

2011年原子力学会秋の大会
平成23年9月19日 北九州市

福島第一原子力発電所事故に関する
特別シンポジウム

汚染水処理処分の課題

9月21日バックエンド部会報告

「福島第一原子力発電所高汚染水の処理処分の課題」紹介

バックエンド部会〔有志代表〕
日本原子力研究開発機構 山岸 功

発表内容

- 汚染水処理システムの概要
- 処理システムの除染性能、二次廃棄物発生量
- 廃棄物の長期保管の課題
- 「学会有志チーム」の活動: 吸着データ集、固化、処分
- 詳細報告: 9月21日バックエンド部会報告
「福島第一原子力発電所高汚染水の処理処分の課題」
紹介

原子炉冷却のため大量の汚染水発生

○大量の汚染水(5/31時点)

★合計体積 105,100m³、(12月では20万トンの見込み)

★合計放射能(I-131 + Cs-134 + Cs-137):7.2E17 Bq

「福島第一原子力発電所における高濃度の放射性物質を含む水の保管・処理に関する経過について」(6月2日東電HP)

○仮設の処理装置

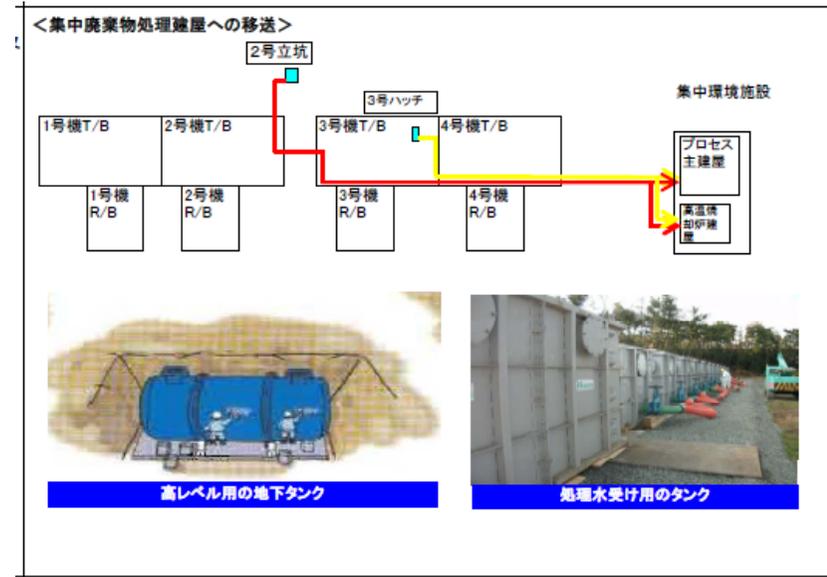
- ★炉規法の危険時の措置に基づく仮設装置
- ★海水混入、高放射能では実績がない
- ★米/仏/日のメーカーの異なる技術を急遽接続

○NHK報道(6/3)

「6月15日までに汚染水処理システムが稼動しなければ、

6月20日に汚染水がトレンチから施設外へあふれるおそれ」

○汚染水の移送先確保も困難



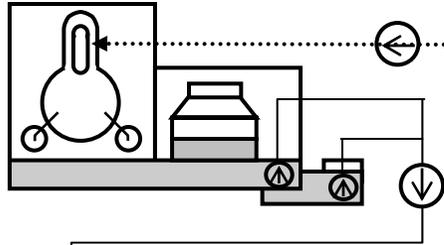
「福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋」の進捗状況について(5/17改訂東電HP)

120m³タンク170基、100m³タンク200基の搬送開始
(6/5下野新聞) 計4万m³保管可能

循環注水冷却と汚染水処理システム

放射性滞留水回収・処理チーム資料(5/16)
東電プレス)資料等より作成

○循環注水冷却(7/1本格運用)



汚染水処理設備

(吸着・除染装置 1200トン/日)

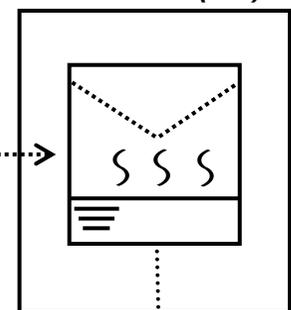
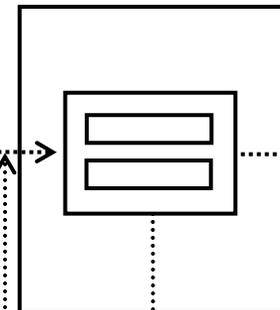
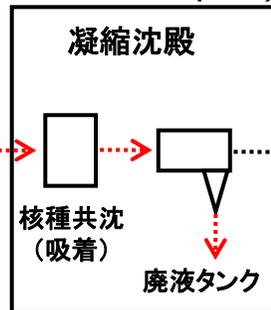
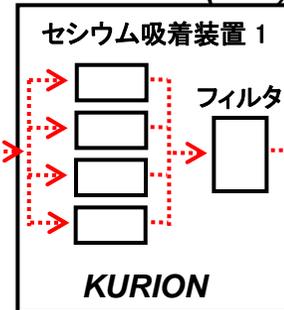
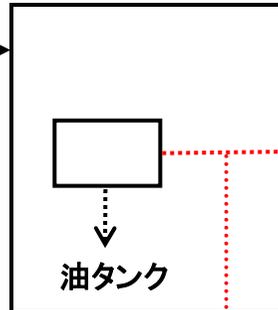
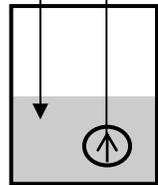
油分離装置

セシウム吸着装置

除染装置
AREVA

淡水化装置 1
(逆浸透膜(RO)方式)

淡水化装置 2
(蒸発濃縮)



[8/19並列運転]

処理水

二次廃棄物(廃油、廃吸着剤、スラッジ、RO膜、濃縮塩水など)

福島汚染水とTMI-2事故汚染水との違い

	福島 ¹⁾	TMI-2	単位
	1F2 T/B	平均 ²⁾	
H-3	-	3.3E+04	Bq/ml
Sr-90	1.4E+05	1.9E+05	
I-131	2.0E+06	-	
Cs-134	2.6E+06	8.9E+05	
Cs-137	2.8E+06	5.5E+06	
pH	7.1	8.2~8.6	
Na	7300	1223	mg/L
K	300	-	
Cs	-	0.89	
Mg	930	-	
Ca	320	-	
Sr	5	0.1	
Cl ³⁾	14000	-	
B	< 20	2229	
SO4	2000	-	

○放射能濃度:同程度

★Cs-137濃度は $\sim 10^6$ Bq/ml

★Sr-90濃度は、Cs-137の数%

なお、 α 核種は0.74Bq/ml以下

○海水の影響

★Na、K濃度が高く、Cs吸着性能が低下

★安定Srが5ppm(TMIの数十倍)で、かつ

Srと競合するCaとMgが多量に存在

→ Sr-90の吸着は困難

★塩分による容器腐食の懸念

1) 東電5月22日発表(3/27採取、2号機タービン建屋溜まり水のJAEA分析値(2011/04/13補正值))

