎に設定するパラメータは、解析評価を行う際に確認を行っている。

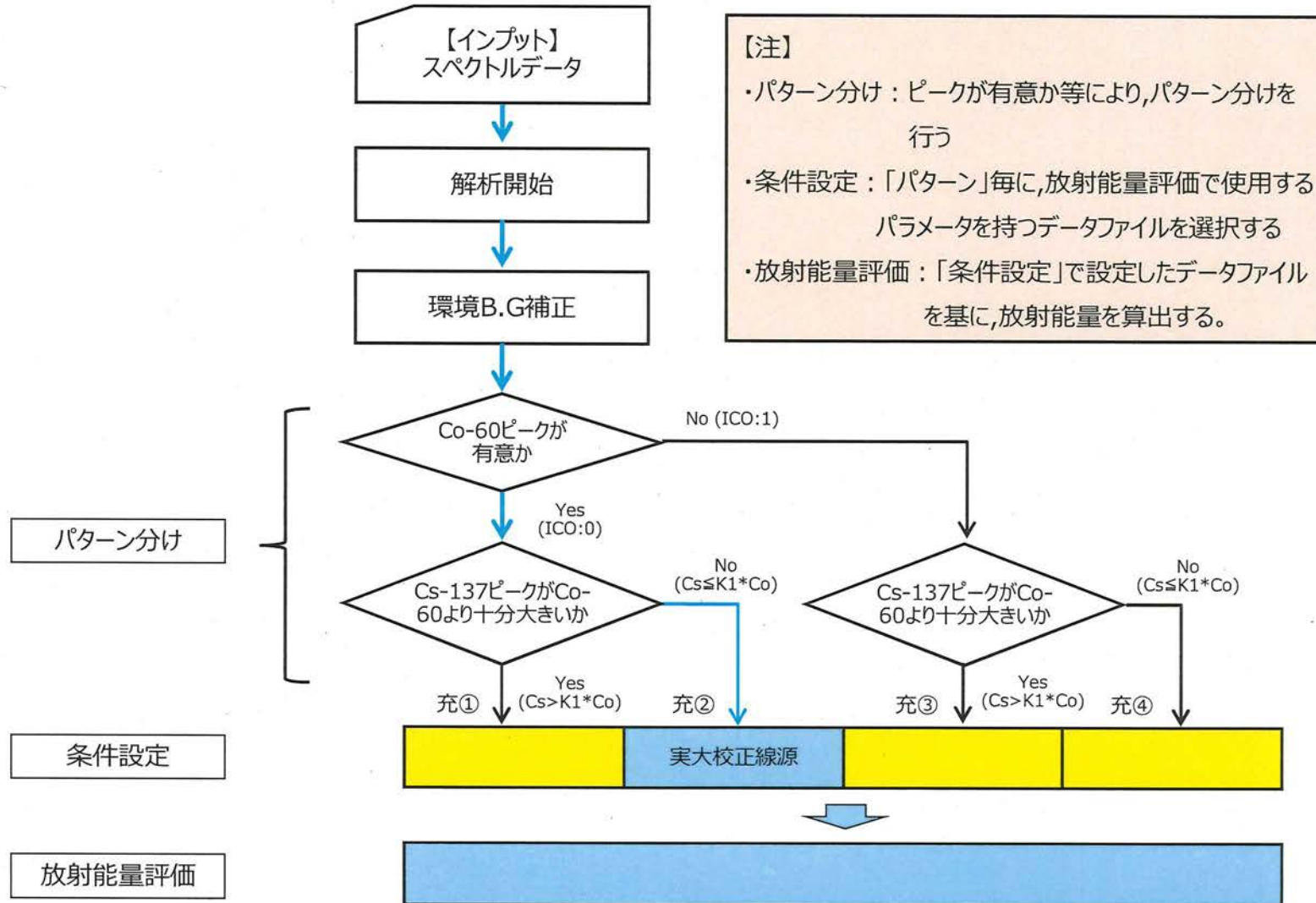
2. インットパラメータ妥当性確認

設定しているインットパラメータの妥当性確認として、以下の点検を行い、問題ないことを確認した。

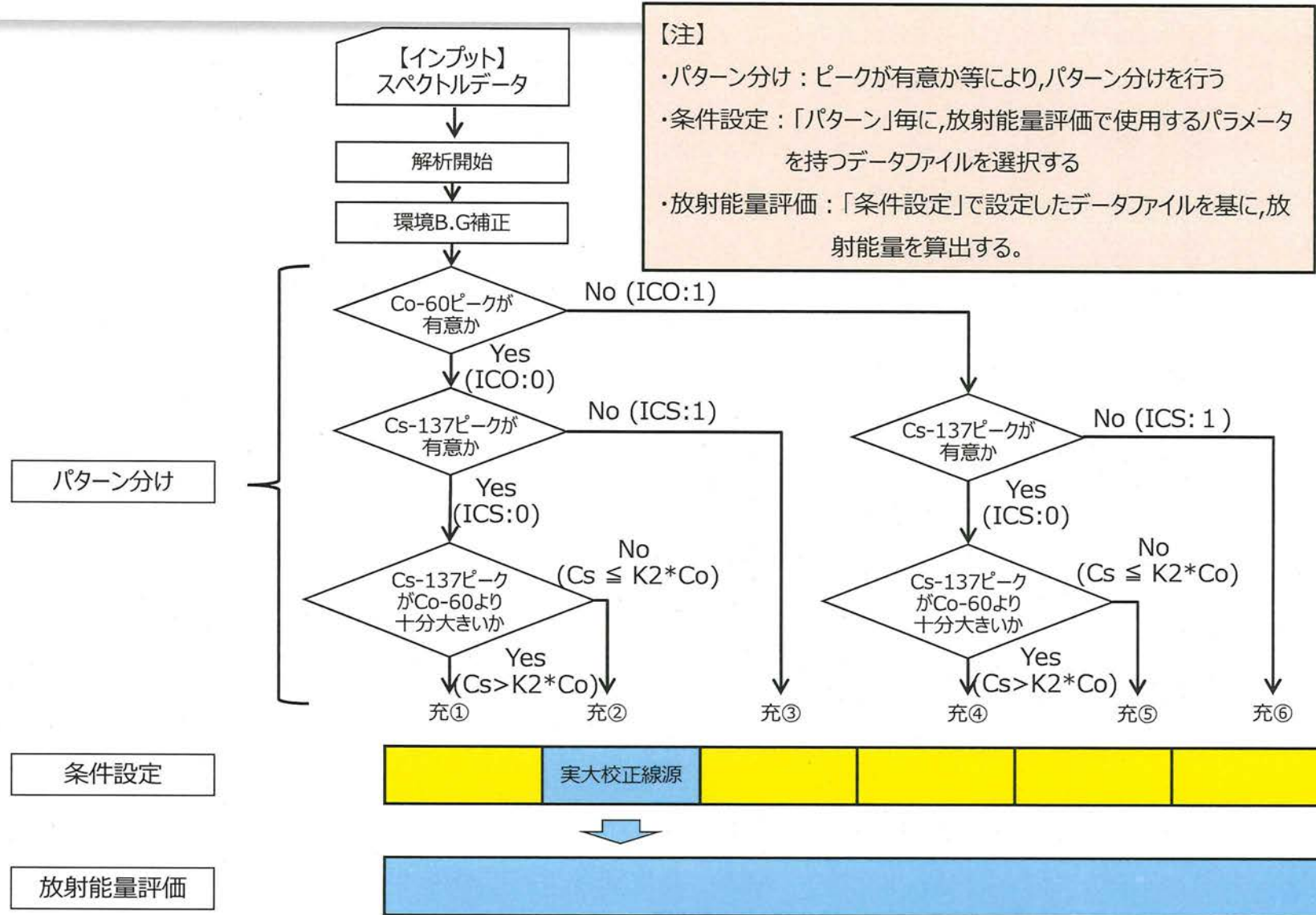
- ①「条件設定」「放射能量評価」に使用しているインットパラメータを含んでいるデータファイルについて、実大校正線源の実測で使用しているもの（青色で表示）／使用していないもの（黄色で表示）を識別する。
- ②実大校正線源の実測で使用しているデータファイル（青色で表示）は、実大校正線源の実測の測定結果で所定の測定精度が得られていることから、含んでいるインットパラメータは妥当であると判断する。
- ③実大校正線源の実測で使用していないデータファイル（黄色で表示）については、測定記録・設計資料での記載内容と整合していることを確認する。

23

パラメータ妥当性確認：直接充填固化体 (敦賀,伊方,志賀)



24 パラメータ妥当性確認：直接充填固化体（島根）



25 実測等に使用したデータファイルの整理：直接充填固化体(1/2)

青色で色塗りしたデータファイルは、実測で使用しているデータファイルを示す。

黄色で色塗りしたデータファイルは、測定記録*a,設計資料*bで確認したものを示す。

No.	項目	データファイル名 ()内はパラメータ数	敦賀・伊方・志賀	島根	備考
1	C/Pと γ 線減衰定数の関係式に使用する係数	CALALP1 (10)			固化体密度をパラメータとした固化体を用いたC/P特性取得試験から設定するデータ
		CALALP1X (6)			
		CALALP2 (10)			
	CALALP2X (6)				
	CALALP1J (10)	○	○		
	CALALP1JX (6)	○ *a	○ *a		
2	固化体密度とC/Pの関係に使用する係数	CALALP1NJ (6)	○	○	
		CALALP1NJX (6)	○ *a		
3	C/P補正に使用する係数	CALALP9JX (6)	○ *b		
		CALALP2JX (6)		○ *b	
4	C/P最大最小範囲設定に用いる係数	CPMAXD (2) CPMAXYC (2) CPMAXYM (2)	○	○	
5	スペクトルデータ有意判断に用いる係数	FACT (2)	○ 志賀	○	
		FACTJ (2)	○ 敦賀・伊方		
		K (1)	○	○	

○：検証対象としてのファイルデータ（パラメータ）あり

26

実測等に使用したデータファイルの整理：直接充填固化体(2/2)

青色で色塗りしたデータファイルは、実測で使用しているデータファイルを示す。

黄色で色塗りしたデータファイルは、測定記録*a,設計資料*bで確認したものを示す。

No.	項目	データファイル名 ()内はパラメータ数	敦賀・伊方・志賀	島根	備考
6	換算係数の補正等に用いる 係数	experiment (18)	○		
		factor (1)		○	
		factorm (1)	○		
		factors (1)			
		FACTyukand (5)	○ *b		
		kmockup (3)	○		
		kstd (1)	○		
7	溶融固化体モデルに用いる 係数	YOUYU (24) YOUYUK (24)			溶融固化体
8	均一モデル計算に用いる係 数	TOMOSE (13) FACT.DAT(2)			均一モデルのみ
9	放射能計算に用いる係数	YUKASE (20)	○ 志賀	○	
		YUKASEJ (20)	○ 敦賀・伊方		
		YUKASEY (20)			
10	検出器の減弱係数の補完 計算のための係数	COEFF(6)	○	○	

○：検証対象としてのファイルデータ（パラメータ）あり

27 ソースコード点検によるパラメータ・数式の確認項目 (直接充填固化体)

「条件設定」で使用する入力パラメータのうち、実大校正線源の実測で使用していないデータファイルおよび数式（=条件設定における黄部）が適切であることを示すため、計算結果に影響を与える入力ファイルを含む以下の項目を確認した。

区分	No.	確認項目
パラメータ	A	Co-60測定結果からのC/P設定のコンプトン領域が適切か(1000~1400keV)
	B	密度からのC/P(コンプトンピーク比)設定を行う場合、使用するパラメータが記載された入力ファイルの選択は適切か
	C	Cs-137測定結果からのC/P設定のコンプトン領域が適切か(520keV~680keV)
	D	C/P最大/最小値設定において、使用するパラメータが記載された入力ファイルの選択は適切か また、入力ファイルの値は適切か
	E	C/P最大/最小値設定において、使用する密度の設定は適切か
数式	F	Co-60測定結果からのC/Pの算出式は適切か
	G	密度からのC/P設定を行う場合、使用する数式は適切か
	H	Cs-137測定結果からのC/Pの算出式は適切か
	I	C/P最大/最小値設定において、使用する数式は適切か
	J	ND値の算出式は適切か

28 ソースコード点検によるパラメータ・数式の確認結果 (直接充填固化体)

【直接充填：敦賀・伊方・志賀】

各パターンで使用するパラメータおよび数式が適切であることを確認した。

パターン	内容	パラメータ確認					数式確認				
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
充①	Coピーク有意 $Cs > K1 * Co$	○	- *1	○	○	○	○	- *1	○	○	○
充②	Coピーク有意 $Cs \leq K1 * Co$	○	- *1	- *2	○	○	○	- *1	- *2	○	○
充③	Coピーク低 $Cs > K1 * Co$	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
充④	Coピーク低 $Cs \leq K1 * Co$	○	○	- *2	○	○	○	○	- *2	○	○

凡例：○；適切，-；非該当

*1：C/P(密度)を使用しないため非該当

*2：C/P(Cs-137)を使用しないため非該当

29 ソースコード点検によるパラメータ・数式の確認結果 (直接充填固化体)

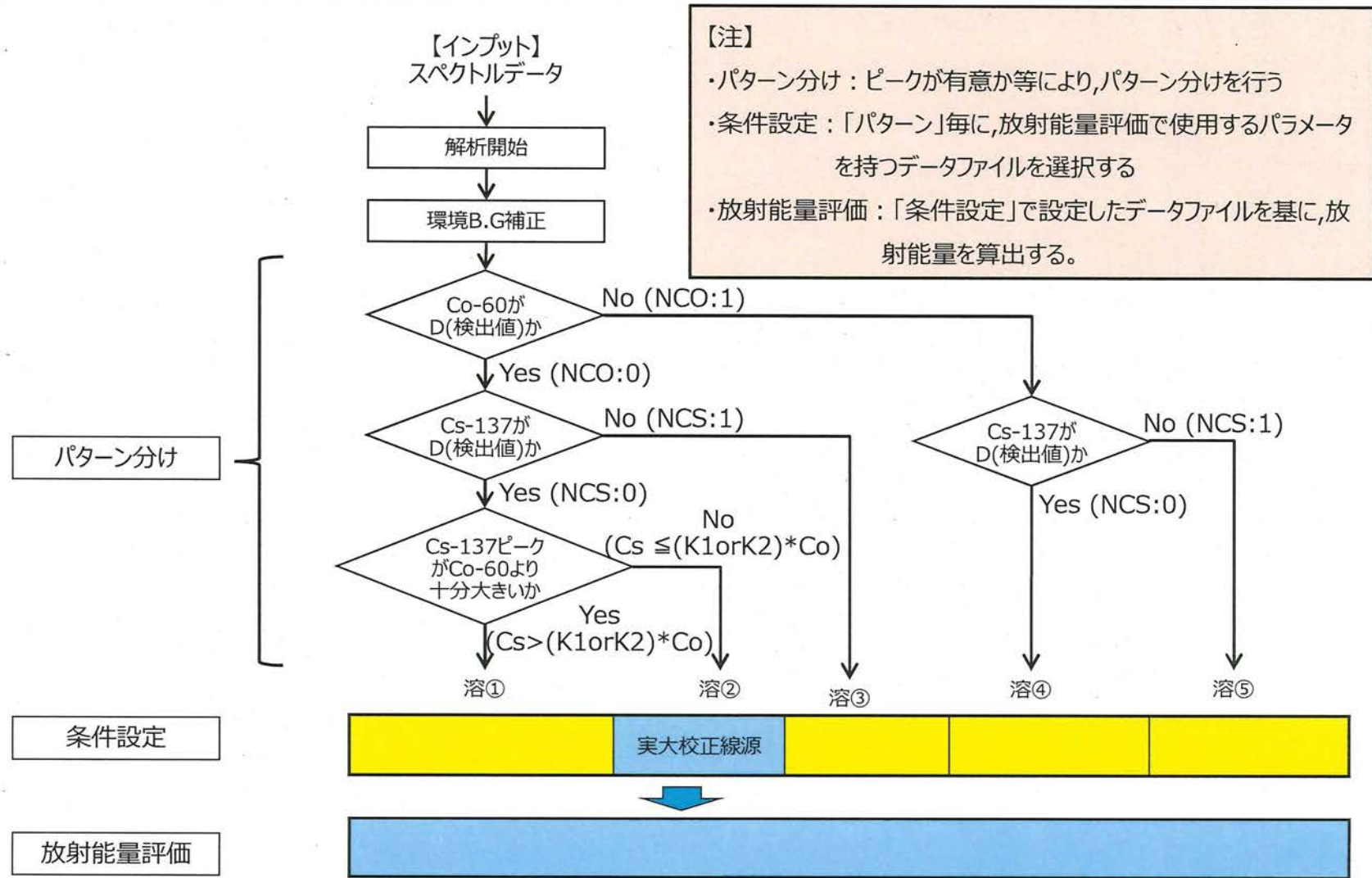
【直接充填：島根】

各パターンで使用するパラメータおよび数式が適切であることを確認した。

パターン	内容	パラメータ確認					数式確認				
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
充①	Coピーク有意 Csピーク有意 $Cs > K2 * Co$	○	- *1	○	○	○	○	- *1	○	○	- *3
充②	Coピーク有意 Csピーク有意 $Cs \leq K2 * Co$	○	- *1	- *2	○	○	○	- *1	- *2	○	- *3
充③	Coピーク有意 Csピーク低	○	○	- *2	○	○	○	○	- *2	○	○
充④	Coピーク低 Csピーク有意 $Cs > K2 * Co$	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
充⑤	Coピーク低 Csピーク有意 $Cs \leq K2 * Co$	○	○	- *2	○	○	○	○	- *2	○	○
充⑥	Coピーク低 Csピーク低	○	○	- *2	○	○	○	○	- *2	○	○

