
経済産業省委託事業
「原子力発電所等金属廃棄物利用技術開発」
事業報告会

平成27～29年度事業成果の概要

平成30年3月22日
(株)日本製鋼所
(株)神戸製鋼所
電気事業連合会

本日は、以下のことについてお知らせいたします。

1. 本事業の成果・・・P2～P16

- 成果(1)内容器製作の技術的成立性の確認
- 成果(2)放射性物質の影響がないことの確認
- 成果(3)再利用することの経済的合理性
- 成果(4)材料規格案の策定

2. 本事業における補足説明・・・P17～P31

3. 今後の取り組み・・・P32～P35

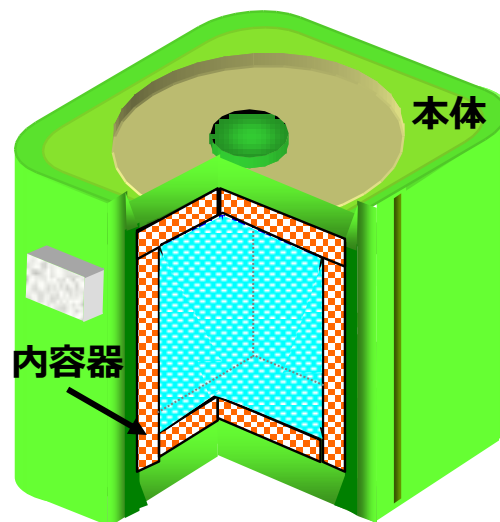
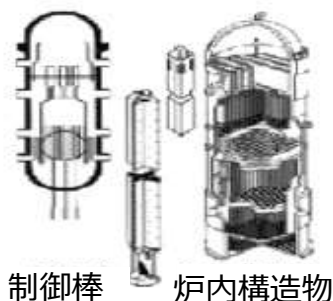
1. 本事業の成果について

事業の概要

- 原子力発電所などの解体から生じるクリアランスレベル以下の金属から「**低レベル放射性廃棄物**」を収納する容器を製造することを、電気事業者は考えています。
- 本事業は、クリアランスレベル以下の**金属の再利用に対する実現可能性**について検証するために、このような提案をベースに国が事業を委託したものです

低レベル放射性廃棄物を処分するための容器

低レベル放射性廃棄物
処分のイメージ



内容器
(実証試験で製作する容器)

外寸：1.5 m角
(高さ1.5m/1.1m)
厚さ：5～20 cm
重量：約5～15 トン

浅地中トレンチ／ピット処分対象
低レベル放射性廃棄物

中深度処分対象
低レベル放射性廃棄物

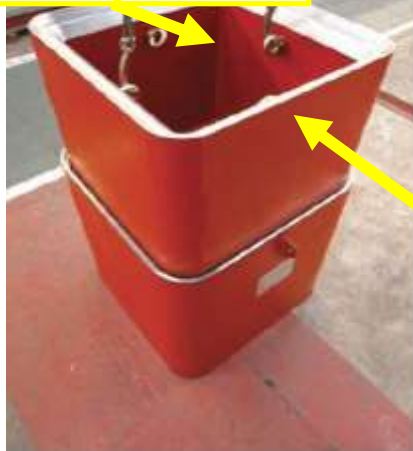
深さ

50m

100m

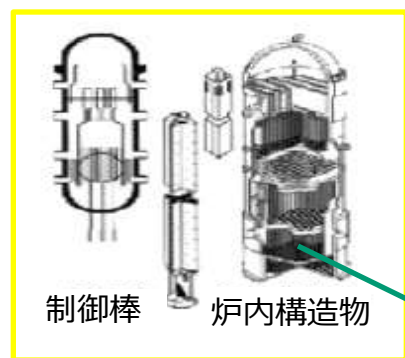
低

放射能レベル

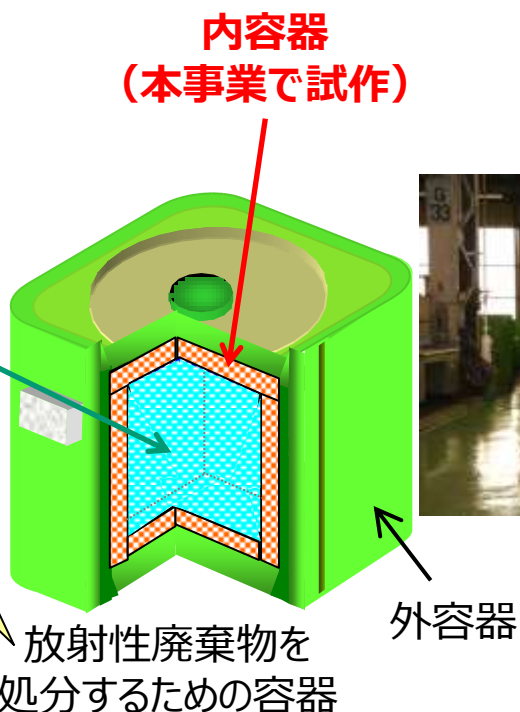


実施内容（１）

- クリアランスレベルの廃材を東海発電所から室蘭製作所に搬入し、放射性廃棄物を処分するための「容器」を試作しました。（平成28年度）
- これにより、クリアランスレベル以下の廃材を利用しても問題ないことを確認しました。（平成28年度）
- 容器の試作やその他の試験を通して、クリアランスレベル以下の廃材を用いた「容器」の材料規格案を策定しました。（平成27～29年度）



比較的放射能の高い
放射性廃棄物を
収納する予定



日本製鋼所
室蘭製作所



実施内容（２）

5

	平成27年度	平成28年度	平成29年度
説明会等	▼11/27,28 住民説明会	▼6/28 事業報告会 ▼7/7 CL金属搬入 2/16 試作品見学会▼	3/22事業報告会 ▼ ▼6/28 事業報告会
基礎試験	基礎試験の実施		
材料規格案の策定			材料規格案の策定
実証試験 （内容器試作）		実証試験の実施	
経済的合理性の 評価			経済性評価

成果(1) 技術的成立性

クリアランス金属を用いて、**内容器が製作可能であることを確認**しました。
(平成29年6月28日 事業説明会で説明済み)

クリアランス金属



日本原子力発電
東海発電所の解体撤去物
(燃料取替機トランスポータ)

輸送



加工
(容器製造)