2) CONF-850417-23、

TMI原子炉冷却系340m3と格納容器建屋2440m3を合計した2780m3の平均(1980/07/01補正值)

3) 海水中のCl濃度は約19000ppm

○汚染水発生量

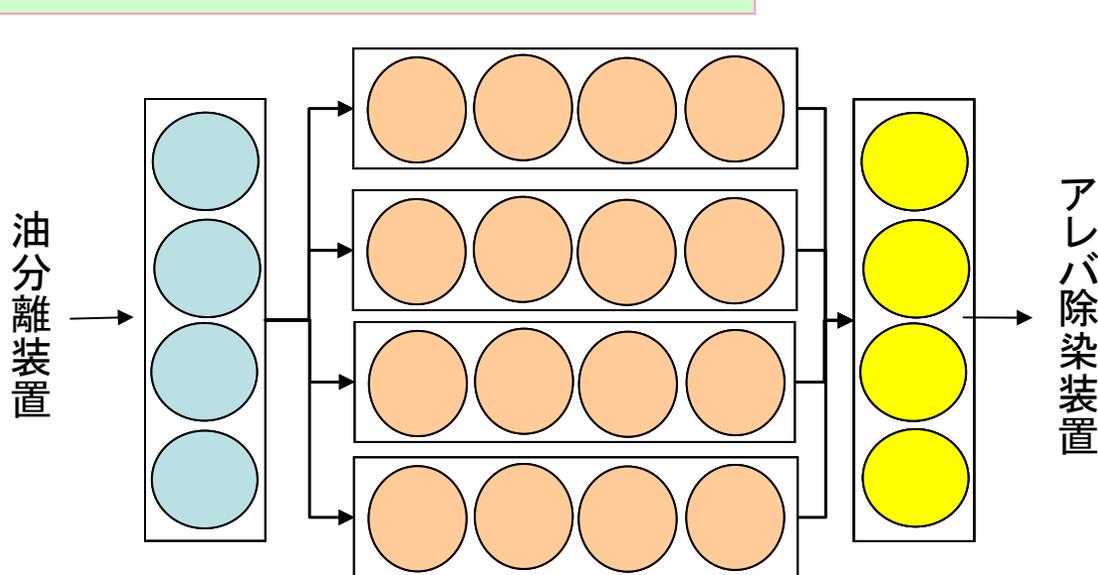
福島滞留水量10万~20万m3は、

TMIの30倍以上→迅速・大量処理必要

セシウム吸着装置 (KURION)

東電HPより

OKURION社のCs吸着塔の構成



吸着剤SMZ

除去対象: 油分、
Tc-99

界面活性剤改質
ゼオライト鉱物

吸着剤Hershelite (H)

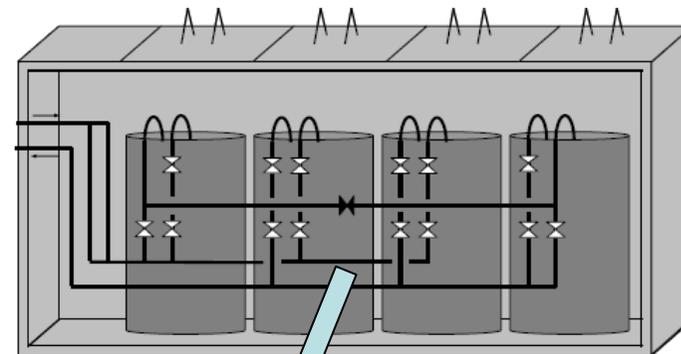
除去対象: Cs

チャバサイト 鉱物群

吸着剤AGH

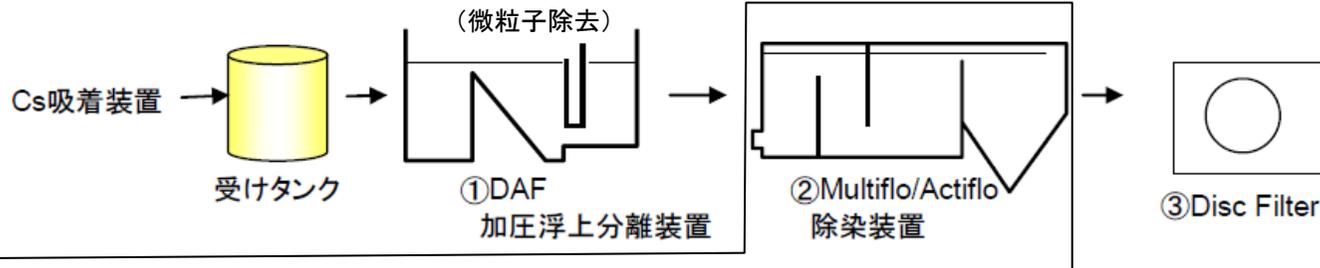
除去対象: ヨウ素

銀担持チャバサイト
鉱物群



ベッセル(カラム)への
ゼオライト充填

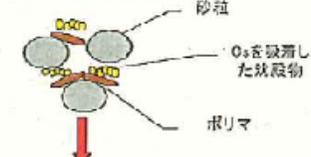
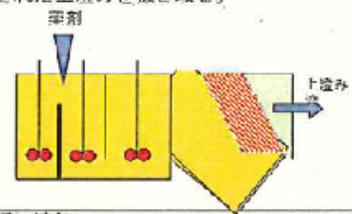
滞留水処理システム: AREVA除染装置、淡水化装置



薬剤タンク



AREVA除染装置

プロセス名 (メーカー名)	共沈法 (アレバ)
反応薬剤/ 反応材料 反応条件	フェリシアン化ニッケル ($\text{Ni}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_{0.3} \cdot 17\text{H}_2\text{O}$) + ポリマー + 砂粒 海水塩濃度: 1倍 常温・常圧(攪拌)
反応の概要	Csを選択的に吸着しやすいフェロシアン化合物により沈殿を作り、砂粒やポリマーと一緒に沈降させ分離する。 
耐放射線特性 放射線物質除去効率の評価	薬剤は無機化合物であり、放射線の影響を受けない。 ・除染係数(DF) = 10,000 ・海水中でも有効 ・水槽中の汚染水を攪拌しながら、薬剤を注入し、沈殿を生成させて浄化された上澄みを抜き取る。
概略システム	
システムの技術評価	・大容量処理に適切。 ・システムはシンプルで現場操作性が良い。 ・Csを吸着したスラリーはポンプにより濃縮タンクへ移送可能
実績	・共沈法自体はラアグで実績あり。 ・連続処理システムは飲料水用に実績多数。 ・但し、共沈による連続処理は今回が初めて。

放射性滞留水回収・処理チーム(5/16)

