

平成 29 年度原子力規制庁委託成果報告書

東京電力福島第一原子力発電所プラント内
核種移行に関する調査

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

平成 30 年 3 月

本報告書は、原子力規制委員会原子力規制庁からの委託により実施した業務の成果を取りまとめたものです。

本報告書に関する問合せは、原子力規制庁までお願いします。

目次

1. 目的	1
2. 実施内容	1
2.1. 公開情報の分析に係る調査	2
2.1.1. 公開情報の収集・整理	2
2.1.2. 現時点で把握可能な核種の移行挙動	3
2.2. 建屋内試料の分析計画作成に係る調査	16
2.2.1. 実施可能かつ効果的な分析計画の立案	16
2.2.2. 水試料中の I-129 分析計画の具体化	19
3. まとめ	24
参考文献	25

1. 目的

東京電力福島第一原子力発電所事故等を踏まえた重大事故（シビアアクシデント）時の対策や安全評価手法並びに安全対策の高度化に関連する技術的知見を取得するために、東京電力福島第一原子力発電所（以下「1F」という。）プラント内における核種の移行に関する公開情報の収集・整理を行うとともに、プラント内における核種移行挙動の把握のために、水や固相試料の分析に係わる検討を実施した。

2. 実施内容

1F プラント内核種移行に関する調査として、公開情報の分析に係る調査及び 1F 建屋内試料の分析計画の作成に係る調査を実施した。

このうち、「公開情報の分析に係る調査」については、今後の調査対象核種や構造材元素の優先順位付けを行うことも念頭に、プラント内における核種の濃度や分布に関連する公開情報の収集・整理を行い、現時点で把握可能な核種の移行挙動について取りまとめた。調査対象は 1F サイト内の汚染水、建屋内線量、がれき、土壌等を分析した結果の公開情報とした。また、経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）の 1F 関連プロジェクトから情報収集を行った。

「1F 建屋内試料の分析計画の作成に係る調査」については、1F プラント内の核種移行挙動を把握するために必要な実施可能かつ効果的な分析計画を立案した。計画の立案においては下記項目を検討対象とした。

- ・ 1F プラント内の水や固相試料を分析する場合に、有用な分析対象試料の選定
- ・ 上記試料に対する分析項目の選定及び分析手法の検討
- ・ 上記試料の取得方法の検討
- ・ 分析に利用可能なホット施設の検討（許認可も含めて）

また、本計画においては、事故時のヨウ素の移行挙動を解明するために有用と考えられる I-129 を優先順位の高い分析対象の一つとし、その化学種の同定方法についても検討した。

【2.1 公開情報の分析に係る調査】

既存情報の整理

現時点で把握可能な核種移行挙動の整理（SA 時のソースターム評価への有用性として優先順位の高いもの）

【2.2 建屋内試料の分析計画作成に係る調査】

ソースターム評価に有用な試料の選定（炉心部も含めて幅広く）

（今後実施）

ソースターム評価に有用な分析対象試料の選定

分析計画の立案（受入方法、分析施設も）

有用な分析対象試料のうち水試料中の I-129 の分析方法の検討

2.1. 公開情報の分析に係る調査

これまでに東京電力、日本原子力研究開発機構（JAEA）、国際廃炉研究開発機構（IRID）から公開された、滞留水、水処理設備処理水、がれき、土壌、格納容器内堆積物、その他固体廃棄物試料に係る分析データに加えて、原子炉格納容器内部やタービン建屋等の建屋内線量などの調査結果、復水器内貯留水の水抜き作業に関する情報、並びに OECD/NEA の 1F 関連プロジェクト（BSAF-2 等）から収集した情報を整理するとともに、整理した情報から、現時点で把握可能な核種の移行挙動について取りまとめた。

取りまとめに当たっては、1F 事故を踏まえたシビアアクシデント時の対策や安全評価手法及び安全対策の高度化に資することができる技術的知見としての重要性の視点も踏まえた。

2.1.1. 公開情報の収集・整理

1F プラント内における核種の濃度や分布に関連する公開情報を収集・整理した。

2016（平成 28）年 3 月末までに東京電力、JAEA、IRID が公開した分析データについては、浅見ら⁽¹⁾によって整理されている（以下「浅見らによる分析データ集」という。）。

本調査では、2016（平成 28）年 3 月以降の公開の情報源として、「特定原子力施設・監視・評価委員会」、「原子力規制庁面談記録（2016.3 以降）」、「たまり水週報」、「廃炉・汚染水対策福島評議会」、「廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議」、「IRID 情報」、「JAEA 情報」、「BSAF 情報」を対象に、ウェブページから情報を収集した。浅見らによる分析データ集にその後公開された分析データを加えて作成した汚染水中の濃度推移の例（プロセス主建屋滞留水中の Cs-137 濃度の推移）を図 2.1.1-1 に示す。

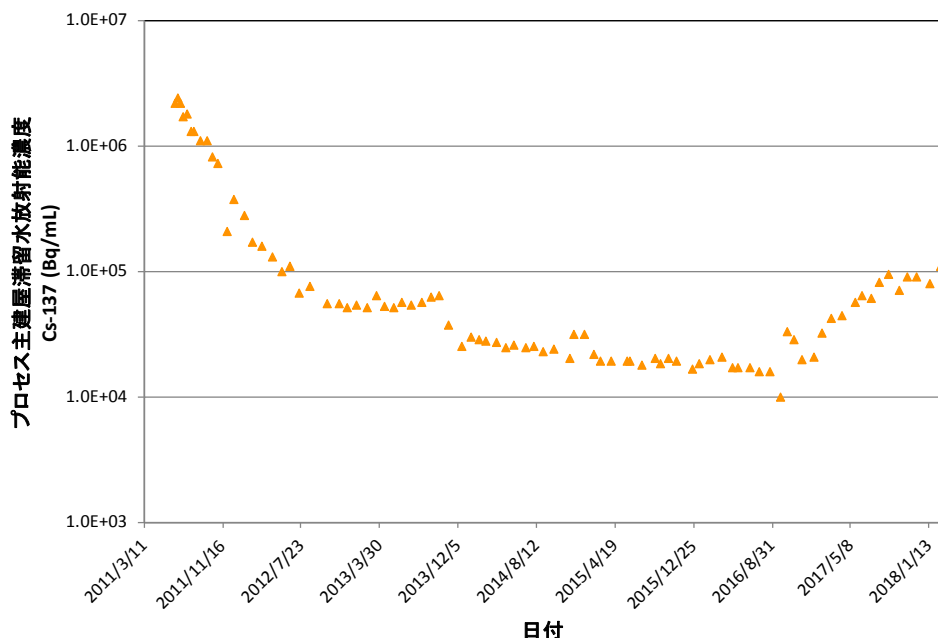


図 2.1.1-1 プロセス主建屋滞留水中の Cs-137 濃度（Bq/mL）の推移

収集した情報は、情報源ごとにフォルダを作成し日付でソートできるようにして収録するとともに、エクセルファイルの一覧表を作成した。情報を収録したフォルダ及び一覧表のエクセルファイルは DVD-ROM に収納した。

また、一覧表（添付資料 1 を参照）では 6 つのキーワード（A：水試料、B：固相試料データ、C：線量、D：セシウム以外の元素・核種、E：試料の輸送、F：格納容器/原子炉建屋）を定め、情報の中に該当するキーワードがあれば○を付け、キーワードに関する情報（資料）を検索できるようにした。これらのキーワードのうち、特に D と F は、シビアアクシデント時の対策や安全評価手法並びに安全対策の高度化に関連する技術的知見を取得する観点で、今後の調査対象とすべき核種や構造材元素の優先順位付けを行うことを念頭に設定したものである。

キーワード D に関しては、OECD/NEA の 1F 関連プロジェクト「Analysis of Information from Reactor Buildings and Containment Vessels of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (ARC-F)」においても、シビアアクシデント時における核種移行把握の観点から興味深い 1F プラント内試料情報として、「I-129、cesium、strontium、actinides、molybdenum、organic materials」が挙げられている。

2.1.2. 現時点で把握可能な核種の移行挙動

1F プラント内における核種の濃度や分布に係るデータのうち、事故当時における核種移行に関する情報が得られる又は傍証となり得る可能性のあるデータを整理した。

（１）固相試料

固相試料については、2.1.1.で整理した情報のうち、キーワード F に該当する情報を対象に格納容器（Primary Containment Vessel: PCV）又は原子炉建屋（Reactor Building: R/B）において採取された試料を整理した上で、それらの中から、キーワード D に該当するセシウム以外の核種・元素の分布状態を整理した。

