日本原子力学会　シンポジウム
東電福島第一原子力発電所の廃炉について
— 廃炉の状況と課題、その対応策 —

8. 残された廃棄物ートリチウムの課題

2017年3月11日(土) 13:30～17:00
機械振興会館　地下2階　多目的ホール

FP・廃棄物処理・汚染水対策
小西哲之
京都大学

本報告の内容は、主要部分において経産省　汚染水対策委員会 「トリチウム水タスクフォース」および「多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会」における公開資料を転載しています。
これは、当該分野における情報の共有を意図するためであり、現在我が国で検討されている内容について改めて説明し、考察するものであって、著作権はすべて原著者に帰属しますが、その内容の解釈については講演者に責任があります。また、国の委員会の資料を用いていますが、特定の政策意図を持つものではなく、学会の専門家としての中立的理解の説明を可能な限り意図しています。

はじめに

1. トリチウムとは？

・トリチウムは水素の同位体であり、自然界、人体にも存在する

・弱い放射線を出し、約12年で半減する。

・体内に取り込まれた時のみ、健康上の影響が発生しうる。

・分離技術、管理取り扱い技術（分離、濃縮、固定など）は存在し、実用化されている。

・原子力施設からの管理放出は世界的に実施中。（同位体希釈）

2. 福島汚染水の現状

・多核種除去ののちもトリチウム汚染水が約80万トン、地下水の流入で総量は増加中。トリチウム濃度は減少中。

・トリチウム量は8.3×10^{14}Bq、濃度は法定排出規制値の100倍程度

・多数のタンクを建設、維持管理し、漏洩リスクを防止する必要がある

トリチウム水による考えられるリスクとは

- トリチウムに人間が接することによる被ばく
  ➡被ばく線量による健康影響は想定できない程少ない

- 大量、低濃度トリチウム水の保有➡漏洩による環境汚染
  環境放出基準(60000Bq/L)は、現在の環境レベル(~1Bq/L)より数万倍高い

- トリチウムによる飲料水、農産物、水産物の汚染
  ➡健康影響が想定できないレベルであるので管理基準値がない
  （他の核種なら、数100Bq／L）←同じベクレルならCsの1/1000
  ➡環境での濃度が有意に上がれば検出可能(~10Bq/L)

- 処理、保有するリスク
  ➡いつでも、予想できない漏出は起こりうる

- 放出に伴うリスク（意図しない漏洩だけでなく）
  ➡風評：「トリチウムを出した」というだけで現実の被害が起こる

トリチウム水についての現在までの経過

・トリチウム汚染水は政府の「汚染水処理対策委員会」において、多核種除去設備等（ALPS）で処理した後もリスクが残ることを認識。

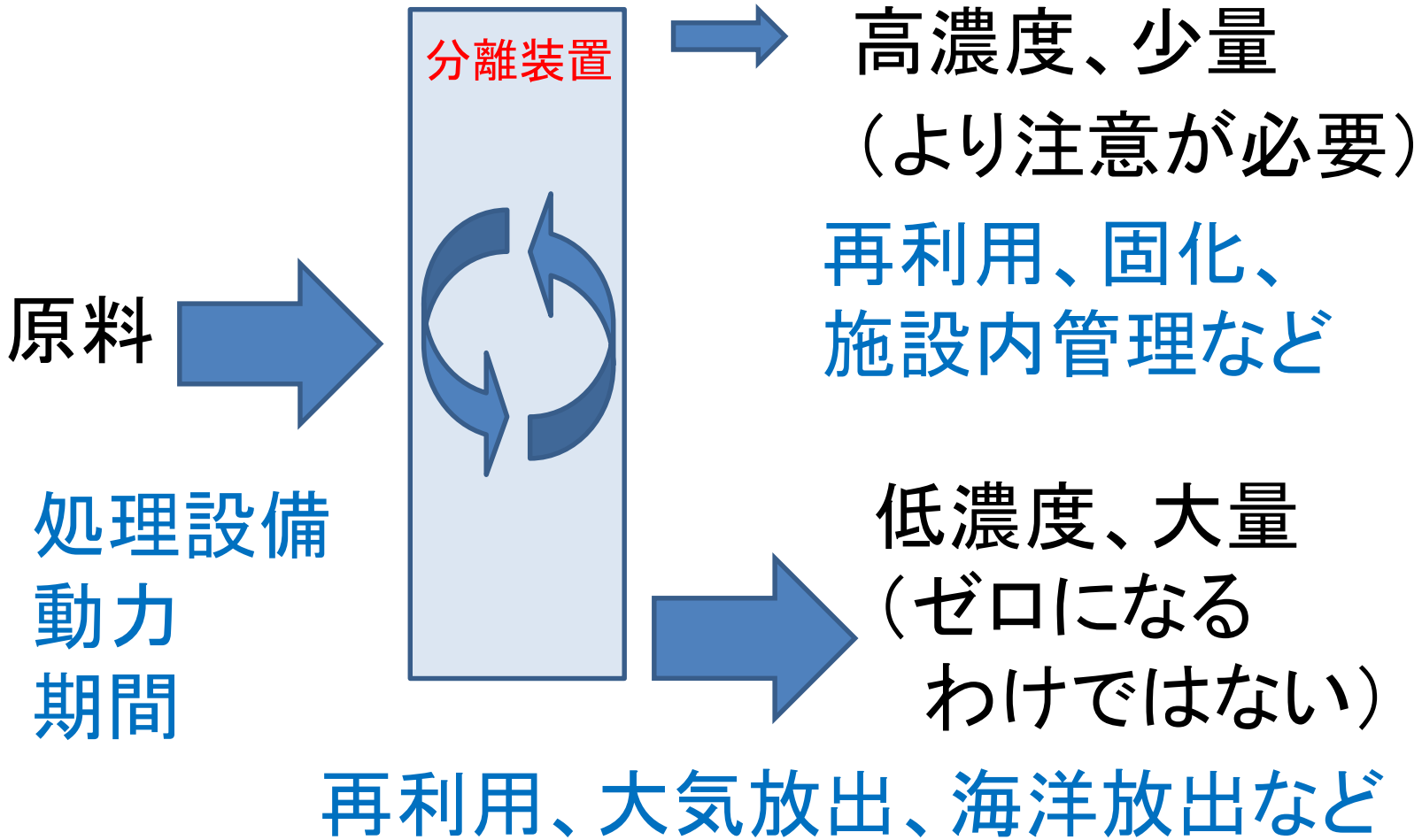
・2013年１２月、「トリチウム水タスクフォース」を設置。会合１５回。
➡処分方法の選択肢について、技術的な評価を実施「意見調整や選択肢の一本化を行うものではない」

・公募による「トリチウム分離技術検証試験事業」を実施。
➡同位体分離に関しては、直ちに実用化できる段階にある技術が確認されない（、としてコスト評価等は実施せず）

・2016年6月、報告書。
➡ ５つの方法、１１の選択肢を検討、コスト、期間等を報告。

主な条件）処 分 量：80 万㎥、一日当たり処分量：400 ㎥
原水濃度：420 万Bq/L 又は50 万Bq/L
処分濃度：法令告示濃度

トリチウム（同位体）分離処理の一般的な特徴
（少量含まれる重い同位体の濃縮の場合）



検討された方法

- 地層注入（前処理なし／希釈後／分離後）
  トリチウム水を地下2500mにポンプで地層中に圧入する

- 海洋放出（希釈後／分離後）
  トリチウム水をポンプで海中に放出する

- 水蒸気放出（前処理なし／希釈後／分離後）
  トリチウム水を加熱気化し、大気希釈して地上60mから放出

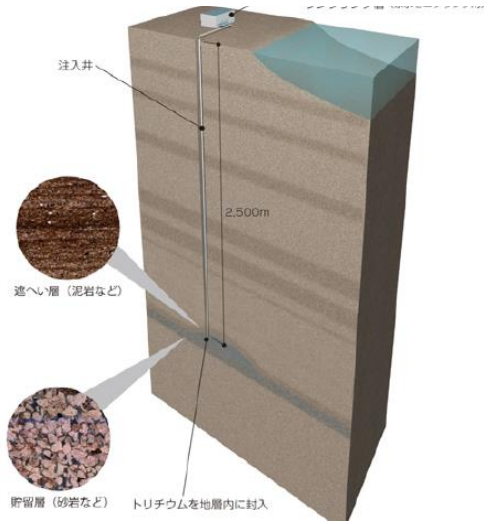
- 水素放出（前処理なし／分離後）
  トリチウム水を電気分解し、発生した水素を地上20mから放出