→ 次工程 淡水化装置

★注意点) RO膜放射線劣化



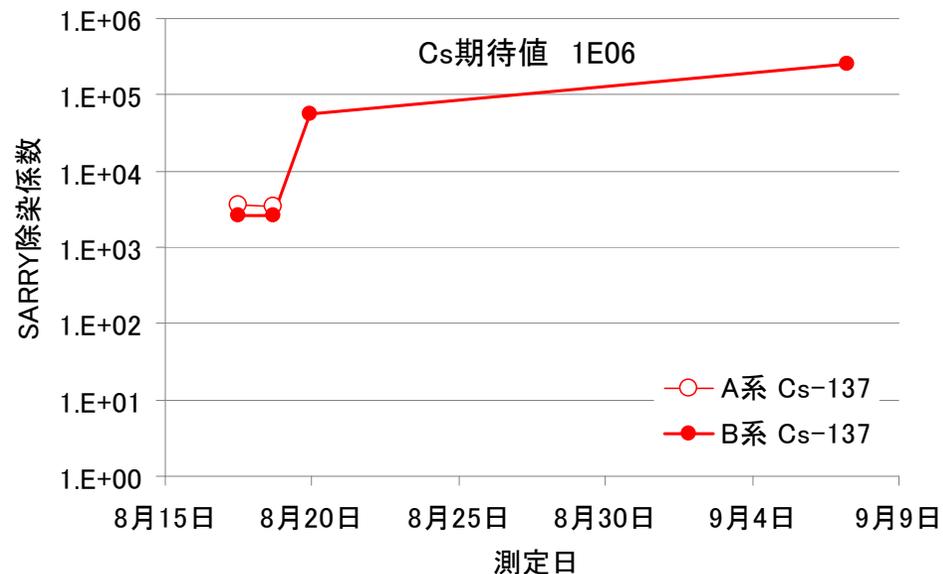
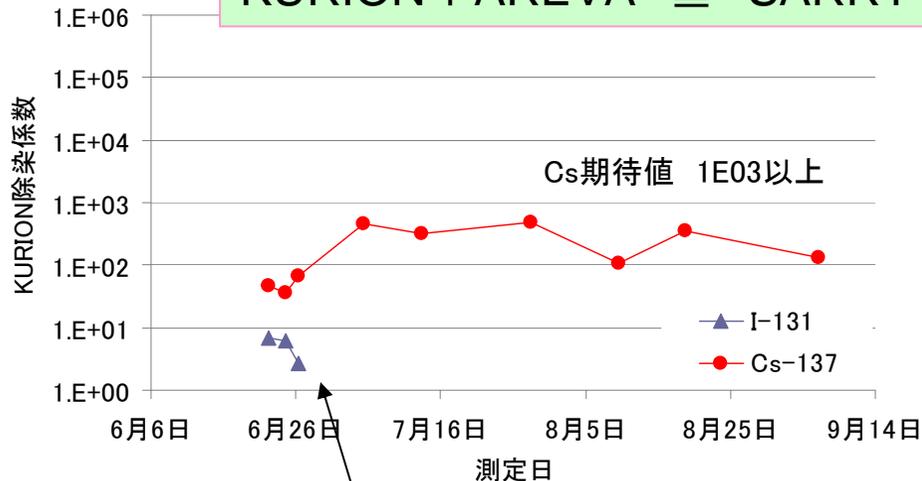
ろ過装置(RO膜用)



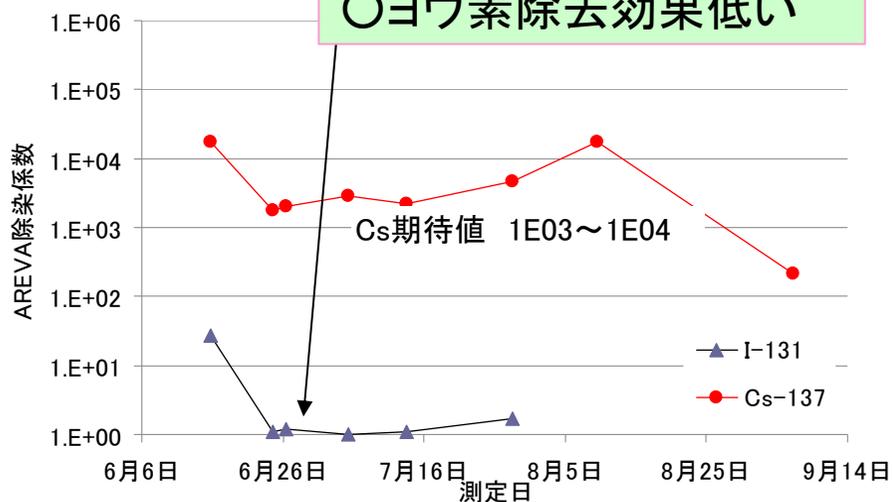
RO膜モジュール

汚染水処理システムの除染係数(東電HPよりまとめ)