試作品

実物大の容器
(鋳鋼品) を製作

製造プロセス

①受入れ

クリアランス金属を発電所から受入れる

②溶解

クリアランス金属を溶かす

③精錬

製品の仕様にあった化学成分に調整する

④鋳込み

鋳型に入れて成型する

⑤熱処理

所定の材力を与える

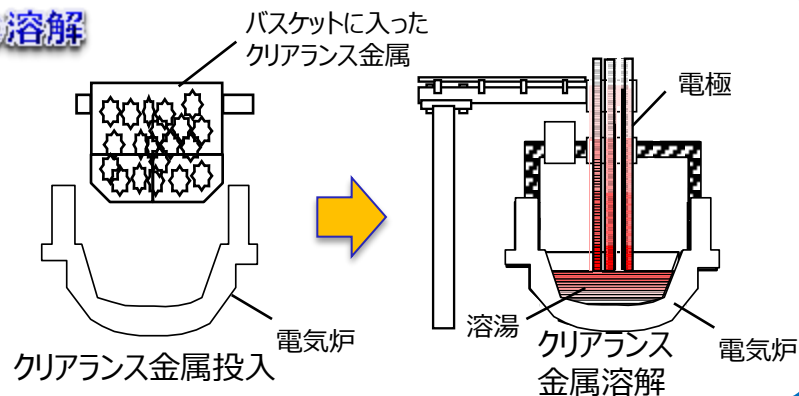
⑥機械加工

決められた公差内となるよう機械加工する

⑦出荷

製品(内容器)を出荷する

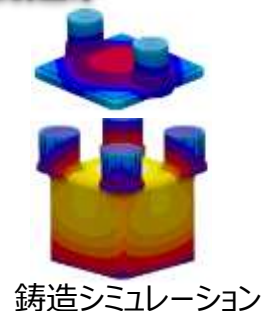
②溶解



③精錬



④鋳込み



⑥機械加工



加工用機械

成果(2) 放射性物質の影響の確認

クリアランス金属の**使用前後において、放射線／放射能の測定**を行い、製造した試作品や、製造に使用した設備、工場の周辺に放射能の影響がないことを確認しました。
(平成29年6月28日 事業説明会で説明済み)

	クリアランス金属 使用前	クリアランス金属 使用后
クリアランス金属	クリアランス金属を 室蘭製作所に搬入する前に放射線測定データ を確認しました。	試作品の放射線・放射能データ を確認しました。
製造に使用した設備、製造時に発生したもの	クリアランス金属を 使用する前（平常時）と使用した後の工場設備や工場周辺の放射線測定データ を比較し、大きな差がないことを確認しました。	

放射線／放射能の測定結果（まとめ）

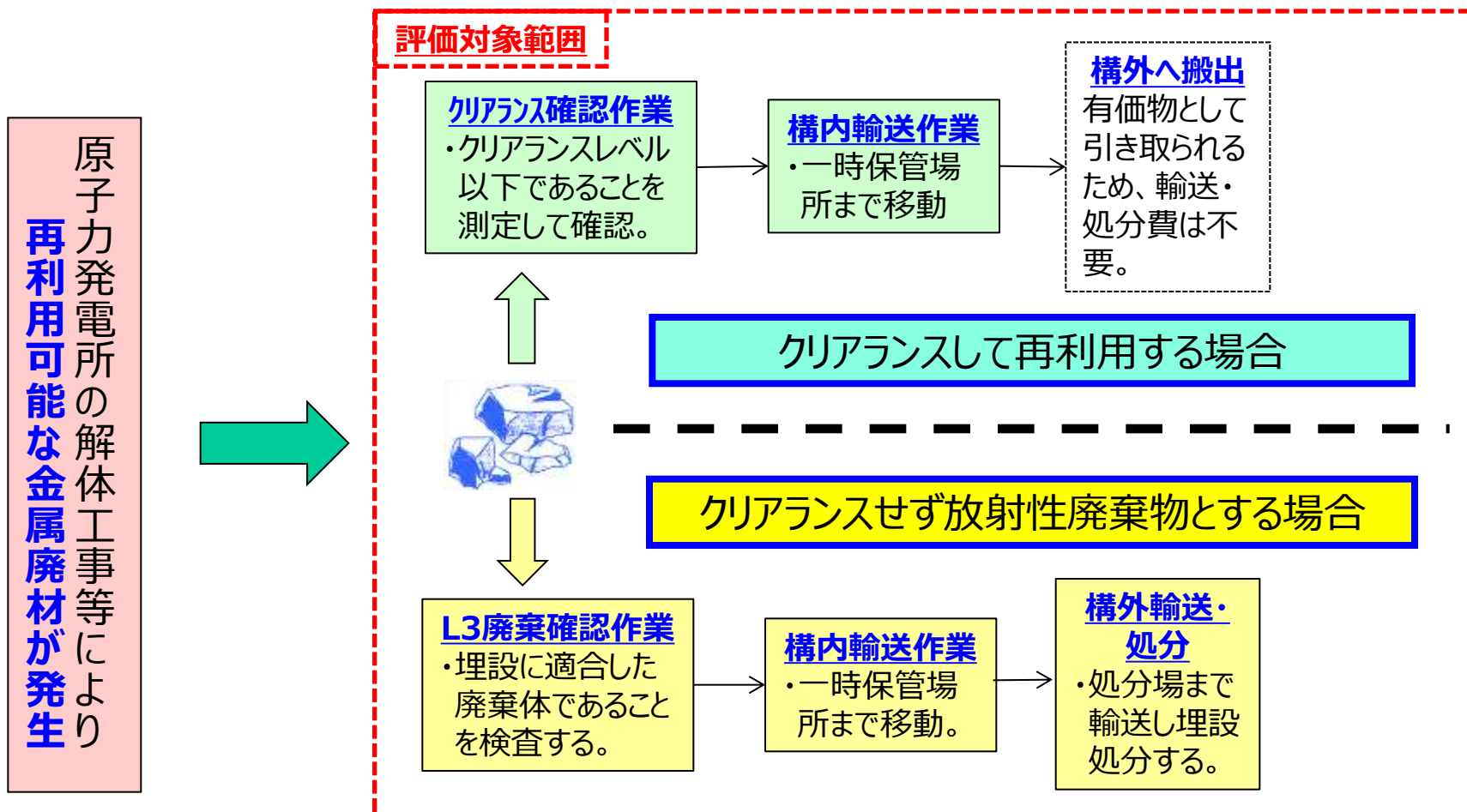
- クリアランス金属**使用後の設備、製品由来地金、発生物の線量当量率**は、**使用前の平常時と変化はありませんでした。**
- 試作品の放射能測定の結果、**人工放射性核種は検出されず、クリアランスレベル以下**であることが確認できました。
- また、クリアランス金属を用いた**溶解・精錬・鋳込みタイミング**において、**室蘭製作所周辺での空間線量率の変化はありませんでした。**