- 地下埋設（前処理なし）
  地下を掘削し、コンクリートピットを設置し、セメント固化したトリチウム水を埋設

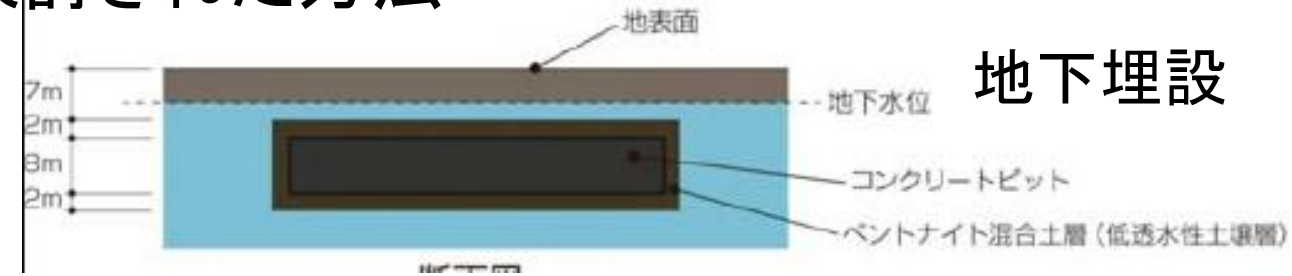
希釈と分離は同じ法定濃度で、量が約1/100になる。

検討された方法

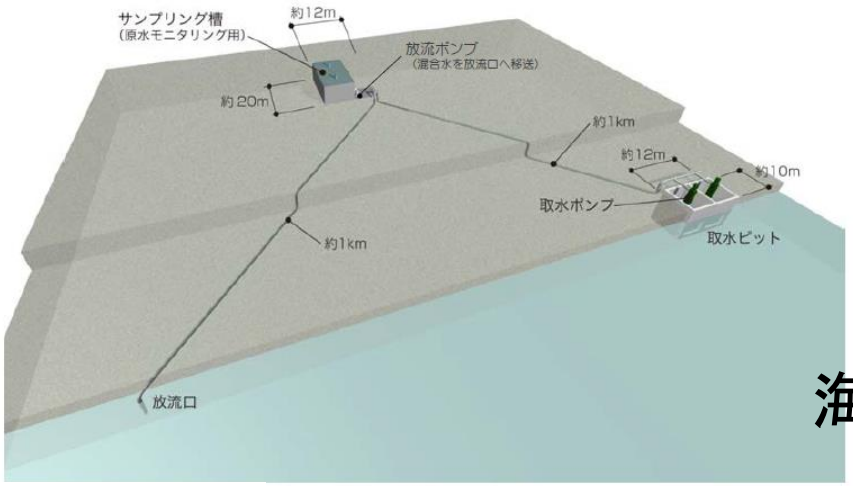
地層注入



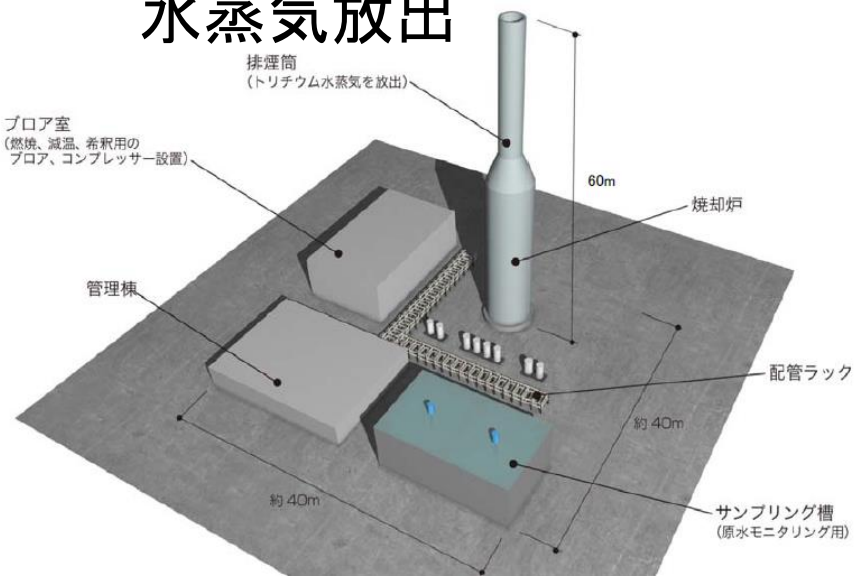
地下埋設



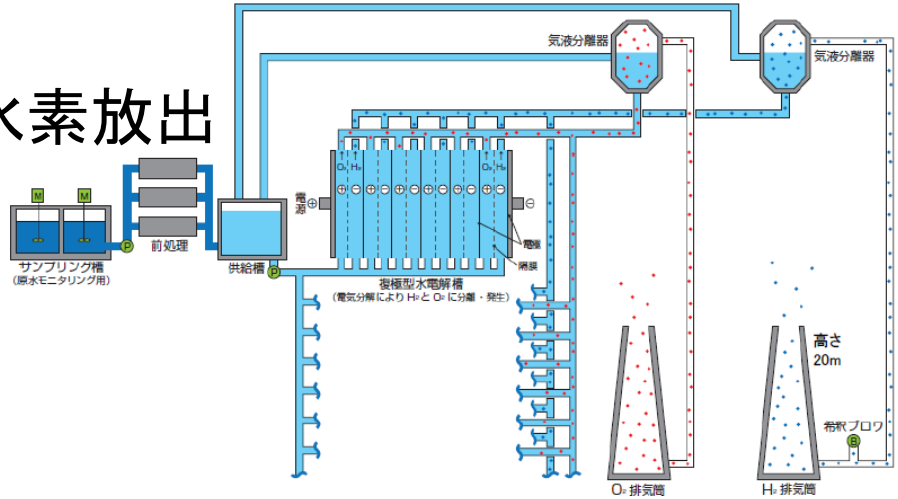
海中放出



水蒸気放出



水素放出



各評価ケースの評価結果 一覧

別紙2

（※これらの評価結果については、各種の仮定を設定した上で概算によって試算したものであり、実際の処分に要するコスト等を保障するものではない。）

処分方法	No.	前処理	原水濃度	原水処分量	希釈倍率	上段：全体処分量 下段：処分速度	処分濃度	基本要件 技術的成立性	基本要件 規制成立性	期間（月） 処分完了まで 処分開始まで 分離	期間 処分開始まで 調査	期間 処分開始まで 設計＋建設	期間 処分開始まで 計	期間 処分	期間 計	期間 解体	期間 監視	コスト（億円） 分離	コスト 調査	コスト 設計・建設 設計	コスト 設計・建設 機器費	コスト 設計・建設 現地工事費	コスト 設計・建設 小計	コスト 処分 ユーティリティ	コスト 処分 その他人件費等	コスト 処分 小計	コスト 解体	コスト 監視	コスト 合計	規模（面積）（m2）	二次廃棄物	作業員被ばく	付帯条件
地層注入	A1－①	なし	420万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3／日	420万Bq/L	・CCS（二酸化炭素貯留）技術は確立されており、深地層にトリチウム水を送り込むこと自体は可能であると考えられる。 ・ただし、適切な地層を見つけ出すことができない場合には、処分を開始することはできない。 ・また、深地層において、適切に長期モニタリングする方法は、現在のところ存在しないと考えられる。 （m：モニタリングコスト）	・地層注入を、「液体状の放射性廃棄物の処置」と整理できる場合、原子力規制委員会の定める濃度限度を超えるため、適合しない。	—	20+20n	16	36 +20n	66	102 +20n	2	912	—	6.5 +6.5n	0.8	11	150	162	1.3	4.0	5.3	6	m	180 +6.5n +m	陸部：380	・特に無し	・特段の留意事項は無い。	・適切な地層がなかなか見つからない場合には、調査期間・費用が増加する。 （n：地層調査の実施回数）
	A1－②		50万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3／日	50万Bq/L			—	20+20n	16	36 +20n	66	102 +20n	2	456	—	6.5 +6.5n	0.8	11	150	162	1.3	4.0	5.3	6	m	180 +6.5n +m				
	A1－③		420万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3／日	420万Bq/L			—	20+20n	16	36 +20n	33	69 +20n	2	912	—	6.5 +6.5n	0.8	11	150	162	0.62	2.1	2.7	6	m	177 +6.5n +m				
	A1－④		50万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3／日	50万Bq/L			—	20+20n	16	36 +20n	33	69 +20n	2	456	—	6.5 +6.5n	0.8	11	150	162	0.62	2.1	2.7	6	m	177 +6.5n +m				
	A1－⑤		420万Bq/L×40万m3 ＋50万Bq/L×40万m3		—	80万m3 400m3／日	420万Bq/L 50万Bq/L			—	20+20n	16	36 +20n	66	102 +20n	2	912	—	6.5 +6.5n	0.8	11	150	162	1.3	4.0	5.3	6	m	180 +6.5n +m				
	B1－①	希釈	420万Bq/L	80万m3	70	5,600万m3 28,000m3／日	6万Bq/L	・CCS（二酸化炭素貯留）技術は確立されており、深地層にトリチウム水を送り込むこと自体は可能であると考えられる。 ・ただし、適切な地層を見つけ出すことができない場合には、処分を開始することはできない。	・地層注入を、「液体状の放射性廃棄物の処置」と整理できる場合、原子力規制委員会の定める濃度限度を下回る。	—	40+40n	50	90 +40n	66	156 +40n	12	処分期間中	—	110 +110n	9.8	250	3,100	3,360	85	130	215	200	1.02	3976 +110n	海岸部：120 陸部：2080	・特に無し	・特段の留意事項は無い。	・適切な地層がなかなか見つからない場合には、調査期間・費用が増加する。 （n：地層調査の実施回数）
	B1－②		50万Bq/L	80万m3	8.33	666万m3 3,340m3／日	6万Bq/L			—	25 +25n	28	53 +25n	66	119 +25n	6	処分期間中	—	13 +13n	2.0	42	390	434	13	21	34	38	1.02	518 +13n	海岸部：12 陸部：730			
	B1－③		420万Bq/L	40万m3	70	2,800万m3 28,000m3／日	6万Bq/L			—	40+40n	50	90 +40n	33	123 +40n	12	処分期間中	—	110 +110n	9.8	250	3,100	3,360	43	64	107	200	0.91	3868 +110n	海岸部：120 陸部：2080			
	B1－④		50万Bq/L	40万m3	8.33	333万m3 3,340m3／日	6万Bq/L			—	25 +25n	28	53 +25n	33	86 +25n	6	処分期間中	—	13 +13n	2.0	42	390	434	6.3	11	17	38	0.91	501 +13n	海岸部：12 陸部：730			
	B1－⑤		420万Bq/L×40万m3 ＋50万Bq/L×40万m3		70 8.33	2,800万m3 28,000m3／日 333万m3 3,340m3／日	6万Bq/L			—	40+40n	50	90 +40n	66	156 +40n	12	処分期間中	—	110 +110n	9.8	250	3,100	3,360	49	74	123	200	1.02	3884 +110n	海岸部：120 陸部：2080			
	C1－①	分離	4.2万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3／日	4.2万Bq/L	・CCS（二酸化炭素貯留）技術は確立されており、深地層にトリチウム水を送り込むこと自体は可能であると考えられる。 ・ただし、適切な地層を見つけ出すことができない場合には、処分を開始することはできない。			20+20n	16	36+20n or 分離開始期間	66	処分開始まで ＋66	2	処分期間中		6.5 +6.5n	0.8	11	150	162	1.3	4.0	5.3	6	1.02	分離コスト +181+6.5n	陸部：380＋分離面積	・分離技術によっては、二次廃棄物が発生する可能性がある。	・特段の留意事項は無い。	・適切な地層がなかなか見つからない場合には、調査期間・費用が増加する。 （n：地層調査の実施回数）