凡例：○；適切，-；非該当 *1：C/P(密度)を使用しないため非該当 *2：C/P(Cs-137)を使用しないため非該当 *3：ND無しのため非該当

30 パラメータ妥当性確認：溶融固化体



31 実測等に使用したデータファイルの整理：溶融固化体(1/2)

青色で色塗りしたデータファイルは、実測で使用しているデータファイルを示す。

黄色で色塗りしたデータファイルは、測定記録*a,設計資料*bで確認したものを示す。

No.	項目	データファイル名	均質・均一固化体	充填固化体	備考
1	C/Pと γ 線減衰定数の関係式に使用する係数	CALALP1 (10) CALALP1X (6) CALALP2 (10) CALALP2X (6)	○		固化体密度をパラメータとした固化体を用いたC/P特性取得試験から設定するデータ
		CALALP1J (10) CALALP1JX (6)		○ ○*a	
2	固化体密度とC/Pの関係に使用する係数	CALALP1NJ (6)		○	
		CALALP1NJX (6)		○*a	
3	C/P補正に使用する係数	CALALP9JX (6) CALALP2JX (6)		○*b	
4	C/P最大最小範囲設定に用いる係数	CPMAXD (2) CPMAXYC (2) CPMAXYM (2)		○	
5	スペクトルデータ有意判断に用いる係数	FACT (2)	○		
		FACTJ (2)		○	
		K (1)		○	

○：検証対象としてのファイルデータ（パラメータ）あり

注：データファイル名中の()内数値は、当該データファイル中のパラメータ数を示す。

32 実測等に使用したデータファイルの整理：溶融固化体(2/2)

青色で色塗りしたデータファイルは、実測で使用しているデータファイルを示す。

黄色で色塗りしたデータファイルは、測定記録*a,設計資料*bで確認したものを示す。

No.	項目	データファイル名	均質・均一固化体	充填固化体	備考
6	換算係数の補正等に用いる係数	experiment (18)	/	○	
		factor (1)		/	
		factorm (1)		○	
		factors (1)		○	
		FACTyukand (5)		/	
		kmockup (3)		○	
		kstd (1)		○	
7	溶融固化体モデルに用いる係数	YOUYU (24) YOUYUK (24)	/	○	
8	均一モデル計算に用いる係数	TOMOSE (13) FACT.DAT(2)	○	/	
9	放射能計算に用いる係数	YUKASE (20)	○	/	
		YUKASEJ (20)	/	/	
		YUKASEY (20)	/	○	
10	検出器の減弱係数の補完計算のための係数	COEFF(6)	○	○	

○：検証対象としてのファイルデータ（パラメータ）あり

注：データファイル名中の()内数値は、当該データファイル中のパラメータ数を示す。

33 ソースコード点検によるパラメータ・数式の確認結果 (溶融固化体)

【溶融：敦賀】

各パターンで使用するパラメータおよび数式が適切であることを確認した。

パターン	内容	パラメータ確認					数式確認				
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
溶①	Co : D(検出値) Cs : D(検出値) Cs > K1 * Co	○	- *1	○	○	○	○	- *1	○	○	- *3
溶②	Co : D(検出値) Cs : D(検出値) Cs ≤ K1 * Co	○	- *1	- *2	○	○	○	- *1	- *2	○	- *3
溶③	Co : D(検出値) Cs : ND	○	○	- *2	○	○	○	○	- *2	○	○
溶④	Co : ND Cs : D(検出値) Cs > K1 * Co	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
溶⑤	Co : ND Cs : ND	○	○	- *2	○	○	○	○	- *2	○	○

凡例：○；適切，-；非該当 *1：C/P(密度)を使用しないため非該当 *2：C/P(Cs-137)を使用しないため非該当 *3：ND無しのため非該当

34 ソースコード点検によるパラメータ・数式の確認結果 (溶融固化体)

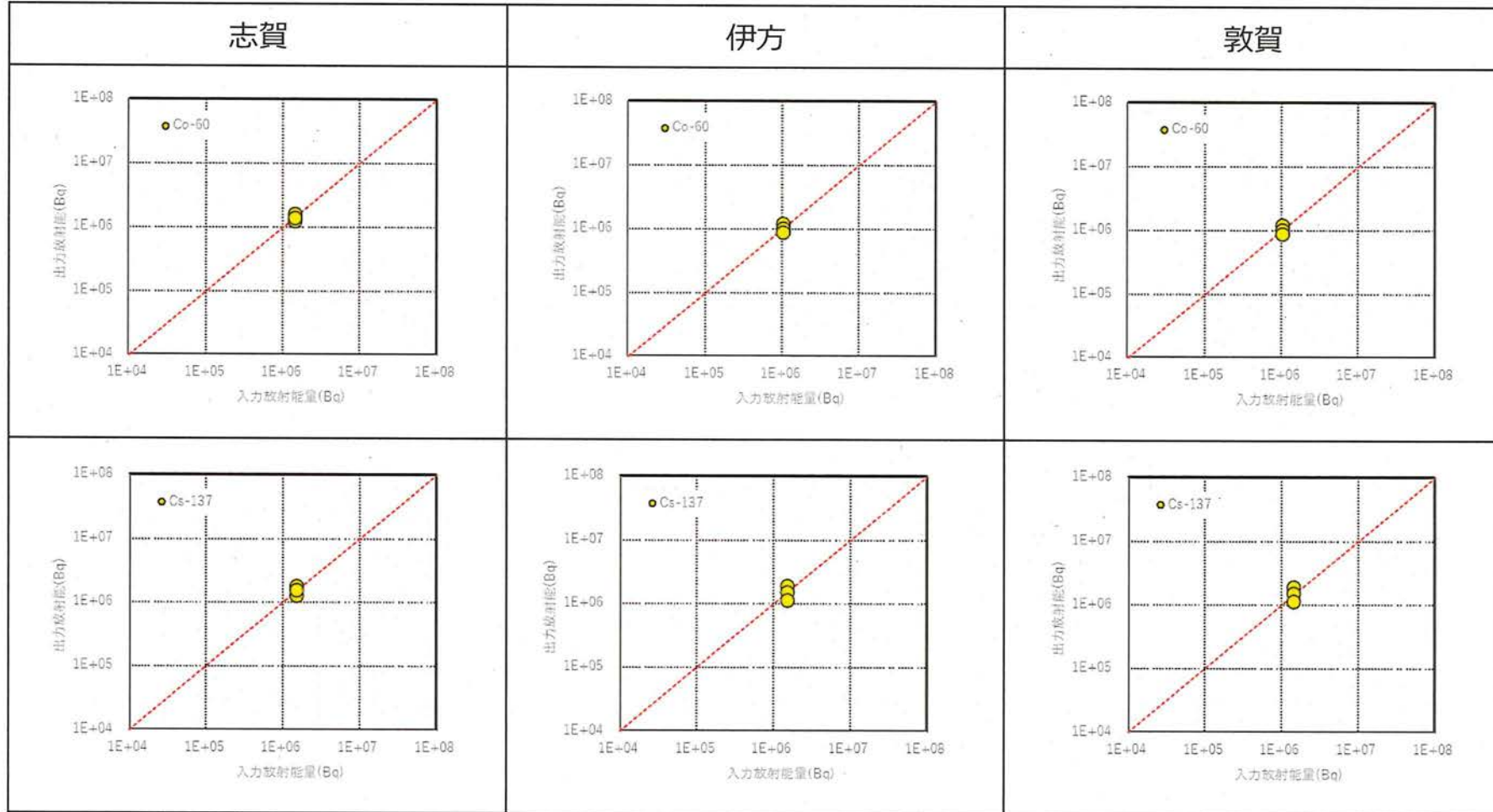
【溶融：島根】

各パターンで使用するパラメータおよび数式が適切であることを確認した。

パターン	内容	パラメータ確認					数式確認				
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
溶①	Co : D(検出値) Cs : D(検出値) Cs > K2 * Co	○	- *1	○	○	○	○	- *1	○	○	- *3
溶②	Co : D(検出値) Cs : D(検出値) Cs ≤ K2 * Co	○	- *1	- *2	○	○	○	- *1	- *2	○	- *3
溶③	Co : D(検出値) Cs : ND	○	○	- *2	○	○	○	○	- *2	○	○
溶④	Co : ND Cs : D(検出値) Cs > K2 * Co	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
溶⑤	Co : ND Cs : ND	○	○	- *2	○	○	○	○	- *2	○	○

凡例：○；適切，-；非該当 *1：C/P(密度)を使用しないため非該当 *2：C/P(Cs-137)を使用しないため非該当 *3：ND無しのため非該当

測定精度（真値に対する誤差）が、許容値内（Co-60:±20%,Cs-137:±30%）に入っていることを確認した。



繰返し測定のうち,Co-60誤差が最大,最小,最大と最小の中央付近のデータを示す。

36

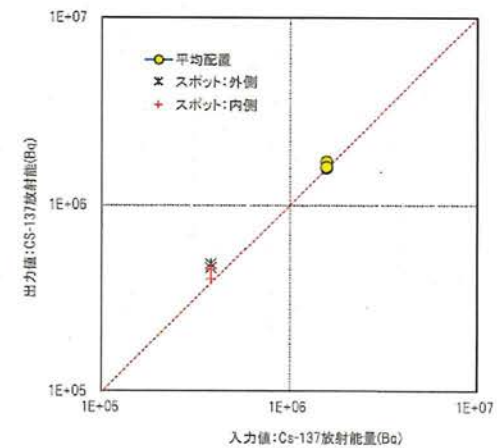
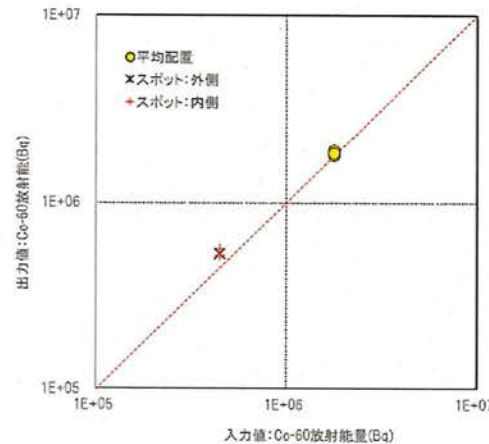
充填固化体 実大校正線源を用いた測定試験結果について：島根

島根原子力発電所において、「直接充填固化体」および「高周波溶融固化体」を対象とした実大校正線源を用いた現地実証試験を、2004年1月に実施した。線源を平均配置にした場合の測定結果から、放射能評価プログラムの計算結果の妥当であることを確認している。また、線源をスポット配置にした場合、繰返測定による変動幅が「±30%」という目安値を満足することから、本評価方法が妥当ということも確認している。

【測定試験結果】

		直接充填固化体			高周波溶融固化体
		平均配置	ホットスポット (外側)	ホットスポット (内側)	平均配置
定量性 評価結果 *1	Co-60	+5%	(+19%)	(+22%)	+6%
	Cs-137	+5%	(+24%)	(+12%)	+9%
繰返し 安定性	Co-60	4.0%	(0.3%)	(8.5%)	7.2%
	Cs-137	5.1%	(4.6%)	(11.5%)	0.8%

*1：線源強度設定値に対する測定値の比の平均
 N_i :各測定値(Bq/ドラム) i :測定回数
 A :線源強度設定値
 $(N1+\dots+Ni)/(i \times A)$

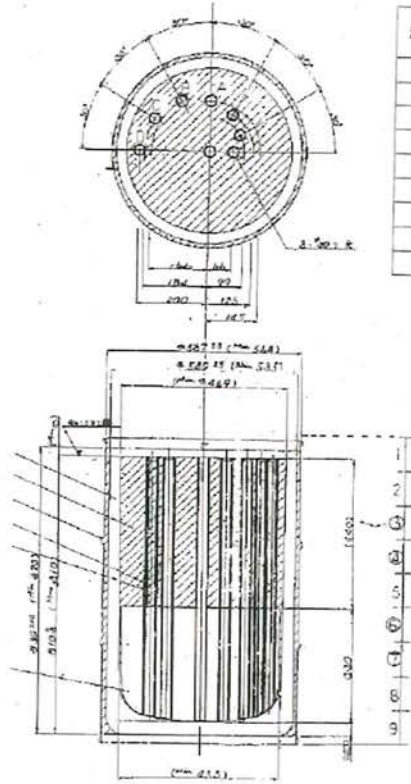


- 線源強度：電力共通研究では、Co-60:3E+07Bq, Cs-137:1E+07Bqを用いていたが、使用する標準線源に制限があることから、以下に示すような測定時間を長くして、計数率を補うことにした。
- 測定時間：
 - ・直接充填固化体：2000秒/スライス（固化体:5時間）
 - ・高周波溶融固化体：3420秒/スライス（固化体:約8.6時間）
- 線源配置：右図参照

	直接充填固化体				高周波溶融固化体														
	平均配置	ホットスポット (外側)			ホットスポット (内側)			平均配置											
1/蓋	A	B	C	D															
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9/底																			

37 充填固化体 実大校正線源（模擬溶融固化体）を用いた測定試験結果について：敦賀

敦賀発電所において、「プラズマ溶融固化体」を対象とした LLW 搬出検査設備は、本検査設備の目標値である $\pm 20\%$ を満足することを確認している。(2006年実施)

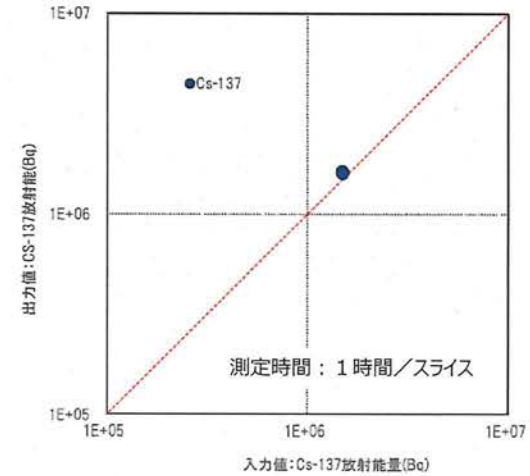
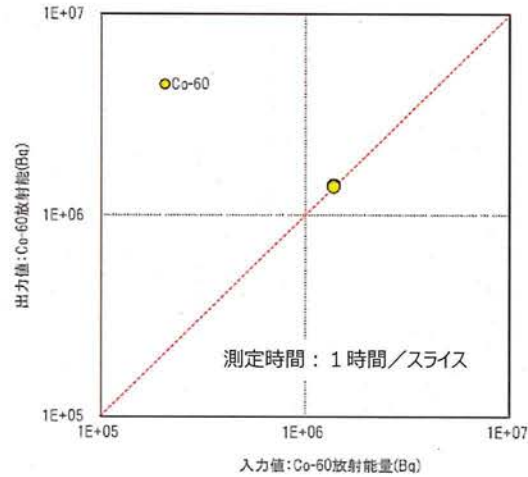


測定スライス No	線源挿入孔位置			
	A	B	C	D
1 (蓋)	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137
4	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Cs-137
5	-	-	-	-
6	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60
7	Co-60	Co-60	Co-60	Co-60
8	-	-	-	-
9 (底)	-	-	-	-