○セシウム除去効果:傾向として
KURION+AREVA \geq SARRY



○ヨウ素除去効果低い



○淡水化装置は比較的安定

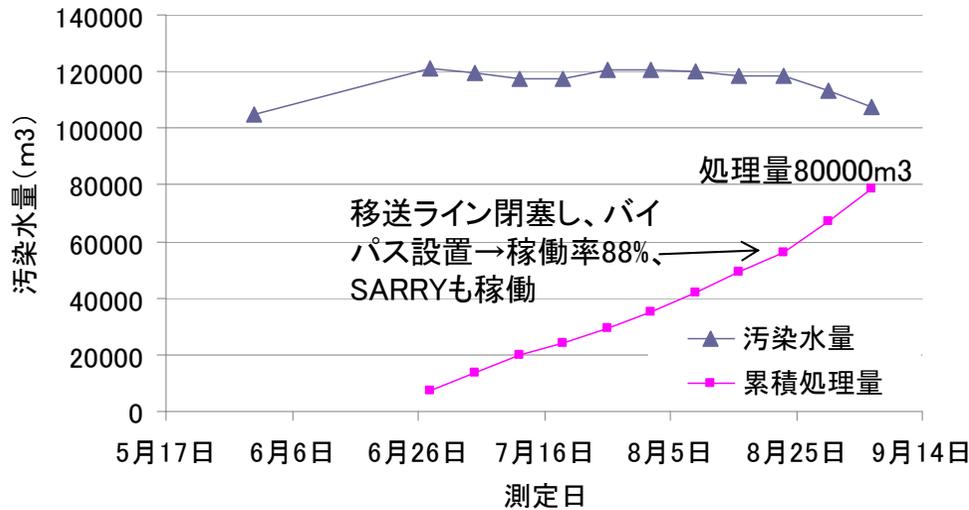
★RO膜: 6000~16000 → 19~49 ppm-Cl

★蒸発濃縮: 12000 → < 1 ppm-Cl

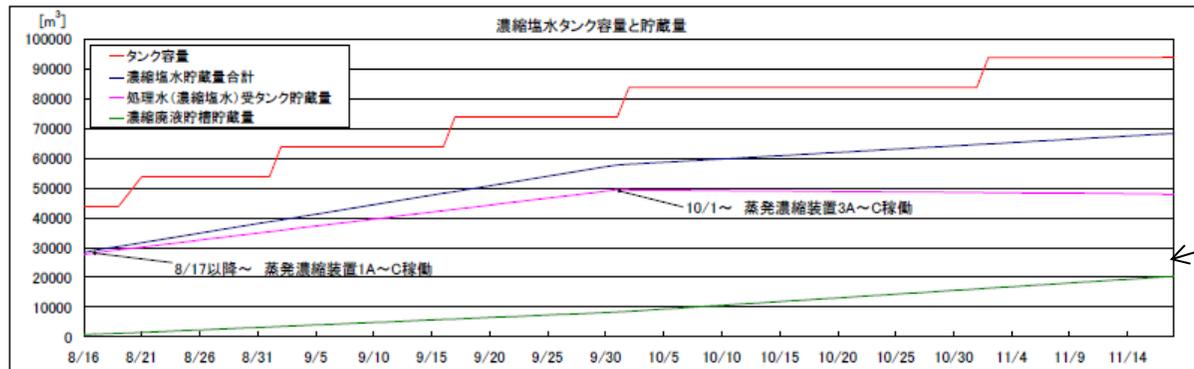
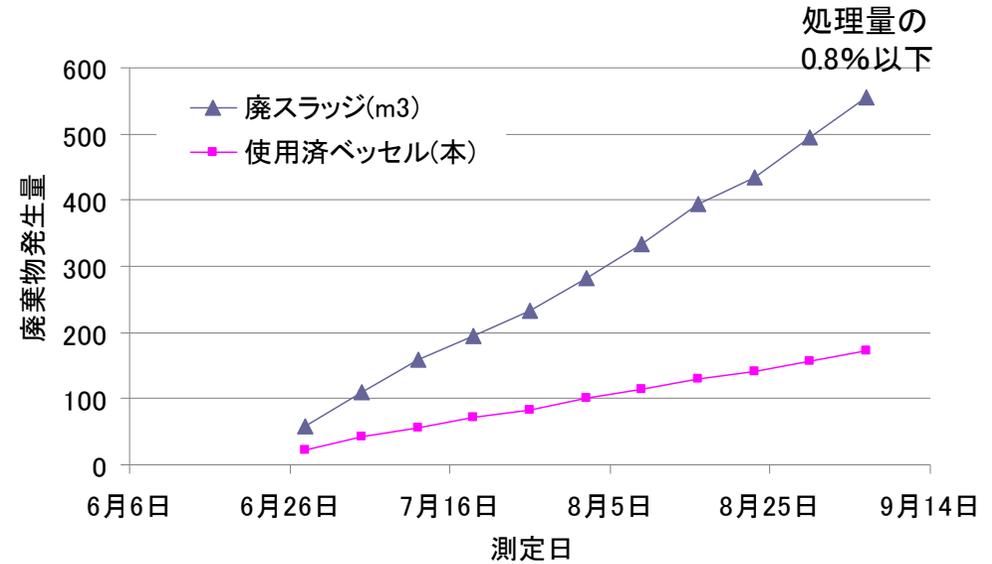
(8/19まで)

汚染水処理システムの処理量、廃棄物発生量 (東電HPよりまとめ)

○汚染水及び累積処理量



○廃吸着剤、凝集沈殿スラッジ



○濃縮塩廃棄物

- ★ 780m³(8/16、東電HP)
- ★ 20000m³(11/14予測)
- ★ 低レベル、腐食性、固化難

注記 ・処理装置の稼働率は90%と想定
 ・降雨の影響を含むT/B滞留水水位は、福島第一原子力発電所近傍における8月～10月の過去3年間の平均降雨量を考慮し、一日あたり5mm上昇すると仮定

たまり水の貯蔵及び処理の状況(第8報) 東電8/17発表より

汚染水処理の課題 (原子力災害対策本部 工程表より)

○事故の収束に向けた道筋 当面の取組のロードマップ(改定版) 8月17日

原子力災害対策本部
政府・東京電力統合対策室

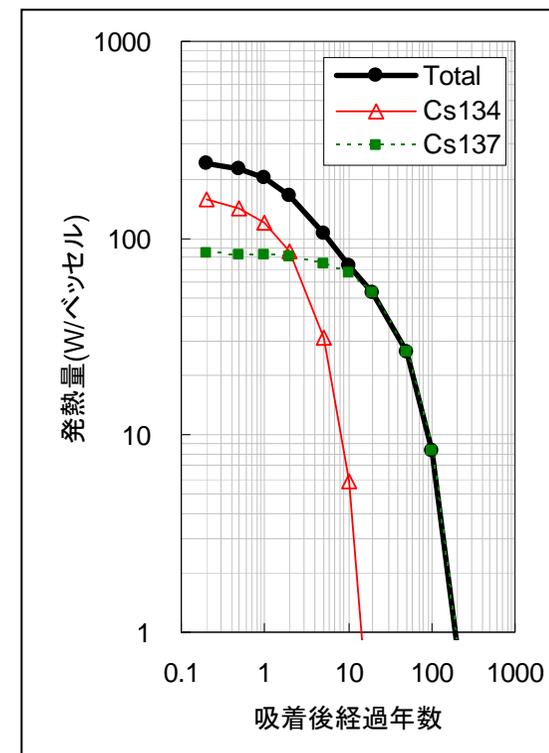
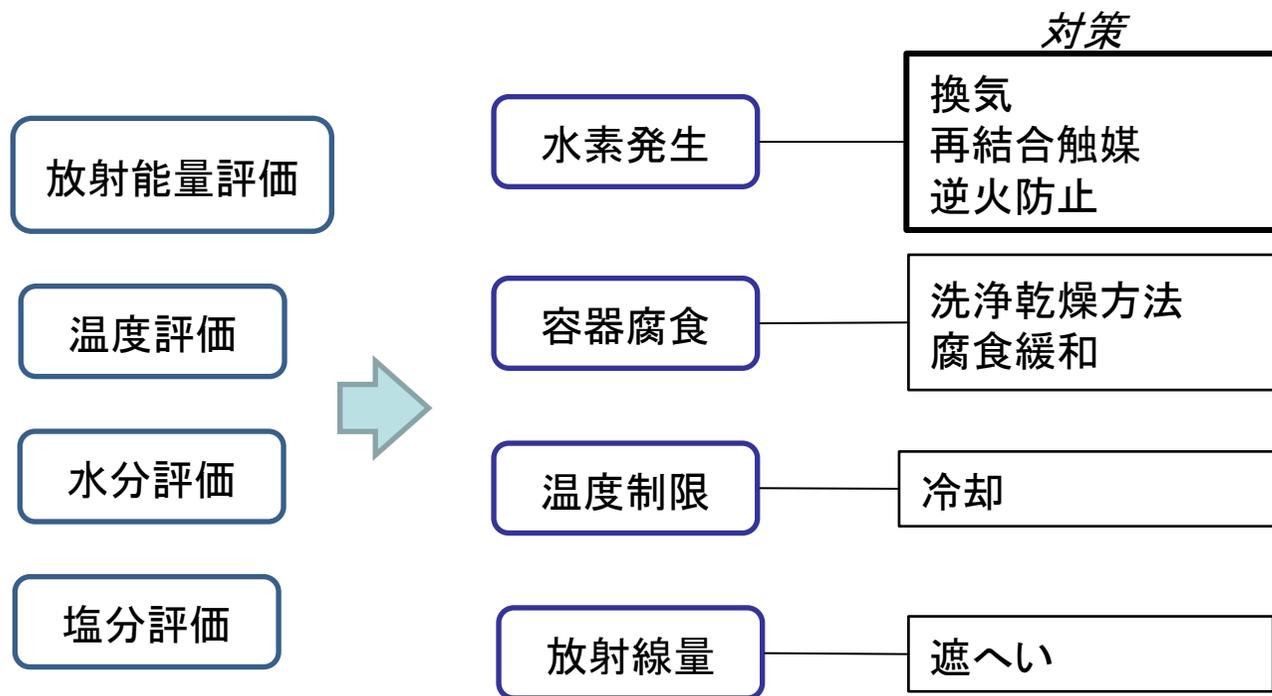
課題	初回 (4/17)時点	ステップ1 (3ヶ月程度)
(3) 滞留水	放射性レベルの高い水の移動	保管／処理施設の設置
	放射性レベルの低い水の移動	保管処理施設の設置／除染処理