	C1－②		0.5万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3／日	0.5万Bq/L				20+20n	16	36+20n or 分離開始期間	66	処分開始まで ＋66	2	処分期間中		6.5 +6.5n	0.8	11	150	162	1.3	4.0	5.3	6	1.02	分離コスト +181+6.5n				
	C1－③		4.2万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3／日	4.2万Bq/L				20+20n	16	36+20n or 分離開始期間	33	処分開始まで ＋33	2	処分期間中		6.5 +6.5n	0.8	11	150	162	0.62	2.1	2.7	6	0.91	分離コスト +178 +6.5n				
	C1－④		0.5万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3／日	0.5万Bq/L				20+20n	16	36+20n or 分離開始期間	33	処分開始まで ＋33	2	処分期間中		6.5 +6.5n	0.8	11	150	162	0.62	2.1	2.7	6	0.91	分離コスト +178 +6.5n				
	C1－⑤		4.2万Bq/L×40万m3 ＋0.5万Bq/L×40万m3		—	80万m3 400m3／日	4.2万Bq/L 0.5万Bq/L				20+20n	16	36+20n or 分離開始期間	66	処分開始まで ＋66	2	処分期間中		6.5 +6.5n	0.8	11	150	162	1.3	4.0	5.3	6	1.02	分離コスト +181+6.5n				

								基本要件		制約となり得る条件																						
										期間（月）									コスト（億円）													
										処分完了まで																						
										処分開始まで																						
処分方法	No.	前処理	原水濃度	原水処分量	希釈倍率	上段：全体処分量 下段：処分速度	処分濃度	技術的成立性	規制成立性	分離	調査	設計＋施設	計	処分	計	解体	管理	分離	調査	設計・施設				処分				解体	管理	合計	規模（面積）（m2）	二次廃棄物	作業員被ばく	付帯条件
																				設計	機器費	建設工事費	小計	ユーティリティ	その他人件費等	小計								
海洋放出	B2-①	希釈	420万Bq/L	80万m3	70	5,600万m3 28,000m3／日	6万Bq/L	・原子力施設における、トリチウムを含む放射性液体廃棄物の海洋放出事例が存在する。	・「液体状の放射性廃棄物の廃棄」に該当し、原子力規制委員会の定める濃度限度を下回る。	—	3	19	22	66	88	3	処分期間中	—	0.4	0.88	7.9	14	23	0.71	4.5	5.2	4.7	1.02	34	海岸部：120 陸部：280	・特に無し	・特段の留意事項は無い。	・放流水が直接取水されることの無いよう、取水ピットと放流口の間を岸壁等で閉仕切る場合には費用が増加する。
	B2-②		50万Bq/L	80万m3	8.33	666万m3 3,332m3／日	6万Bq/L			—	3	16	19	66	85	3	処分期間中	—	0.4	0.6	2.3	7.9	11	0.13	2.6	2.7	3.4	1.02	18	海岸部：12 陸部：280			
	B2-③		420万Bq/L	40万m3	70	2,800万m3 28,000m3／日	6万Bq/L			—	3	19	22	33	55	3	処分期間中	—	0.4	0.88	7.9	14	23	0.36	2.3	2.7	4.7	0.91	31	海岸部：120 陸部：280			
	B2-④		50万Bq/L	40万m3	8.33	333万m3 3,340m3／日	6万Bq/L			—	3	16	19	33	52	3	処分期間中	—	0.4	0.6	2.3	7.9	11	0.07	1.3	1.4	3.4	0.91	17	海岸部：12 陸部：280			
	B2-⑤		420万Bq/L×40万m3 ＋50万Bq/L×40万m3		70 8.33	2,800万m3 28,000m3／日 333万m3 3,340m3／日	6万Bq/L			—	3	19	22	66	88	3	処分期間中	—	0.4	0.88	7.9	14	23	0.64	4.5	5.1	4.7	1.02	34	海岸部：120 陸部：280			
	C2-①	分離	4.2万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3／日	4.2万Bq/L	・原子力施設における、トリチウムを含む放射性液体廃棄物の海洋放出事例が存在する。	・「液体状の放射性廃棄物の廃棄」に該当し、原子力規制委員会の定める濃度限度を下回る。		2	14	16 or 分離開始期間	66	処分開始まで＋66	2	処分期間中		0.2	0.22	0.91	4.7	6	0.05	1.8	1.9	2.2	1.02	分離コスト＋11	陸部：280＋分離面積	・分離技術によっては、二次廃棄物が発生する可能性がある。	・特段の留意事項は無い。	・放流水が直接取水されることの無いよう、取水ピットと放流口の間を岸壁等で閉仕切る場合には費用が増加する。
	C2-②		0.5万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3／日	0.5万Bq/L				2	14	16 or 分離開始期間	66	処分開始まで＋66	2	処分期間中		0.2	0.22	0.91	4.7	6	0.05	1.8	1.9	2.2	1.02	分離コスト＋11				
	C2-③		4.2万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3／日	4.2万Bq/L				2	14	16 or 分離開始期間	33	処分開始まで＋33	2	処分期間中		0.2	0.22	0.91	4.7	6	0.03	0.9	0.9	2.2	0.91	分離コスト＋10				
	C2-④		0.5万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3／日	0.5万Bq/L				2	14	16 or 分離開始期間	33	処分開始まで＋33	2	処分期間中		0.2	0.22	0.91	4.7	6	0.03	0.9	0.9	2.2	0.91	分離コスト＋10				
	C2-⑤		4.2万Bq/L×40万m3 ＋0.5万Bq/L×40万m3		—	80万m3 400m3／日	4.2万Bq/L 0.5万Bq/L				2	14	16 or 分離開始期間	66	処分開始まで＋66	2	処分期間中		0.2	0.22	0.91	4.7	6	0.05	1.8	1.9	2.2	1.02	分離コスト＋11				