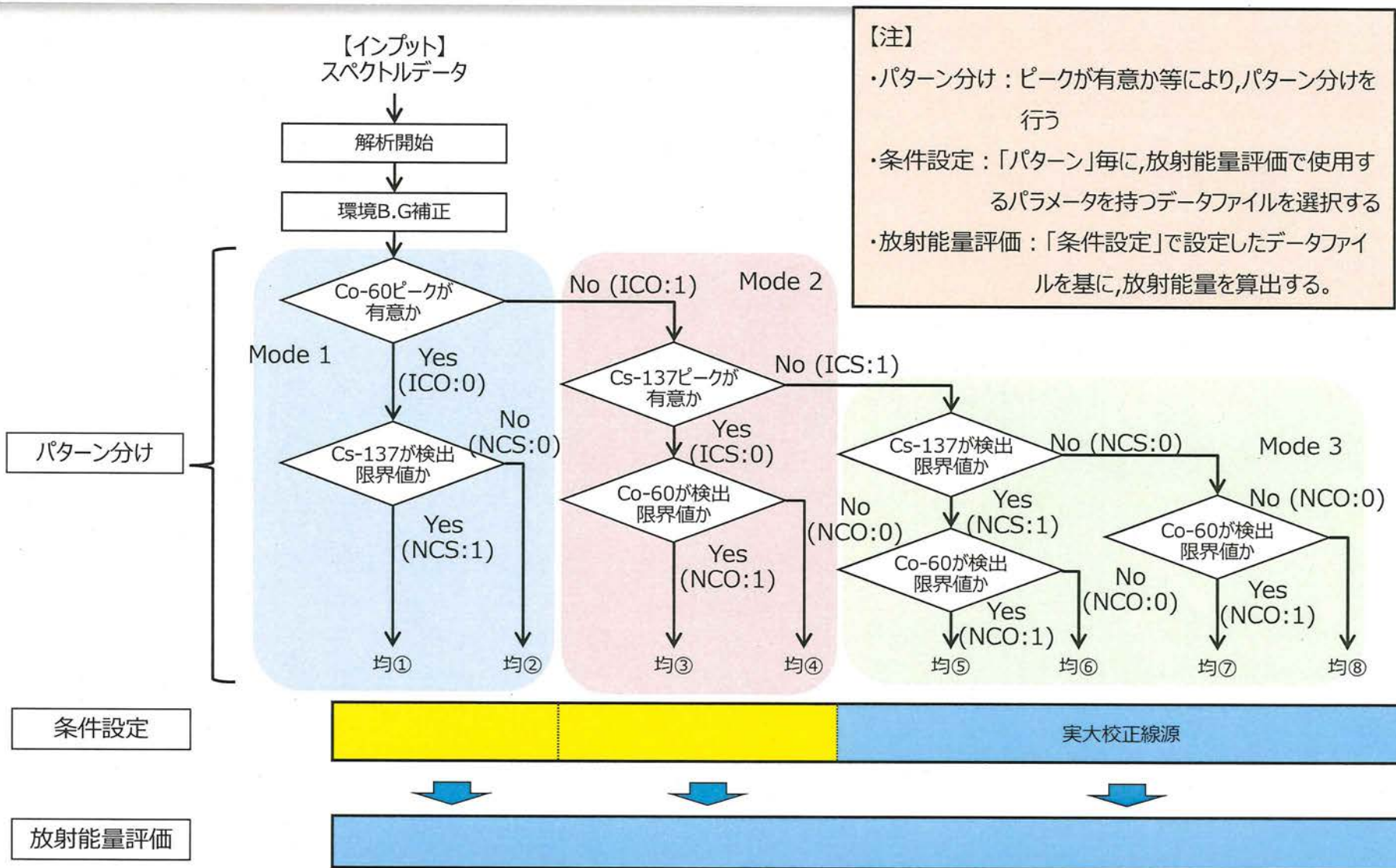
【線源は実大校正線源を 2 個 1 組で使用する】

表 2.2-1 模擬溶融固化体を用いた測定試験結果

項目		Co-60	Cs-137	単位
設定値	①	1.37E+06	1.49E+06	Bq/t ³ 74M
1回目	②	1.42E+06	1.62E+06	Bq/t ³ 74M
2回目	③	1.42E+06	1.65E+06	Bq/t ³ 74M
3回目	④	1.40E+06	1.61E+06	Bq/t ³ 74M
設定値に対する比率	②/①	1.04	1.09	-
	③/①	1.04	1.11	-
	④/①	1.02	1.08	-



38 パラメータ妥当性確認：均質・均一固化体



39

実測等に使用したデータファイルの整理：均質・均一固化体(1/2)

青色で色塗りしたデータファイルは、実測で使用しているデータファイルを示す。

黄色で色塗りしたデータファイルは、測定記録*a,設計資料*bで確認したものを示す。

No.	項目	データファイル名	均質・均一固化体	充填固化体	備考
1	C/Pと γ 線減衰定数の関係式に使用する係数	CALALP1 (10)	○ Mode1 *a	/	固化体密度をパラメータとした固化体を用いたC/P特性取得試験から設定するデータ ※ 島根：CALALP2, CALALP2X無し
		CALALP1X (6)	○ Mode2 *a		
		CALALP2 (10)	○ Mode1 *a		
		CALALP2X (6)	○ Mode2 *a		
		CALALP1J (10)		○	
		CALALP1JX (6)			
2	固化体密度とC/Pの関係に使用する係数	CALALP1NJ (6) CALALP1NJX (6)		○	
3	C/P補正に使用する係数	CALALP9JX (6) CALALP2JX (6)		○	
4	C/P最大最小範囲設定に用いる係数	CPMAXD (2) CPMAXYC (2) CPMAXYM (2)		○	
5	スペクトルデータ有意判断に用いる係数	FACT (2)	○ 各Mode共通	/	
		FACTJ (2)			○
		K (1)			○

○：検証対象としてのファイルデータ（パラメータ）あり
注：データファイル名中の()内数値は、当該データファイル中のパラメータ数を示す。

40

実測等に使用したデータファイルの整理：均質・均一固化体

青色で色塗りしたデータファイルは、実測で使用しているデータファイルを示す。

黄色で色塗りしたデータファイルは、測定記録*a,設計資料*bで確認したものを示す。

No.	項目	データファイル名	均質・均一固化体	充填固化体	備考
6	換算係数の補正等に用いる係数	experiment (18)	/	○	
		factor (1)		○	
		factorm (1)		○	
		factors (1)		○	
		FACTyukand (5)		○	
		kmockup (3)		○	
		kstd (1)		○	
7	溶融固化体モデルに用いる係数	YOUYU (24) YOUYUK (24)	/	○	
8	均一モデル計算に用いる係数	TOMOSE (13) FACT.DAT(2)	○ Mode2/3	/	
9	放射能計算に用いる係数	YUKASE (20)	○ Mode1 *b	/	
		YUKASEJ (20)	/	○	
		YUKASEY (20)	/	○	
10	検出器の減弱係数の補完計算のための係数	COEFF(6)	○ 各Mode共通	○	

○：検証対象としてのファイルデータ（パラメータ）あり

注：データファイル名中の()内数値は、当該データファイル中のパラメータ数を示す。

41 ソースコード点検によるパラメータ・数式の確認項目 (均質・均一固化体)

「条件設定」で使用するパラメータおよび数式が適切であることを示すため、計算結果に影響を与える以下の項目を確認した。

区分	No.	確認項目
パラメータ	A	Co-60測定結果からのC/P設定のコンプトン領域が適切か(1000~1400keV)
	B	均一モデル評価を行う場合、使用するパラメータが記載されたインプットファイルの選択は適切か
	C	Cs-137測定結果からのC/P設定のコンプトン領域が適切か(520keV~680keV)
	D	検出限界値設定処理において、使用するパラメータは適切か また、インプットファイルの値は適切か
	E	再評価プログラムの検出限界値設定処理において、使用するパラメータは適切か（島根のみ）
数式	F	Co-60測定結果からのC/Pの算出式は適切か
	G	均一モデル評価を行う場合、使用する数式は適切か
	H	Cs-137測定結果からのC/Pの算出式は適切か
	I	検出限界値設定処理において、使用する数式は適切か
	J	再評価プログラムの検出限界値設定処理において、使用する数式は適切か（島根のみ）

42 ソースコード点検によるパラメータ・数式の確認結果(均質・均一固化体)

【均質・均一：敦賀・伊方・志賀】

各パターンで使用するパラメータおよび数式が適切であることを確認した。

Mode	パターン	内容	パラメータ確認					数式確認				
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	均①	Co : ピーク有意 Cs : ND	○	— *1	— *1	○	— *1	○	— *1	— *1	○	— *1
	均②	Co : ピーク有意 Cs : D(検出)	○	— *1	— *1	○	— *1	○	— *1	— *1	○	— *1
2	均③	Co : ピーク低,ND Cs : ピーク有意	— *1	○	○	○	— *1	— *1	○	○	○	— *1
	均④	Co : ピーク低,D(検出) Cs : ピーク有意	— *1	○	○	○	— *1	— *1	○	○	○	— *1
3	均⑤	Co : ピーク低,ND Cs : ピーク低,ND	— *1	○	— *1	○	— *1	— *1	○	— *1	○	— *1
	均⑥	Co : ピーク低,D(検出) Cs : ピーク低,ND	— *1	○	— *1	○	— *1	— *1	○	— *1	○	— *1
	均⑦	Co : ピーク低,ND Cs : ピーク低,D(検出)	— *1	○	— *1	○	— *1	— *1	○	— *1	○	— *1
	均⑧	Co : ピーク低,D(検出) Cs : ピーク低,D(検出)	— *1	○	— *1	○	— *1	— *1	○	— *1	○	— *1

凡例：○；適切，×；適切でない，—；非該当 *1:使用せず

43 ソースコード点検によるパラメータ・数式の確認結果(均質・均一固化体)

【均質・均一：島根】

各パターンで使用するパラメータおよび数式が適切であることを確認した。

Mode	パターン	内容	パラメータ確認					数式確認				
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	均①	Co : ピーク有意 Cs : ND	○	— *1	— *1	○	— *1	○	— *1	— *1	○	— *1
	均②	Co : ピーク有意 Cs : D(検出)	○	— *1	— *1	○	— *1	○	— *1	— *1	○	— *1
2	均③	Co : ピーク低,ND Cs : ピーク有意	— *1	○	○	○	○	— *1	○	○	○	○
	均④	Co : ピーク低,D(検出) Cs : ピーク有意	— *1	○	○	○	○	— *1	○	○	○	○
3	均⑤	Co : ピーク低,ND Cs : ピーク低,ND	— *1	○	— *1	○	○	— *1	○	— *1	○	○
	均⑥	Co : ピーク低,D(検出) Cs : ピーク低,ND	— *1	○	— *1	○	○	— *1	○	— *1	○	○
	均⑦	Co : ピーク低,ND Cs : ピーク低,D(検出)	— *1	○	— *1	○	○	— *1	○	— *1	○	○
	均⑧	Co : ピーク低,D(検出) Cs : ピーク低,D(検出)	— *1	○	— *1	○	○	— *1	○	— *1	○	○

凡例：○；適切，×；適切でない，—；非該当 *1:使用せず

44 均質・均一固化体の実大校正線源を用いた測定試験結果について(建設時)

測定精度（真値に対する誤差）が、許容値内に入っていることを確認した。

	放射能量定量値(Bq)		真値に対する誤差(%)		
	Co-60	Cs-137	Co-60誤差 の偏差	Co-60	Cs-137
島根	1.5E+06	1.5E+06	最大	12.93	12.08
	1.7E+06	1.7E+06	最小	0.12	1.32
敦賀	1.8E+06	1.8E+06	最大	8.11	3.40
	1.6E+06	1.8E+06	最小	0.05	6.95
伊方	1.63E+06	1.87E+06	最大	4.90	1.30
	1.72E+06	1.98E+06	最小	0.10	7.00
志賀	1.25E+06	1.26E+06	最大	12.10	15.37
	1.42E+06	1.67E+06	最小	0.30	11.79

真値に対する誤差：繰返し測定結果のうちCo-60誤差の偏差が最大,最小のデータを示す。

【出典】

島根原子力発電所：低レベル放射性廃棄物搬出検査設備の性能確認について（平成4年12月 中国電力株式会社島根原子力発電所）
 敦賀発電所：低レベル放射性廃棄物搬出検査装置の性能確認について（平成4年12月 日本原子力発電株式会社敦賀発電所）
 伊方発電所：低レベル放射性廃棄物搬出検査装置の性能確認について（平成5年4月 四国電力株式会社伊方発電所）
 志賀原子力発電所：雑固体処理設備（検査）現地単体試験 試験検査成績書（2008年7月）

45 参考：放射能評価プログラムの検証対象箇所数

放射能評価プログラムに確認された指定値誤りと、引数誤りについて、対象ソースコード全体(678ファイル)の調査を実施し、検証に漏れが無い事を確認した

No	処理	実行 ファイル名	敦賀						島根						伊方						志賀									
			ファイル 数	検索文字列 & 箇所数						ファイル 数	検索文字列 & 箇所数						ファイル 数	検索文字列 & 箇所数						ファイル 数	検索文字列 & 箇所数					
				抽出 ファイル名	172	CO60	CO58	CO60	CO58		抽出 ファイル名	172	CO60	CO58	CO60	CO58		抽出 ファイル名	172	CO60	CO58	CO60	CO58		抽出 ファイル名	172	CO60	CO58	CO60	CO58
1	放射能解析 開始処理	RADSTR.EXE	1						1							1						1								
2	環境バック グラウンド 補正処理	ENVBAK.EXE	1						1							1						1								
		ENVBAK2.EXE	1						1							1						1								
3	均質・ 均一	ANAGO.EXE	50	LIBDXTX	4				50	LIBDXTX	4					50	LIBDXTX	4				50	LIBDXTX	4						
				LIBDXTX2	2					LIBDXTX2	2							LIBDXTX2	2					LIBDXTX2	2					
				Resupd	5	5	5	1	1		Resupd	5	5	5	1	1		Resupd	5	5	5	1	1		Resupd	5	5	5	1	1
				Anago			4				Anago			4				Anago			4				Anago			5		
	融	ANAGO0.EXE	25						25							—							—							
		ANAGO1.EXE	55	LIBDXTX	4				55	LIBDXTX	4					—							—							
	直充	ANAGO2.EXE	19	LIBDXTX	4				62	LIBDXTX	4					19							19							
				LIBDXTX2	2					LIBDXTX2	2																			
				Resupd	5	6	6				Resupd	5	5	5	1	1														
				Anago1			3				Anago1			5																
ANAGO3.EXE	60	LIBDXTX	4				—							60	LIBDXTX	4					60	LIBDXTX	4							
		LIBDXTX2	2													LIBDXTX2	2						LIBDXTX2	2						
		Resupd	5	6	6										Resupd	5	6	6				Resupd	5	6	6					
4	スペクトル 加算処理	spcsum.EXE	—					1						—							—									
5	表面線量 率法処理	lump.EXE	—					6	LIBDXTX	2				—							—									
									RSLT	2																				
小計			212		33	17	24	1	1	202		37	15	29	3	3	132		22	11	15	1	1	132		22	11	16	1	1
4サイト合計			678		114	54	84	6	6																					

指定値誤りの検証： 172で始まる5桁の指定値(ASCIIコード)について、検証に漏れが無いことを確認した。

引数誤りの検証： CO(オ-)60,CO(オ-)58,CO(セ 0)60,CO(セ 0)58について、検証に漏れが無いことを確認した。

46 まとめ

下記の検証結果から、均質・均一固化体、充填固化体（直接充填・溶融）の放射能評価プログラムには、引数及び指定値誤り以外の誤りがないことを確認した。

検証項目	検証内容	検証結果
コンパイルによるワーニングの確認	放射能評価プログラムに属する全ソースプログラムについてコンパイルを行い、放射能評価結果に影響を与えるワーニング（未定義の引数やコマンド誤り）が出ないことを確認する。	当該の引数誤り以外に放射能評価結果に影響を及ぼすワーニングは発出されなかったことから、プログラムに本事象以外の誤りはないことを確認した。 (引数誤り C060 6件, C058 6件)
放射能評価プログラムの全パス検証	模擬のスペクトルデータを用いて放射能評価プログラムの全パス検証を行い、指定値誤りがなく計算フローに従ってプログラムが動作することを確認する。	全ての計算フローにおいて指定値誤り以外にプログラム誤りがないことを確認した。また、計算途中でエラーが発生することはないと、正しく処理されることを確認した。
ソースコード点検によるパラメータの確認	放射能評価プログラムのソースコードを点検し、パラメータ、数式が適切であり、計算に誤りがないことを確認する。	実大校正線源の実測に用いられたソースコードについては実測の結果より、それ以外のソースコードについてはソースコード点検によるパラメータの確認により、パラメータ及び数式は適切であり、計算に誤りがないことを確認した。

47 参考：ソースコード点検例（充填固化体）

A：Co-60測定結果からのC/P設定のコンプトン領域が適切か(1000~1400keV)




The screenshot shows the Gatherfor application window. The main area is mostly black. At the bottom, there is a status bar with the following text:

```
DATA EL / 1000.0 /  
DATA EH / 1400.0 /
```

A red box highlights this text, with an arrow pointing to it from a label: **C/P設定のコンプトン領域設定(Co-60)**. The status bar also shows "1行, 1列".