キーワード F に該当する格納容器又は原子炉建屋（R/B）内で採取された試料の一覧を表 2.1.2-1 に示す。

表 2.1.2-1 格納容器 (PCV) 又は原子炉建屋 (R/B) 内で採取された試料

試料名	採取場所	採取時期	形状, 材質	試料数	文献番号
1RB-AS	1 号機 R/B 1F	2013 (平成 25) 年 10 月	コンクリート、 表面塗膜、保温材	6	2
1RB-DE	1 号機 R/B 1F	2014 (平成 26) 年 2 月	コア表面塗膜	1	
2RB-DE	2 号機 R/B 5F	2014 (平成 26) 年 1, 2 月	デッキプレート	5	
3RB-AS	3 号機 R/B 1F	2014 (平成 26) 年 3 月	コンクリート、 保温材	7	
1RB-CR	1 号機 R/B 5F	2015 (平成 27) 年 10 月	コンクリート	14	3
1RB-OP	1 号機 R/B オペレー ティング フロア	2016 (平成 28) 年 4 月	コンクリート (ボーリングコア)、 塗膜	6	4
1 号機 PCV 底部 堆積物	1 号機 PCV 底部	2017 (平成 29) 年 4 月	浮遊物	4	5, 6
2 号機 TIP 配管内 閉塞物	2 号機 PCV TIP 配管	2013 (平成 25) 年 7 月	(ケーブル先端に 付着したサンプル)	5	
2 号機 堆積物 除去装置 付着物	2 号機 PCV 制御棒駆動 機構交換 レール	2017 (平成 29) 年 2 月	(綿棒 2 本で採取)	2	
3 号機 水中ロボ 付着物	3 号機 ペDESTAL 下方	2017 (平成 29) 年 7 月	(スミヤろ紙 1 枚、 綿棒 1 本で採取)	2	
1 号機 R/B エア ロック 堆積物	1 号機 PCV 貫通部下部 床面	2015 (平成 27) 年 12 月	(スミヤろ紙 1 枚)	1	6, 7

表 2.1.2-1 に示した試料のうち、セシウム以外の元素・核種を対象とした分析が行われているものを対象に、ガンマ核種、ベータ核種、アルファ核種及び非放射性の元素についての分析結果をそれぞれ表 2.1.2-2～表 2.1.2-5 に示す。また、表 2.1.2-1 に示した試料のうち、原子炉建屋内において採取された試料の位置と表 2.1.2-2～表 2.1.2-5 に示した核種の分布との関係を図 2.1.2-1～図 2.1.2-3 に示す。これらの情報から、事故時に格納容器 (PCV) 内では核種が原子炉圧力容器にとどまらず、格納容器の底部及び配管を通じ原子炉建屋との境界にまで移行したことがわかる。また事故時に核種の一部が格納容器から放出され、原子炉建屋内の 1 階から 5 階までに分布したことが分かる。

表 2.1.2-2 ガンマ核種の分析結果

試料名	ガンマ核種					
	60Co	94Nb	137Cs	152Eu	154Eu	Sb-125
1RB-AS	○	-	○	○	○	
1RB-DE	○	-	○	-	-	
2RB-DE	○	-	○	-	-	
3RB-AS	○	-	○	-	○	
1RB-CR	○	-	○	-	○	
1RB-OP	○	-	○	-	○	
1号機 PCV 底部堆積物	○	-	○	-	-	○

○：検出された核種、-：検出限界以下、空欄：未実施

表 2.1.2-3 ベータ核種の分析結果

試料名	ベータ核種									
	3H	14C	36Cl	59Ni	63Ni	79Se	90Sr	99Tc	126Sn	129I
1RB-AS	○	○	-	-	-	-	○	○		○
1RB-DE	○	○				-	○			
2RB-DE	○	○	-	-	-	-	○	○		-
3RB-AS	○	○	-	-	-	○	○	○		○
1RB-CR	○	○			○	○	○	-	-	○
1RB-OP	○	○			○	○	○	○	-	○

○：検出された核種、-：検出限界以下、空欄：未実施

表 2.1.2-4 アルファ核種の分析結果

試料名	アルファ核種											
	233 U	234 U	235 U	236 U	238 U	237 Np	238 Pu	239+240 Pu	242 Pu	241 Am	243 Am	244 Cm
1RB-AS	-	○	○	-	○	-	○	○	-	-	-	○
1RB-DE												
2RB-DE	-	-	○	-	○	-	○	-	-	○	-	○
3RB-AS	-	○	○	-	○	-	○	○	-	-	-	○
1RB-CR							○	○		○		○
1RB-OP							○	○		○		○

○：検出された核種、-：検出限界以下、空欄：未実施

表 2.1.2-5 非放射性の元素の分析結果

試料名	構造材料	その他	文献番号
1 号機 PCV 底部堆積物	Fe, Zn, Ni	(U)	5
2 号機 TIP 配管内閉塞物	Fe, Cr, Ni, Mn	Mo, Cl	

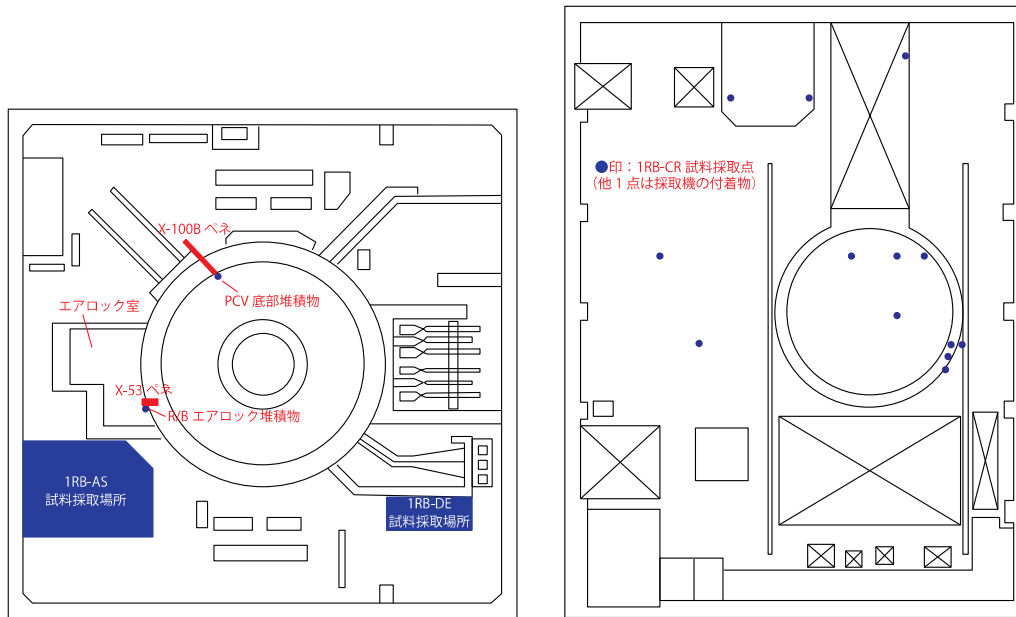


図 2.1.2-1 1 号機原子炉建屋 (左図：1 階、右図：5 階)

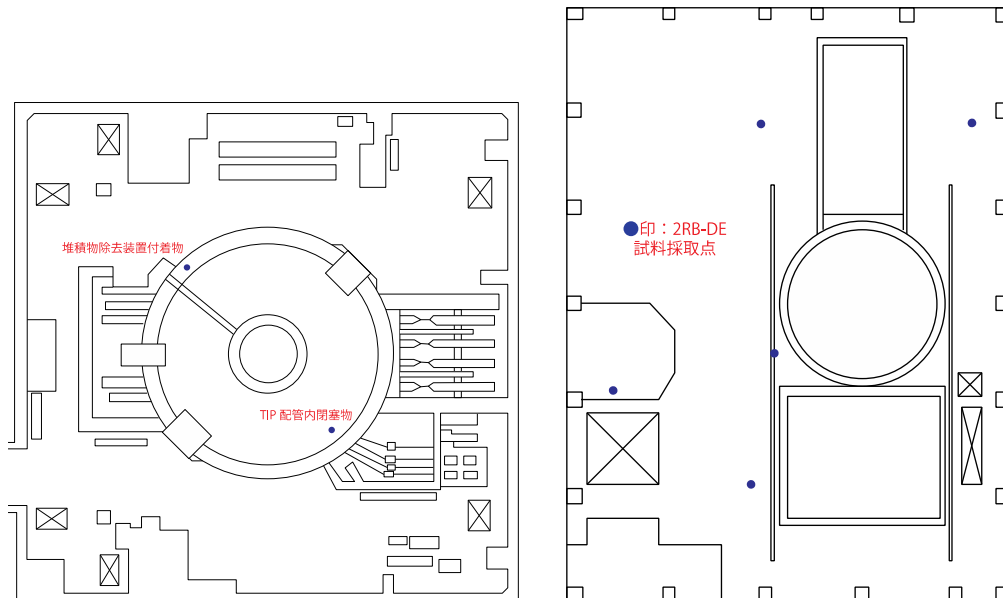


図 2.1.2-2 2 号機原子炉建屋 (左図：1 階、右図：5 階)