処分方法	No.	前処理	原水濃度	原水処分量	希釈倍率	上段:全体処分量 下段:処分速度	処分濃度	基本要件 技術的成立性	基本要件 規制成立性	制約となり得る条件 期間(月) 処分完了まで 処分開始まで 分離	調査	設計+建設	計	処分	計	解体	監視	コスト(億円) 分離	調査	設計・建設 設計	試験費	現地工事費	小計	処分 ユーティリティ	その他人件費等	小計	解体	監視	合計	規模(面積)(m2)	二次廃棄物	作業員被ばく	付帯条件
水蒸気放出	A3-①	なし	420万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3/日	420万Bq/L	・水を燃焼炉で蒸発させた実績は存在する。(ボイラーで蒸発させる方式はTMI-2の事例が存在する)。	・水蒸気放出を、「気体状の放射性廃棄物の廃棄」と整理できる場合、原子力規制委員会の定める濃度限度を下回る。	—	12	23	35	80	115	5	処分期間中	—	0.4	2.3	20	58	80	180	63	243	24	1.56	349	陸部:2000	・トリチウム水の成分によっては、焼却灰が発生する可能性がある。	・排気筒高さを十分に取るため、特段の留意事項は無い。	・降水条件によっては放出を停止しなければならない可能性があり、多少期間が延びる可能性がある。
	A3-②		50万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3/日	50万Bq/L			—	12	23	35	80	115	5	処分期間中	—	0.4	2.3	20	58	80	180	63	243	24	1.56	349				
	A3-③		420万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3/日	420万Bq/L			—	12	23	35	40	75	5	処分期間中	—	0.4	2.3	20	58	80	89	32	121	24	1.38	227				
	A3-④		50万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3/日	50万Bq/L			—	12	23	35	40	75	5	処分期間中	—	0.4	2.3	20	58	80	89	32	121	24	1.38	227				
	A3-⑤		420万Bq/L×40万m3 ＋50万Bq/L×40万m3		—	80万m3 400m3/日	420万Bq/L 50万Bq/L			—	12	23	35	80	115	5	処分期間中	—	0.4	2.3	20	58	80	180	63	243	24	1.56	349				
	C3-①	分離	4.2万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3/日	4.2万Bq/L	・水を燃焼炉で蒸発させた実績は存在する。(ボイラーで蒸発させる方式はTMI-2の事例が存在する)。			12	23	35 or 分離開始期間	80	分離開始まで ＋80	5	処分期間中		0.4	2.3	20	58	80	180	63	243	24	1.56	分離コスト +349	陸部:2000＋分離面積	・トリチウム水の成分によっては、焼却灰が発生する可能性がある。 ・分離技術によっては、二次廃棄物が発生する可能性がある。	・排気筒高さを十分に取るため、特段の留意事項は無い。	・降水条件によっては放出を停止しなければならない可能性があり、多少期間が延びる可能性がある。
	C3-②		0.5万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3/日	0.5万Bq/L				12	23	35 or 分離開始期間	80	分離開始まで ＋80	5	処分期間中		0.4	2.3	20	58	80	180	63	243	24	1.56	分離コスト +349				
	C3-③		4.2万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3/日	4.2万Bq/L				12	23	35 or 分離開始期間	40	分離開始まで ＋40	5	処分期間中		0.4	2.3	20	58	80	89	32	121	24	1.38	分離コスト +227				
	C3-④		0.5万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3/日	0.5万Bq/L				12	23	35 or 分離開始期間	40	分離開始まで ＋40	5	処分期間中		0.4	2.3	20	58	80	89	32	121	24	1.38	分離コスト +227				
	C3-⑤		4.2万Bq/L×40万m3 ＋0.5万Bq/L×40万m3		—	80万m3 400m3/日	4.2万Bq/L 0.5万Bq/L				12	23	35 or 分離開始期間	80	分離開始まで ＋80	5	処分期間中		0.4	2.3	20	58	80	180	63	243	24	1.56	分離コスト +349				
水素放出	A4-①	なし	420万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3/日	420万Bq/L	・水を電気分解し、水素に還元することは技術的に可能である。 ・一方、実トリチウム水を対象とした場合、前処理やスケール拡大等について、R&Dが必要な可能性がある。	・水素放出を、「気体状の放射性廃棄物の廃棄」と整理できる場合、原子力規制委員会の定める濃度限度を下回る。	—	12	23	35	66	101	5	処分期間中	—	0.4	130			130	770	61	831	37	1.36	1,000	陸部:2000	・電気分解の前処理工程において、二次廃棄物として残渣が発生する可能性あり。	・排気筒高さを十分に取るため、特段の留意事項は無い。	・降水条件によっては放出を停止しなければならない可能性があり、多少期間が延びる可能性がある。
	A4-②		50万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3/日	50万Bq/L			—	12	23	35	66	101	5	処分期間中	—	0.4	130			130	770	61	831	37	1.36	1,000				
	A4-③		420万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3/日	420万Bq/L			—	12	23	35	33	68	5	処分期間中	—	0.4	130			130	400	31	431	37	1.23	600				
	A4-④		50万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3/日	50万Bq/L			—	12	23	35	33	68	5	処分期間中	—	0.4	130			130	400	31	431	37	1.23	600				
	A4-⑤		420万Bq/L×40万m3 ＋50万Bq/L×40万m3		—	80万m3 400m3/日	420万Bq/L 50万Bq/L			—	12	23	35	66	101	5	処分期間中	—	0.4	130			130	770	61	831	37	1.36	1,000				
	C4-①	分離	4.2万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3/日	4.2万Bq/L	・水を電気分解し、水素に還元することは技術的に可能である。 ・一方、実トリチウム水を対象とした場合、前処理やスケール拡大等について、R&Dが必要な可能性がある。			12	23	35 or 分離開始期間	66	分離開始まで ＋66	5	処分期間中		0.4	130			130	770	61	831	37	1.36	分離コスト ＋1000	陸部:2000＋分離面積	・電気分解の前処理工程において、二次廃棄物として残渣が発生する可能性あり。	・排気筒高さを十分に取るため、特段の留意事項は無い。	・降水条件によっては放出を停止しなければならない可能性があり、多少期間が延びる可能性がある。
	C4-②		0.5万Bq/L	80万m3	—	80万m 400m3/日	0.5万Bq/L				12	23	35 or 分離開始期間	66	分離開始まで ＋66	5	処分期間中		0.4	130			130	770	61	831	37	1.36	分離コスト ＋1000				
	C4-③		4.2万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3/日	4.2万Bq/L				12	23	35 or 分離開始期間	33	分離開始まで ＋33	5	処分期間中		0.4	130			130	400	31	431	37	1.23	分離コスト ＋600				
	C4-④		0.5万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3/日	0.5万Bq/L				12	23	35 or 分離開始期間	33	分離開始まで ＋33	5	処分期間中		0.4	130			130	400	31	431	37	1.23	分離コスト ＋600				
	C4-⑤		4.2万Bq/L×40万m3 ＋0.5万Bq/L×40万m3		—	80万m3 400m3/日	4.2万Bq/L 0.5万Bq/L				12	23	35 or 分離開始期間	66	分離開始まで ＋66	5	処分期間中		0.4	130			130	770	61	831	37	1.36	分離コスト ＋1000				