（平成29年6月28日 事業説明会で説明済み）

成果(3) 経済的合理性の評価

原子力発電所の廃止措置で発生する金属廃材を・・・

- ・クリアランス制度を適用して再利用し、L1処分容器（内容器）を製作する場合
 - ・クリアランス制度を適用せず、放射性廃棄物（L3廃棄物）として処分する場合
- のコストを比較しました。



【参考】 放射性廃棄物処分の考え方

低レベル放射性廃棄物 (L3)

浅地中 (トレンチ処分)

濃度上限値⇒ Cs-137: 1.0×10^8 ,
Co-60: 8.1×10^9 Bq/ton, 他

低レベル放射性廃棄物 (L2)

浅地中 (コンクリートピット処分)

濃度上限値⇒ 全 α : 1.0×10^{10} ,
Co-60: 1.0×10^{15} Bq/ton, 他

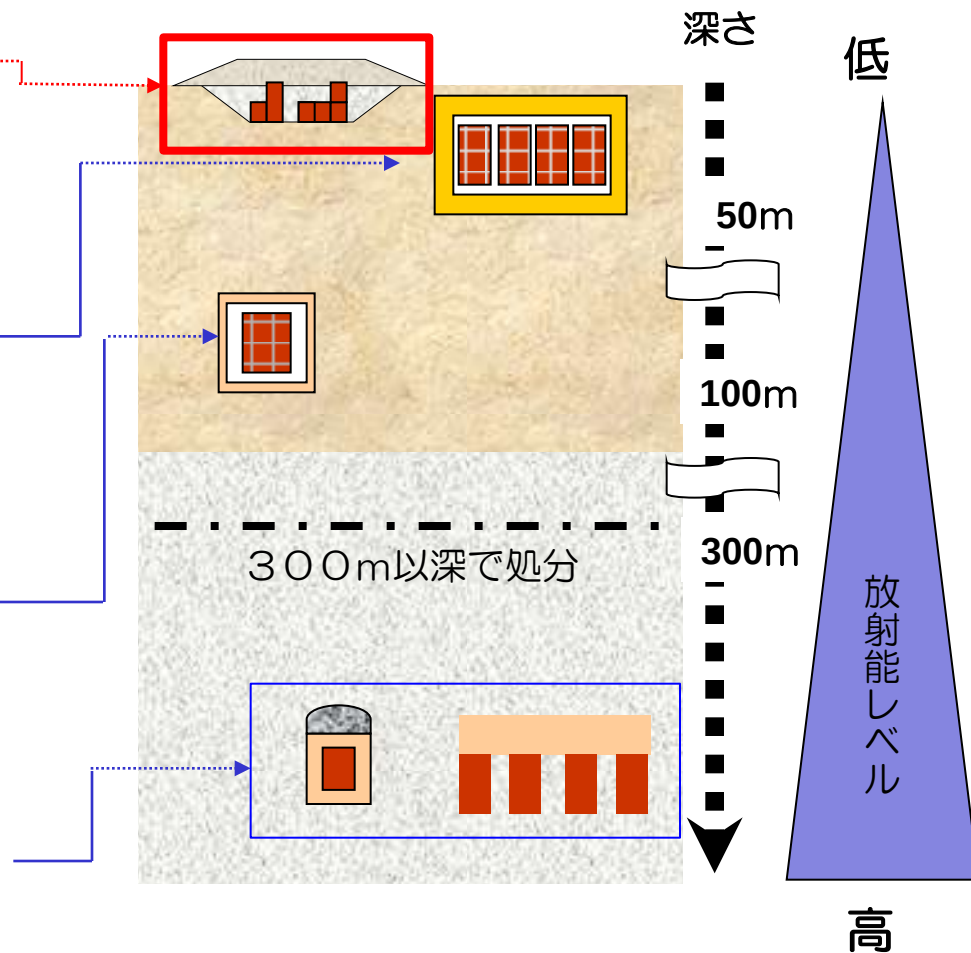
低レベル放射性廃棄物 (L1)

中心部処分 (70m以深)

濃度上限値⇒ 全 α : 1.0×10^{11} ,
C-14: 1.0×10^{16} Bq/ton, 他

高レベル放射性廃棄物

地層処分: 300mより深い地層に処分



成果(3) 経済的合理性の評価

浜岡1,2号機を解体した場合に約8万トンのクリアランス物が発生することから仮に**8万トンの金属を再利用する場合と処分する場合の費用を試算**しました。

(浜岡1, 2号機を解体した場合の廃材の発生量)

(参考) 東京タワーに使用されている鋼材量＝約4,000t

**LLW : 約2万トン
(約4%)**

LLW : 低レベル放射性廃棄物

**CL : 約8万トン
(約18%)**

CL : クリアランス対象

**約10万トン
(約22%)**

合計約45万トン

**NR : 約35万トン
(約78%)**

NR : 元々放射性物質による汚染がないもの

約8万トンには、**金属とコンクリート**が含まれますが、ここでは、**全て金属と仮定して**、処理・処分に要する費用を試算しました。

成果(3) 経済的合理性の評価

➤作業に係る費用、設備に係る費用、処分費用を比較すると、トータルとして、**クリアランスして再利用することが合理的**であるとの結果となりました。

＜約8万トンの金属を処理することを想定して試算した費用 単位：百万円＞

L3	試算項目	クリアランス
10,474	作業費用 (発生した 廃棄物 を 容器 に 収納 し、 放射能 を 測定 したり、 輸送 したりする費用)	5,540
7,280	設備等の費用 (上記作業に必要な 設備 を 購入・設置 する費用)	8,141
18,605	処分費用 (廃棄物 を 処分場 に 処分 ／ クリアランス を 再利用 のため搬出する費用)	160
36,359	合 計	13,841

○資源として再利用することの社会的な意義

✓金属を処分せずに再利用することで、**社会全体として金属スクラップを節約**したことになります。

(約8万トンの金属を節約 = 8万トン × 3万円/トン = 24億円のメリット)

✓**多額な費用を要する廃棄物埋設処分場が不要**となるとともに、処分場に要する分の**土地を有効活用**できます。

成果(4)

材料規格案の策定

基礎試験を実施し、得られたデータから**雑多な種類の金属から所定の性能を満足する製品を作る**ための材料に求められる機械的性質、化学成分の条件などを**材料規格案**としてまとめました。