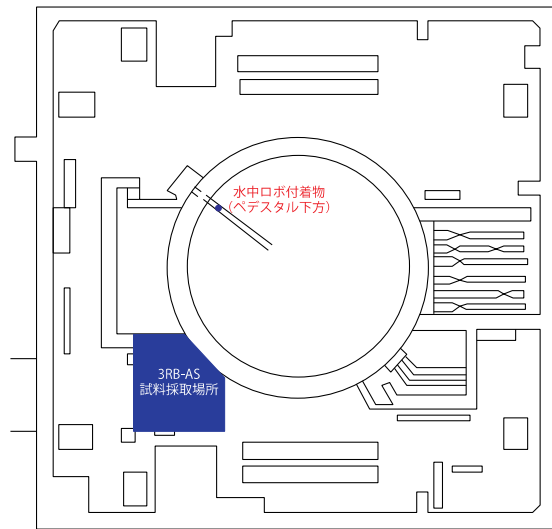


図 2.1.2-3 3号機原子炉建屋1階

(2) 水試料

1, 2, 3号機の原子炉建屋及びタービン建屋に大量の汚染水が発生したことは、事故時に格納容器の一部が破損し、原子炉を冷却するために注入された水が格納容器内にとどまらずに原子炉建屋、さらにはタービン建屋へ流出したことを示している。この汚染水については、セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置、除染装置等の水処理設備によって処理がなされてきた。この水処理によって、現在の汚染水は事故発生直後の汚染水と同じものではなくっており、現在の汚染水試料を分析しても、事故時の核種移行挙動について有用な情報が得られることは期待できない。ただし、事故当時における核種移行に関する情報又は傍証が得られる可能性のある水試料が現存するかもしれない。

そこで、原子炉を冷却するために注入された水に溶解したと考えられる放射性ヨウ素及び放射性セシウムのうち、吸着性が極めて低くかつ半減期が極めて長いI-129に着目し、I-129が事故当時のままの濃度に近い濃度で現在も存在している可能性のある滞留水や貯留水の一次候補として、以下のa)～e)を選定した。

- a) 復水器内滞留水
- b) タービン建屋の孤立したエリアの滞留水
- c) 格納容器内の滞留水のうち水底近くの水（3号機水深6.5 m）
- d) 2016（平成28）年10月以降のプロセス主建屋の滞留水
- e) 3号機原子炉建屋のHPCI室等の高濃度滞留水

1Fプラントにおけるa)～c)及びe)の滞留水等が存在する場所を図2.1.2-4及び図2.1.2-5、d)については図2.1.2-6に示す。

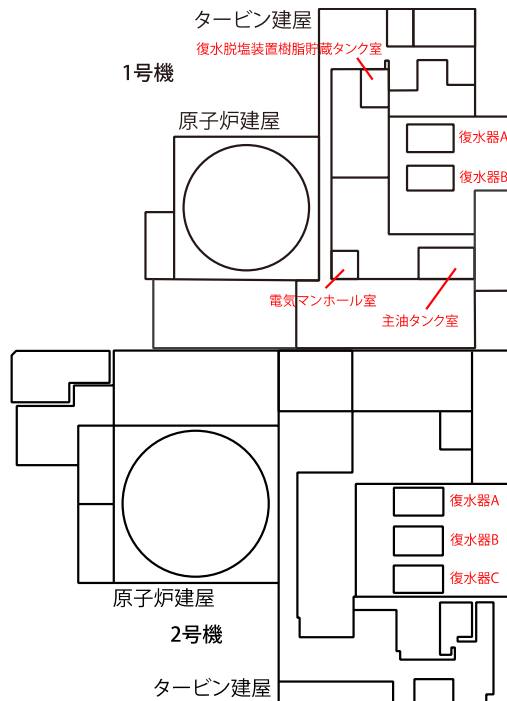


図 2.1.2-4 1F プラントにおける a) ～c) 及び e) の滞留水等が存在する場所
(1号機及び2号機とその周辺)

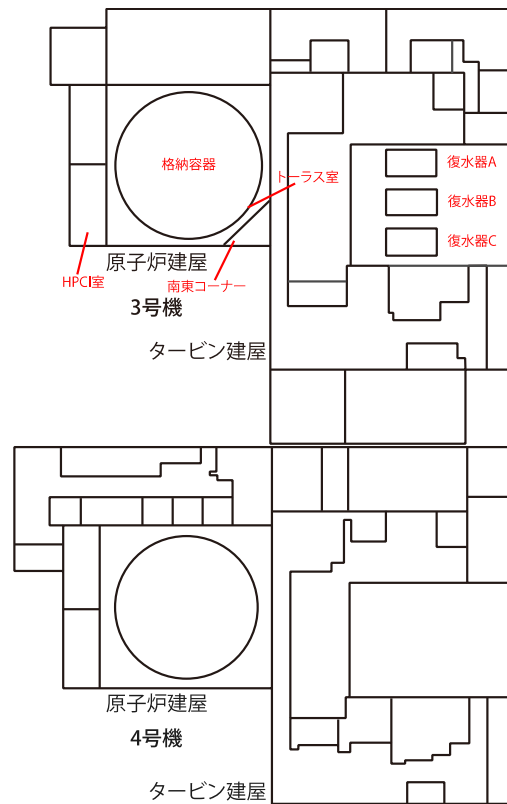


図 2.1.2-5 1F プラントにおける a) ～c) 及び e) の滞留水等が存在する場所
(3号機及び4号機とその周辺)

a) ～e) について、I-129 が事故当時のままの濃度に近い濃度で現在も存在している可能性のある滞留水や貯留水（以下「有用な水試料」という。）の一次候補として選定した理由と、その妥当性についての検討結果及び候補の絞り込み結果を以下に示す。また、2.1.1.で整理した情報と浅見らによる分析データ集を踏まえて、候補として挙げた有用な水試料中の I-129 の濃度等についての情報を整理した。

a) 復水器内貯留水

事故発生後、2011 年（平成 23）年 6 月頃から汚染水を貯めるタンクとして 1～3 号機の復水器が代用されており⁽⁸⁾、事故当時の核種濃度等の情報が保存されている可能性がある。復水器内貯留水は処理前の時点で、約 1,700 トンあり、2016（平成 28）年 10 月 5 日に 1 号機から順に水抜きを開始、2017（平成 29）年 12 月 18 日に汚染水の除去が完了している⁽⁹⁾。2018（平成 30）年 2 月 21 日現在、復水器内貯留水についての分析結果の一部が公表⁽¹⁰⁾されている。分析結果の一覧を表 2.1.2-6～表 2.1.2-8 に示す。分析のために採取された水試料は保管されている可能性はあるが、I-129 は分析対象となっていないことから、I-129 の濃度等の情報は得られていない。

表 2.1.2-6 1 号機復水器内滞留水中の放射能濃度の分析結果 (Bq/mL) ⁽¹⁰⁾

1 号機タービン建屋復水器 A			
試料採取日	試料採取時	90Sr (Bq/mL)	137Cs (Bq/mL)
2016（平成 28）年 3 月 30 日	10:30	1.09E+04	8.40E+05
2016（平成 28）年 11 月 28 日	12:20	2.06E+03	4.39E+04
2016（平成 28）年 12 月 6 日	12:00	7.51E+02	3.35E+03
2017（平成 29）年 7 月 10 日	11:00	1.51E+03	3.52E+04
2017（平成 29）年 8 月 2 日	9:55	8.44E+02	7.86E+03
2017（平成 29）年 8 月 7 日	10:30	1.74E+03	3.41E+04

1 号機タービン建屋復水器 B			
試料採取日	試料採取時	90Sr (Bq/mL)	137Cs (Bq/mL)
2016（平成 28）年 3 月 30 日	11:00	5.19E+04	1.57E+06
2016（平成 28）年 11 月 28 日	11:50	6.63E+01	1.45E+03
2016（平成 28）年 12 月 6 日	12:30	3.95E+03	9.71E+04

表 2.1.2-7 2号機復水器内滞留水中の放射能濃度の分析結果 (Bq/mL) ⁽¹⁰⁾

2号機タービン建屋復水器 A			
試料採取日	試料採取時	90Sr (Bq/mL)	137Cs (Bq/mL)
2016 (平成 28) 年 12 月 21 日	10:00	1.21E+04	4.97E+05

2号機タービン建屋復水器 B			
試料採取日	試料採取時	90Sr (Bq/mL)	137Cs (Bq/mL)
2016 (平成 28) 年 12 月 20 日	10:00	1.28E+04	4.97E+05
2017 (平成 29) 年 4 月 5 日	12:40	1.04E+04	4.97E+05
2017 (平成 29) 年 4 月 12 日	12:35	9.53E+03	4.97E+05
2017 (平成 29) 年 11 月 13 日	10:19	9.24E+03	4.97E+05

2号機タービン建屋復水器 C			
試料採取日	試料採取時	90Sr (Bq/mL)	137Cs (Bq/mL)
2016 (平成 28) 年 12 月 20 日	11:00	1.38E+04	5.00E+05