処分方法	No.	前処理	原水濃度	原水処分量	希釈倍率	上段：全体処分量 下段：処分速度	処分濃度	基本事件 技術的成立性	基本事件 機械成立性	制約となり得る条件 期間（月） 処分開始まで 分離	調査	設計＋施設	計	処分	計	解体	整備	コスト（億円） 分離	調査	設計・施設 設計	施設費	現地工事費	小計	処分 コーティング	その他人件費等	小計	解体	整備	全計	規模（面積）（m2）	二次廃棄物	作業員被ばく	付帯条件	
地下埋設（地下水位より深い位置）	A5a-①	なし	420万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3／日	420万Bq/L	・コンクリートピット処分場、遮断型処分場の実績がある。	・容器に封入または固化されていないため、「核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」における「廃棄体」とは整理できない。 ・トリチウム水をセメント固化に変化されたものを、同規則における「コンクリート等廃棄物」と整理できる場合、トリチウム水をコンクリート固化したものをピット処分した事例は無いため、別途、新たな基準の策定が必要となる可能性がある。	—	12	14	26	72	98	0	912	—	1	25	4.3	2,500	2,529	建設費に含む			0	2.20	2,533	陸部：285,000	・特に無し	・埋設時にセメント中のトリチウム水が蒸発し、作業環境が外トリチウム雰囲気となり、吸入被ばくの恐れがあるため、カバーの設置等で、蒸発を抑制する。	・右記のコンクリート、ベントナイトが必要。 ・右記の残土が発生。	コンクリート：427万m3 ベントナイト：123万m3 残土：348万m3 セメント系固化材：160万t
	A5a-②		50万Bq/L	80万m3	—	80万m 400m3／日	50万Bq/L			—	12	14	26	72	98	0	456	—	1	22	4.3	2,200	2,226				0	1.84	2,229	陸部：285,000				コンクリート：427万m3 ベントナイト：61万m3 残土：286万m3 セメント系固化材：160万t
	A5a-③		420万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3／日	420万Bq/L			—	12	14	26	36	62	0	912	—	1	13	4.3	1,300	1,317				0	2.09	1,320	陸部：144,000				コンクリート：237万m3 ベントナイト：62万m3 残土：176万m3 セメント系固化材：80万t
	A5a-④		50万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3／日	50万Bq/L			—	12	14	26	36	62	0	456	—	1	12	4.3	1,200	1,216				0	1.73	1,219	陸部：144,000				コンクリート：237万m3 ベントナイト：31万m3 残土：146万m3 セメント系固化材：80万t
	A5a-⑤		420万Bq/L×40万m3 ＋50万Bq/L×40万m3		—	80万m3 400m3／日	420万Bq/L 50万Bq/L			—	12	14	26	72	98	0	912	—	1	23	4.3	2,400	2,427				0	2.20	2,431	陸部：285,000				コンクリート：427万m3 ベントナイト：92万m3 残土：316万m3 セメント系固化材：160万t
地下埋設（地下水位より浅い位置）	A5b-①	なし	420万Bq/L	80万m3	—	80万m3 400m3／日	420万Bq/L			—	12	14	26	72	98	0	912	—	1	16	4.3	1,600	1,620	建設費に含む			0	2.20	1,624	陸部：285,000			・右記のコンクリート、ベントナイトが必要。	コンクリート：427万m3 ベントナイト：69万m3 セメント系固化材：160万t
	A5b-②		50万Bq/L	80万m3	—	80万m 400m3／日	50万Bq/L			—	12	14	26	72	98	0	456	—	1	15	4.3	1,500	1,519				0	1.84	1,522	陸部：285,000				コンクリート：427万m3 ベントナイト：35万m3 セメント系固化材：160万t
	A5b-③		420万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3／日	420万Bq/L			—	12	14	26	36	62	0	912	—	1	8.1	4.3	790	802				0	2.09	805	陸部：144,000				コンクリート：247万m3 ベントナイト：36万m3 セメント系固化材：80万t
	A5b-④		50万Bq/L	40万m3	—	40万m3 400m3／日	50万Bq/L			—	12	14	26	36	62	0	456	—	1	7.6	4.3	730	742				0	1.73	745	陸部：144,000				コンクリート：247万m3 ベントナイト：18万m3 セメント系固化材：80万t
	A5b-⑤		420万Bq/L×40万m3 ＋50万Bq/L×40万m3		—	80万m3 400m3／日	420万Bq/L 50万Bq/L			—	12	14	26	72	98	0	912	—	1	15	4.3	1,500	1,519				0	2.20	1,523	陸部：285,000				コンクリート：427万m3 ベントナイト：52万m3 セメント系固化材：160万t

※1：分離技術については、別紙4の評価を踏まえ、技術の特定が困難なため空欄としている。
※2：コストの内、現地での作業を伴うもの（調査、現地工事費、その他人件費等、解体）は、作業環境（空間放射線量率、作業スペース、他の工事との取り合い等）によって増加する可能性があることに留意が必要。
※3：期間やコストの算出根拠は、非原発敷地での工事を想定したものであり、原発敷地内での事例は考慮していないことに留意が必要。
※4：解体コストには、解体廃棄物の除染費用、処分費用等は含んでいないことに留意が必要。
※5：処分コストは、原水処理量80万m3については、年間ランニングコスト×5.5年（800,000÷400÷365）で算出。原水処理量40万m3については、年間ランニングコスト×2.8年（400,000÷400÷365）で算出。
水蒸気放出については1年間に300日稼動と仮定。原水処理量80m3については年間ランニングコスト×6.7年（800,000÷400÷300）、原水処理量40m3については年間ランニングコスト×3.4年（400,000÷400÷300）で算出。

その後の状況

- 2016年9月、「多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会」を設置。現在までに3回開催。

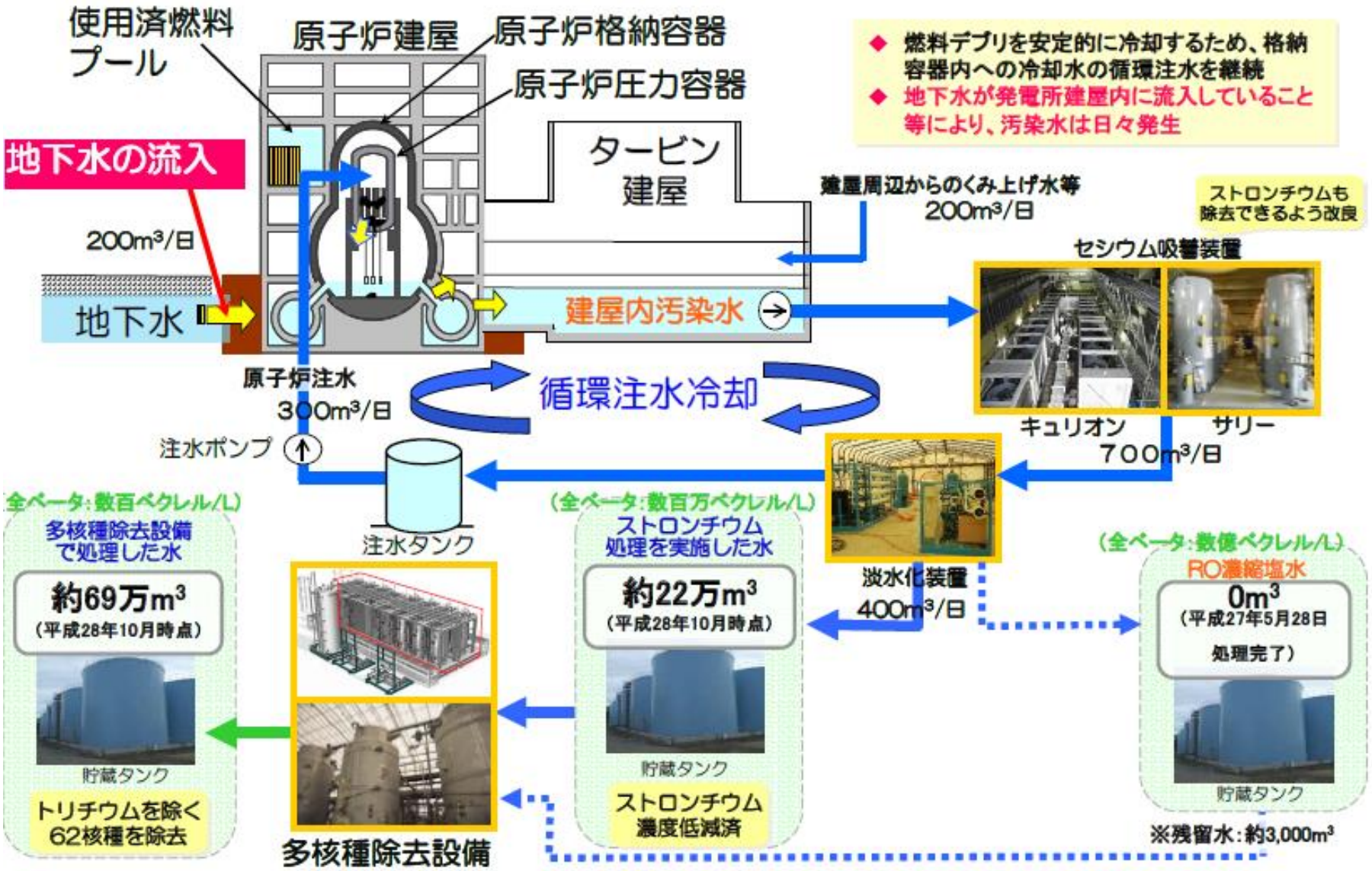
➡同報告書で取りまとめた知見を踏まえつつ、多核種除去設備等処理水の取扱いについては、風評に大きな影響を与えることから、技術的な観点に加えて、風評被害など社会的な観点等も含めて、総合的な検討を行う