材料規格案の内容

機械的性質の条件

種別	降伏点 または耐力 MPa	引張強さ MPa	伸び %	シャルピー吸収エネルギー		
				試験温度 ℃	3個の 平均値 J	個別の値 J
1種	235以上	410以上	21以上	-20	18以上	13以上
2種	275以上	440以上	20以上	-20	23以上	16以上
3種	355以上	500以上	18以上	-20	27以上	19以上

材料の化学成分

(単位%)											
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Sn	Ceq.
0.22 以下	0.80 以下	1.50 以下	0.025 以下	0.015 以下	0.50 以下	2.50 以下	1.00 以下	0.30 以下	0.20 以下	0.03 以下	0.50 以下

【参考】本事業の報告書データの一部訂正について

本事業の平成27年度および28年度報告書における図表において、一部のデータ等に訂正が必要な箇所が見つかりましたことから、該当箇所の正誤表を資源エネルギー庁の報告書サイトに公表致しました。なお、いずれの訂正も、以下の通り報告書の本旨、結論に影響を与える程度のものではありませんでした。

http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/library/library06.html

- 平成27年度の5個の図表において10件、平成28年度の12個の図表および文章において21件の訂正を致しました。この訂正は、実験値や数値解析値およびそこからの整理された値と、報告書に記載の値との不整合を正したものです。
- 平成27年度の主な訂正は、化学成分が材料の耐久性の程度を表した値（衝撃吸収エネルギー）へ与える影響の調べた一部のデータです。なお、値の訂正により、各化学成分量による耐久性の傾向に変化はありませんでした。
- 平成28年度の主な訂正は、処分容器の設計と異なる寸法で行った数値解析モデルでの計算値です。なお、計算値の訂正により、設計（板厚など）の違いによる処分容器の破壊し易さの傾向に変化はありませんでした。

2. 本事業における補足説明

- 原子力発電所の**運転や廃止措置**で発生する**廃材の大部分**は、放射性物質がほとんど含まれておらず**再利用が可能な廃材**です。
- この再利用可能な廃材を、有効に活用するために「**クリアランス制度**」がありますが、**一般にはあまり知られておらず、再利用はあまり進んでいません。**
- 電力業界は、国民の皆さまへの**クリアランスに関する理解活動を進めながら**、資源として再利用出来るものは再利用し、使えないものはきちんと処分することで、**資源の有効活用**や**循環型社会の実現**を目指していきたいと考えています。
- 再利用可能な廃材を有効活用できるようにするため、**この事業において、再利用可能な廃材を使用した「試験」を実施**しました。

事業の背景

原子力発電所の運転・廃炉により廃材が発生します

原子力発電所を
解体すると
廃材は3種類に
分けられます



低レベル放射性廃棄物

約2%

放射性廃棄物として
安全に処分します

クリアランスレベルの
廃材

約5%

資源として有効に
利用します

または

産業廃棄物と同様に
処分します

放射性廃棄物でないもの

約93%

資源として有効に
利用します

または

産業廃棄物と同様に
処分します

110万キロワット級の沸騰水型原子力発電所
1基を解体した場合
(出典：原子力安全・保安院パンフレット)

原子力発電所の廃炉では、**クリアランスレベル**以下の金属（放射能が低く再利用が可能な金属）が大量発生することが予想されます

金属の再利用は、

- ① **廃炉の円滑化**
- ② **資源の有効利用**
- ③ **廃炉コストの削減**
- ④ **廃棄物の減容化**

に貢献します

クリアランス制度とは、原子力発電所の解体や運転によって発生する大量の金属やコンクリートなどを安全に区分し、リサイクルや適正に処分するといった**循環型社会を目指す**ためのものです