表 2.1.2-8 3号機復水器内滞留水中の放射能濃度の分析結果 (Bq/mL) ⁽¹⁰⁾

3号機タービン建屋復水器 A			
試料採取日	試料採取時	90Sr (Bq/mL)	137Cs (Bq/mL)
2017 (平成 29) 年 1 月 6 日	10:30	1.43E+04	3.85E+05

3号機タービン建屋復水器 B			
試料採取日	試料採取時	90Sr (Bq/mL)	137Cs (Bq/mL)
2017 (平成 29) 年 1 月 5 日	10:30	6.90E+04	5.54E+05
2017 (平成 29) 年 6 月 1 日	10:30	8.52E+04	5.43E+05
2017 (平成 29) 年 12 月 11 日	10:40	4.47E+04	3.84E+05

3号機タービン建屋復水器 C			
試料採取日	試料採取時	90Sr (Bq/mL)	137Cs (Bq/mL)
2016 (平成 28) 年 12 月 27 日	10:00	2.94E+04	3.50E+05

b) タービン建屋の孤立したエリアの滞留水

東京電力によると、タービン建屋の孤立エリアとして、電気マンホール、主油タンク室、復水脱塩装置樹脂貯蔵タンク室が挙げられている⁽¹¹⁾。

廃炉・汚染水対策チーム会合における第 44 回事務局会議の議事概要⁽¹²⁾によると、東京電力は、1 号機タービン建屋の電気マンホール内の滞留水が事故直後に比べ若干薄まっている程度で存在していると述べている。

しかしながら、表 2.1.2-9 に示すように、電気マンホール内の滞留水中の Cs-137 の放射能濃度は、タービン建屋内の滞留水の放射能濃度とほぼ同程度であることから、電気マンホール内の滞留水もタービン建屋内の滞留水と同程度の希釈を受けている可能性が

高く、事故当時の核種濃度等の情報が保存されている可能性は低いと考える。

なお、2018（平成 30）年 2 月 21 日現在、「1 号機 T/B 電気マンホール水」についてのみ分析結果が公表されており、「1 号機 T/B 主油タンク室」及び「1 号機 T/B CD 樹脂貯蔵タンク室水」については、分析結果は公表されていないが、いずれの水試料についても、I-129 は分析対象となっていない⁽⁶⁾。

表 2.1.2-9 1 号機タービン建屋内の電気マンホール内の滞留水（No.1 及び No.2）と建屋内の滞留水の分析結果（Bq/mL）

試料名	採取日	3H	90Sr	137Cs	文献番号
No.1	2017（平成 29）年 7 月 5 日	5.82E+01	1.14E+03	7.55E+02	
No.2	2017（平成 29）年 7 月 5 日	4.34E+01	1.09E+03	3.44E+02	
滞留水	2016（平成 28）年 5 月 23 日	未測定	未測定	8.31E+02	10
	2016（平成 28）年 7 月 14 日	未測定	未測定	8.16E+02	
	2016（平成 28）年 9 月 16 日	未測定	未測定	8.43E+02	

c) 格納容器内の滞留水のうち水底近くの水（3 号機水深 6.5 m）

3 号機の格納容器内の滞留水中の Cs-137 濃度は、タービン建屋内の滞留水中の Cs-137 濃度に比べて 1 桁程度低い。この格納容器内の滞留水は、水面近傍（水深約 0.1 m 及び 0.7 m）から採取されており、わずか 0.6 m の水深の差で濃度に約 2 倍の差が存在することから、格納容器内の滞留水には核種濃度分布が存在していると考えられている⁽⁴⁾。デブリを冷却して核種を含んだ水は、格納容器の中で水面に降り注いでいると考えられ、降り注いだ水は格納容器内滞留水と十分に混合せずに、格納容器の漏えい個所から流出していると想像できる。このような濃度の不均一が水面付近に存在することから、水深 6.5 m の底付近には、最近降り注いだ冷却水ではない水が滞留している可能性が考えられる。3 号機の格納容器とタービン建屋の滞留水についての分析結果の一覧を表 2.1.2-10 に示す。I-129 は分析対象となっていないことから、I-129 の濃度等の情報は得られていない。

特に、3 号機の格納容器内の水位は格納容器底部から約 6.5 m あり⁽¹³⁾、格納容器底部付近の水は 2018（平成 30）年 3 月時点では採取されていないが、燃料デブリの発熱による対流や水中ロボットによる調査によって攪拌されている可能性はあるものの、比較的 に事故当時に近い汚染水の情報が保存されている可能性がある。

表 2.1.2-10 3号機の格納容器（PCV）とタービン建屋の滞留水の放射能濃度の分析結果（Bq/mL）

試料名	採取場所	採取日	3H	90Sr	137Cs	文献 番号
LI-3RB 5-1	PCV 水面近傍 (水深約 0.1 m)	2015（平成 27） 年 10 月 22 日	3.5E+02	7.5E+03	1.8E+03	10
LI-3RB 5-2	PCV グレー チング近傍 (水深約 0.7 m)	2015（平成 27） 年 10 月 22 日	2.0E+02	4.4E+03	9.6E+02	
タービン 建屋 滞留水	3 号機 タービン建屋	2015（平成 27） 年 10 月 15 日	未測定	5.0E+03	2.2E+04	

d) プロセス主建屋の滞留水

図 2.1.2-6 に示すように、1～4 号機のタービン建屋滞留水は、プロセス主建屋や高温焼却炉建屋に移送され、タービン建屋の水位が低下後に原子炉建屋からの移送が行われている⁽¹⁴⁾。図 2.1.1-1 に示したように、プロセス主建屋における滞留水中の放射能濃度は、汚染水処理装置による環境浄化や地下水等の流入により 2016（平成 28）年 8 月時点では、移送開始直後に比べて低下している⁽¹⁵⁾。

しかし、図 2.1.2-7 に示すように、プロセス主建屋の滞留水中の Cs-137 濃度は 2016（平成 28）年 10 月から 2017（平成 29）年 11 月にかけて上昇した。

a) で述べたように、2016（平成 28）年 10 月は、1 号機の復水器内貯留水の処理及びプロセス主建屋への移送が開始された時期（復水器内貯留水の水抜き時期とプロセス主建屋への移送量については表 2.1.2-11 に示す）であることから、2016（平成 28）年 10 月から 2017（平成 29）年 11 月までの間においてプロセス主建屋から採取された滞留水については、事故当時における核種濃度等の情報が保存されている可能性があるが、1～3 号機の復水器内貯留水の他に、e) で述べる 3 号機原子炉建屋の放射能濃度の高い滞留水の影響も受けている可能性が高いと考えられる。

プロセス主建屋の滞留水については、2016（平成 28）年 3 月以降の公開の情報源から調査した結果、I-129 を分析対象とした試料は 1 件報告されており⁽¹⁶⁾、その濃度は検出限界以下（ $< 5 \times 10^{-2}$ Bq/mL）である。

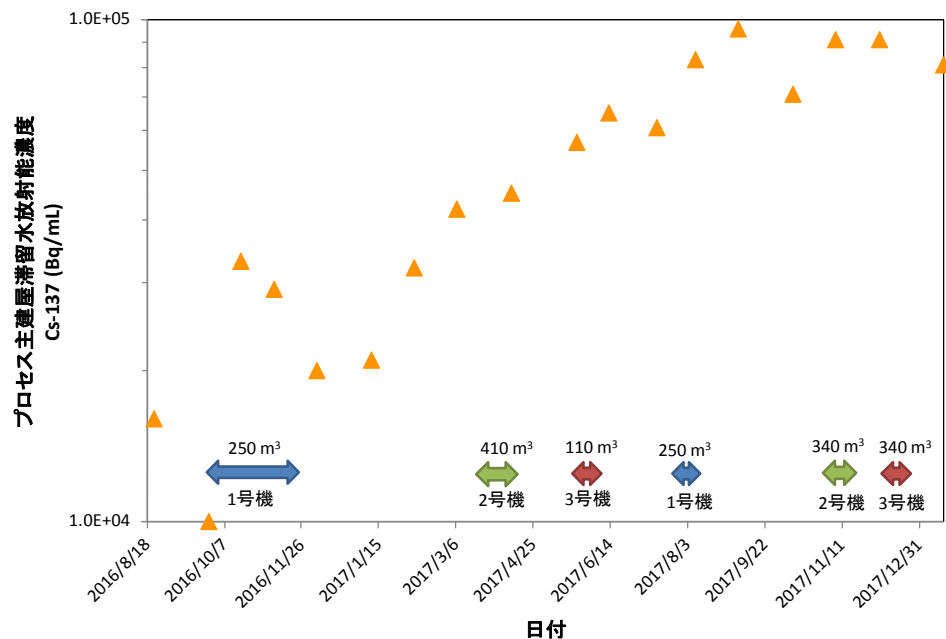


図 2.1.2-7 プロセス主建屋滞留水中の Cs-137 濃度 (Bq/mL) の推移と復水器内貯留水の水抜き時期、プロセス主建屋への移送量^(9, 15, 17)

表 2.1.2-11 復水器内貯留水の水抜き時期とプロセス主建屋への移送量^(9, 15, 17)