B：密度からのC/P(コンプトンピーク比)設定を行う場合,使用するパラメータが記載されたインプットファイルの選択は適切か



The screenshot shows the CALINEFOR application window. The main area is mostly black. At the top, there is a code editor with the following text:

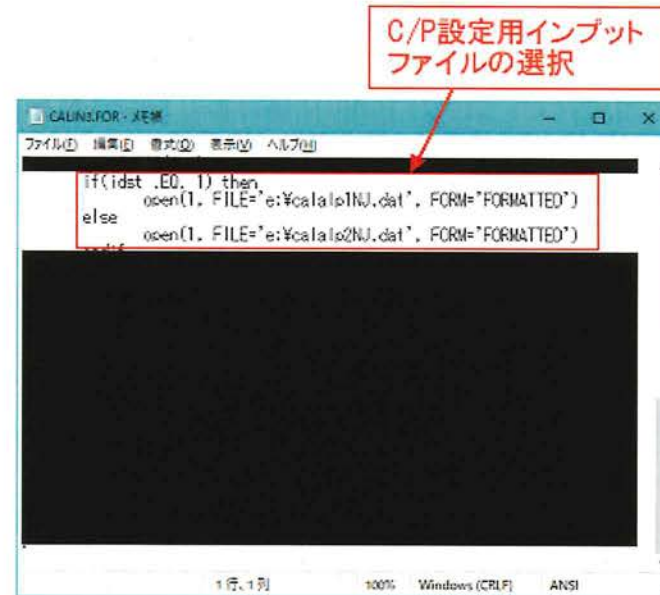
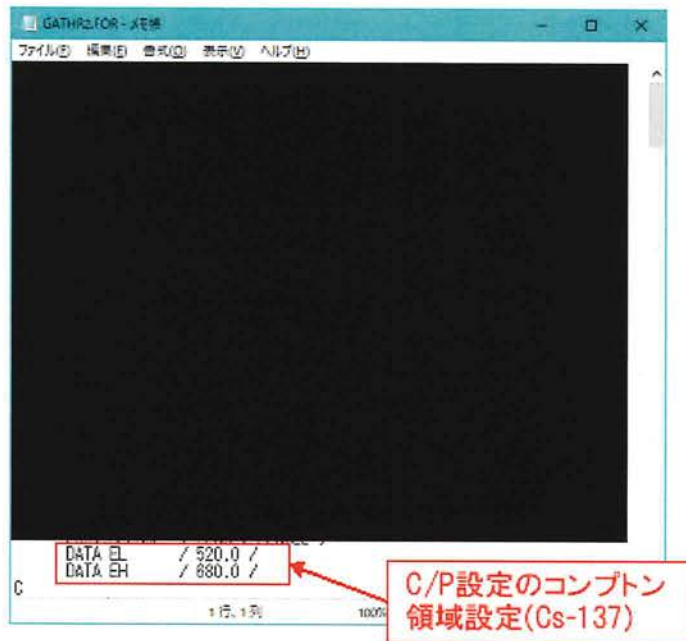
```
if(idst .EQ. 1) then  
  open(1, FILE='e:\calala1NJ.dat', FORM='FORMATTED')  
else  
  open(1, FILE='e:\calala2NJ.dat', FORM='FORMATTED')
```

A red box highlights this code, with an arrow pointing to it from a label: **C/P設定用インプットファイルの選択**. The status bar at the bottom shows "1行, 1列", "100%", "Windows (CRLF)", and "ANSI".

48 参考：ソースコード点検例（充填固化体）

C:Cs-137測定結果からのC/P設定のコンプトン領域が適切か(520keV~680keV)

D: C/P最大/最小値設定において,使用するパラメータが記載された入力ファイルの選択は適切か



49 参考：ソースコード点検例（充填固化体）

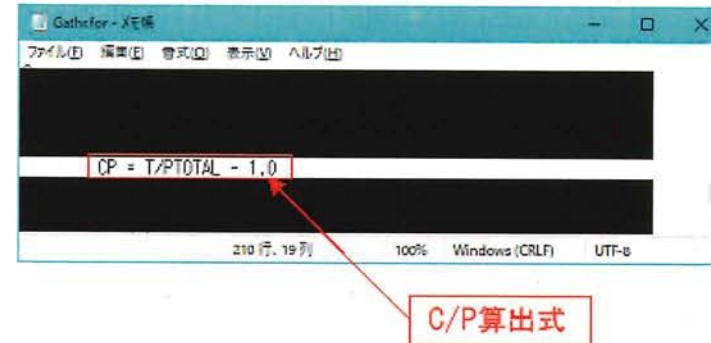
E: C/P最大/最小値設定において、使用する密度の設定は適切か



```
ACONDK = 1
ACONDK = roup
```

173 行、20 列 100% Windows (CRLF) ANSI

F: Co-60測定結果からのC/Pの算出式は適切か



```
CP = T/PTOTAL - 1.0
```

210 行、19 列 100% Windows (CRLF) UTF-8

50 参考：ソースコード点検例（充填固化体）

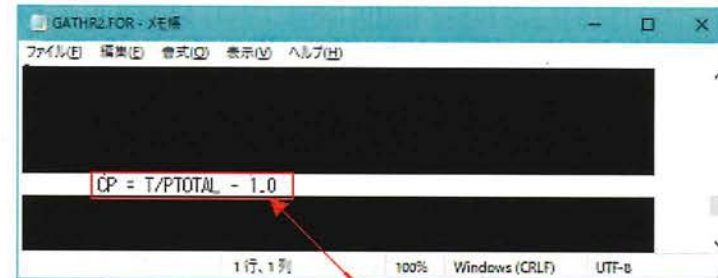
G:密度からのC/P設定を行う場合,使用する数式は適切か

H: Cs-137測定結果からのC/Pの算出式は適切か



```
cpndog = (ALP13(1)*(ACONDK<<2)+ALP23(1)*ACONDK) +SPP+CP00
```

密度からC/P
設定を行う数式



```
CP = T/PTOTAL - 1.0
```

C/P算出式

51 参考：ソースコード点検例（充填固化体）

I: C/P最大/最小値設定において、使用する数式は適切か

J: ND値の算出式は適切か

```
cpmax1co = ( cpndco0-cp00 )/CPM0M1  
cpmax2co = ( cpndco-cp00 )*CPM0M2
```

C/P最小値設定数式

C/P最大値設定数式

ND値算出式

```
#NLZDT(8, 1P)=ANLZDT(8, 1P)+(ANA778/ANA771)
```

**低レベル放射性廃棄物搬出検査装置
均質・均一固化体放射能評価プログラム誤り
（指定値誤り事象）の影響評価について**

(1) 影響評価の目的・範囲及び基本的考え方

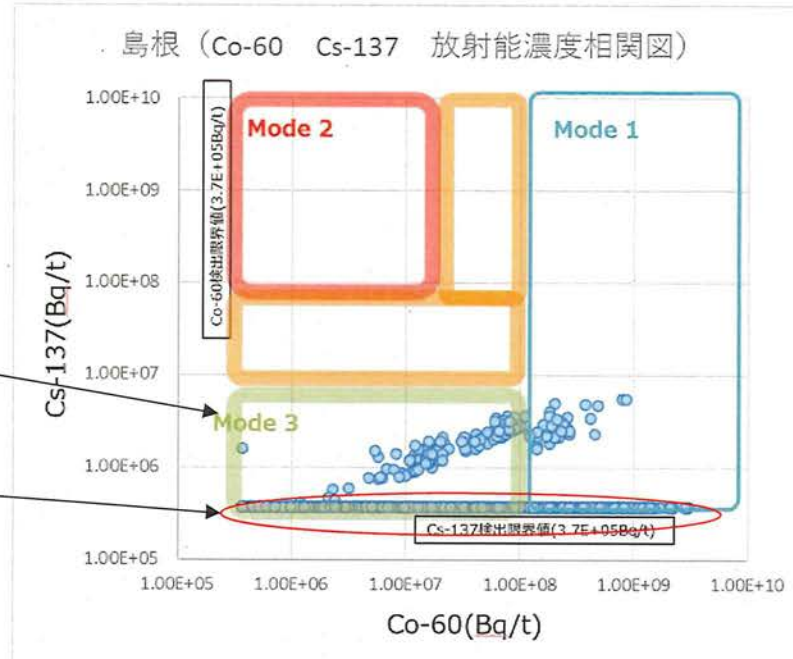
◆【影響評価の目的・範囲】

島根原子力発電所の均質・均一固化体について、指定値誤りの影響を受ける廃棄体の有無及び数量を確認するため、総数10,360本のうち、Cs-137濃度が検出限界値 ($3.7E+05Bq/t$) を示している10,193本を対象として影響評価を実施する

◆【影響評価の基本的考え方】

均質・均一固化体のうちMode 1 及び3に含まれるものは指定値誤りの影響を受けないことから、廃棄体すべてがMode1または3により計算されたかどうかを確認する

- ◆ コバルト値は正しく測定されている
- ◆ Cs-137 濃度が検出限界の廃棄体数 10,193本

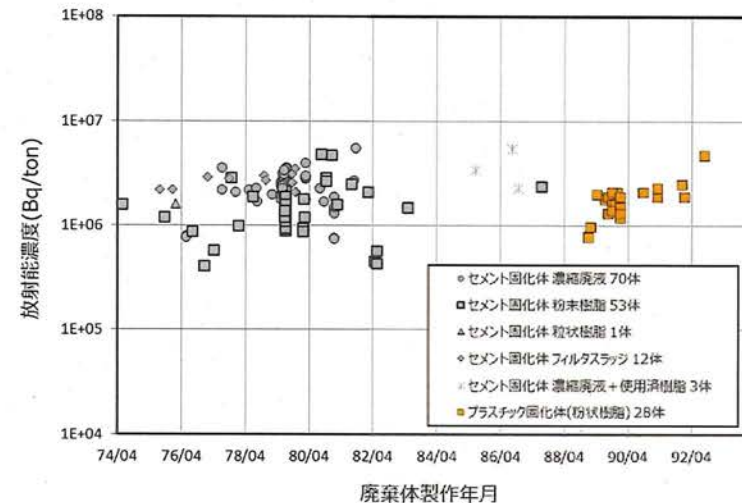


(2) 影響評価（島根原子力発電所における均質・均一固化体について）

- ◆ 島根原子力発電所における均質・均一固化体：セメント固化体またはプラスチック固化体
 - ✓ セメント固化体：1974年から1987年にかけて製作
 - ✓ プラスチック固化体：セメント固化体製作終了以降に製作

固型化材	セメント	プラスチック
放射性廃棄物	濃縮廃液 粉末樹脂 粒状樹脂 フィルタスラッジ 濃縮廃液 + 使用済樹脂	濃縮廃液 粉末樹脂
固型化方法	練り混ぜ	練り混ぜ

- 右図：Cs-137の放射能濃度が検出された廃棄体167本の廃棄確認申請値
- 放射能濃度は $4.1E+05\text{Bq/t} \sim 5.5E+06\text{Bq/t}$ であり、概ね1桁の一定の範囲内
- 島根原子力発電所においては燃料損傷は起こっておらず、炉水のような濃度も一定の範囲内（別紙2参照）
- ➡ 廃棄体中のCs-137も一定の範囲内



廃棄体製作年月日とCs-137放射能濃度分布図

(2) 影響評価 (均質・均一固化体における放射能濃度の閾値計算)

(1) 計算内容

- ✓ 均質・均一固化体用放射能評価プログラムを用いて、Modeの切り分けカウント数を境界にしたCo-60のピークの有意判断の閾値及びCs-137のピークの有意判断の閾値について計算する。

(2) 計算方法

- ✓ Mode切り分けの境界値となる900カウントをスペクトルデータとして入力し、出力される放射エネルギーを重量で除して境界上の放射能濃度(Bq/t)を算出する。
- ✓ プログラム上処理可能な限り、現実的に存在しない極端な濃度分布も想定に含む。

(3) 計算条件

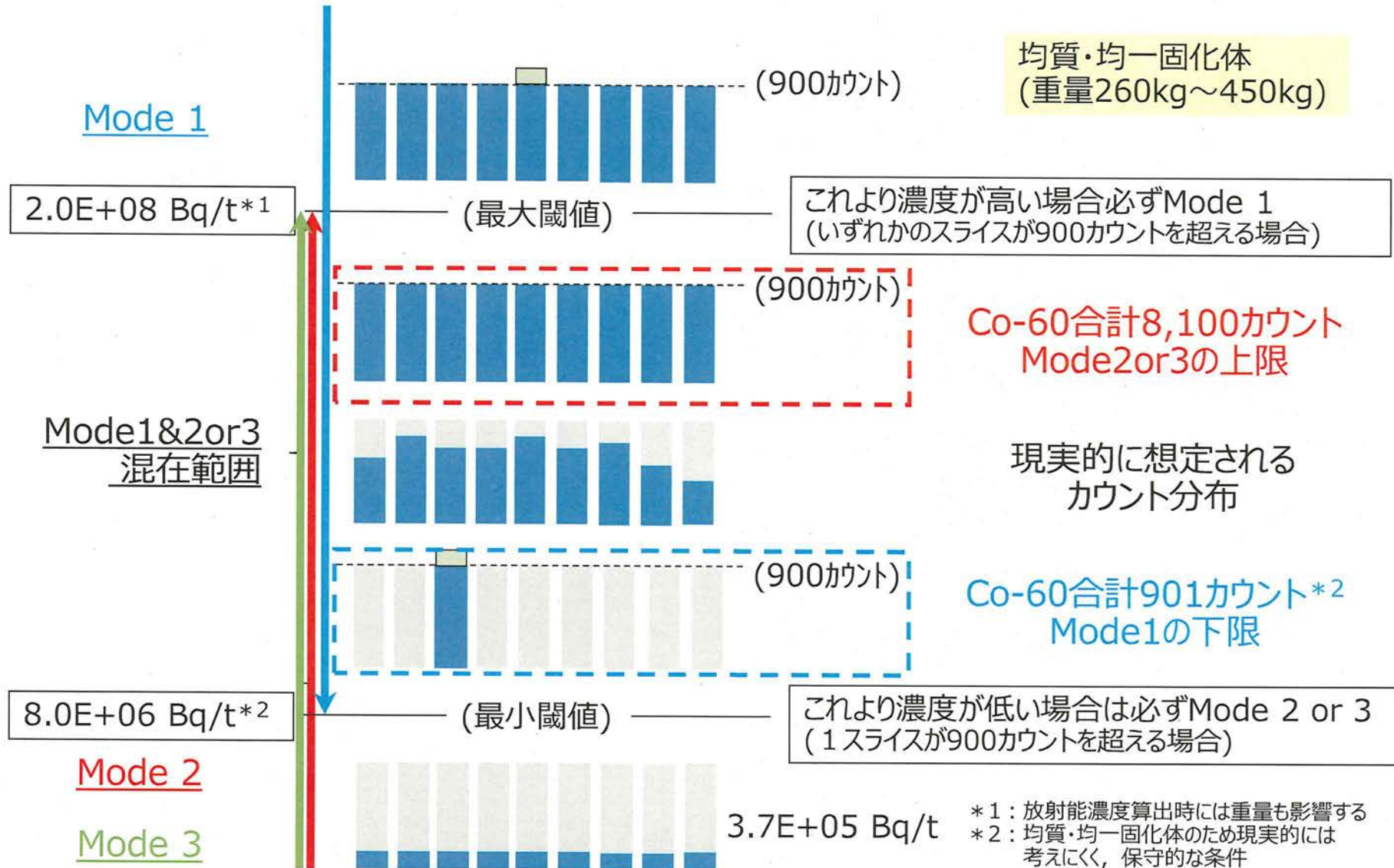
- ✓ Co-60閾値(最大)は、全スライスのピークに900カウントを入力し結果を切上処理する。
- ✓ Cs-137閾値(最小)は、1スライスだけに900カウントを入力し結果を切下処理する。
- ✓ Ge検出器の効率(%)は島根原子力発電所の検査装置の設定値とする。
- ✓ 廃棄体重量は島根原子力発電所で測定された均質・均一固化体10,360本の最小262kg, 最大447kgを包絡する値として以下を用いる。
 - 閾値(最大) : 260kg
 - 閾値(最小) : 450kg
- ✓ Modeの切り分けはピークカウントのみで評価しているため、Co-60及びCs-137ピークエリア以外のチャンネルのカウント数はゼロとする。(900カウント以下の評価方法ではBGは結果に影響しない)

(4) 計算結果 (p4, p5に、それぞれ各スライスの入力するカウントと閾値イメージを示す。)

- Co-60の有意判断の閾値は、Mode2領域が最大となるように $2.0E+08$ Bq/tとする (閾値範囲 : $8.0E+06 \sim 2.0E+08$ Bq/t)
- Cs-137の有意判断の閾値は、Mode2領域が最大となるように $9.0E+06$ Bq/tとする (閾値範囲 : $9.0E+06 \sim 2.0E+08$ Bq/t)