ステップ2 (ステップ1終了後3～6ヶ月程度) 現時点 (8/17)	中期的課題 (～3年程度)
施設拡充／本格的な水処理施設検討	本格的な水処理施設の設置
除染／塩分処理(再利用)等	滞留水の継続
廃スラッジ等の保管／管理	廃スラッジ等の処理の研究
海洋汚染拡大防止	海洋汚染拡大防止

★二次廃棄物の保管管理
★本格的な処理装置検討

★二次廃棄物の処理研究
★本格的な処理装置設置

二次廃棄物の長期保管方法の検討



崩壊熱試算例

○長期保管(十数年)のリスク・コスト評価
 ○汚染水の99%以上のCsは吸着剤中

7/28時点	処理前液	KURION	AREVA
Cs-134	100%	0.21%	0.00%
Cs-137	100%	0.21%	0.00%

○水分を含む放射性廃棄物の取扱、移送、保管に関わる水素管理

James O. Henrie et al., GEND-052, 1986

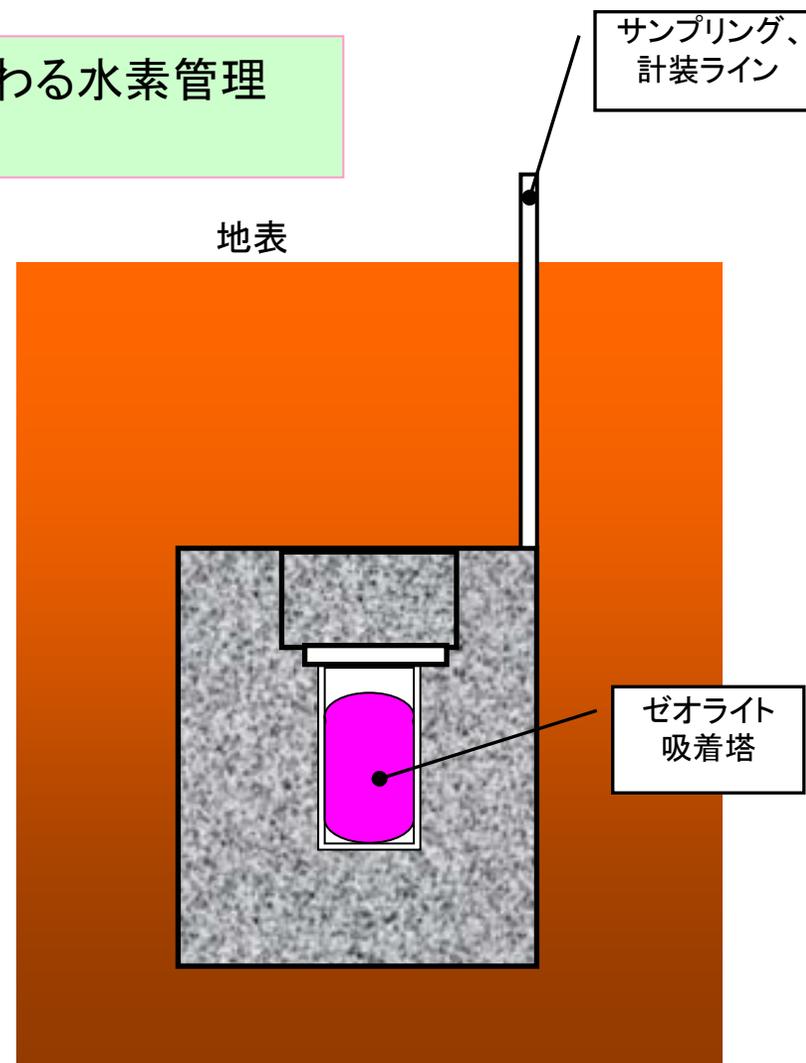
19個の吸着塔(全体で7,500 kCi)の処理:
移送カスクでTMIから搬出。3個は
PNNLでガラス化。16個はRockwell
Hanford Operations (Rockwell)でコンク
リート・オーバーパックし、ハンフォード・
サイトに埋設。うち1個の内圧、温度等を
長期監視。

(W. G.Jasen, S.J.Amir, WHC-EP-0083-1, September 1989)

廃ゼオライト量を低減すると

→高吸着、高放射能、水素発生増加

→より安全な長期保管対策が必要



廃ゼオライト吸着塔の埋設、監視のイメージ

(W. G.Jasen, S.J.Amir, WHC-EP-0083-1より作成)