(参考) 原子力発電所の廃止措置に伴い発生する廃材の量

20

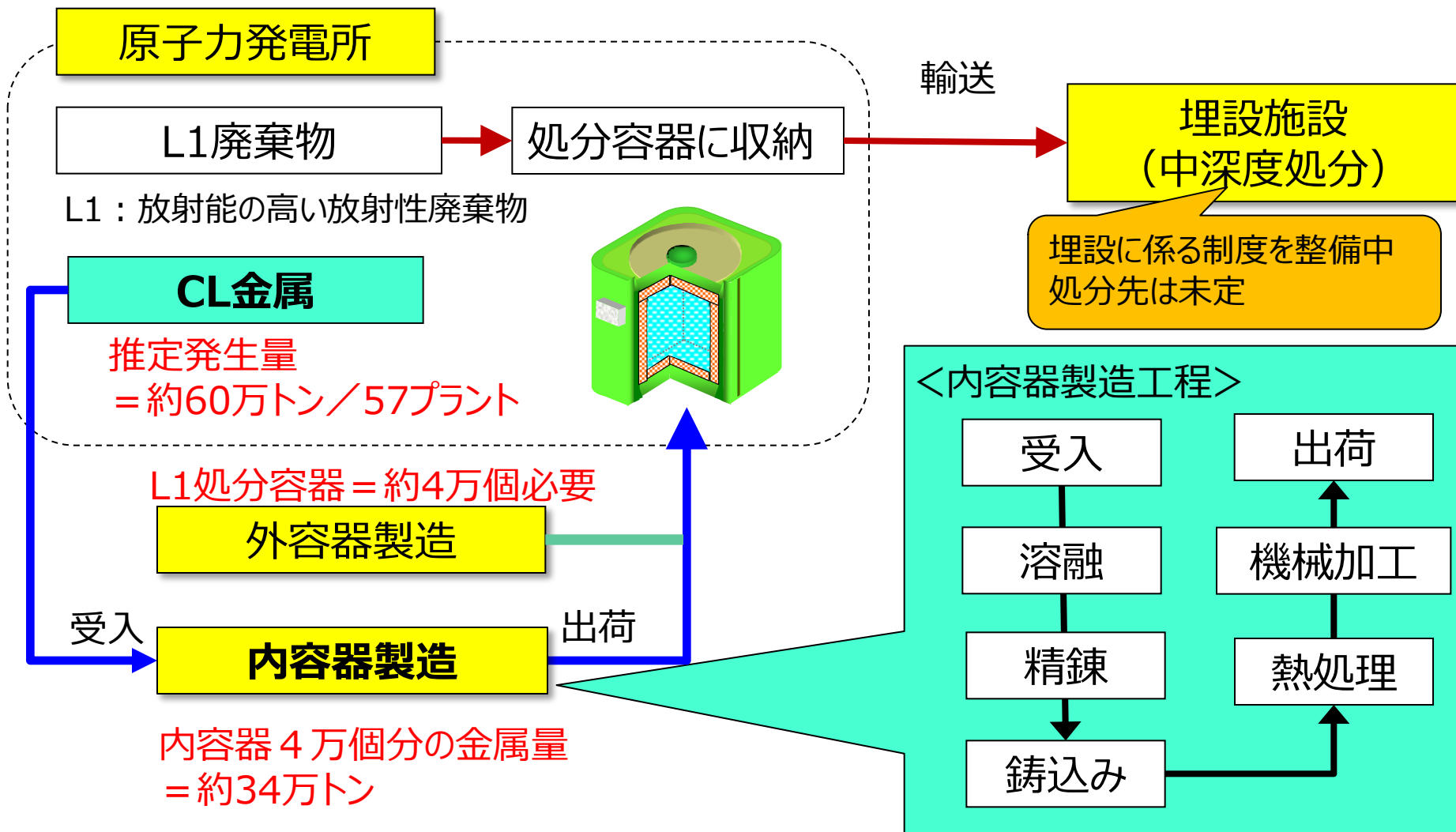
単位 : ton

区分		商業用原子力発電所 (57プラント) の合計 (推定値)	
放射性 廃棄物	L1	約8,000	放射性廃棄物合計 : 約450,000 ⇒約2%
	L2	約63,000	
	L3	約380,000	
クリアランス物		約890,000	CL : 約5%
NR		約18,500,000	NR : 約93%
合計		約20,000,000	合計 : 100%

【注】東海発電所, 浜岡1,2号機は実態調査を反映。それ以外 (※) は標準プラント (BWR / PWR×大中小規模) の評価データをもとに積算・集計。(※福島第一原子力発電所は、事故前の通常の運転状態として試算に含めている。)

内容器へ再利用する場合のイメージ（例）

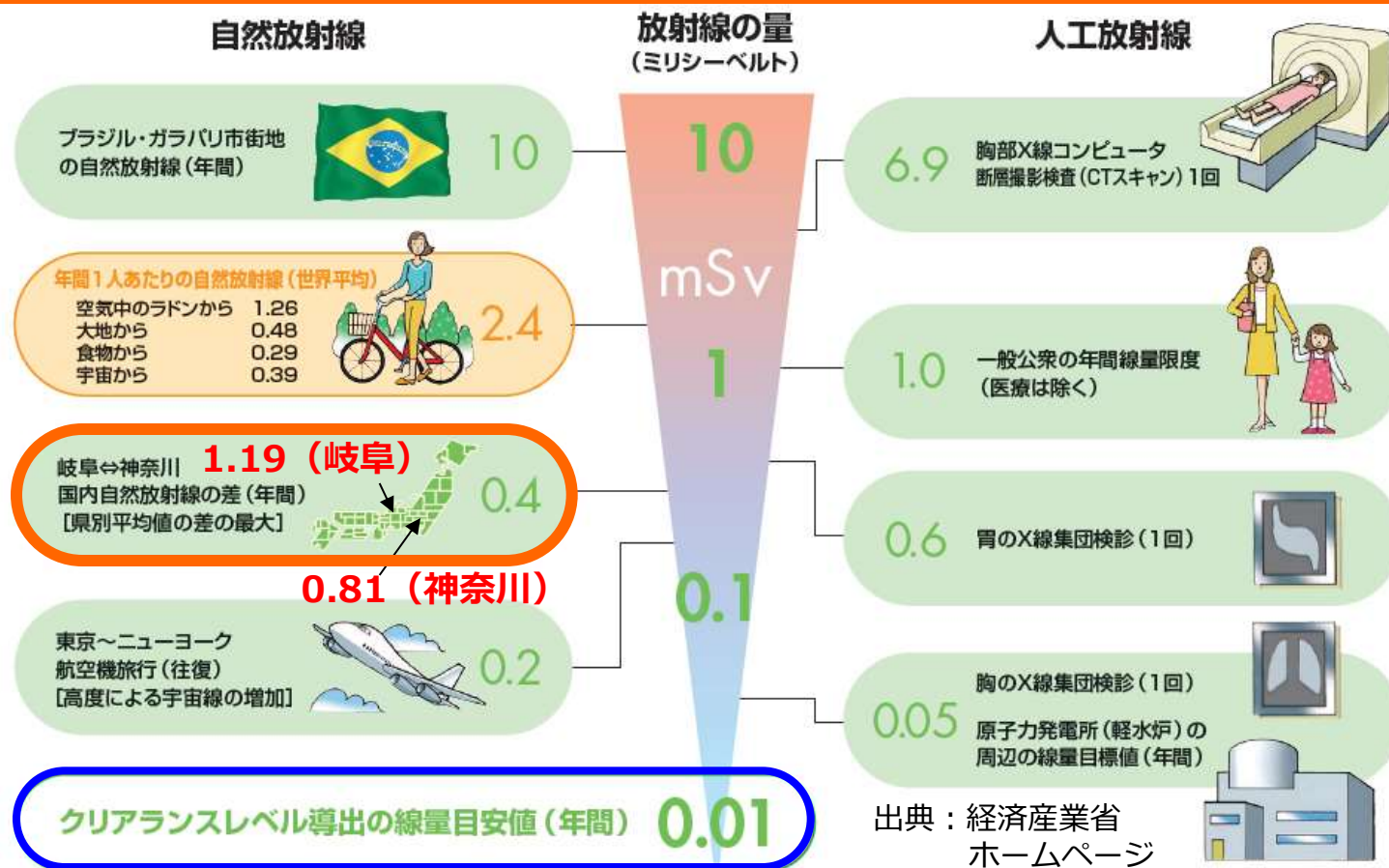
約8,000トンのL1廃棄物の処分に、約4万個の容器が必要と推定。



クリアランスレベル

クリアランスとは・・・

原子炉等規制法において、物に含まれる放射性物質についての放射能濃度が放射線による障害の防止のための措置を必要としないものに対して、放射性物質として扱わない措置を指します



クリアランスレベル (0.01ミリシーベルト/年以下) は自然界の放射線から受ける線量 [年間平均2.4ミリシーベルト] の1/100以下であり、人体への影響は無視できると考えられます

- ① 加工前（搬入前）と加工後の放射性物質濃度の差を説明すること。
- ② 加工後に測定した4核種（マンガン54、コバルト60、セシウム134、セシウム137）だけでなく、その他の核種の濃度を評価すること。
- ③ トリチウムによる被ばくの影響はないのか？
- ④ 室蘭に搬入したクリアランス金属を最終的にどうするのか？