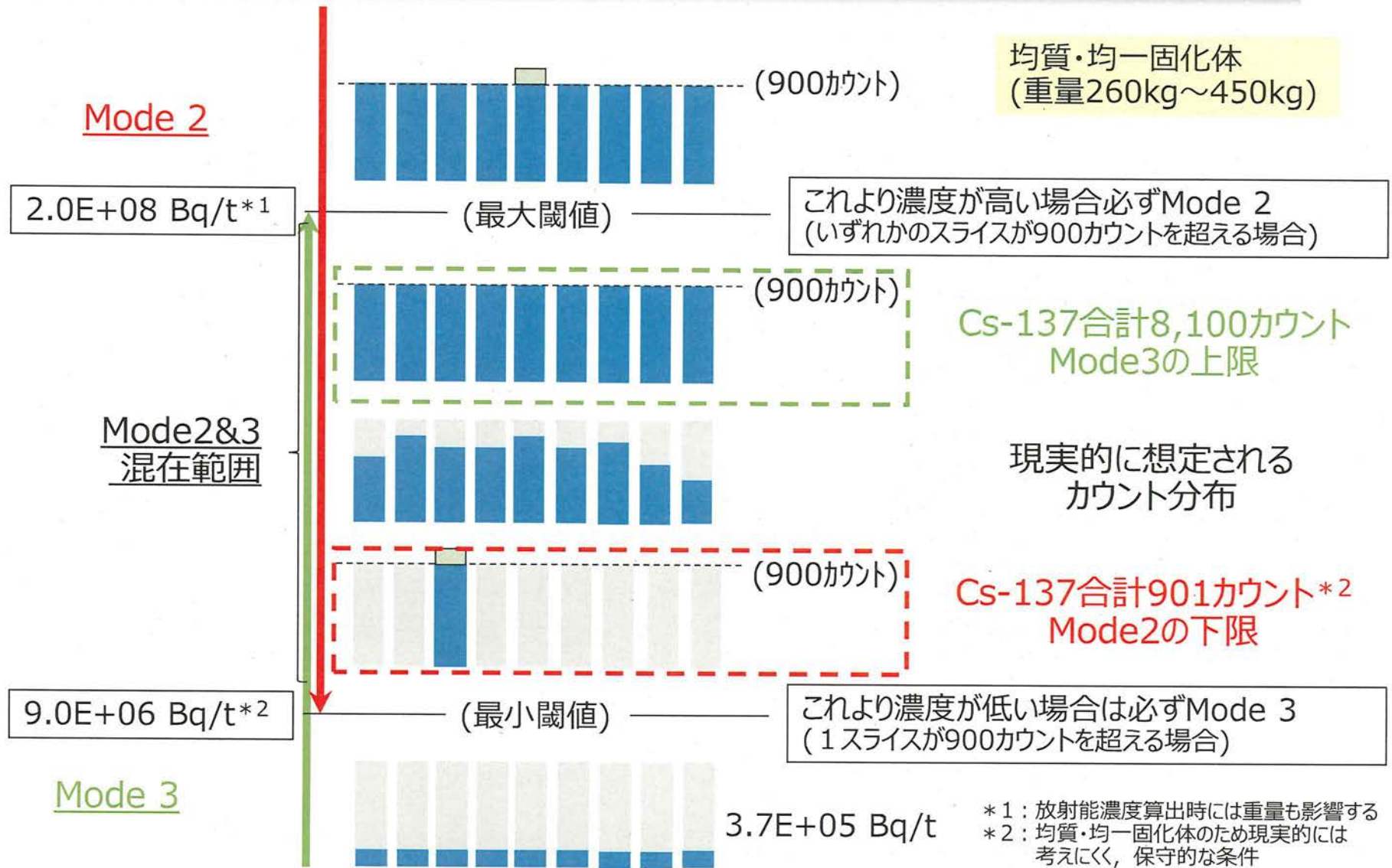
(2) 影響評価

(均質・均一固化体における放射能濃度の閾値計算 – 各スライスのカウントとCo-60の閾値のイメージ)



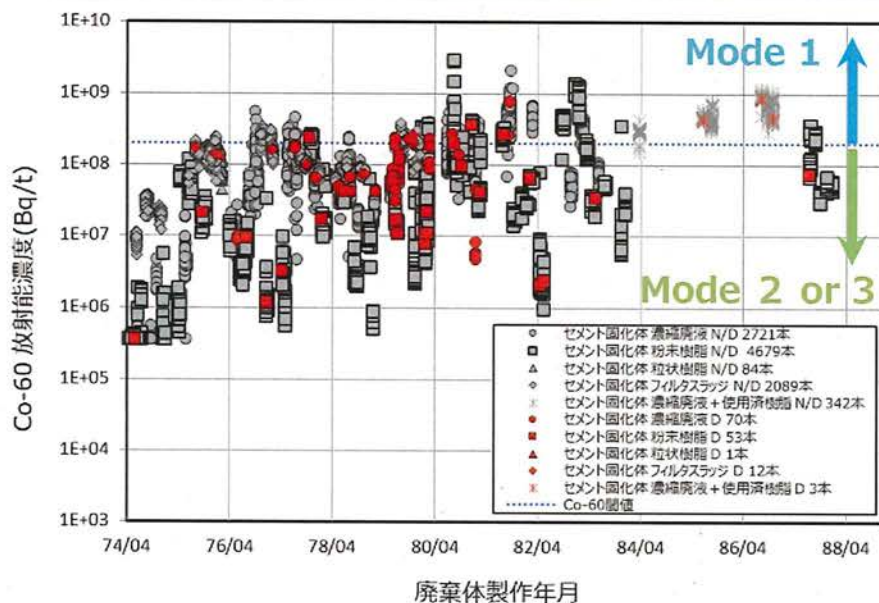
(2) 影響評価

(均質・均一固化体における放射能濃度の閾値計算 – 各スライスのカウントとCs-137の閾値のイメージ)

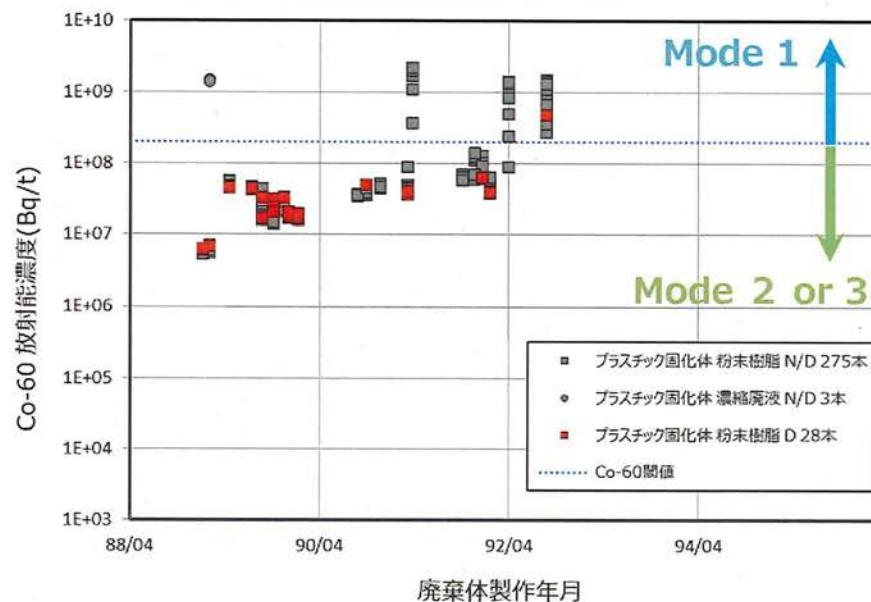


(2) 影響評価 (廃棄体のCo-60放射能濃度閾値に対する評価)

- ◆ これまで搬出した全廃棄体10,360本のCo-60放射能濃度と廃棄体製作年月のプロットを示す。
- ◆ Co-60の放射能濃度のMode1の閾値(最大)は $2.0E+08$ (Bq/t)であり、Mode1に入っている廃棄体については、Mode2を通過することはない。
 - ✓ 全廃棄体10,360本のうち、Cs-137放射能濃度が検出限界の廃棄体(以下、「検出限界廃棄体」という)は10,193本(灰色のプロット)、Cs-137放射能濃度が検出された廃棄体は167本(赤のプロット)
 - ✓ 検出限界廃棄体10,193本のうち、Mode1通過廃棄体:1,958本、Mode2もしくはMode3通過廃棄体:8,235本
 - ✓ Cs-137濃度が検出された廃棄体167本のうち、Mode1通過廃棄体:20本、Mode2もしくはMode3通過廃棄体:147本



廃棄体製作年月日とCo-60放射能濃度分布図

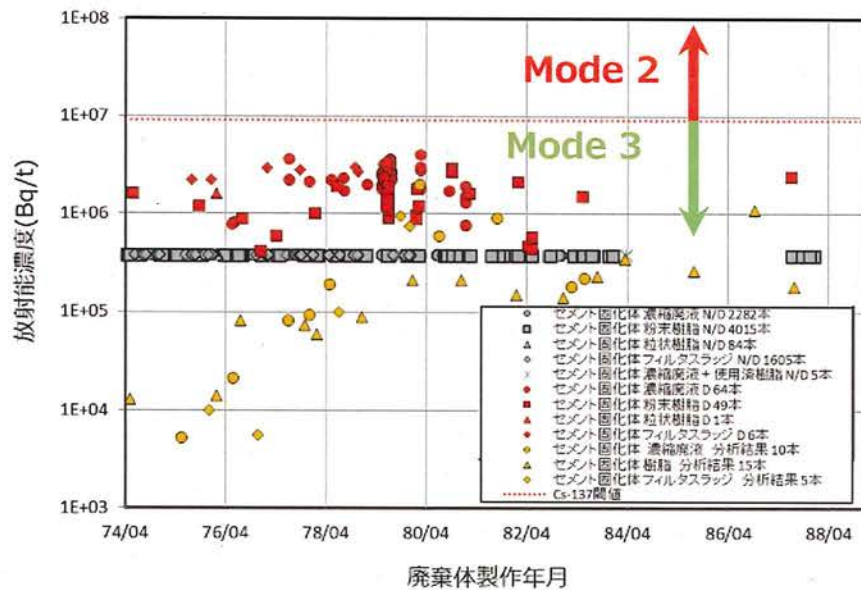


廃棄体製作年月日とCo-60放射能濃度分布図

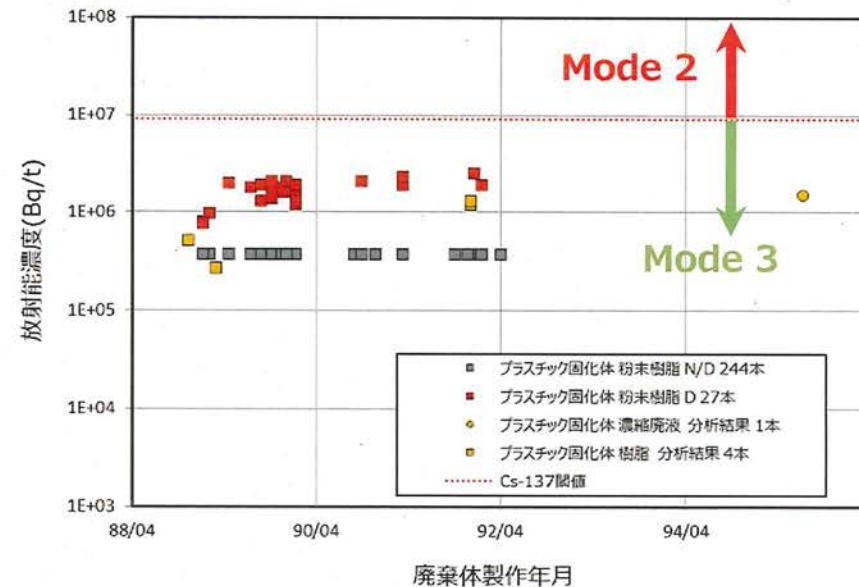
(注) 上記グラフ中の放射能濃度は、LLW搬出検査装置における検査時点である。

(2) 影響評価 (検出限界廃棄体の廃棄体製作期間と放射化学分析結果)

- Mode2もしくはMode3通過廃棄体8,382本 (Cs-137放射能濃度が検出された廃棄体147本 (赤のプロット) + 検出限界廃棄体8,235本 (灰色のプロット)) に加えて, セメント固化体及びプラスチック固化体の放射化学分析結果 (35本) のCs-137放射能濃度と廃棄体製作年月のプロット (オレンジのプロット) を示す。
- 検出限界廃棄体の廃棄体製作期間は1974年4月～1987年12月であり, 放射化学分析結果はこの期間を網羅している。
- 放射化学分析結果においても, Cs-137の放射能濃度は閾値 ($9.0E+06$ (Bq/t)) 以下である。
- 以上から, 検出限界廃棄体8,235本は全てMode3を通過したと判断できる。



廃棄体製作年月日とCs-137放射能濃度分布図

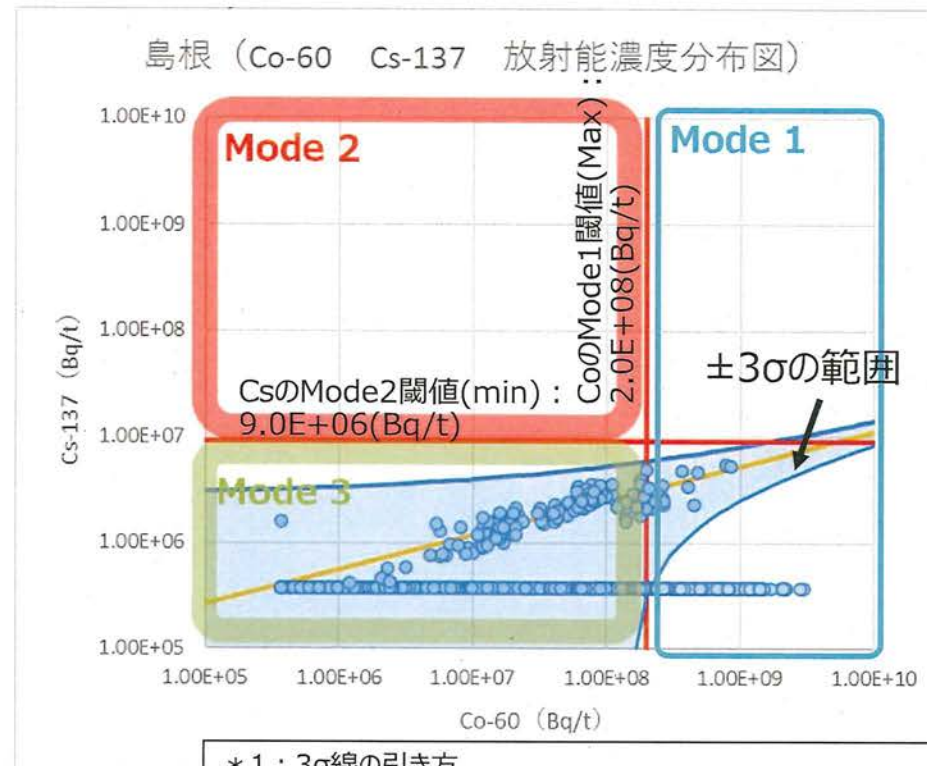


廃棄体製作年月日とCs-137放射能濃度分布図

(注) 上記グラフ中の放射能濃度は, LLW搬出検査装置における検査時点である。

(2) 影響評価 (Co-60, Cs-137の分布図におけるCs-137の放射能濃度偏差範囲)

- Cs-137が検出された167本についてCo-60, Cs-137の放射能濃度分布図を作成
- 検出できている廃棄体167本の標準偏差(*1)を考慮した範囲図を作成
- 累乗近似の+3σの直線がCo-60およびCs-137の閾値を超えないことを確認
- ➔ 検出限界廃棄体は全てMode1もしくはMode3を通過したという判断は妥当



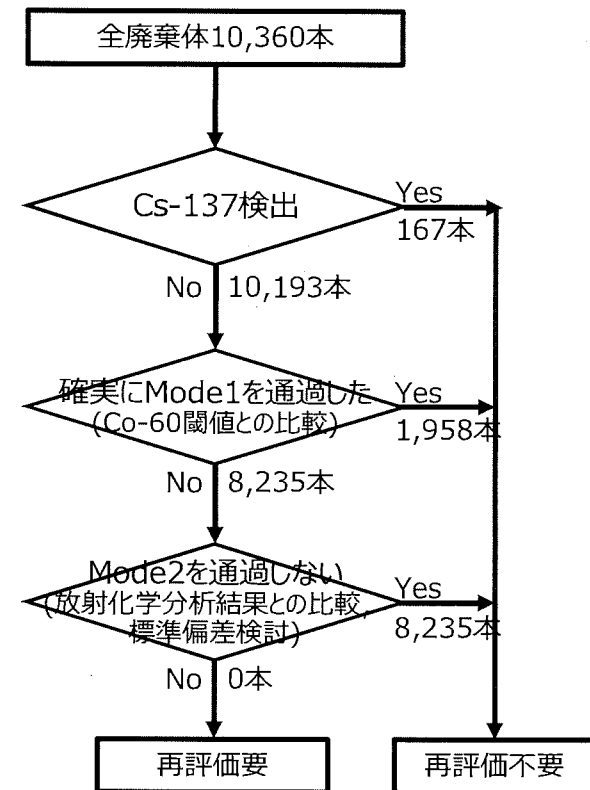
*1 : 3σ線の引き方

- (1) 167本について累乗近似線「 $y=6109.7 \cdot x^{0.3265}$ 」を作成 (黄線)
- (2) 167本のCs-137放射能濃度の標準偏差 σ を算出 (別紙3参照)
- (3) 累乗近似線に3 σ を加減して±3 σ 線を作成(青線)

(2) 影響評価 (まとめ)

廃棄体は全てMode1またはMode3を通過しており、検出限界廃棄体10,193本のCs-137放射エネルギーは検出限界値以下であるため、再評価は不要である。

- ◆ 検出限界廃棄体10,193本のうち1,958本は、Co-60閾値(*1)と比較すると、Mode1を通過するため再評価不要
- ◆ 残りの8,235本は、Cs-137閾値(*2)と比較すると、以下の点からMode2を通過しないため再評価不要
 - ・ 島根原子力発電所においては燃料損傷は起こっておらず、炉水のような濃度も一定の範囲にあることから、廃棄体中のCs-137も一定の範囲にある
 - ・ 放射化学分析結果ではCs-137の放射能濃度はCs-137閾値(*2)以下であり、検出限界廃棄体の放射能濃度がCs-137閾値(*2)を超えることはない
 - ・ 統計的観点から+3 σ を考慮しても、Mode1もしくはMode3を通過する