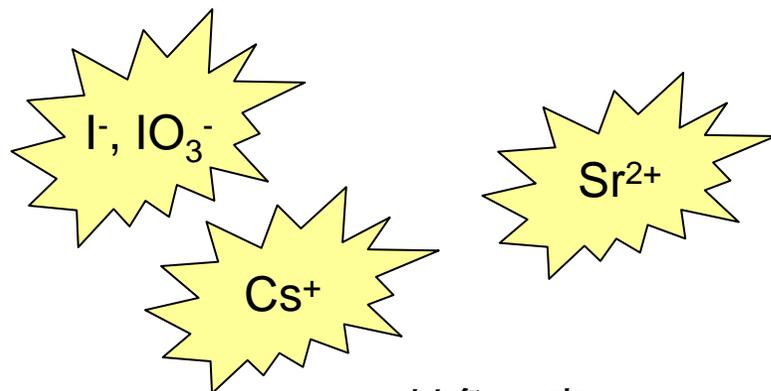
「学会有志チーム」について

一般社団法人日本原子力学会・有志チームによる共同試験

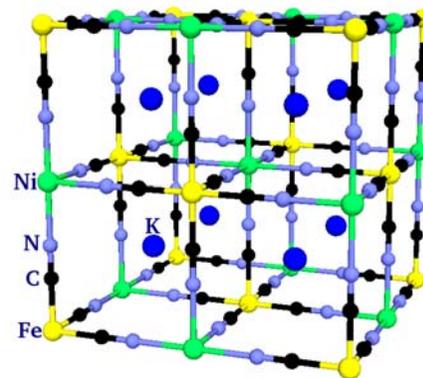
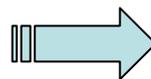
東電福島第一原子力発電所内の汚染水の処理システム構築のための海水混入系でのゼオライト、活性炭等へのセシウム、ヨウ素の吸着データの取得、公開を目的にスタート

○3月22日「学会有志チーム」として活動を開始

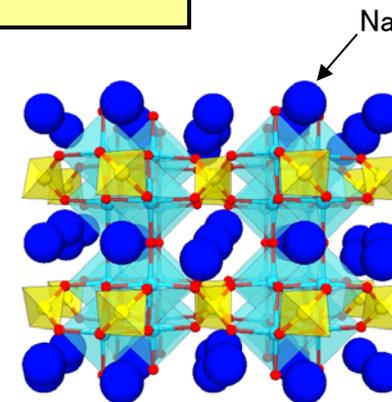
○北大、東北大、東工大、九大、原子力機構を中心に、日立、東芝、オルガノ、ゼオライト工業会と協力



対象元素



フェロシアン化物 $K_2NiFe(CN)_6$



ケイチタン酸塩CST : $Na_2Ti_2SiO_7$

図: JAEAシステム計算科学センター提供

学会有志チーム:吸着データ集を公開(4月15日)

現在位置: 日本原子力学会バックエンド部会 » [projects](#) » 福島第一原子力発電所内汚染水処理技術のための基礎データ収集

福島第一原子力発電所内汚染水処理技術のための基礎データ収集

Contaminated Liquid Water Treatment for Fukushima Daiichi NPS (CLWT)

東電福島第一原子力発電所内汚染水処理技術のための基礎データ

- 現在、福島第一原子力発電所におけるタービン建屋地下の溜り水など放射性物質を多く含んだ汚染水の処理対策が進められています。海水が流入したこれらの汚染水からでも、効率よくセシウムやヨウ素などを除去できる処理技術の探索が急がれているところ、日本原子力学会の有志が汚染水の処理対策立案に有用な基礎データの収集実験に取り組んでいます。
- 有志会員は、北海道大学、東北大学、東京工業大学、京都大学、九州大学、日本原子力研究開発機構が主要メンバーです。[2011年]3月22日にチームを発足させて以来、各種吸着剤や実験条件の共通化、作業の分担などを通して効率的に実験を進め、また、㈱日立製作所、㈱東芝、オルガン㈱、ゼオライト工業会などのメーカー等とも密に情報交換して処理システムの設計に役立つ実験データの取得を進めています。
- 今回対象とした処理技術は、固体の吸着剤に汚染水中のセシウム、ストロンチウムあるいはヨウ素を吸着させて取り除く方法。吸着剤としてゼオライト系吸着剤23種類、非ゼオライト系無機イオン交換体吸着剤13種類、活性炭4種類を調査しました。約60名(うち学生25名)からなる有志チームはこれら多くの吸着剤を対象に、海水、あるいは希釈した海水などから放射性物質の吸着剤への吸着率を分担して測定しました。600点に及ぶデータは、吸着率に及ぼす海水濃度、水素イオン濃度、吸着剤量/汚染水量の比、放射性物質の濃度、吸着時間の影響を網羅しています。これらの基礎データが、汚染水処理システムの構築に役立てられることが期待されます。
- これまでに収集したデータを以下に示します。データは順次更新していく予定です。

収集データ

【注意事項】 本データ集に収録された吸着データは、限定された試験条件において取得しており、特定の吸着剤の優劣を示すものではありません。最適な吸着剤は適用するプロセス、プラントにより異なります。また、本データ集は、使用者責任においてご使用下さい。

-  1_吸着データ_説明_.pdf 2011年4月15日4pm掲載
-  2_吸着データ_ゼオライト_4.28.pdf 2011年5月2日更新
-  3_吸着データ_非ゼオライト系_4.28.pdf 2011年5月2日更新
-  4_吸着データ_活性炭_4.30.pdf 2011年5月2日更新
-  5_吸着データ_その他_4.28.pdf 2011年5月2日更新

4月15日初版pdf公開

5月2日改訂版pdf公開

学会有志チーム:吸着データ集(WEB公開版)

○569データ点、75試料、海水系Cs、Sr、Iの吸着

ゼオライト(アルミノケイ酸塩)吸着剤

305点、17試料

ID	吸着剤	粒径	組成等		pH	水溶液		濾過 ○:有り ×:無し	吸着剤 重量 m[g]	溶液量 V[ml]	振盪 ⁽¹⁾ 時間 [h]	溶液に添加した イオンの濃度			Cs 吸着 率[%]	Kd(Cs)	Sr 吸着 率[%]	Kd(Sr)	I 吸着 率[%]	Kd(I)
			組成等	pH		Cs [ppm]	Sr ⁽²⁾ [ppm]					I ⁽³⁾ [ppm]								
ZC015	A型ゼオライト-1		海水(100%)					×	0.30	30	5	1	9	0.1	25	3.3E+01	72	2.6E+02	-	0.0E+00
ZC016	A型ゼオライト-1		海水(100%)																	

非ゼオライト系無機イオン交換体

135点、32試料

ID	吸着剤	粒径	組成等	pH
IC075	MnO ₂		海水(100%)	

活性炭

79点、9試料

ID	吸着剤	粒径	組成等
CB173	KBr含浸活性炭		海水(100%)
CB174	KBr含浸活性炭		海水(100%)