①加工前（搬入前）と加工後の比較

ご指摘いただいた事項：

「加工前（搬入前）の濃度と加工後の試作容器中の濃度を比較すると、試作容器中の コバルト60の濃度が搬入前の濃度より低くなっており、この差分は外部に放出されたということではないか？」

＜加工前のデータ＞

搬入するCL金属中の濃度
（コバルト60のみ抜粋）

= $4.5 \times 10^{-2} \text{Bq/g}$

（0.045Bq/g）

（平成27年11月説明）

＜加工後のデータ＞

試作容器中の濃度

（コバルト60のみ抜粋）

= $<0.005 \text{Bq/g}$

（0.005Bq/gよりも小さい）

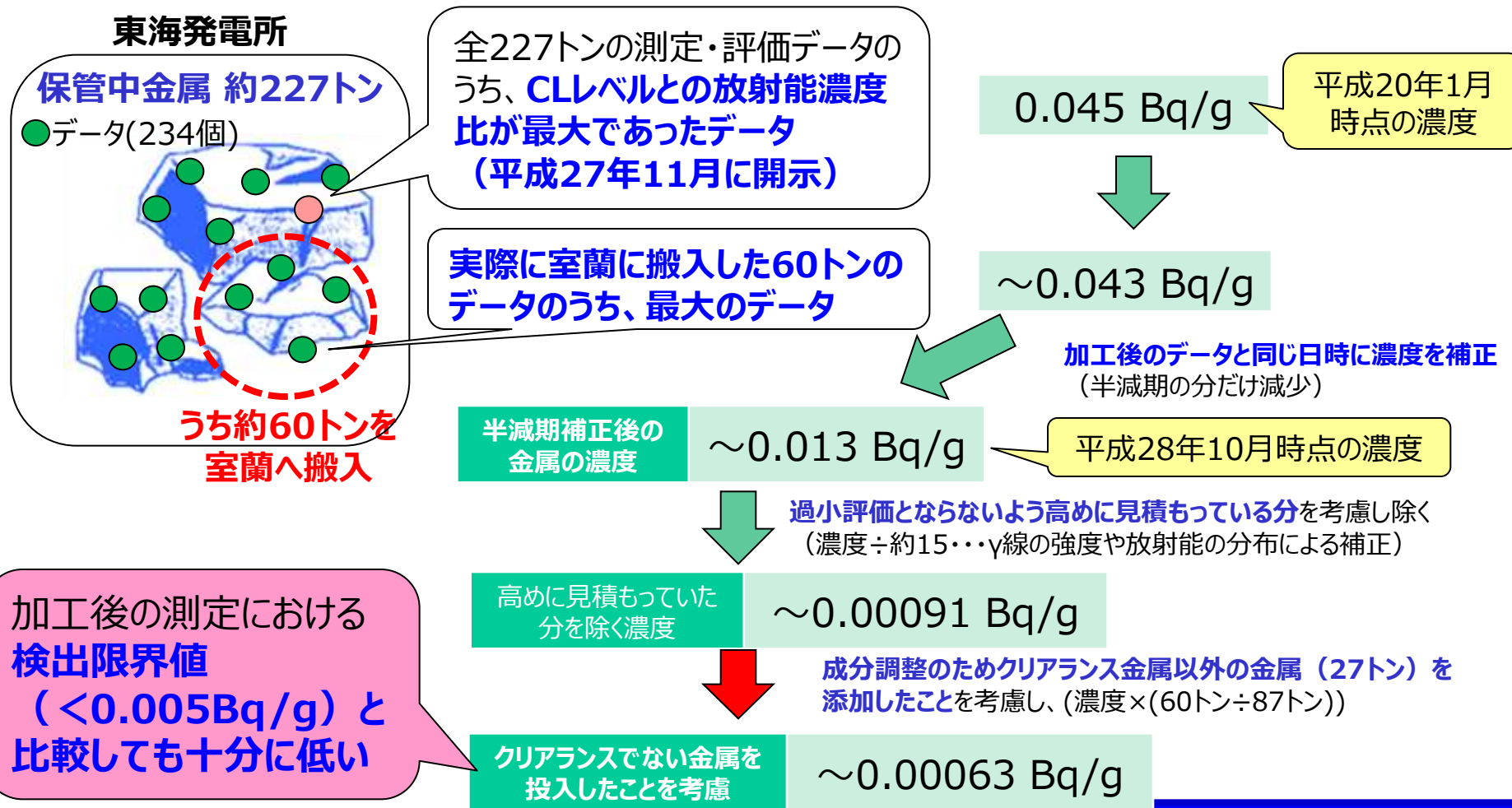
（平成29年6月説明）



- 加工前のデータは、金属中の放射能濃度がクリアランスレベルを超えていないことの判断を、過小評価した値で行わないように、測定値を基に、各核種の放射能濃度を高めに見積もっています。
- 加工後のデータは、今回の委託事業で試作した容器における放射能の影響を確認するために測定したものです。
- このように、測定の目的や、それに応じた評価・測定方法を採用しているため、単純に比較できるものではありません。

①加工（搬入） 前と加工後の差異

- 加工（搬入）前のデータが加工後のデータより大きくなっているのは、**加工前のデータは、十分な余裕を持った評価による放射能濃度でクリアランスレベル以下であることを判定するよう、高めに見積もっているからです。**



② 4核種以外の核種の評価

ご質問：「加工後に測定した4核種以外の核種の評価は？」

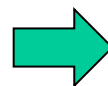
- 加工前（搬入前）データ（評価値）を基にして、4核種以外の核種の放射能濃度を推定すると下表のとおりとなります。

放射性物質	トリチウム	炭素14	マンガン54	コバルト60	ストロンチウム90	セシウム134	セシウム137	ユーロピウム152	ユーロピウム154	プルトニウム239	アメリシウム241
試作容器中の推定放射能濃度 (Bq/g)	0	0	<0.004	<0.005	2.8×10^{-3} ～ 3.9×10^{-3}	<0.005	<0.005	5.9×10^{-6} ～ 8.3×10^{-6}	1.8×10^{-5} ～ 2.5×10^{-5}	6.7×10^{-5} ～ 9.7×10^{-5}	7.6×10^{-5} ～ 1.1×10^{-4}
環境中の推定放射能 (Bq)	1.9×10^7	8.4×10^4 ～ 1.1×10^5	0	0	0	1.3×10^2 ～ 1.7×10^2	1.6×10^5 ～ 2.2×10^5	0	0	0	0