・汚染水処理はALPSで続行中。

➡2016年9月現在　約67万トン、約7.5×10^{14}Bq。

・タンク増設中。サブドレン対策で、量の増加は制御される見込み。

汚染水処理の流れ



- 燃料デブリを安定的に冷却するため、格納容器内への冷却水の循環注水を継続
- 地下水が発電所建屋内に流入していること等により、汚染水は日々発生

※地下水流入量、建屋周辺からのくみ上げ水は、地下水流入抑制策や降雨量により変動する。

多核種除去設備等

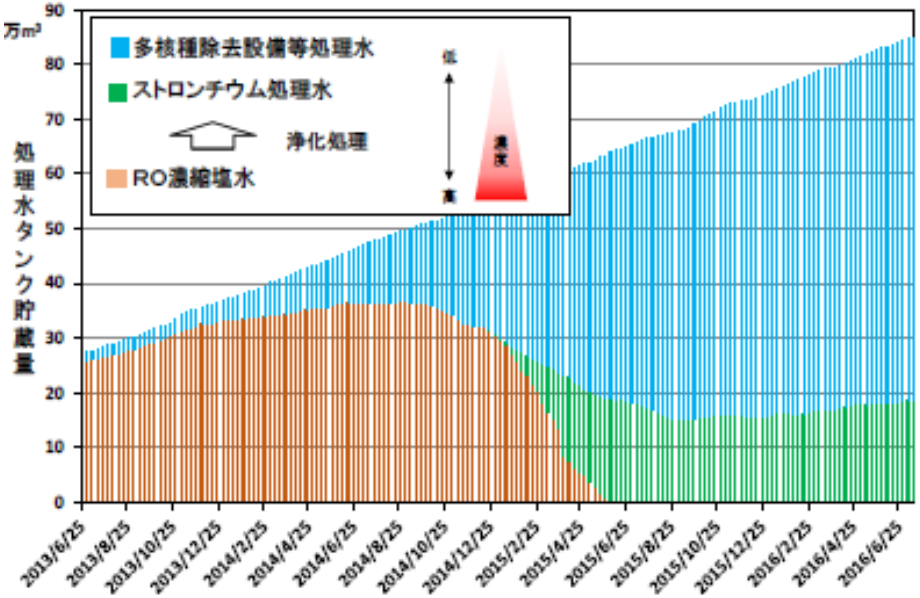
◇ 従来はＲＯ濃縮塩水※をタンクに貯蔵していたが、これらを除去するために多核種除去設備等を導入し、２０１３年３月より浄化処理を開始。

※セシウム吸着装置により処理された後に、循環注水のための淡水化処理で生じる高濃度に汚染された塩水

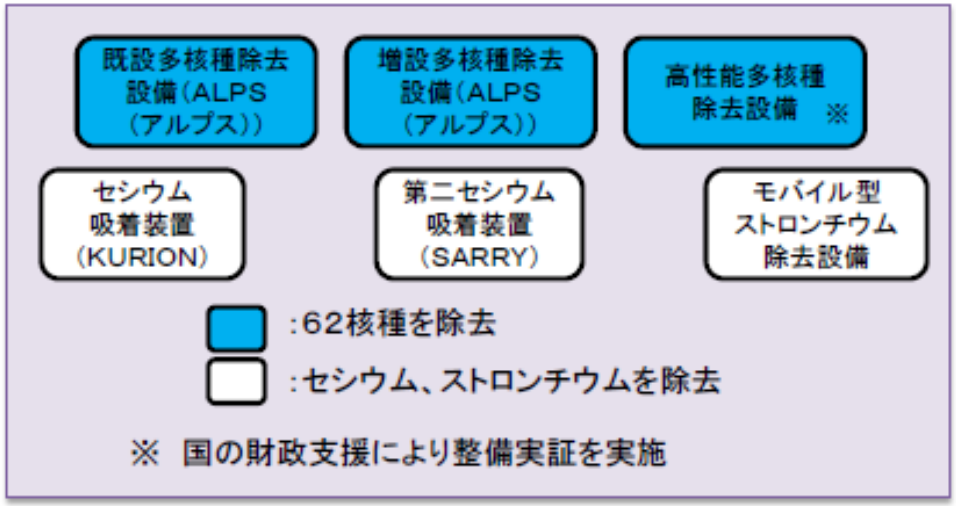
◇ 多核種除去設備等により浄化処理を加速し、２０１５年５月２７日までにＲＯ濃縮塩水の処理を完了。

◇ 現在、更なる浄化の必要なストロンチウム処理水等の浄化処理を継続中。

処理水タンク貯蔵量



高濃度汚染水を浄化処理するための設備



トリチウム汚染水の処理についての専門家の見解

実は関係者の合意が最も重要で困難であることは当初より認識

日本原子力学会事故調査委員会の検討(2013.9,報告書は2014.3)

・自然界のBGレベルに近い濃度となるように希釈して海中へ放出することが、他の同位体分離などによる浄化処理を採用することに比べて、サイトに溜め込むことによる偶発的な漏水などによる想定外の放射線被ばくや環境汚染のリスクを低減できる方法
・リスクを最小とする観点で処理方法を地元や社会の了解のもとに選択すべき

IAEA勧告(2013.12)

・基準値を下回るものは、海への放出も含めた検討をすべき
・国民、関係者が受け入れることが不可欠。関係者と議論し、合意を得ることが前提

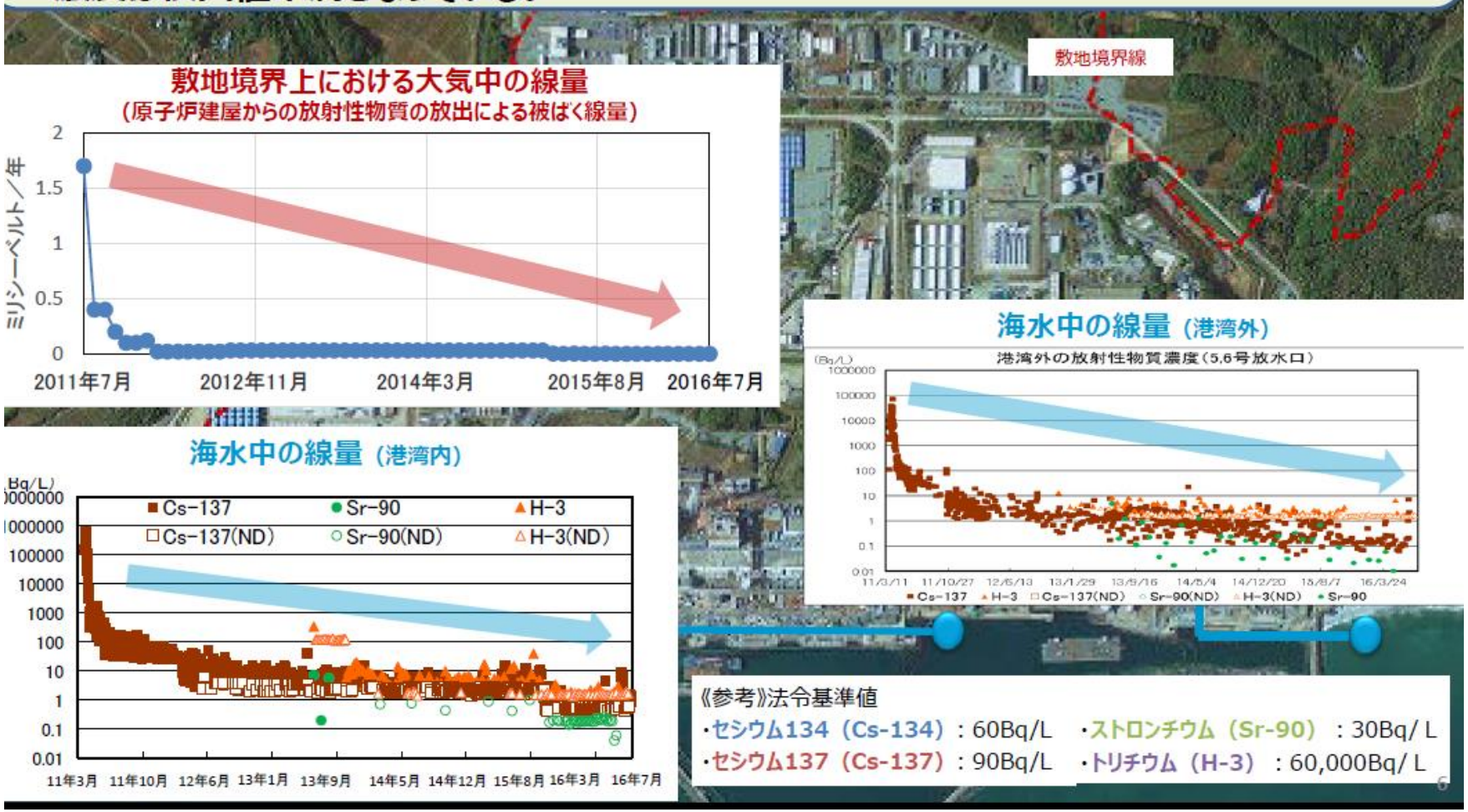
田中原子力規制委員長 第190回国会原子力問題調査特委(2016.4)