その他

50点、17試料

ID	吸着剤	粒径	組成
XC020	A型ゼオライト-1+錳物系活性炭		海水
XC021	A型ゼオライト-1+錳物系活性炭		海水

吸着剤(略称)	吸着剤(有効成分・担体、型番、製造元)
A型ゼオライト-1	A型ゼオライト(ゼオラムA-4:東ソー)
A型ゼオライト-2	A型ゼオライト(旧東洋ソーダ製)
X型ゼオライト-1	X型ゼオライト(ゼオラムF-9:東ソー)
X型ゼオライト-2	X型ゼオライト(旧東洋ソーダ製)
クリノプチロライトニツ井産	クリノプチロライトニツ井産(サンゼオライト工業)
クリノプチロライト板谷産-1	クリノプチロライト板谷産(Z-05:ジークライト(株))
クリノプチロライト板谷産-2	クリノプチロライト板谷産(SGW:ジークライト(株))
クリノプチロライト板谷産-3	クリノプチロライト板谷産(SGW-B4:ジークライト(株))
クリノプチロライト板谷産-4	クリノプチロライト板谷産(スーパーZ:ジークライト(株))
チャバサイト米国産	チャバサイト米国産(IE-96:米国産)
モルデナイト愛子産-1	モルデナイト愛子産(新東北化学)
モルデナイト愛子産-2	モルデナイト愛子産(TOP ZEOLITE M:新東北化学)
モルデナイト島根産	モルデナイト島根産(MGイワミライト:三井金属資源開発(株))
モルデナイト勢多産	モルデナイト勢多産(とちぎゼオライト:共成レンテム)
モルデナイト勢多産焼成品	モルデナイト勢多産焼成品(とちぎゼオライト:共成レンテム)
合成モルデナイト-1	合成モルデナイト(HSZ-620HOA:東ソー)
合成モルデナイト-2	合成モルデナイト(HSZ-620HOD:東ソー)

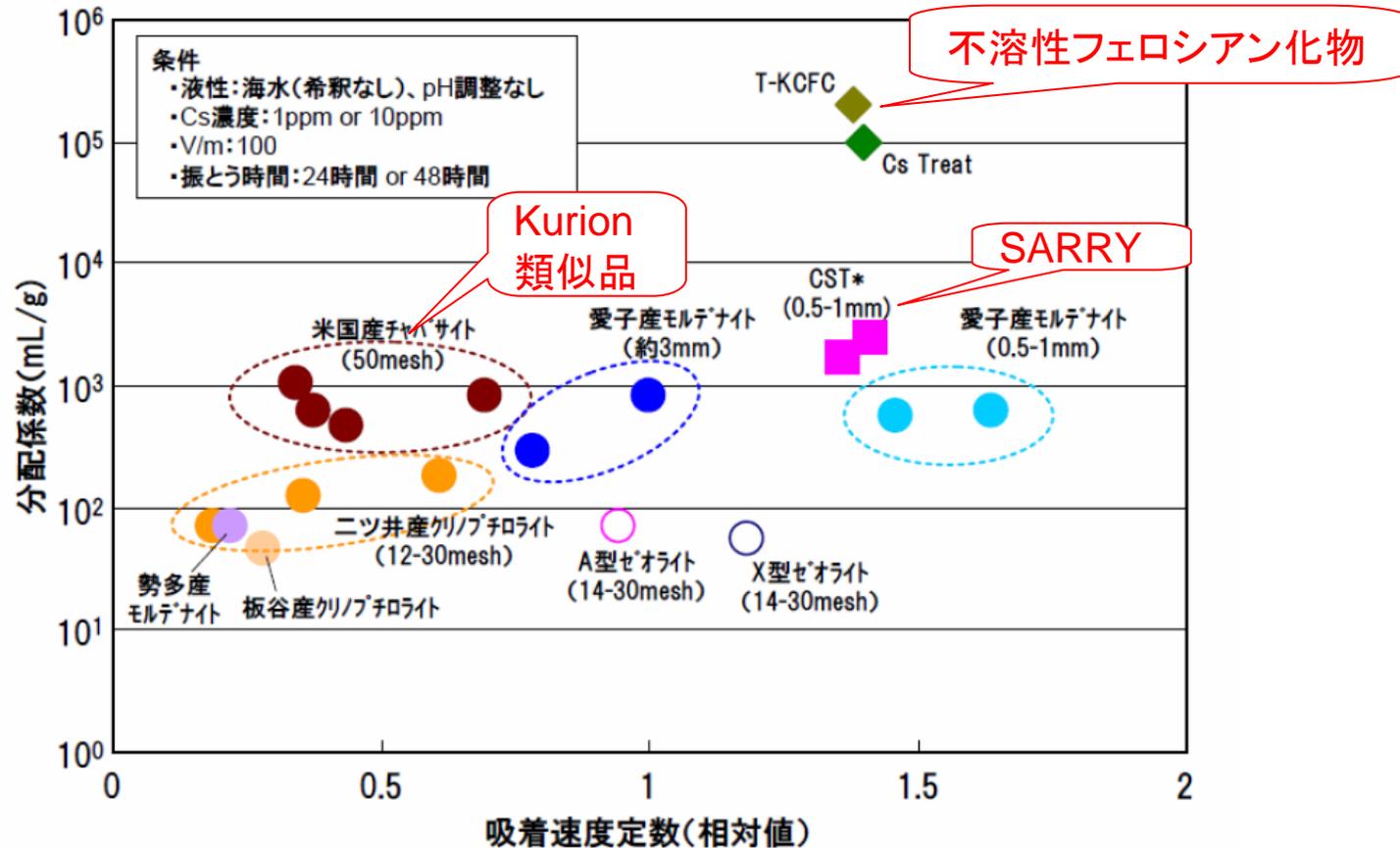
末尾に吸着剤詳細追加

CB174 KBr含浸活性炭

海水(100%) 7.90(振盪前)

学会有志チーム: 海水系セシウム吸着データの整理例

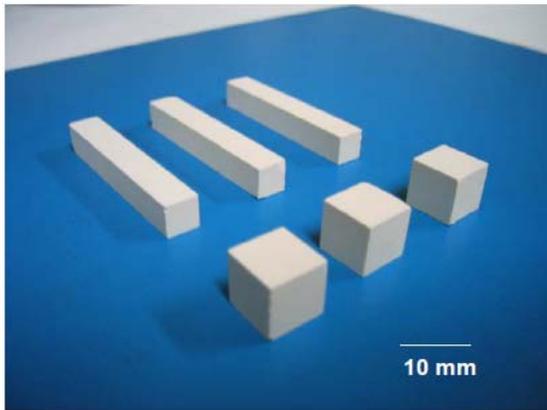
(東北大 三村)



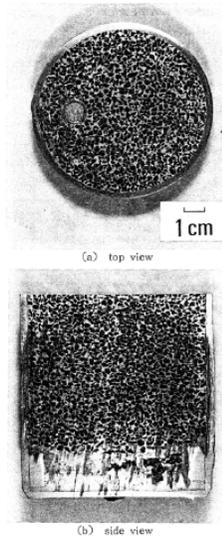
汚染水処理システム稼働前に、海水からの核種除染に有効な「吸着データ集」を一般公開(4/15)