トリチウム、炭素14、セシウム134、137は排出ガスとともに放出されます

空気中に拡がる

放出



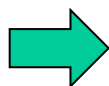
製作工場周辺に住んでいる人が工場からの排気ガスを吸入する

これらの放射性物質を吸入したとしても、その被ばく量は、自然放射線からの被ばく量より極めて小さいです

年間の被ばく線量
約0.0032μSv

自然放射線からの年間の被ばく線量2.1mSvの約66万分の1

1mSv=0.001μSv



クリアランス金属

製作工場
(溶解、製錬、鋳込み等)

③トリチウムの挙動及び人体への影響

ご質問：「トリチウムによる被ばくの影響はないのか？」

- **加工前（搬入前）のトリチウムデータ**は、クリアランス測定装置で測定・評価した値ではなく、予めクリアランス対象範囲から採取した**代表サンプルの測定結果の平均値を用いて評価**しています。
- **今回搬入したクリアランス金属のトリチウム放射能濃度**は上記データより減衰補正を行うと**0.32Bq/g**と推定されます。（除染等により、実際の放射能濃度は0.32Bq/gより低いと考えられます。）
- クリアランス金属中のトリチウムは、容器の試作の過程において水蒸気等となり**環境中へ放出されたと考えられますが、その被ばく量は自然放射線より極めて小さいです。**

トリチウム濃度

平成27年11月説明
0.52 Bq/g
(平成20年1月時点)

↓ 減衰補正

0.32 Bq/g
(平成28年10月時点)



クリアランス金属

放出

空気中
に拡がる



製作工場
(溶解、製錬、鋳込み等)



製作工場周辺に住んでいる人が工場からの排気ガスを吸入する

**年間の被ばく線量
約0.00066μSv**

トリチウムを吸入したとしてもその被ばく量は、自然放射線からの被ばくより極めて小さいです

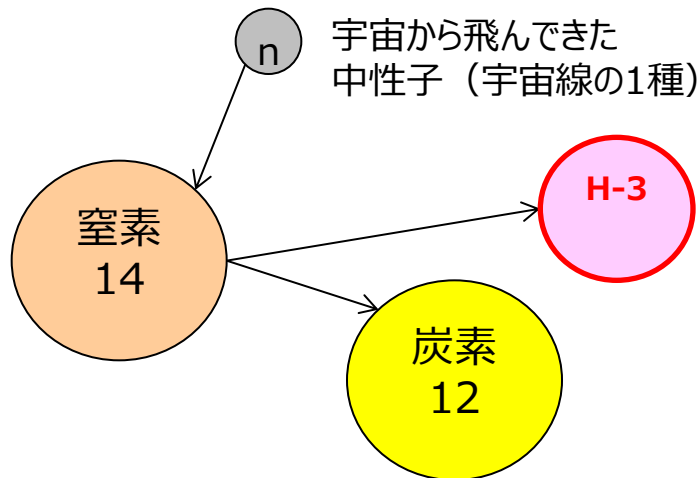
**自然放射線からの年間
被ばく線量2.1mSvの
約300万分の1**

1mSv=0.001μSv

【参考】自然界に存在するトリチウムについて

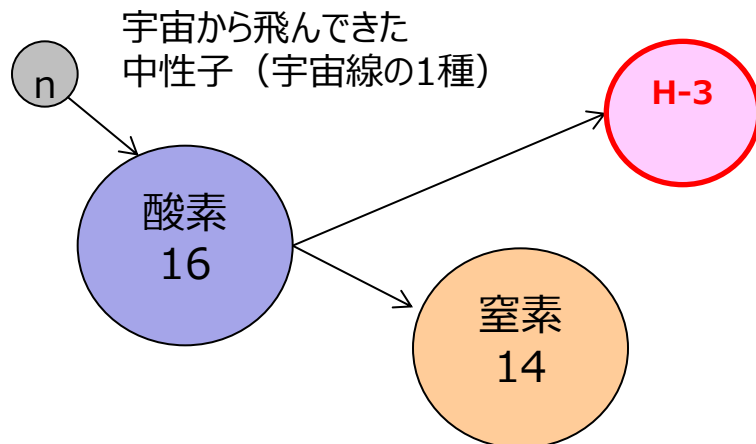
28

- 自然界には、主に**宇宙線により生成されるトリチウムが大量に存在**しています。
- 一方、**東海クリアランス金属の加工前（搬入前）**データから推定したトリチウム量は**1,920万Bqと評価**されますが、これは**大気中トリチウム量の678億分の1**です。



＜自然界に存在するトリチウムの量＞

生成源	存在量[Bq]	注
大気中のトリチウム （自然放射線）	1.3×10^{18}	①
東海クリアランス金属 のデータから推定 （人工放射線）	1.92×10^7	②



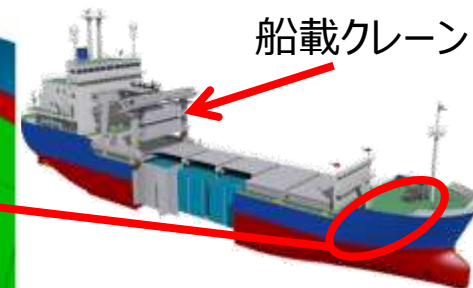
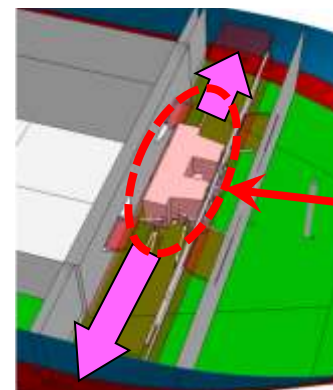
注①：宇宙線による生成と放射性壊変による減少がバランスしている。
注②：0.32Bq/g×60トンより推定。

④ 室蘭に搬入したクリアランス金属について

- **試験に使用したクリアランス金属**（東海CL金属）は、スクラップ化して日本製鋼所・室蘭製作所に保管していました。（H29年3月～）
- 12月より、これを用いて**電力向け製品**として現在建造中の低レベル放射性廃棄物運搬船の**船載クレーンのカウンターウェイト（バランスをとるためのおもり）**を製作しました。
- カウンターウェイトの製作は、本委託事業とは別の実施事項ですが、試験で使用したクリアランス金属を**早急に再利用し搬出する責務**があると考え、本年度中の製作・搬出とさせていただいたものです。