・私どもとしては、排出濃度基準以下のものは排水させていただくようにした方がいいということを申し上げているんですけれども、なかなか漁業者を初めとした御理解が得られない
・排出濃度基準以下になった、主にトリチウム水ですけれども、そういったものを排出することについては、安全上の問題というよりは社会的、経済的問題であろうというふうに認識しておりますので、そういった点で、先生方の御尽力も含めまして、住民の理解を得ていくということがとても大事

福島第一原発の敷地境界及び周辺海域の改善状況

○ 敷地境界における原子炉建屋からの放射性物質の放出による被ばく線量及び周辺海域における放射性物質濃度は、事故直後から数ヵ月で劇的に低下。

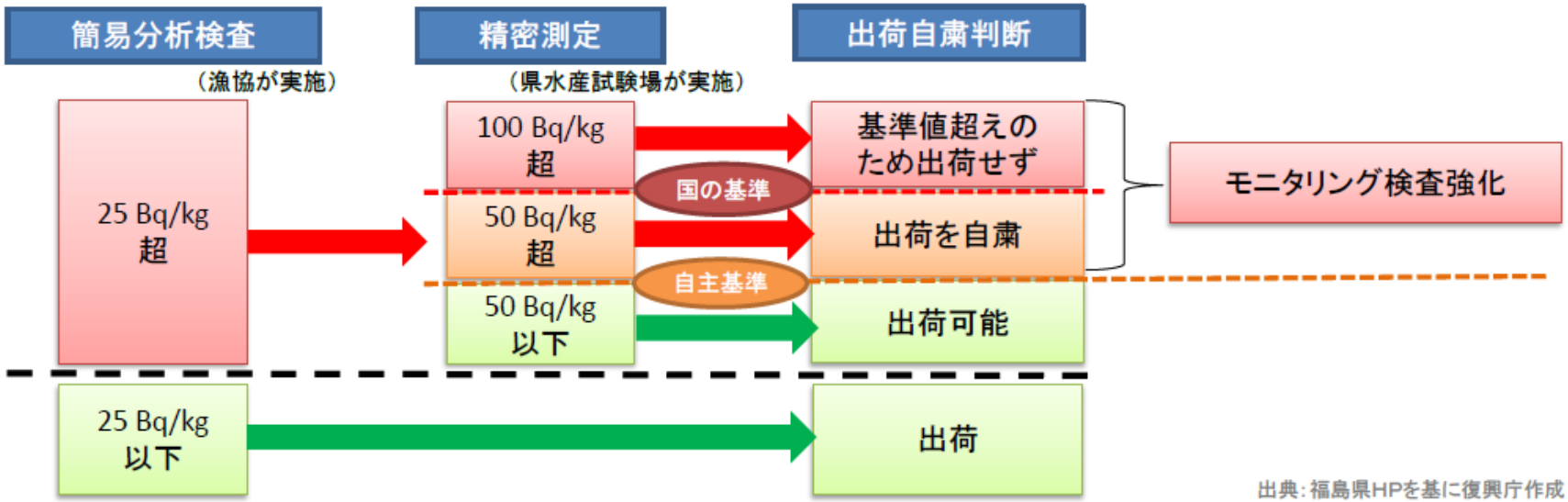
○ 現在では、敷地境界の追加的な実効線量は1mSv/年未満となり、周辺海域の放射性物質濃度は検出値未満となっている。



福島県の海産物に関する自主検査

○ 福島県では漁業の操業を自粛し、試験操業・販売*を実施。
○ 基準値を超えたものは出荷を制限しており、消費者の手元に届く海産物の安全性は確保。
○ 漁協が国の基準値よりも厳しい自主基準（50Bq/kg）に基づく自主的な検査を実施し、安全・安心に配慮。

*「試験操業・販売」：平成23年3月以降、操業自粛している中で、海産物の放射性物質検査の結果、安定して基準値を下回っている海域・魚種について、試験的に操業・販売を実施している。



出典：福島県HPを基に復興庁作成

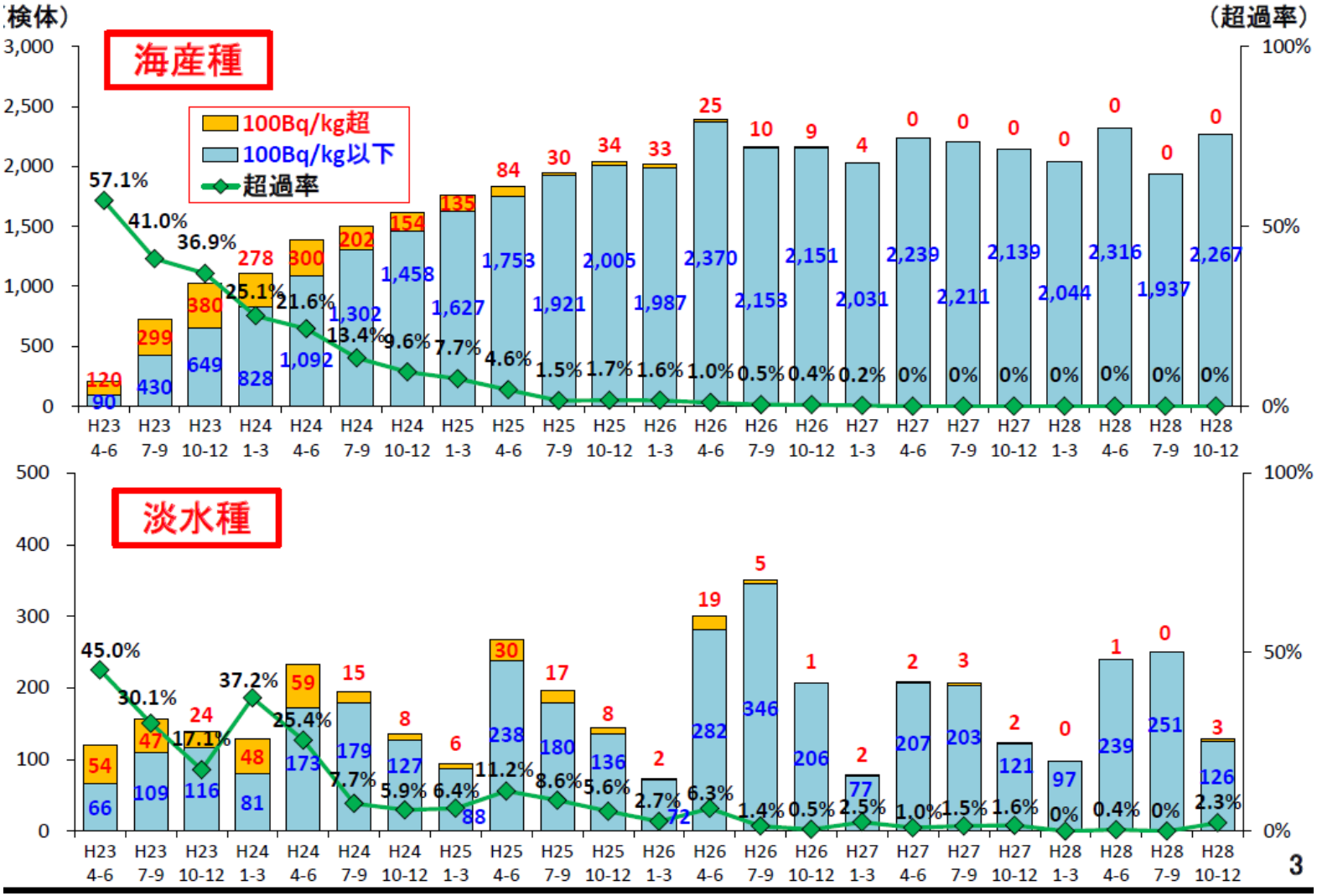
IAEAによるモニタリングへの評価（IAEA報告書（平成26年2月）より抜粋）

日本は2012年に、国民が受ける放射線量を国際基準レベルより少なくするため、食品の上限値としてセシウム134・137の合計で100ベクレルを採用した。これに応じ、日本は、海水及びフード・チェーンの食品について、包括的なモニタリングシステムを構築している。加えて、日本は国際基準に基づいた食品管理の基準値を導入している。
この体系的なアプローチと、関係する地方自治体による出荷制限が、市場に流通する海産物の安全性を確保している。