*1 : Co-60閾値 (最大) : 2.0E+08(Bq/t)

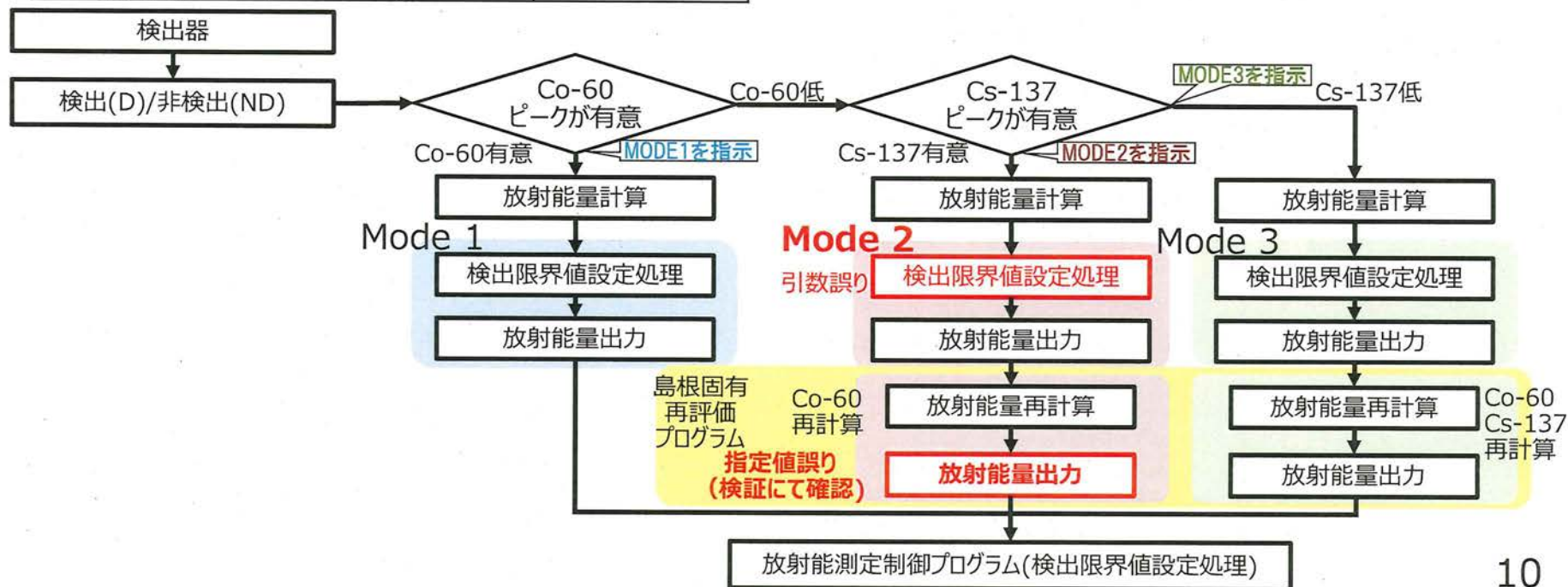
*2 : Cs-137閾値 (最小) : 9.0E+06(Bq/t)

別紙 1 : プログラムフロー

中国電力 島根原子力発電所 廃棄体抽出結果

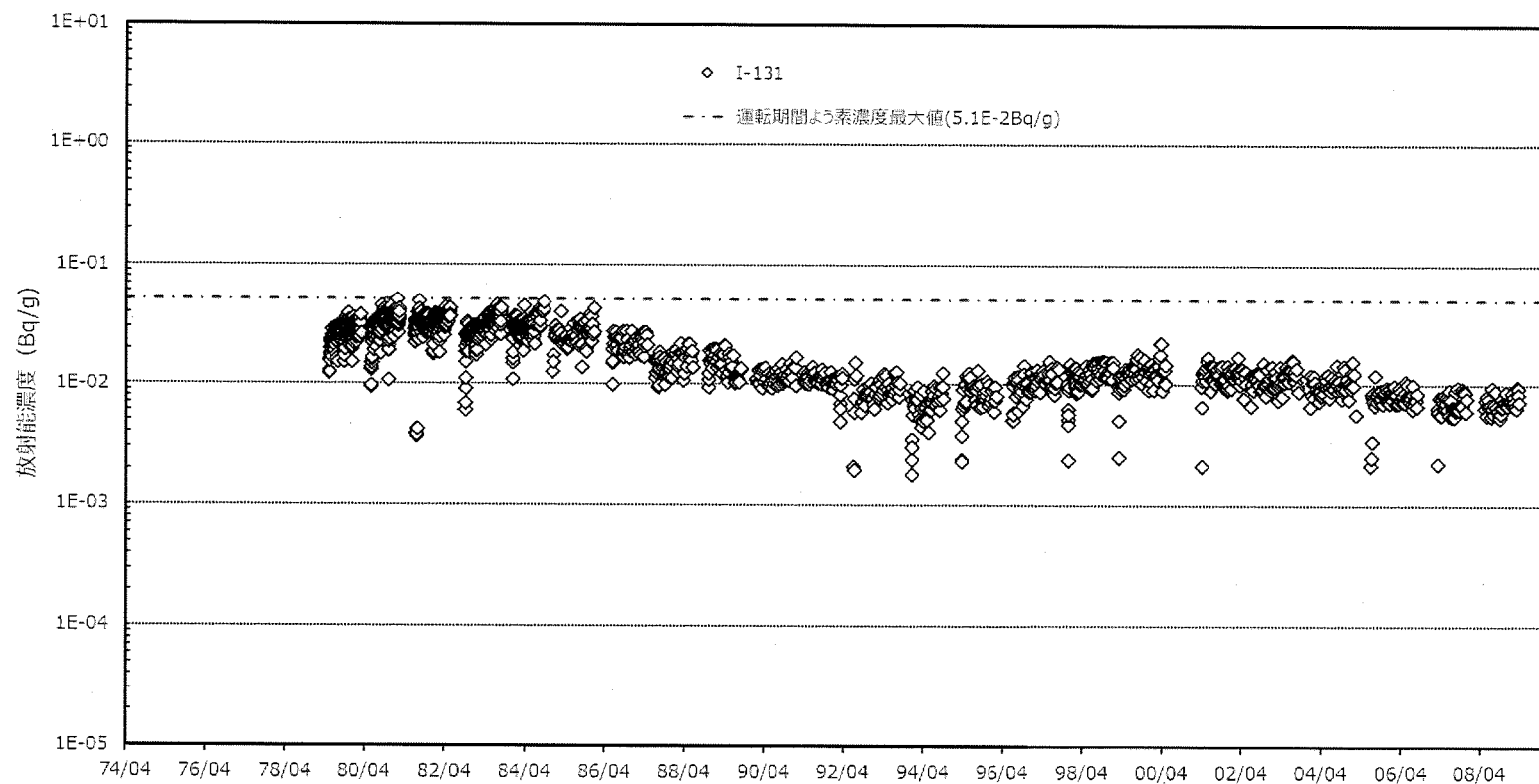
	引数誤り		指定値誤り
	1993年	1994年以降	
全数	1,600	8,760	10,360
コバルト濃度 検出限界	0	570	0(*1)
コバルト濃度 検出	0		
セシウム濃度 検出限界			10,193

(*1)島根原子力発電所固有の再評価プログラムにおいて、コバルトの計測の正値が再入力（正しく修正）されていることを確認

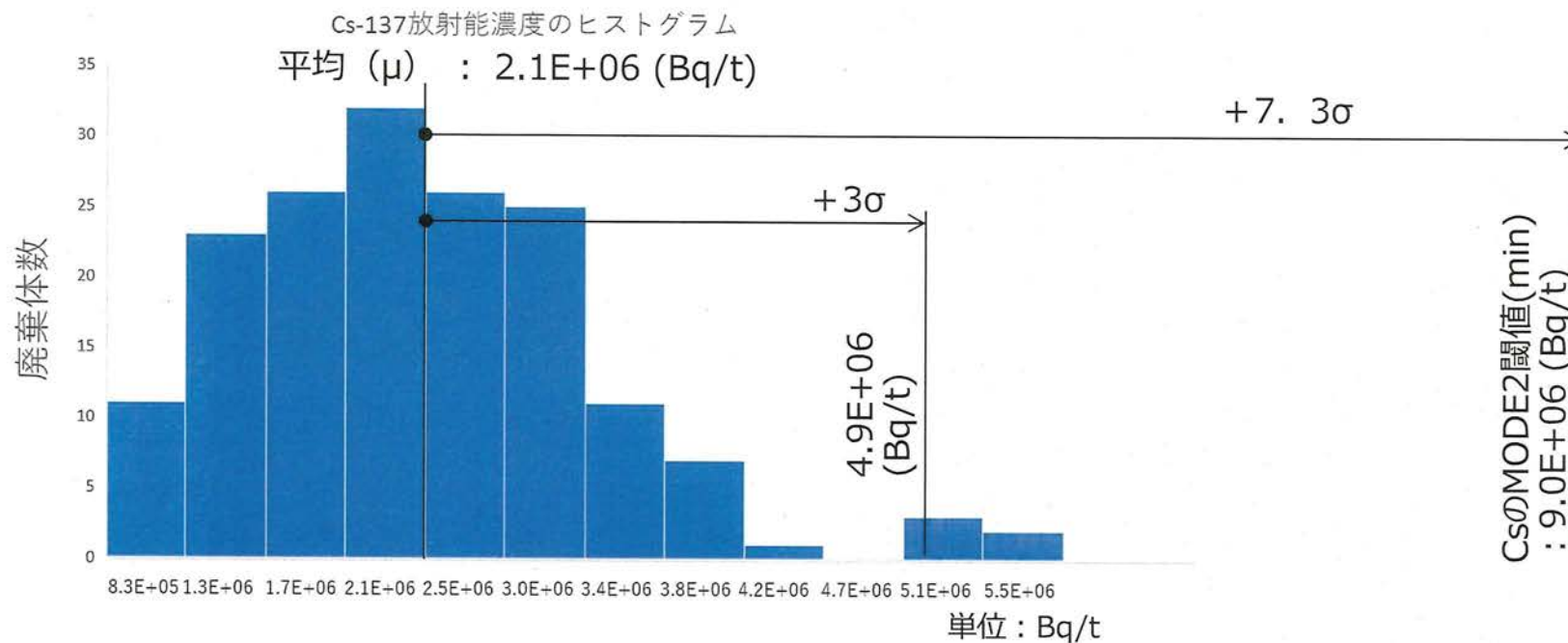


別紙 2 : 炉水のように素濃度について

- ◆ 廃棄体の放射能濃度へ影響を与えるような燃料損傷は起こっていないので、炉水中のよう素濃度は一定の範囲にある。
- ◆ したがって、廃棄体中のCs-137放射能濃度は一定の範囲にある。



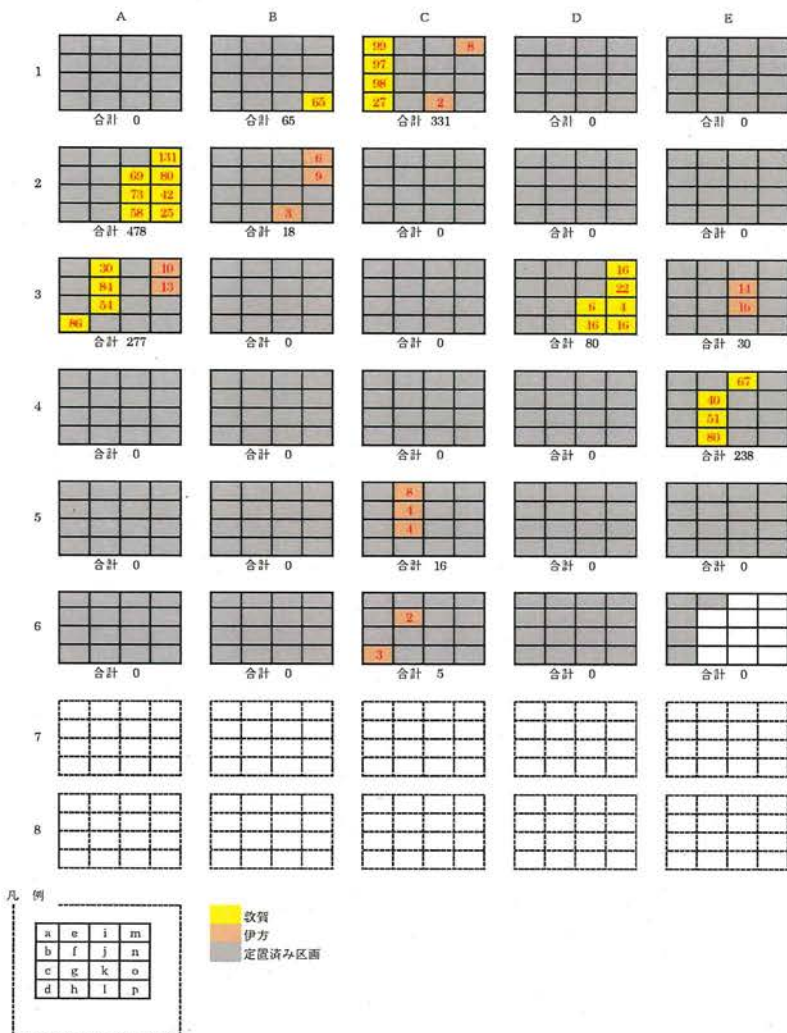
別紙3：島根原子力発電所 Cs放射能濃度のヒストグラム



平均 (μ)	: $2.1E+06$ Bq/t
標準偏差(σ)	: $9.4E+05$ Bq/t
$\mu + 3\sigma$: $4.9E+06$ Bq/t

- ◆ 検出されている167本に対し標準偏差を検討した。
- ◆ Cs-137の閾値： $9.0E+06$ Bq/tまで7.3 σ の裕度があり，島根原子力発電所の均質・均一固化体がMode2で計算される可能性は極めて低い。

本事象の影響を受ける確認申請、廃棄体本数および埋設状況図について

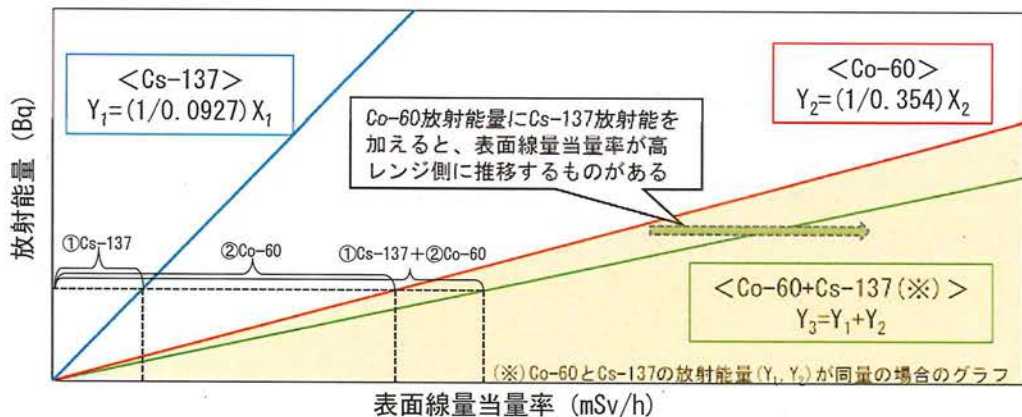
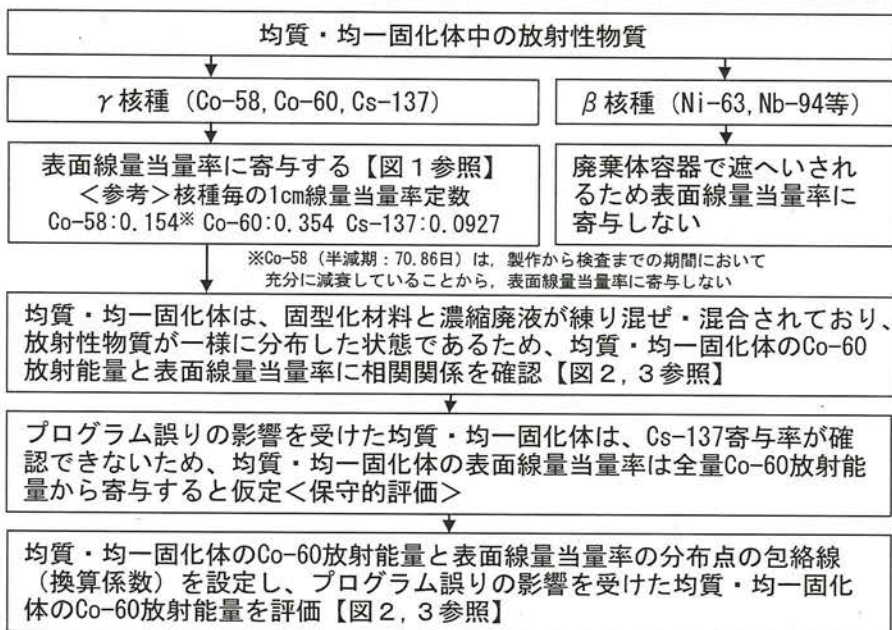