復水器	水抜き時期	移送量 (m ³)
1号機	2016 (平成 28) 年 10 月 5 日 – 11 月 25 日	250
	2017 (平成 29) 年 8 月 1 日 – 8 月 4 日	250
2号機	2017 (平成 29) 年 4 月 3 日 – 4 月 13 日	410
	2017 (平成 29) 年 11 月 6 日 – 11 月 17 日	340
3号機	2017 (平成 29) 年 6 月 1 日 – 6 月 6 日	110
	2017 (平成 29) 年 12 月 4 日 – 12 月 15 日	340

e) 3号機原子炉建屋の HPCI 室等の高放射能濃度滞留水

図 2.1.2-7 に示したように、2016 (平成 28) 年 10 月から 2017 (平成 29) 年 11 月にかけてプロセス主建屋の滞留水中の放射能濃度が上昇し続けており、この要因について、東京電力は、復水器内貯留水の移送は一時的な濃度上昇に寄与するものの、継続上昇の要因にはならないと評価している⁽¹⁵⁾。また、それ以外の要因として東京電力は、3号機のタービン建屋の水位低下により、原子炉建屋からの高い放射能濃度の滞留水が引き出されたためと推定している⁽¹⁵⁾。つまり、原子炉建屋には、表 2.1.2-12 に示す HPCI 室等の放射能濃度の高いエリアがあり、これら放射能濃度の高いエリアにおける滞留水が、3号機のタービン建屋の水位の低下に伴い、徐々に広がり、移送先であるプロセス主建屋の滞留水放射能濃度が上昇したと推定している。

3号機原子炉建屋の HPCI 室等の高放射能濃度滞留水の放射能濃度は、表 2.1.2-9 に示した 1号機タービン建屋内の電気マンホール内の滞留水等に比べて著しく高く、事故当時における核種濃度等の情報が保存されている可能性がある。

分析のために採取された水試料は保管されている可能性はあるが、I-129 は分析対象と

なっていないことから⁽¹⁰⁾、I-129 の濃度等の情報は得られていない。

表 2.1.2-12 3号機原子炉建屋内の高放射能濃度滞留水分析結果 (Bq/mL)

採取場所	採取日	3H	90Sr	137Cs	文献 番号
トーラス室	2017 (平成 29) 年 12 月 13 日	8.60E+03	5.28E+04	5.90E+05	10
南東コーナー (階段下)	2017 (平成 29) 年 12 月 13 日	1.09E+04	5.74E+04	7.39E+05	
HPCI 室	2017 (平成 29) 年 4 月 20 日	5.73E+03	3.42E+04	4.45E+05	
【参考】3号機 PCV 器内滞留水 (水面近傍)	2015 (平成 27) 年 10 月 22 日	2.71E-01	7.41E+03	1.64E+03	

以上の検討結果を踏まえ、有用な水試料として以下のものを選定した。いずれについても、これまでに I-129 の分析は行われていない。

また、ヨウ素はセシウムのように吸着材等による徹底的な処理が行われていないことから、注水や水処理等における希釈履歴の推定が可能な水処理設備処理水が存在すれば、それも有用な水試料として選定すべきであるが、これまでの公開情報からは、そうした判定が行えるほどの十分な情報は得られていない。

a) 復水器内貯留水

: 既に除去が完了しており新たに採取することはできないが、これまでに採取された水試料が保管されている可能性はある。

c) 格納容器内の滞留水のうち水底近くの水 (3号機水深 6.5 m)

: 2018 年 3 月時点では採取されていないが、今後、水試料が採取される可能性はある。

e) 3号機原子炉建屋の HPCI 室等の高放射能濃度滞留水

: これまでに採取された水試料が保管されている可能性はある。

2.2. 建屋内試料の分析計画作成に係る調査

2.2.1. 実施可能かつ効果的な分析計画の立案

シビアアクシデント時のソースターム評価手法の検証や高度化に有用な情報として、1Fプラント内の核種移行挙動を把握するために必要な実施可能かつ効果的な分析計画を立案した。

(1) 有用な分析対象試料の選定

ソースターム評価手法の検証等の観点で、今後調査対象とすべき核種や構造材由来の元素等について優先順位付けを行ったうえで、これら核種等进行分析する場合における有用な分析対象試料を選定した。具体的には、2.1.2の検討結果を踏まえて、現時点では核種の濃度や分布に係るデータは得られていないものの、分析することによって、事故当時における核種移行に関する情報が得られる又は傍証となり得る可能性のある固相・水試料（以下「分析対象試料」という。）を選定した。

固相試料については、分析結果と事故当時の位置情報を関連付ける観点から、それ自体が移動するものではなく、建屋や構造の一部を採取したものであることが望ましい。さらに、試料の位置に気相又は液相で到達した核種が分析時点まで保持されていることに期待するため、コンクリートのような多孔質又は化学的に結合しやすい表面を有しており、且つ、事故から試料採取までの期間中に風雨に晒されていないことが重要である。表 2.1.2-1 に示した試料では、1RB-AS、1RB-DE、2RB-DE、3RB-AS がこれらに該当する。建屋の爆発により 1 号機 5 階オペレーションフロアは風雨に晒されたため 1RB-CR 及び 1RB-OP は除外したが、2 号機 5 階から採取された 2RB-DE との比較参照という観点では分析対象に加える意義がある。

以上は、表 2.1.2-1 の試料を対象とした場合の選定であるが、事故クロノロジー及びそこから抽出された境界条件を用いたシビアアクシデント総合解析の結果に基づき、核種を例えば揮発性の観点で高、中、低に分類した上で、それぞれの核種がプラント内の各区画に移行するタイミングを推定することにより、より効果的な分析対象試料の選定が期待できる。今後、各号機に対する詳細解析を THALES2 コード⁽¹⁸⁾を用いて実施し、改めてキーワード F に該当する全試料を対象とした選定を行うとともに、将来的に試料採取を行うべき位置の検討を進める。

水試料については、2.1.2 (2) で選定した有用な水試料の候補である「a) 復水器内貯留水」、「c) 格納容器内の滞留水のうち水底近くの水 (3 号機水深 6.5 m)」及び「e) 3 号機原子炉建屋の HPCI 室等の高放射能濃度滞留水」として、表 2.1.2-6～表 2.1.2-8、表 2.1.2-10 及び表 2.1.2-12 に示した水試料を対象として選定した。

(2) 分析項目の選定及び分析手法の検討

分析対象試料のうち固相試料として (1) で選定した表 2.1.2-1 の 1RB-AS、1RB-DE、2RB-DE、3RB-AS、1RB-CR 及び 1RB-OP について、分析項目を選定するとともに、分析手法の検討を行った。

分析項目のうち、分析対象とする核種については、事故当時に大量に放出されたヨウ

素とセシウムのうち半減期の長い I-129 と Cs-135 の他、 α 核種 (U、Pu、Am) を選定した。また、これら核種の存在状態や収着状態を把握する上で必要な試料中元素としての B や Mo、並びに試料の表面状態に係る情報としてコンクリート及び塗膜についても分析項目として選定した。これら分析項目について、試料の前処理方法、適用可能な分析装置及び分析手法をまとめたものを図 2.2.1-1 に示す。

また、図 2.2.1-1 に示した核種や元素の分析に必要な試料量は、ICP-MS や Si 半導体検出器といった分析装置の検出下限や、図 2.2.1-1 に示した前処理工程等を踏まえて決定する必要がある。検出下限は測定条件等によって変わるが、一般的な ICP-MS での検出下限は I に対し 10 ppt 程度、Cs に対し 0.1 ppt 程度、Mo に対し 1 ppt 程度である。また、Si 半導体検出器の場合、4 時間測定で数～数十 mBq 程度が検出下限となる。

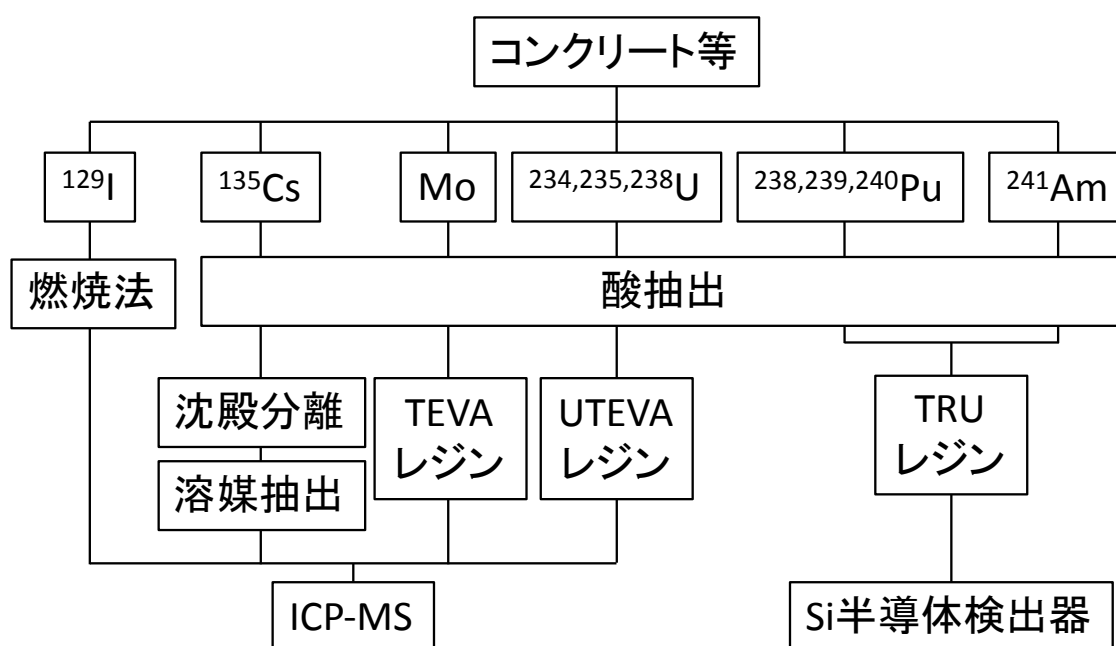


図 2.2.1-1 分析フロー図(19, 20, 21)