第3回多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会
（2017.2.17資料4）より

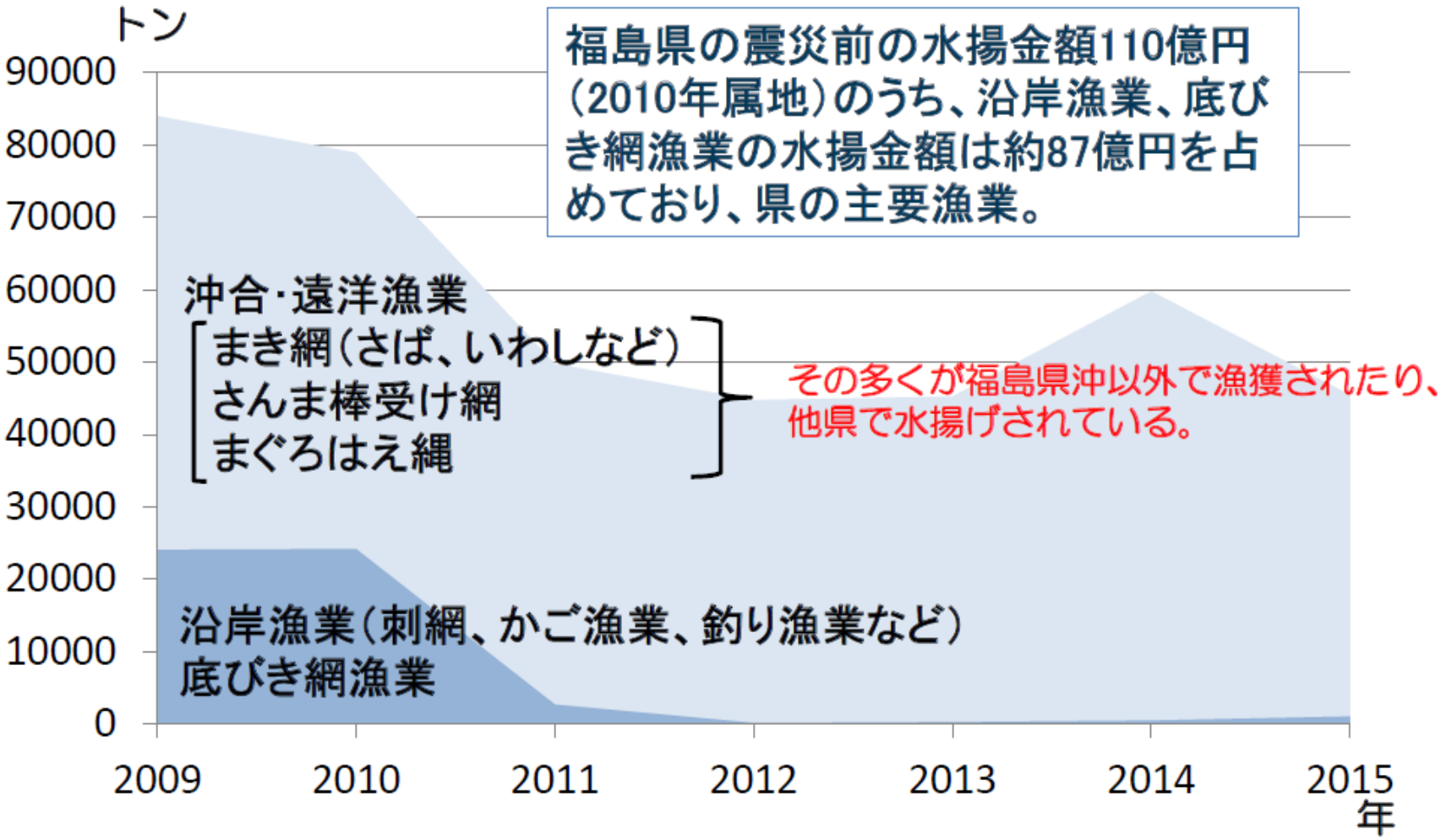
平成28年
12月26日現在

水産物モニタリング結果（福島県）

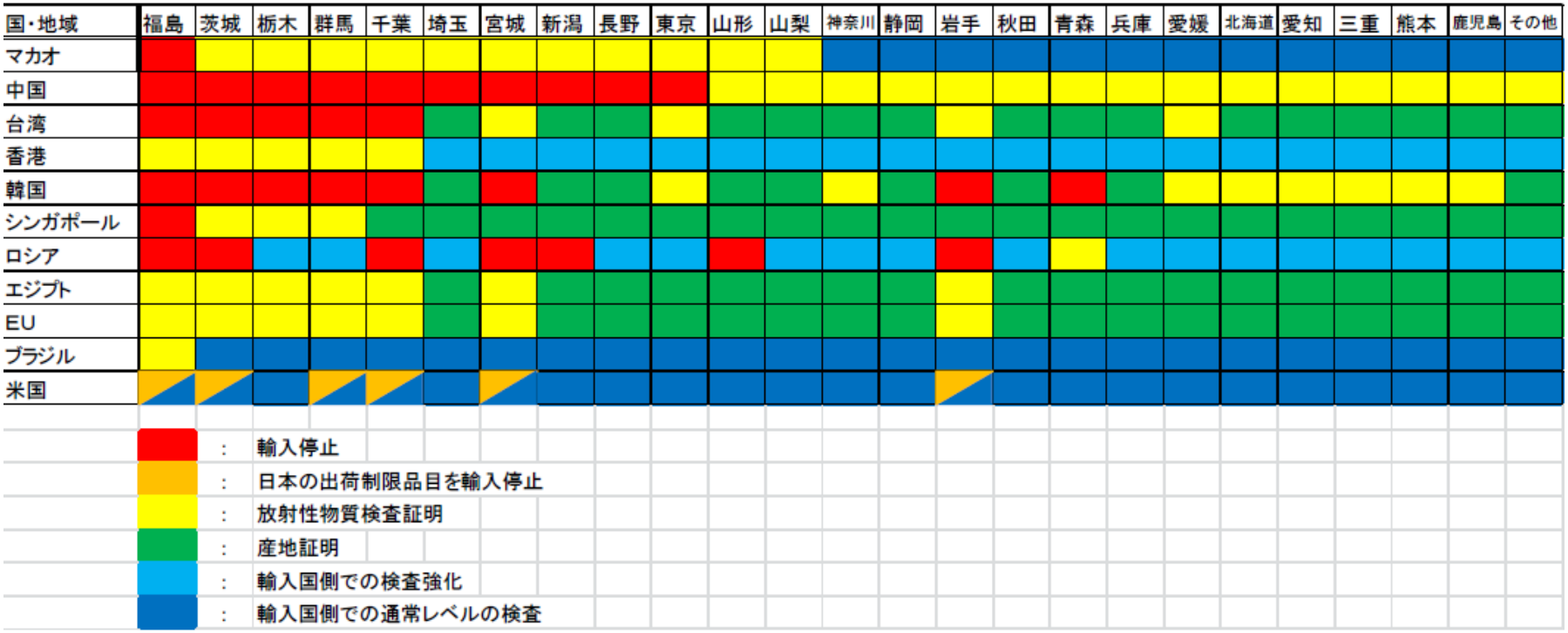


・今年1月時点で、まだ12魚種が出荷制限中
・漁獲量は、試験操業を加えても事故前の8%

福島県の漁業者の漁獲量の推移（属人）



主な諸外国・地域による輸入規制（水産物）



多くの国において、地域差は認識されない。（日本ならどこでも同じ？）

海洋放出の利点と問題点

- トリチウム水の海洋放出は、十分実績があり国際的にも受容されている。
- 放出方法・場所により、環境影響は大きく異なるがその定量的な評価は可能であり、影響を事実上ゼロに近くすることも可能。
- さらに、放出が完了すれば、リスクは永久に除去される。

- 一方、放出した場合の水産業への影響、特に風評被害のメカニズムとその防止策が十分理解されたわけではない。
- 我が国社会は、水産物（農産物もだが）の汚染に関する事実の認識と理解、さらにそれに基づく的確な判断を行うにはまだ成熟度が不足している。
- ことに、事故と汚染による不利益の負担が地元の漁業者に集中する問題を解決する方法は見出されていない。

まとめにかえて

・トリチウム・水素同位体の分離方法は、技術的には比較的よく検討され、十分な実績があって、条件により選択ができる。

ー「処理できない」のではない。

・設備、コスト、環境生物影響等様々なリスクは分析でき、適切な処分方法は存在していて、要求により選ぶことができる。

ー影響評価も定量的に可能

ーしかし大量低濃度のトリチウム水のリスクは主として社会的

・すでに重大な被害を受け、現在ようやく立ち直り始めた漁業をはじめとした福島の復興への影響を最小とする選択が必要。

ー地元に負担を押し付けないリスク分配は我が国全体の問題

・そのためには、トリチウムの社会・環境リスクの低減に向けて、地元の総合的判断、それを可能とする我が国社会の理解と事実の蓄積に対し、専門家の適切な支援が必要。