発電所	申請書番号	申請日	区分	埋設本数	影響本数 (対象設備)
改賀	塚発第8号	平成5年4月27日	1号	1,304本	386本 (1B・1C埋設設備)
	塚発第1号	平成6年4月4日	1号	1,280本	478本 (2A埋設設備)
	塚発第10号	平成7年4月18日	1号	640本	254本 (3A埋設設備)
	塚発第1号	平成8年4月9日	1号	320本	80本 (3D埋設設備)
	塚発第5号	平成10年4月14日	1号	1,096本	238本 (4E埋設設備)
	埋埋発第36号	平成15年7月25日	1号	1,112本	0本
	埋埋発第110号	平成17年9月27日	1号	296本	0本
	平20埋埋発第73号	平成20年9月16日	1号	384本	0本
	平22埋埋発第155号	平成23年2月4日	1号	152本	0本
	2016埋埋発第18号	平成28年6月15日	1号	40本	0本
合計			1号	6,624本	1,436本
伊方	塚発第43号	平成5年7月14日	1号	504本	10本 (1C埋設設備)
	塚発第30号	平成6年6月24日	1号	640本	18本 (2B埋設設備)
	塚発第36号	平成7年6月7日	1号	640本	23本 (3A埋設設備)
	塚発第12号	平成8年5月8日	1号	640本	30本 (3E埋設設備)
	塚発第13号	平成10年5月12日	1号	544本	16本 (5C埋設設備)
	平19埋埋発第50号	平成19年9月21日	1号	880本	5本 (6C埋設設備)
	平21埋埋発第57号	平成21年10月5日	1号	584本	0本
	2012埋埋発第119号	平成25年1月25日	1号	320本	0本
	2015埋埋発第64号	平成27年8月31日	1号	198本※	0本
2019埋埋発第10号	平成31年4月25日	1号	114本	0本	
合計			1号	5,064本	102本

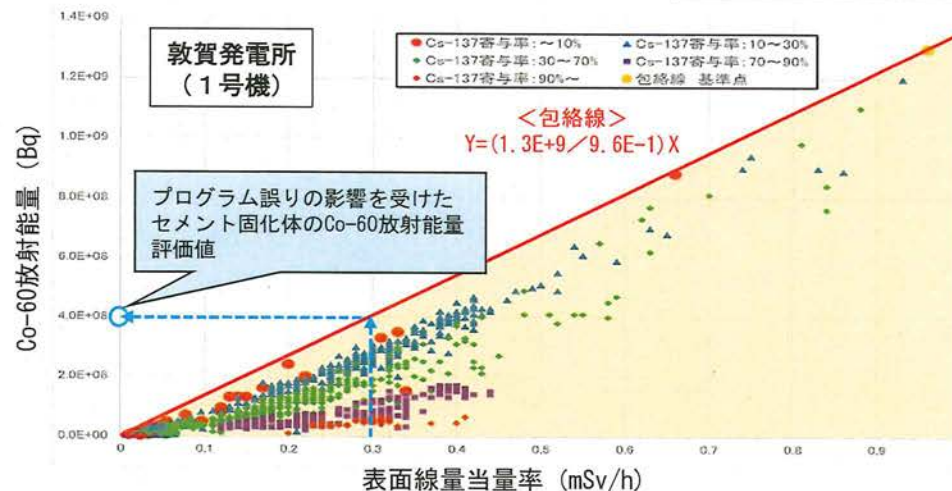
※平成30年10月29日に補正を行い、廃棄体数量について200本から変更している。

均質・均一固化体の再評価方法について（敦賀発電所，伊方発電所）

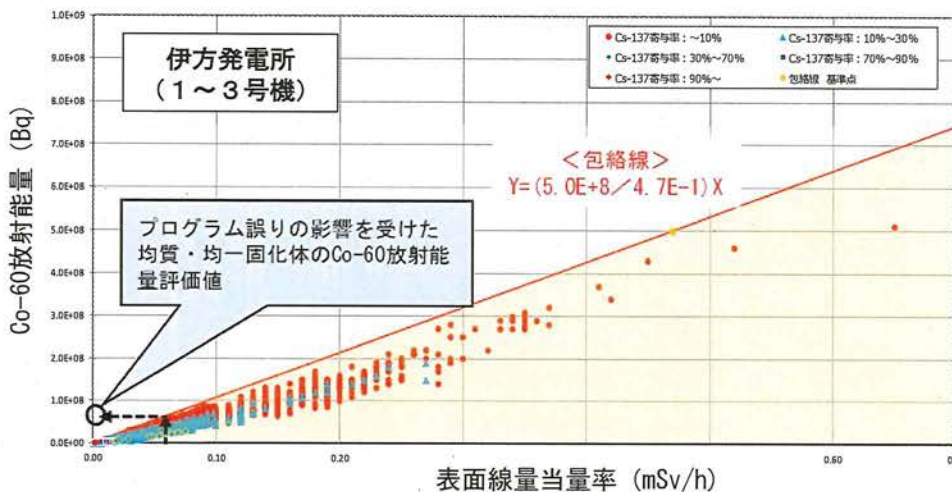
添付資料（6）



【図1】廃棄体中のCo-60とCs-137の放射エネルギーと表面線量当量率の関係



【図2】敦賀発電所 セメント固化体のCo-60放射エネルギーと表面線量当量率分布図



【図3】伊方発電所 均質・均一固化体のCo-60放射エネルギーと表面線量当量率分布図

埋設放射能量評価結果

【埋設設備群単位】

埋設設備群	埋設本数 [本]		放射能量[Bq] ^{※2, 3}				
			C-14	Co-60	Ni-59	Ni-63	Nb-94
1群	25,600	再評価前	2.37E+11	1.56E+12	6.93E+09	7.99E+11	2.31E+08
		再評価後	2.38E+11	1.67E+12	7.46E+09	8.65E+11	2.49E+08
		再評価前	57.8%	1.2%	1.6%	1.5%	5.6%
		再評価後	58.0%	1.3%	1.7%	1.6%	6.1%
2群	25,600	再評価前	2.71E+11	1.07E+12	9.06E+09	1.05E+12	3.13E+08
		再評価後	2.72E+11	1.14E+12	9.42E+09	1.09E+12	3.26E+08
		再評価前	66.1%	0.8%	2.1%	1.9%	7.6%
		再評価後	66.3%	0.9%	2.2%	2.0%	8.0%
3群	25,600	再評価前	2.18E+11	7.81E+11	6.87E+09	7.88E+11	2.42E+08
		再評価後	2.19E+11	8.11E+11	7.11E+09	8.18E+11	2.50E+08
		再評価前	53.2%	0.6%	1.6%	1.4%	5.9%
		再評価後	53.4%	0.6%	1.7%	1.5%	6.1%
4群	25,600	再評価前	2.59E+11	8.75E+11	9.29E+09	1.06E+12	3.25E+08
		再評価後	2.59E+11	9.61E+11	9.44E+09	1.07E+12	3.29E+08
		再評価前	63.2%	0.7%	2.2%	1.9%	7.9%
		再評価後	63.2%	0.7%	2.2%	1.9%	8.0%
5群	25,600	再評価前	3.48E+11	2.54E+12	2.21E+10	2.41E+12	7.04E+08
		再評価後	3.48E+11	2.54E+12	2.21E+10	2.42E+12	7.04E+08
		再評価前	84.9%	2.0%	5.1%	4.4%	17.2%
		再評価後	84.9%	2.0%	5.1%	4.4%	17.2%
6群	22,067	再評価前	3.67E+11	6.08E+11	1.01E+10	1.15E+12	3.62E+08
		再評価後	3.67E+11	6.08E+11	1.01E+10	1.15E+12	3.62E+08
		再評価前	89.5%	0.5%	2.3%	2.1%	8.8%
		再評価後	89.5%	0.5%	2.3%	2.1%	8.8%
埋設地全体	150,067	再評価前	1.70E+12	7.43E+12	6.43E+10	7.24E+12	2.18E+09
		再評価後	1.70E+12	7.71E+12	6.56E+10	7.40E+12	2.22E+09
		再評価前	68.0%	0.9%	2.5%	2.2%	8.7%
		再評価後	68.0%	0.9%	2.5%	2.2%	8.9%
管理値 区画別放射能量(1群当たり)			4.1E+11	1.3E+14	4.3E+11	5.5E+13	4.1E+09
管理値 区画別放射能量(1群～6群)			2.5E+12	8.3E+14	2.6E+12	3.3E+14	2.5E+10

※1 2023年4月末時点の埋設実績を示す。

※2 下段は放射能量管理値に対する埋設放射能量の割合

※3 記載のない核種は変更なし

※4 ハッチング箇所は、再評価に伴う最大増加量の箇所を示す。

【埋設設備単位】

埋設設備	埋設本数 [本]		放射エネルギー[Bq] ^{*2, 3}				
			C-14	Co-60	Ni-59	Ni-63	Nb-94
1B埋設設備	5,120	再評価前	4.91E+10	2.74E+11	2.10E+09	2.41E+11	7.19E+07
		再評価後	4.91E+10	2.91E+11	2.18E+09	2.52E+11	7.49E+07
		再評価前	30.7%	0.5%	1.2%	1.1%	4.5%
		再評価後	30.7%	0.5%	1.3%	1.1%	4.7%
1C埋設設備	5,120	再評価前	4.25E+10	3.30E+11	1.98E+09	2.28E+11	6.51E+07
		再評価後	4.28E+10	4.18E+11	2.42E+09	2.83E+11	8.02E+07
		再評価前	26.6%	0.6%	1.2%	1.0%	4.1%
		再評価後	26.8%	0.8%	1.4%	1.3%	5.0%
2A埋設設備	5,120	再評価前	4.32E+10	4.00E+11	2.48E+09	2.84E+11	8.41E+07
		再評価後	4.32E+10	4.64E+11	2.83E+09	3.27E+11	9.59E+07
		再評価前	27.0%	0.7%	1.5%	1.3%	5.3%
		再評価後	27.0%	0.8%	1.7%	1.5%	6.0%
2B埋設設備	5,120	再評価前	5.40E+10	2.05E+11	9.68E+08	1.11E+11	3.16E+07
		再評価後	5.44E+10	2.06E+11	9.90E+08	1.14E+11	3.25E+07
		再評価前	33.8%	0.4%	0.6%	0.5%	2.0%
		再評価後	34.0%	0.4%	0.6%	0.5%	2.0%
3A埋設設備	5,120	再評価前	4.84E+10	2.71E+11	1.94E+09	2.22E+11	6.71E+07
		再評価後	4.89E+10	2.95E+11	2.11E+09	2.43E+11	7.31E+07
		再評価前	30.3%	0.5%	1.1%	1.0%	4.2%
		再評価後	30.6%	0.5%	1.2%	1.1%	4.6%
3D埋設設備	5,120	再評価前	4.90E+10	1.46E+11	2.54E+09	2.92E+11	9.49E+07
		再評価後	4.90E+10	1.52E+11	2.59E+09	2.99E+11	9.69E+07
		再評価前	30.6%	0.3%	1.5%	1.3%	5.9%
		再評価後	30.6%	0.3%	1.5%	1.4%	6.1%
3E埋設設備	5,120	再評価前	5.00E+10	1.78E+11	8.81E+08	9.87E+10	2.83E+07
		再評価後	5.02E+10	1.78E+11	8.96E+08	1.01E+11	2.89E+07
		再評価前	31.3%	0.3%	0.5%	0.4%	1.8%
		再評価後	31.4%	0.3%	0.5%	0.5%	1.8%
4E埋設設備	5,120	再評価前	4.46E+10	3.20E+11	2.09E+09	2.37E+11	7.06E+07
		再評価後	4.46E+10	4.05E+11	2.23E+09	2.55E+11	7.52E+07
		再評価前	27.9%	0.6%	1.2%	1.1%	4.4%
		再評価後	27.9%	0.7%	1.3%	1.2%	4.7%
5C埋設設備	5,120	再評価前	6.60E+10	1.54E+11	2.22E+09	2.52E+11	7.98E+07
		再評価後	6.61E+10	1.54E+11	2.22E+09	2.53E+11	7.99E+07
		再評価前	41.3%	0.3%	1.3%	1.1%	5.0%
		再評価後	41.3%	0.3%	1.3%	1.2%	5.0%
6C埋設設備	5,114	再評価前	7.36E+10	1.43E+11	1.43E+09	1.67E+11	5.26E+07
		再評価後	7.36E+10	1.43E+11	1.43E+09	1.67E+11	5.26E+07
		再評価前	46.0%	0.3%	0.8%	0.8%	3.3%
		再評価後	46.0%	0.3%	0.8%	0.8%	3.3%
管理値 区画別放射エネルギーの2/30			1.6E+11	5.5E+13	1.7E+11	2.2E+13	1.6E+09