(3) 分析対象試料の取得方法の検討

JAEA が所有する既存／今後設置予定のホット施設の中から、(1) で選定した分析対象試料の分析を行う施設として、JAEA 原子力科学研究所 (以下「原科研」という。) の燃料試験施設 (RFEF)、バックエンド研究施設 (BECKY)、廃棄物安全試験施設 (WASTEF) 及び第 4 研究棟 (これらをまとめて「原科研ホット施設」という。以下同じ。) を想定した。

その上で、(1) で選定した分析対象試料が全て 1F サイト内において保管されているものと仮定し、(2) で整理した分析に必要な試料の量や放射能特性を踏まえて、原科研ホット施設への運搬・受入れ等の取得方法を検討した。

1F サイト内で採取された多くのサンプルはサイト内等に保管されており⁽²²⁾、それらのうち比較的線量の高い分析サンプルの輸送については、原子力規制庁と協議しつつ進められている⁽²³⁾。また、1 号機格納容器底部堆積物、2 号機移動式炉心内計装 (TIP) 配管内閉塞物について、JAEA 大洗研究開発センターや日本核燃料開発株式会社へ A 型輸送

されている⁵⁾。(1)で選定した分析対象試料について検出された核種は表 2.1.2-2～表 2.1.2-4 に示したとおりであり、このうち放射能濃度の高いものであっても、Cs-137 について 1.5×10^7 Bq/g 程度である。このことから、原科研ホット施設へ運搬に関しても、L 型輸送容器あるいは A 型輸送容器を用いた輸送が可能と考えられる。

一方、原科研ホット施設による受入れに関しては、施設ごとに許可の内容が異なる。1F から受入れた試料等（以下「1F 汚染物」という。）原科研ホット施設における保管に係る許可の内容を表 2.2.1-1 に示す。

表 2.2.1-1 1F 汚染物と核燃料保管庫の許可内容

施設名	許可 申請 書	福島第一原子力 発電所から 受入れた試料				原子炉建屋内及び タービン建屋内で 採取した試料				汚染水の処理設 備の試料				核燃料 保管庫	
		土 壌	瓦 礫	植 物	汚 染 水	金 属 材 料	有 機 材 料	瓦 礫	滞 留 水	構 造 物	吸 着 材	処 理 水	汚 染 水 処 理 に 伴 う 二 次 廃 棄 物	固 体	液 体
燃料試験 施設	平成 30 年 1 月版	○	○	○	×	○	○	○	×	○	○	×	○	○	×
BECKY	平成 29 年 9 月版	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
WASTE F	平成 29 年 9 月版	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
第 4 研究 棟	平成 29 年 9 月版	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

(4) 分析に利用可能なホット施設の検討（許認可も含めて）

(1)で選定した分析対象試料について、原科研ホット施設を対象に、分析に利用可能な施設（許認可を含めて）や必要となる設備整備について整理した。

これに加えて、東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ（2017（平成 29）年 9 月 26 日）（以下「中長期ロードマップ」という。）に示されている計画のうち、今後 10 年程度の期間における燃料デブリの取り出し計画を踏まえて、これらの一部（以下「燃料デブリ試料等」という。）について原科

研ホット施設で分析が実施されることを想定し、必要となる原科研ホット施設の変更許可の内容及びスケジュールや必要な予算措置についても検討した。

①施設の許認可を踏まえたスペックの整理

原科研ホット施設の現状の許可及び保有する設備に基づき、取り扱いや分析が可能な試料の放射能濃度等の条件についての情報を参考 1～4 として DVD-ROM に収納した。

②施設のスペック変更の必要性についての検討

(1) ～ (3) で整理した分析対象試料の量や放射能特性及び①で整理した原科研ホット施設の許可や設備を踏まえると、現状の設備や許可の範囲において、分析対象試料の分析は可能であると考えられる。

③燃料デブリ試料等の分析に向けて必要な予算措置について

中長期ロードマップによると、第 3 期（ステップ 2 完了（2011（平成 23）年 12 月）から 30～40 年後）を燃料デブリ取り出しから廃止措置終了までの実行期間としており、第 3 期の当初においては、初号機の燃料デブリの小規模な取り出し作業に先行して着手し、それと並行して、取り出し規模の拡大に向けた準備作業が進められるとしている。

具体的には、初号機の燃料デブリ取り出し方法を 2019（平成 31）年度に確定し、2021（平成 33）年内に初号機の燃料デブリ取り出しを開始するとしている。ここで、「燃料デブリ取り出し」とは、1～3 号機の炉心溶融により生じた燃料デブリの取り出し作業やそれに付随して必要となる原子炉内構造物等の取り出し作業を指し、燃料デブリ取り出し方針を踏まえ、先行して着手する小規模な取り出しから始まり、内部調査と一体的かつ段階的に実施される一連の作業プロセスとなる、としている。

以上を踏まえ、燃料デブリ取り出しに伴い採取された燃料デブリ試料等について、を原科研ホット施設で分析が実施されることを想定すると、原科研ホット施設における許可変更や分析用設備等の更新など、大幅な予算措置を要する可能性があると考えられる時期としては、2021（平成 33）年前後であると考えられる。

2.2.2. 水試料中の I-129 分析計画の具体化

2.2.1. (1) において選定した有用な分析対象試料のうち、入手が比較的容易と考えられる水試料を対象として、吸着性が極めて低くかつ半減期が極めて長いこと、処理されていない滞留水中に事故当時のままの濃度に近い濃度で現在も存在している可能性が高い I-129 の分析計画を具体化した。

(1) I-129 の化学種の同定方法の立案

2.2.1. (1) で選定した a) 復水器内滞留水、c) 3 号機格納容器内の水深 6.5 m の滞留水、e) 3 号機原子炉建屋の HPCI 等の高放射能濃度滞留水を対象水試料として、これら水試料について想定される塩濃度等の溶液特性を踏まえて、I-129 濃度や I-129 の化学種

を定量・同定するための実施可能かつ効果的な分析計画を立案した。

水試料中に存在するヨウ素の主な化学種としては、 I^- や IO_3^- 及び有機形ヨウ素が考えられる。ここでは、 I^- を吸着することのできる固相抽出剤である Anion-SR⁽²⁴⁾を用いた I^- 分離法を活用し、水試料中に混入している可能性のある塩水成分が共存する条件下において I^- や IO_3^- 及び有機形ヨウ素の濃度を定量することができる方法を示す。

具体的には、図 2.2.2-1 に示すように、3 段階の分離により 3 種類の化学種のヨウ素を個別に回収し、回収した各化学種中の I-129 濃度を定量することが可能であると考えられる。