<次期運搬船のイメージ>

船載クレーン



<カウンターウェイト>



<試作した処分容器>

(*) 低レベル放射性廃棄物運搬船とは、全国の原子力発電所から青森県六ヶ所村へ、低レベル放射性廃棄物（ドラム缶）を海上輸送するための専用船です。

④ 室蘭に搬入したクリアランス金属について

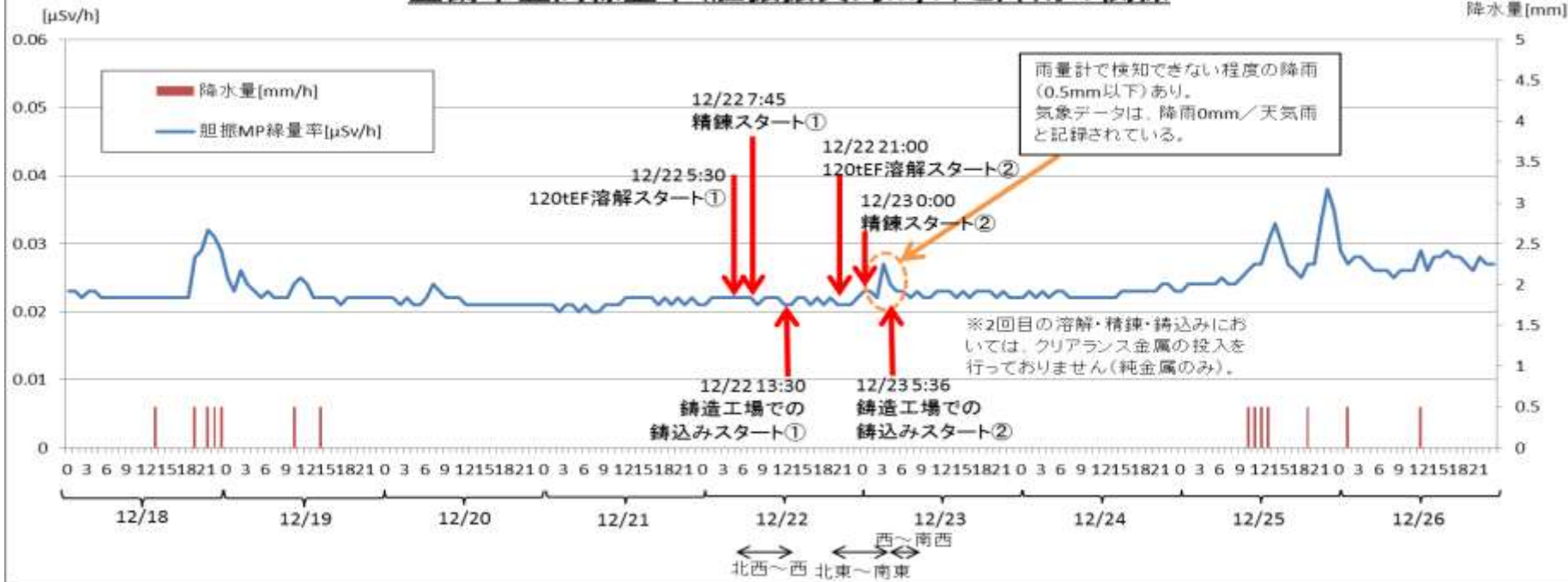
- 今回製作した**カウンターウェイトは、本事業のために室蘭に搬入したクリアランス金属を全て使用**して製作しました。（新たに室蘭にクリアランス金属を搬入しておりません。）
- 本事業において使用したクリアランス金属は、**国により、クリアランスレベルを下回っており安全であることが確認されたもの**です。
- また、**本事業を通して、加工により、試作した製品や加工に使用した設備への影響がないこと、加工施設周辺への環境に影響がないことが確認**できたものです。
- これらを踏まえ、これまでご説明した方針に沿って、**電力向け製品の材料として再利用**することとし、**電力の専用船である低レベル放射性廃棄物運搬船の船載クレーンのカウンターウェイトに再利用**したものです。
- なお、カウンターウェイトの製作にあたっては、**製品の表面線量率の測定**や、**胆振振興局モニタリングポストのデータを確認し、製品が安全であり、環境への影響がなかったことを確認**しました。

④ クリアランス金属加工時の空間線量率

- カウンターウェイト製作時には、**2回の溶解・精錬・鋳込み**を実施。
- いずれのタイミングにおいても、**工場の製造過程に由来する、工場周辺の空間線量率に変動はありませんでした。**
(2回目の鋳込み時の線量率の変動は、**降雨の影響**と考えられます)



室蘭市空間線量率(胆振振興局M/P)と降雨の関係

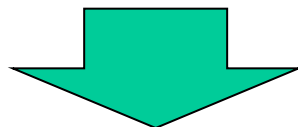


溶融処理前後に見られる空間線量率の変動は、**降雨の影響**です。

3. 今後の取り組み

今後の取り組み

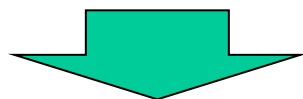
- 本事業において、**クリアランス金属**を日本製鋼所に**搬入**し、**加工**しました。
- その結果、**加工製品**のみならず、**加工施設周辺**への**放射性物質の影響は見られませんでした**。



- 一般に、国からクリアランスの認定を受けたものは、法令の定めにより、それを移動や加工するにあたり、**放射性物質として取り扱う必要はありません**。
- 今回の実証試験で得られたデータにより、**このことを確認することができました**。
- このため、**今後、クリアランス金属を取り扱うにあたり、放射線測定や地元への情報提供等については、通常の金属スクラップと同様の取扱いを行っていきます**。

今後の取り組み

- **クリアランス金属を使って処分容器（内容器）を製作することが可能であることを実証**することができました。
- クリアランス金属を再利用することが**経済的にも合理性があることを確認**しました。
- 内容器として満足すべき**材料規格案を策定**しました。



- **本事業で策定した材料規格案**を鋳造品の材料規格として規格化を進めます。（日本鋳鍛鋼会の規格）
- これに従って**クリアランス金属を内容器の材料として再利用していきます。**
- 今後、内容器の必要時期（放射性廃棄物の埋設処分時期）を踏まえながら、**内容器をいつ、どこで製作するのかを検討していきます。**

今後の取り組み

➤ 内容器以外への再利用

- 電力会社は、製作メーカー殿と協力しながら、**内容器以外への再利用についても取り組んでいきます。**
- 日本製鋼所では電力向け製品を多く製作しており、クリアランス金属が、日本製鋼所が製作する**電力向け製品の材料として再利用できるのであれば、これを資源として有効に利用していきたい。**