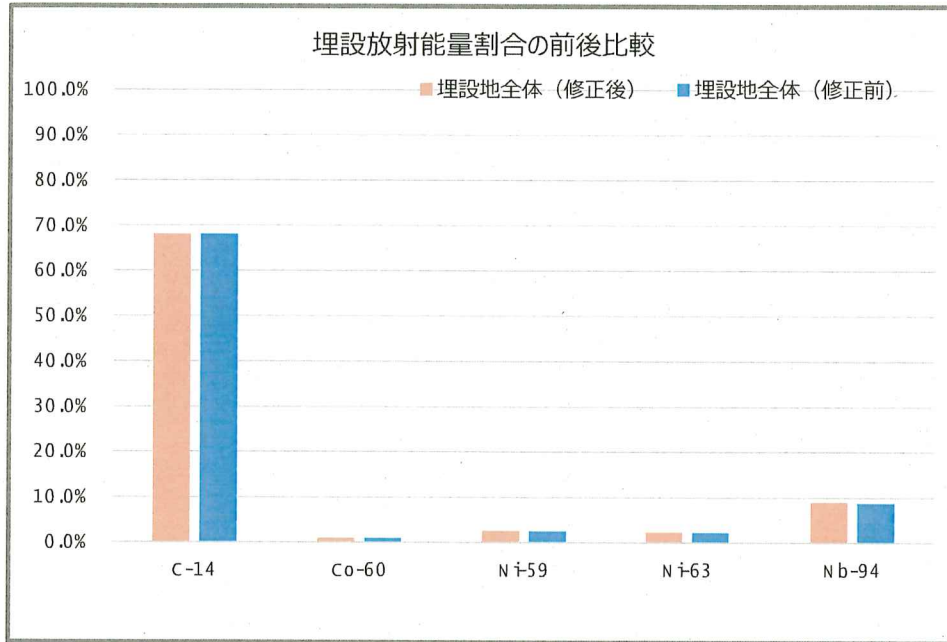
※1 2023年4月末時点の埋設実績を示す。

※2 下段は放射エネルギー管理値に対する埋設放射エネルギーの割合

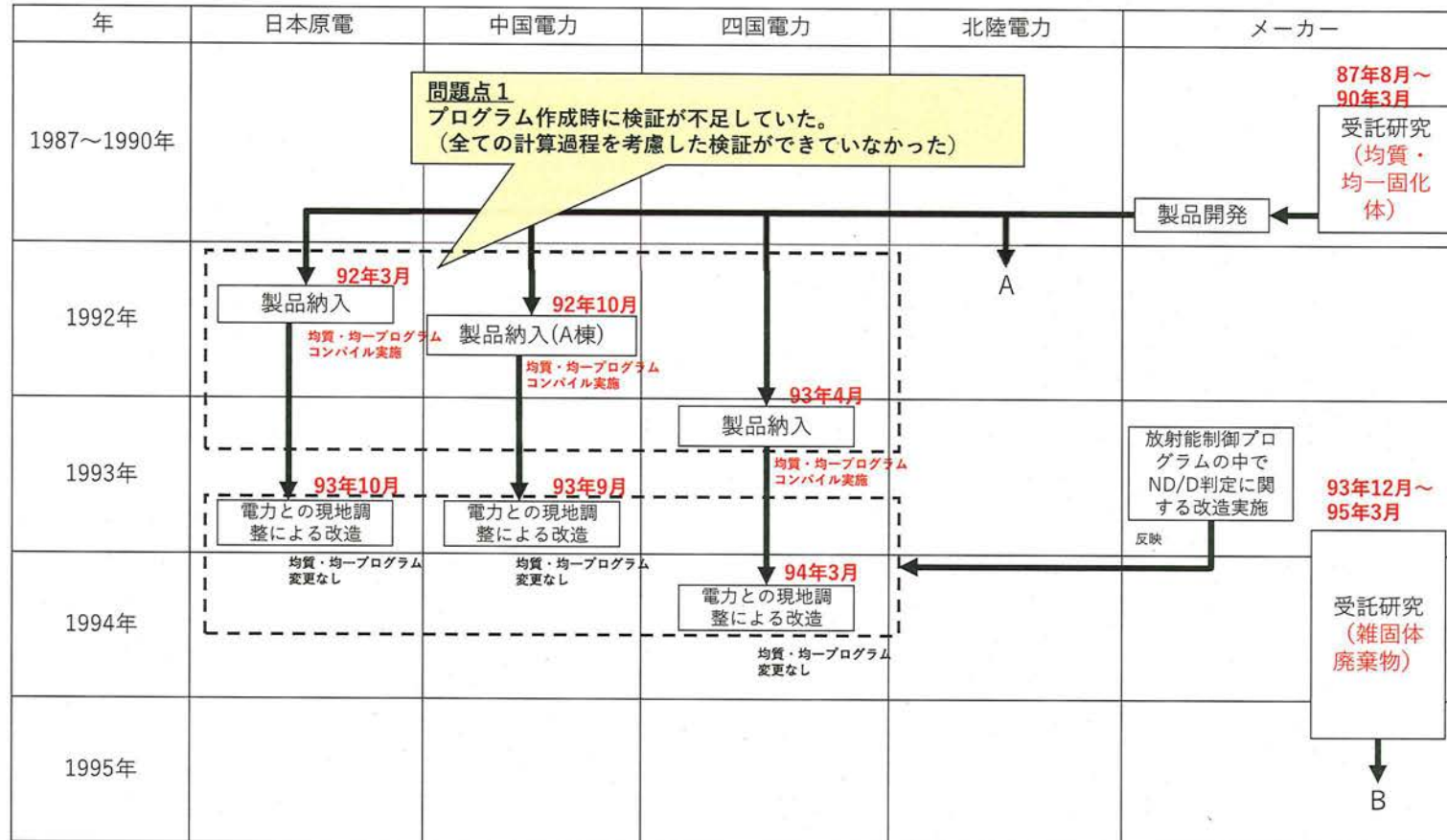
※3 記載のない核種は変更なし

※4 ハッチング箇所は、再評価に伴う最大増加量の箇所を示す。

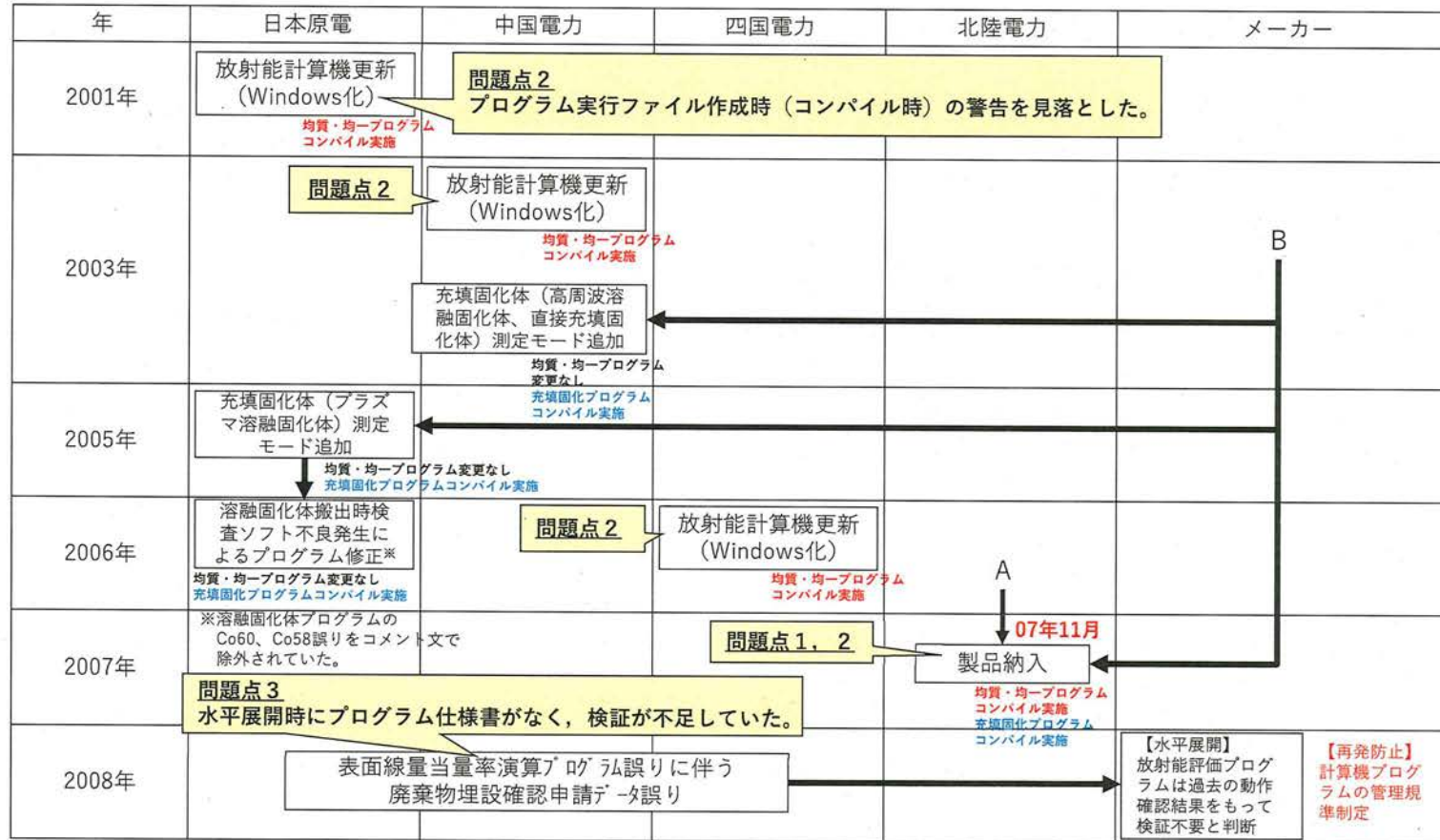
【1号放射エネルギーの割合】



出来事流れ図(1/3)



出来事流れ図(2/3)



出来事流れ図(3/3)

年	日本原電	中国電力	四国電力	北陸電力	メーカー
2010年	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">放射能計算機更新</div> <small>均質・均一プログラム 充填固化プログラム 変更なし</small>				B
2011年			<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">充填固化体（直接充填固化体）測定モード追加</div> <small>均質・均一プログラム 変更なし 充填固化プログラム コンパイル実施</small>	←	↓
2015年	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">充填固化体（直接充填固化体）測定モード追加</div> <small>均質・均一プログラム 変更なし 充填固化プログラム コンパイル実施</small>				
2016年	<small>均質・均一プログラム 変更なし 充填固化プログラム コンパイル実施</small>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">製品納入(D棟)</div> <small>均質・均一/充填固化プログラム 変更なし (A棟のプログラムをコピー)</small>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">放射能計算機更新</div> <small>均質・均一プログラム 充填固化プログラム 変更なし</small>		
他プラント不具合：廃棄物埋設確認申請データ誤り 【水平展開】同一のプログラム誤りが無いことを確認					
2017年			<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">低レベル放射性廃棄物搬出検査装置放射能計測データ採取不良</div>	→	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">【水平展開】放射能評価プログラムは過去の動作確認結果をもって検証不要と判断</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">【再発防止】ソフトウェア組込み品の調達ガイドライン制定</div>
2019年	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">12核種合計放射能量のD/ND識別の不備</div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">問題点3</div>	→	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">【水平展開】放射能評価プログラムは左記不具合と関係ないため対象外</div>
2022～2023年				<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">事象発生</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Windows10対応版プログラム社内開発にてプログラム誤りを確認</div>

過去の不具合における水平展開の実施状況(1/2)

添付資料(9)

LLW検査装置を構成する各プログラムの機能検証、プログラム検証状況を以下に示す。
過去の不具合(2008年、2016年、2017年、2019年)時に放射能評価プログラム以外のプログラム検証は実施している。

No.	構成機器		調達先	機能検証			プログラム検証						
				1989年	1994年	年次点検	1992年	2008年	2016年	2017年	2019年	2023年	
				受託研究*1	受託研究*2	実大校正線源	納入時	線量当量率演算誤り	他社放射能演算誤り	スライス欠損	帳票不備	未定義引数誤り	
0	影響プラント (全社に水平展開実施済)		-	-	-	-	島根/伊方/敦賀	-	島根/伊方/志賀/敦賀	島根/敦賀	島根/伊方/志賀/敦賀		
1	検査ユニット (Ge検出器などの機器)		H社	-	-	A	-	-	-	-	-		
2	計測用計算機 ・表面汚染密度演算 ・線量当量率演算 ・伝播速度演算		H社	-	-	A	A*4*6	B1	-	C	-		
3	放射能計算機	計測処理プログラム		P社	-	-	A	A*4*6	-	-	C*5	-	
		放射能評価プログラム 均質・均一固化体	MODE1	当該メーカー	A*3*6	-	(A)	(A)*4*6	-*7	-*8	-*7	-	E / F
			MODE2		(A)*3*6	-	(A)	(A)*4*6	-*7	-*8	-*7	-	E / F
			MODE3		A*3*6	-	A	A*4*6	-*7	-*8	-*7	-	E / F
			充填固化体		A*3*6	A*3	A	A*4*6	-*7	-*8	-*7	-	E / F
放射能測定制御プログラム		H社	-	-	A	A*4*6	B2	B3	C	-	-		
4	制御用計算機		H社	-	-	A	A*4*6	B1	-	C	D		
5	管理用計算機		H社	-	-	A	A*4*6	-	-	-	D		

【水平展開内容】

- 計測用計算機、放射能測定制御プログラム、制御用計算機のプログラム内容(演算処理)を2008年に確認
- 個々のプログラムでは確認できない組合せ時インタフェース部仕様を2017年に確認
- 制御用計算機と管理用計算機の要求仕様とプログラム内容を2019年に確認

-対象外、()付きは動作確認で網羅されたと考えていた範囲

放射能評価プログラムだけは過去の動作確認や水平展開箇所だけのプログラム確認を以って検証不要としていたため、過去の不具合においても検証されていなかった

過去の不具合における水平展開の実施状況(2/2)

【前頁の記号説明】

- A : 受託研究及び1992年納入時、年次点検にて機能・性能を確認
- B1 : ソースコード内の演算式が正しく入力されていることを確認
- B2 : 計算機からの出力データと手計算で求めた計算結果を比較して確認
- B3 : 他社不具合箇所に関連する演算子、プログラムをソースコードで確認
- C : 各計測器と計算機間のインタフェース確認、エラー時の停止処理確認
社内的に出力値で確認できない内部処理はソースコードで確認
- D : ソースコードを確認し、仕様通り出力されることを確認
- E : 当該以外にCo-58, Co-60の引数誤りがないことをソースコードで確認
及び、コンパイラによる警告確認
- F : 模擬スペクトルによる検証

【前頁の注記】

- *1 : 受託研究：「廃棄体の放射能測定装置の実用化研究」（平成元年度） [均質固化体/雑固体]
- *2 : 受託研究：「放射能測定装置の雑固体廃棄体への適用方策に関する研究」（平成6年度）
- *3 : 実廃棄体による動作確認を実施
- *4 : 実大校正線源による動作確認を実施
- *5 : 調達先汎用プログラムであり、調達先にて検証
- *6 : プログラムの妥当性を確認(推定：エビデンス無)
- *7 : 動作確認結果を以って検証不要とした
- *8 : 他社水平展開として、ソースコードへの文字列検索により、「log」「ln」が含まれていないことを確認。

過去の不具合事例における原燃対応実績

添付資料 (10)

- ◆ 過去の不具合事例を受け、電力各社との合意事項を定めた「監査ガイドライン」含む社内規程類の見直し、水平展開調査を実施

		2007年	2008年	～	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
過去不具合事例 (影響プラント)	表面線量当量率演算プログラムに係る設定値の誤り (2007年12月)	▼ (影響プラント: 美浜)		～							
	放射能演算プログラムの不備 (2016年2月)			～	▼ (影響プラント: 玄海)						
	放射能測定プログラムの不具合 (2017年8月)			～		▼ (影響プラント: 島根・伊方・志賀・敦賀)					
原燃社内規程類の変遷 (是正処置)	監査ガイドライン	▼初版制定 (監査型)	▼改正1 (検査装置新設・改造時の妥当性確認を追記)	～	▼改正4 (検査装置の演算に係る全てのプログラムを確認する旨の追記)	▼改正5 (汎用機器を含むエラー信号のインターフェースを検証する旨の追記)					
	監査細則	▼初版制定 (監査型)		～			▼改正10 (自主検査監査時に検査装置の始業前点検に立会い、点検状況を確認する旨の対応を追記)				
原燃監査等の実績 (水平展開)	表面線量当量率演算プログラムに係る設定値の誤り (2007年12月) に対する水平展開		▼水平展開調査	～							
	放射能演算プログラムの不備 (2016年2月) に対する水平展開			～	▼水平展開調査	▼水平展開に係る監査	▼水平展開に係る監査		▼水平展開に係る監査		
	放射能測定プログラムの不具合 (2017年8月) に対する水平展開			～		▼水平展開調査	▼水平展開に係る監査	▼水平展開に係る監査			▼水平展開に係る監査

過去の不具合事例における原燃対応実績

○水平展開の調査内容

◆ 計算演算に関する設定値の入力・演算結果・設定根拠について確認

過去不具合	不具合概要	水平展開範囲	水平展開の調査内容
<p>表面線量当量率演算プログラムで使用するパラメータの一部設定ミス (2007年12月)</p> <p>美浜発電所</p>	<ul style="list-style-type: none"> 表面線量当量率演算プログラム内に使用しているパラメータに設定ミス(充填固化体用の下面および側面の「換算定数」が入れ替わった値で設定)があり、線量当量率の測定結果が低めに演算されていた。 均質・均一固化体および熔融固化体の側面に関する「感度補正係数」に誤った値が設定されており、線量当量率の測定結果が高めに演算されていた。 	<p>【対象発電所】 全発電所(東通、福一除く)</p> <p>【対象プログラム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 放射能測定 表面汚染密度測定 線量当量率測定 重量測定 上部空隙測定 一軸圧縮強度測定 硬さ値測定 	<p>【調査内容】</p> <p>○放射能測定プログラム</p> <ul style="list-style-type: none"> 演算に関する全ての設定値(プログラム内部含む)が正しく入力されていること。 演算結果が妥当であること。 設定値の設定根拠が妥当であること。

過去の不具合事例における原燃対応実績

○水平展開の調査内容

◆ 計算が発散するプログラムの有無やメーカー制作プログラムと汎用プログラムの取り合いについて確認

過去不具合	不具合概要	水平展開範囲	水平展開の調査内容
放射能演算プログラムの不備 (2016年2月) 玄海原子力発電所	<ul style="list-style-type: none"> 放射能濃度測定装置の演算プログラムにおいて、計算が発散するようなパラメータ「log0」を設定していたため、演算プログラムが正常に処理されず、出力データが上書き更新されなかった結果、更新前のデータが当該廃棄体の測定データとしてデータ処理装置に送信された。 	<p>【対象発電所】 全発電所（東通、福一除く）</p> <p>【対象プログラム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 放射能測定 表面汚染密度測定 線量当量率測定 重量測定 	<p>【調査内容】</p> <p>○放射能測定プログラム</p> <ul style="list-style-type: none"> 「log0」の設定値が入力された状態のプログラムの有無 発散・異常停止等があった場合、エラーを出力する仕様か 特定条件等により、類似事象（発散）が発生するようなプログラムの有無 <p>○表面汚染密度測定、表面線量当量率測定、重量測定プログラム</p> <ul style="list-style-type: none"> 「検出器の測定値採取」～「データ処理」～「検査結果帳票」にいたるまでのデータの流れにおいて、測定値はどのように装置内に格納・更新されるか プログラムの発散・異常停止等があった場合、何らかのエラーを出力する仕様になっているか
放射能測定プログラム不具合 (2017年8月) 島根原子力発電所 伊方発電所 志賀原子力発電所 敦賀発電所	<p>【1スライス欠損】</p> <ul style="list-style-type: none"> 汎用プログラムである放射能解析プログラムから「測定異常」のエラー信号が発信される機能が有るにも関わらず、当該メーカーは、検査装置のシステム設計時にその機能を有しているとの認識がなく、エラー取り込みに係るロジック設計に問題が生じた。 <p>【4スライス欠損】</p> <ul style="list-style-type: none"> 自動運転中にスペクトルを表示させるためMCA制御プログラムを操作した場合、データが回収されず次スライスへの測定に移行するようなメーカー制作プログラムとなっていた。 	<p>【対象発電所】 全発電所（東通、福一除く）</p> <p>【対象プログラム】</p> <ul style="list-style-type: none"> 放射能測定 表面汚染密度測定 線量当量率測定 重量測定 上部空隙測定 一軸圧縮強度測定 硬さ値測定 	<p>【調査内容】</p> <p>○放射能測定プログラム：1スライス欠損</p> <ul style="list-style-type: none"> 汎用機器に付属するプログラムからのエラー信号の仕様をどのように確認しているか。 汎用機器に付属するプログラムから発信されるエラー信号によって、廃棄体の検査を行う者がエラーを認知または装置が停止する機能を有しているか。 <p>○放射能測定プログラム：4スライス欠損</p> <ul style="list-style-type: none"> 自動運転中にMCA制御プログラムのスペクトルを表示させる機能を有しているか。 自動運転中にMCA制御プログラムのスペクトルを表示させても、データが正常に保存されるか。 <p>○全測定プログラム</p> <ul style="list-style-type: none"> 検査装置の測定に用いる全てのプログラムにおける汎用プログラムとメーカー制作プログラムとの取合い確認 全てのプログラムは異常を検知し、廃棄体の検査を行う者にエラーを認知および検査装置を停止する等の適切な処理が行われることの確認