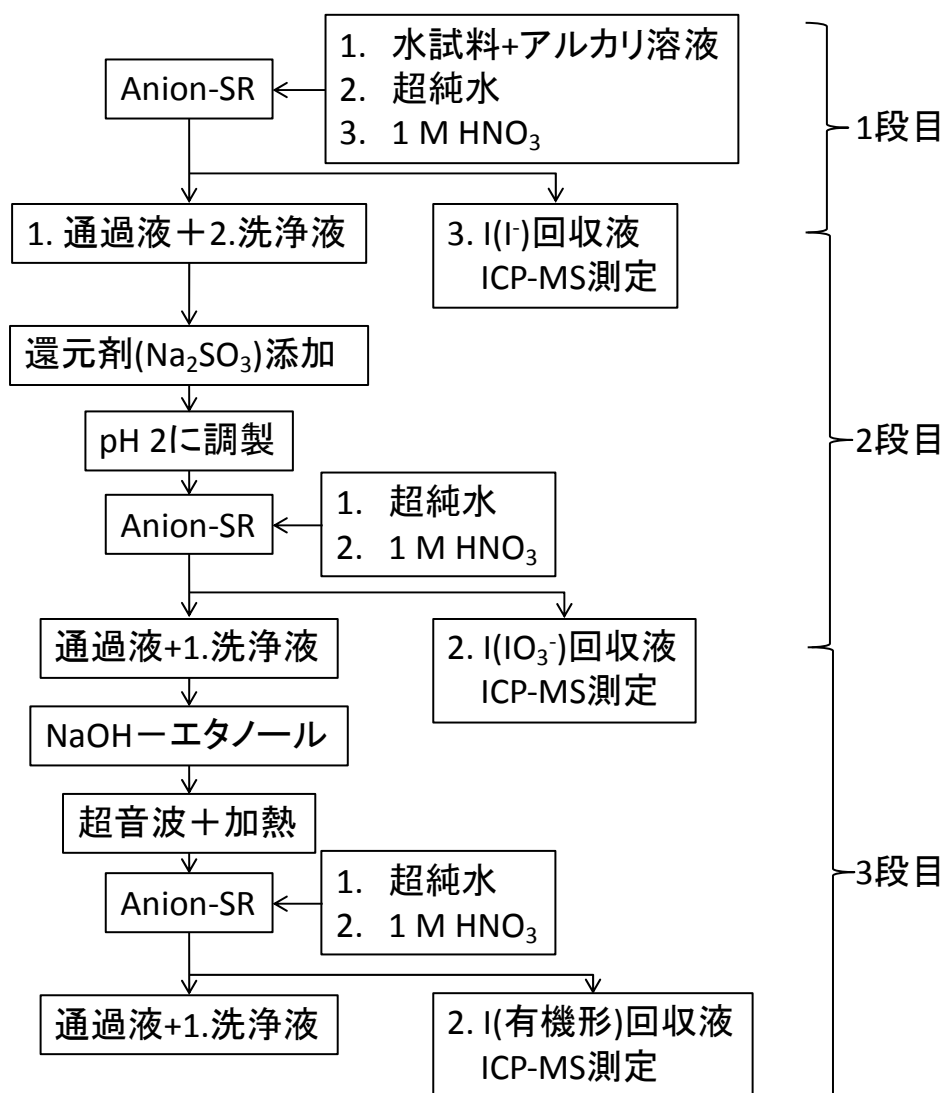


図 2.2.2-1 Anion-SR を用いた I^- 分離法を活用した I-129 の化学種の同定方法

1 段階目の分離

I^- や IO_3^- 及び有機形ヨウ素といったヨウ素の化学種を含む溶液を Anion-SR に通すと、 I^- は Anion-SR に抽出されやすいが、 IO_3^- や有機形ヨウ素は抽出されにくく、そのまま通過し溶出するため、 I^- とそれ以外を分離することが可能と考えられる。

2 段階目の分離

Anion-SR を通過した溶液中には IO_3^- と有機形ヨウ素が含まれており、このうち IO_3^- は還元剤である亜硫酸ナトリウム (Na_2SO_3) を用いて I^- に還元することが可能と考えられる。



式 2.2.2-1 に示した還元反応は試料溶液の pH に依存すると考えられるため、試料溶液の pH を還元剤が有効に働く pH に調整した上で還元剤を加える。ここで、還元剤が有効に働く pH 条件は、既知量の IO_3^- と Na_2SO_3 を含む pH 1～14 の溶液を調製し、Anion-SR に通液した場合の回収率を調べることによって把握する。具体的な内容については (2) に示す。

適切な条件において IO_3^- を I^- に還元した後の溶液を Anion-SR に通液することによって、有機形ヨウ素との分離が見込まれる。

3 段階目の分離

有機形ヨウ素のみを含む通過液を、水酸化ナトリウム (NaOH) とエタノールを含む溶液中で超音波を照射しながら加熱することによって、通過液中の有機形ヨウ素は分解され I^- に変換される。変換された I^- は Anion-SR に通液することによって抽出される。

各段階において Anion-SR で抽出した I^- の定量方法

Anion-SR に抽出された I^- は 1 M 硝酸により回収可能であり、これに次亜塩素酸ナトリウム (NaClO) を添加して IO_3^- の化学形にすることにより、硝酸溶液においても大きな損失なく、安定的にダイナミックリアクションセル付誘導結合プラズマ質量分析計 (DRC-ICP-MS) により定量することが可能となる。

(2) 還元剤が有効に働く pH 条件の把握方法

Anion-SR にヨウ素を吸着させるためには、化学形を I^- とする必要があるため、 IO_3^- を I^- に還元するためには、式 2.2.2-1 に示した Na_2SO_3 や NaHSO_3 のような還元剤が有効である。しかし、3 M NaOH 溶液と pH 2 の HCl 溶液において IO_3^- に NaHSO_3 を添加し、Anion-SR に通液した試験では、 HCl 溶液からはヨウ素が回収されたが、3 M NaOH 溶液からはほとんどヨウ素が回収されないという結果が報告されている⁽²⁵⁾。このことから、 Na_2SO_3 や NaHSO_3 により IO_3^- を I^- に還元するためには有効な pH 条件があることが推測される。また、1F においては、事故の初期段階で海水が投入された経緯があることから、事故時の情報を有している水試料には海水成分が含まれている可能性がある。そこで、 IO_3^- と Na_2SO_3 を含む NaCl 溶液に HCl 又は NaOH を添加して pH が 1～14 の試料を調製し、Anion-SR による分離を行った場合の回収率を調べることで、還元剤が有効に働く pH 条件を把握しておくことが有用であり、その方法を立案した。手順を①から⑥に示す。

- ① 0.169 g の KIO_3 を水で溶かして 10 mL 溶液とし、ヨウ素濃度が 10,000 ppm の KIO_3 水溶液を調製する。これを希釈してヨウ素濃度が 10 ppm の KIO_3 水溶液を調製する。
- ② 次に、0.126 g の Na_2SO_3 を水で溶かして 10 mL とし、0.1 M Na_2SO_3 溶液を調製する。
- ③ 1.169 g の NaCl を水で溶かし、これに 2 mL の 0.1 M Na_2SO_3 溶液を添加する。この水溶液に 1 M NaOH 又は 1 M HCl を添加して溶液の pH を 1～14 に調製した後、0.2 mL の 10 ppm の KIO_3 水溶液を加え、さらに水を加えて 20 mL とし、これを試料溶液とする。調製後の試料溶液についても pH 計で pH を確認する。
- ④ 論文⁽²⁵⁾に示されている手法で Anion-SR のコンディショニングを行ったのち、10 mL の試料溶液を通液する。5 mL の水で 3 回洗浄を行ったのち、9.5 mL の 1 M HNO_3 を通液して I⁻ を回収する。この時、1 M HNO_3 溶液は 10 mL のメスフラスコに回収する。この回収液に 50 μL の NaClO と 50 μL の 2 ppm Cs 溶液を添加し、1 M HNO_3 を加えて 10 mL とし、定量の直前まで保管する。
- ⑤ 回収率を求めるために 0.1 mL の試料溶液と 50 μL の NaClO 及び 50 μL の 2 ppm Cs 溶液に 1 M HNO_3 を加えて 10 mL とし、マテリアルバランス試料として測定直前まで保管する。
- ⑥ 回収液とマテリアルバランス試料は、測定直前に 10 倍希釈してから DRC-ICP-MS で定量する。

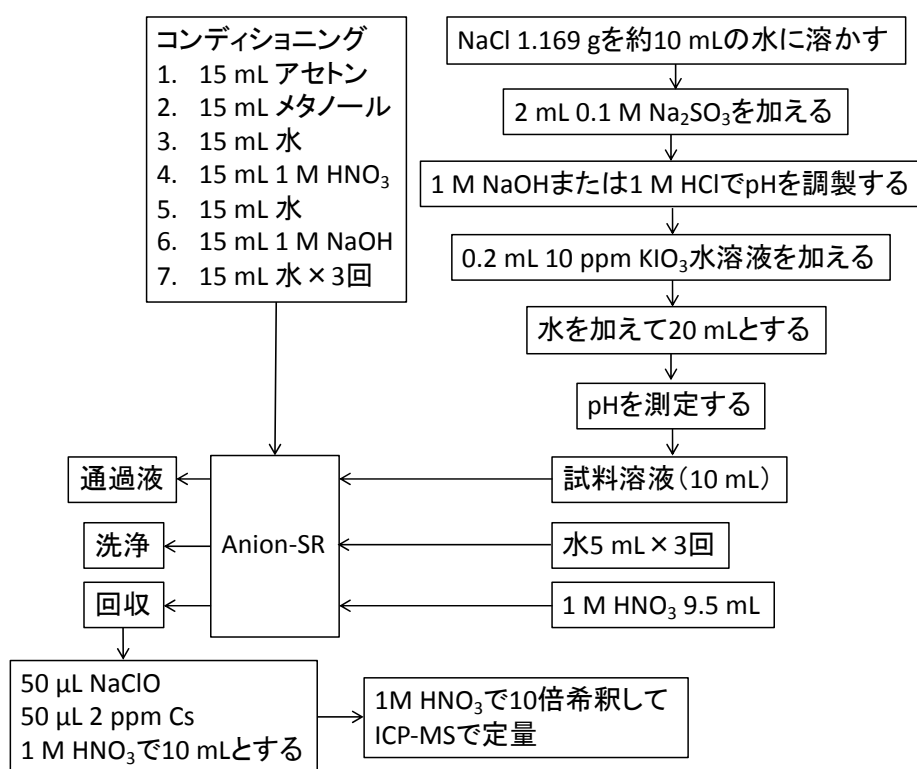


図 2.2.2-2 Na_2SO_3 による IO_3^- の還元 の pH 依存性を調べるためのスキーム

(3) 動作確認等

上記の方法を実施するために必要な試験器具及び試薬類を整備し、予備的に模擬試料を用いた試験操作を試行することによって、管理区域内外に設置した利用可能な調整・分析装置の動作確認や作業手順確認を行い、実施可能であることを確認した。