学会有志チーム:ゼオライト固化処理研究例

○ゼオライト焼成処理



プレス焼成固化体

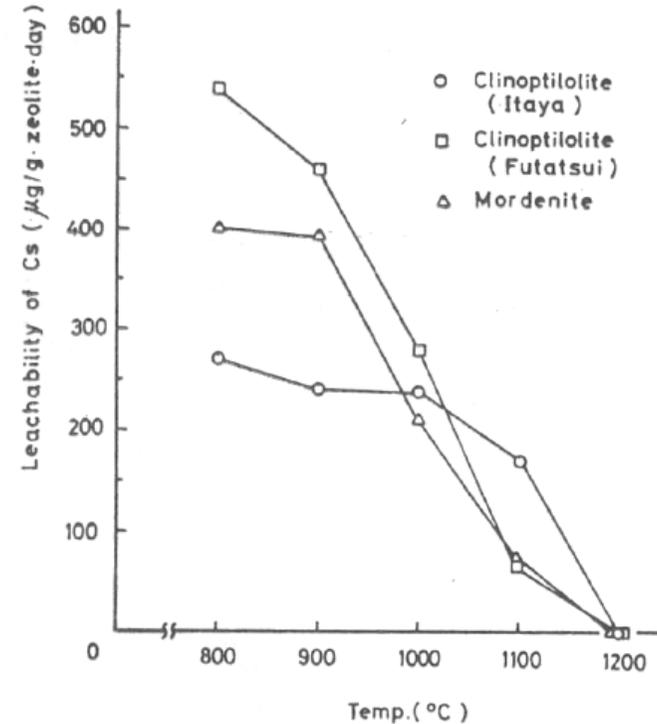


金属分散

- 1) ゼオライトは高温で溶融または結晶化
- 2) 1,000°C以上の焼成処理でセラミックス
固化体製造可能
- 3) AlやPbに分散して固化することも可能

○Cs浸出性

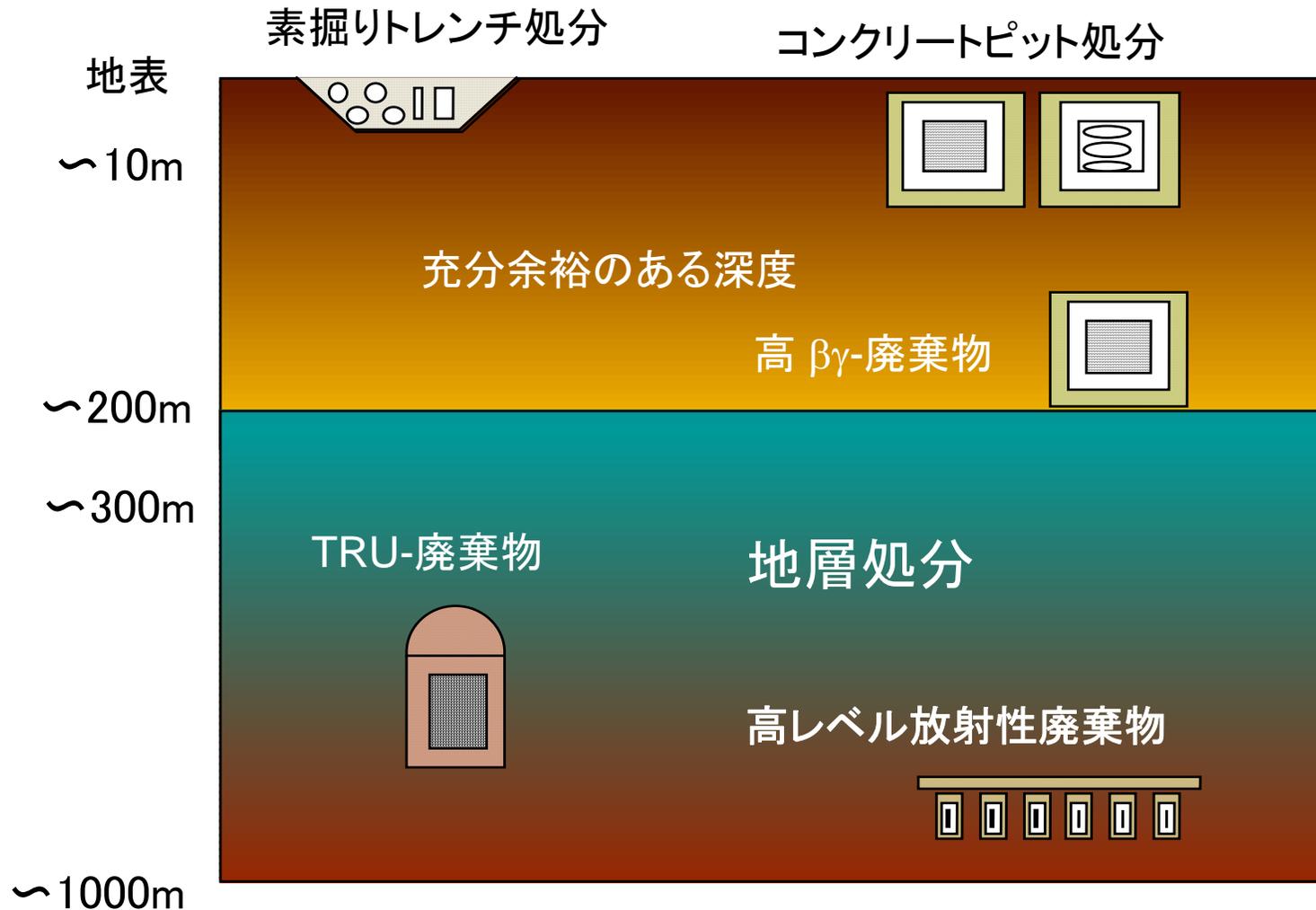
(東北大 三村)



800°C以上でゼオライト構造が破壊され、1,000°C以上では溶融し始めることから、焼成温度と共に急激に低下、1,200°C焼成ではCsは検出限界以下。

学会有志チーム：廃棄物処分の方法

(九大 出光)



学会有志チーム:汚染水処理廃棄物の処分

(九大 出光)

- 廃棄物発生量(形態別)
- 廃棄物中の放射能濃度(核種別)
- 廃棄物の発熱量
- 廃棄物中の同伴物(有機物、水分)

これらの情報を得て適切な処分を行なう必要がある。
冷却のための中間貯蔵、二次処理(オプション)

9月21日バックエンド部会報告：学会有志チーム活動

バックエンド部会報告：

○「福島第一原子力発電所高汚染水の処理処分の課題」

○9月21日(水) 13:00～14:30、B会場、一般公開

座長 原子力機構 吉田善行	
講演タイトル	講演者
汚染水処理対策に係わる学会有志チームの活動	原子力機構 山岸 功
ゼオライトによるセシウム除去	東北大学 三村 均
凝集沈殿法による放射性核種の除去	東京工業大学 竹下健二
汚染水処理と処分	九州大学 出光一哉
総合討論	パネリスト 座長、講演者＋ 北海道大学 佐藤正知 京都大学 佐々木隆之