3. まとめ

1F プラント内核種移行に関する調査として、(1) 公開情報の分析に係る調査及び(2) 1F 建屋内試料の分析計画の作成に係る調査を実施した。

このうち(1)に関しては、2016(平成28)年3月以降の公開の情報源として、「特定原子力施設・監視・評価委員会」、「原子力規制庁面談記録(2016.3以降)」、「たまり水週報」、「廃炉・汚染水対策福島評議会」、「廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議」、「IRID 情報」、「JAEA 情報」、「BSAF 情報」を対象に、ウェブページから情報を収集するとともに、6つのキーワード(A:水試料、B:固相試料データ、C:線量、D:セシウム以外の元素・核種、E:試料の輸送、F:格納容器/原子炉建屋)を定めて情報を検索できるようにした。

収集した情報のうち、事故当時における核種移行に関する情報が得られる又は傍証となり得る可能性のある固相試料として、原子炉建屋内で採取された構造材であるコンクリート、保温材、塗膜や格納容器内で採取された堆積物や調査装置への付着物を選定するとともに、これら試料についての核種分析データから、現時点で把握可能な核種の分布状況として、1~3号機の建屋内や格納容器内における試料採取場所と検出された核種を整理した。また、水試料については、事故時に滞留水中に大量に溶出したと考えられる放射性ヨウ素及び放射性セシウムのうち、吸着性が極めて低くかつ半減期が極めて長いI-129に着目し、I-129が事故当時のままの濃度に近い濃度で現在も存在している可能性のある滞留水や貯留水の候補として、復水器内滞留水、3号機格納容器内の滞留水のうち水底近くの水及び3号機原子炉建屋のHPCI室等の高放射能濃度滞留水を選定した。いずれについても、これまでにI-129の分析は行われていないが、採取された水試料が保管されている可能性がある。

(2)に関しては、(1)で選定した固相試料について、核種や元素及び核種等の付着形態といった分析項目に関して、分析の検出下限濃度、試料の性状を踏まえた前処理方法、適用可能な分析装置及び分析手法を整理した。

また、(1)で選定した水試料中のI-129濃度やI-129の化学種を定量・同定する方法として、Iを吸着することのできる固相抽出剤であるAnion-SRを用いたヨウ素化学種分離法を活用し、水試料中に混入している可能性のある塩水成分が共存する条件下においてI⁻やIO₃⁻及び有機形ヨウ素の濃度を定量できる方法を立案した。

これら分析対象試料の分析に必要な試料量や放射能特性を踏まえて、JAEA 原子力科学研究所の核燃料物質取り扱い施設への輸送・受入れ等の取得方法や、分析に利用可能な施設及び設備、各施設に必要な許認可変更の内容について整理した。

参考文献

- (1) 浅見誠, 高畠容子, 明道栄人, 飛田剛志, 小林究, 早川美彩, 薄井由香, 綿引博美, 柴田淳広, 野村和則, 駒義和: 東京電力福島第一原子力発電所において採取された汚染水および瓦礫等の分析データ集. JAEA-Data/Code 2017-001 (2017).
- (2) IRID, JAEA: 福島第一原子力発電所構内で採取した瓦礫の分析. 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議 (第 29 回), 平成 28 年 4 月 28 日(2016).
- (3) IRID, JAEA: 廃棄物試料の分析 1 号機原子炉建屋 5 階瓦礫・1 号機タービン建屋地下 1 階スラッジ・多核種除去設備 HIC スラリー. 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議 (第 34 回), 平成 28 年 9 月 29 日(2016).
- (4) IRID, JAEA: 廃棄物試料の分析結果 (2 及び 3 号機原子炉格納容器内滞留水、1 号機タービン建屋内滞留水・スラッジ、1 号機原子炉建屋オペレーティングフロアボーリングコア). 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議(第 39 回), 平成 29 年 2 月 23 日(2017).
- (5) 東京電力: 福島第一原子力発電所のサンプル分析について. 特定原子力施設監視・評価検討会 (第 56 回), 平成 29 年 10 月 30 日(2017).
- (6) 東京電力: 福島第一原子力発電所で採取した試料の構外での分析について. 報道配布資料, 平成 29 年 11 月 17 日(2017).
- (7) 東京電力: 1 号機原子炉建屋 1 階小部屋調査のうち主蒸気弁室、エアロック室調査結果について. 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議 (第 25 回), 平成 27 年 12 月 24 日(2015).
- (8) 東京電力: 1 号機 復水器の内部調査について. 被規制者等との面談概要・資料, 原子力規制庁, 平成 28 年 2 月 18 日(2016).
- (9) 東京電力: 1～3 号機 復水器内貯留水の水抜き完了について. 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議 (第 49 回), 平成 29 年 12 月 21 日(2017).
- (10) 東京電力: 福島第一原子力発電所における日々の放射性物質の分析結果 IV. 滞留水・建屋内汚染水.
http://www.tepco.co.jp/decommision/planaction/monitoring2/2017/retained_water/index-j.html (last visited at Feb. 21, 2018).
- (11) 東京電力: 1 号機タービン建屋内滞留水の除去について. 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議 (第 40 回), 平成 29 年 3 月 30 日(2017).
- (12) 経済産業省: 廃炉・汚染水対策チーム会合 第 44 回事務局会議 議事概要. 平成 29 年 7 月 28 日(2017).
- (13) 福島県: 平成 28 年度原子力行政のあらまし～福島県原子力発電所の廃炉に関する取組～. 平成 29 年 3 月(2017).
- (14) 東京電力: 建屋滞留水処理の今後の進め方について. 特定原子力施設監視・評価検討会 (第 51 回), 平成 29 年 2 月 20 日(2017).
- (15) 東京電力: 建屋滞留水処理の進捗状況について. 特定原子力施設監視・評価検討会 (第 57 回), 平成 29 年 12 月 26 日(2017).
- (16) IRID, JAEA: 廃棄物試料の分析結果 (土壌、焼却灰、並びに水処理設備 (セシウム吸着装置、多核種除去設備) 出入口水). 廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議 (第 40 回), 平成 29 年 3 月 30 日(2017).
- (17) 東京電力: 建屋滞留水処理状況. 福島県原子力発電所の廃炉に関する安全監視協議会 第 55 回 (平成 29 年度第 2 回) 廃炉安全監視協議会, 平成 29 年 6 月 16 日(2017).
- (18) Ishikawa, J. et al.: Source Term Analysis Considering B4C/Steel Interaction and Oxidation during Severe Accidents. 25th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE25), Shanghai, China, July (2017).
- (19) 亀尾裕, 島田亜佐子, 石森健一郎, 原賀智子, 片山淳, 星亜紀子, 中島幹雄: 研究施設等廃棄物に含まれる放射性核種の簡易・迅速分析法 (分析指針). JAEA-Technology 2009-051 (2009).
- (20) Tanaka, K. et al.: Radiochemical analysis of rubble and trees collected from

- Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. *J. Nucl. Sci. Technol.* **51(7-8)**, 1032-1043 (2014).
- (21) Shimada, A. et al.: Development of a Separation Method for Molybdenum from Zirconium, Niobium, and Major Elements of Rubble Samples. *J. Chromatogr. A.* **1371**, 163-167 (2014).
- (22) 東京電力: 福島第一原子力発電所で採取された比較的線量の高い分析サンプルの輸送について, 被規制者等との面談概要・資料, 原子力規制庁, 平成 28 年 10 月 14 日(2016).
- (23) 原子力規制庁: 福島第一原子力発電所で採取された分析サンプルの輸送に係る面談, 被規制者等との面談議事要旨, 原子力規制庁, 平成 28 年 10 月 14 日(2016).
- (24) Shimada, A. et al.: Determination of ^{129}I in the Accumulated radioactive water and processed water of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **303(2)**, 1137-1140 (2015).
- (25) Shimada, A. et al.: Development of a Rapid Analytical Method for ^{129}I in the Contaminated Water and Tree Samples at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. In: Nuclear Back-end and Transmutation Technology for Waste Disposal. (Nakamura, K. ed.) Springer Japan, pp.311-317 (2015).