

「放射性物質による汚染機構の原理的説明」 分科会の検討状況

2017年8月10日
(株)太平洋コンサルタント[事務局]

「汚染機構の原理的説明」分科会の運営概要

委員メンバー

- <シーズ側> 丸山主査 [システムインテグレータ] /名古屋大学教授
(建築)
山田委員 / 国環研 (セメント化学、コンクリート工学)
佐藤委員 / 北海道大学教授 (地球科学ベントナイト)
前田委員 / JAEA 大洗研究開発センター
駒 委員 / JAEA CLADS
紺谷委員 / 鹿島建設 (原子力部 原子力設計室)
- <ニーズ側> 傳田委員、林委員、齋藤委員、小林委員 / 東京電力HD
小代委員 / IRID
宮本委員 / JAEA CLADS
中島委員、遠藤委員、堀内委員、佐川様 / NDF
- <事務局> 芳賀、渋谷、富田 (太平洋コンサルタント)

「汚染機構の原理的解明」分科会の運営概要

開催実績 / 主な議論の内容

- 第1回 4/12 (水) 重要研究開発課題の選定経緯
分科会主旨説明
現状課題の確認・情報の共有化
- 第2回 6/2 (金) 第1回で挙げられた現状課題に関する議論
- 第3回 6/28 (水) 研究開発戦略骨子案の提示と議論

検討課題の整理 (具体的な中核的研究テーマの構成)

「汚染機構の原理的解明」研究の目的 / 位置付けの整理

＜研究の意義＞ 将来判断する際の基盤材料に資することを目的に、
原理解明に関する検討、データ、資料等の知見を残す

＜位置付け＞

除染実施判断、実施内容検討の
ためにコンクリートの汚染メカ
ニズムを解明



廃棄物管理も含めた、廃炉に
向けた中長期的なアプローチに
おける視点

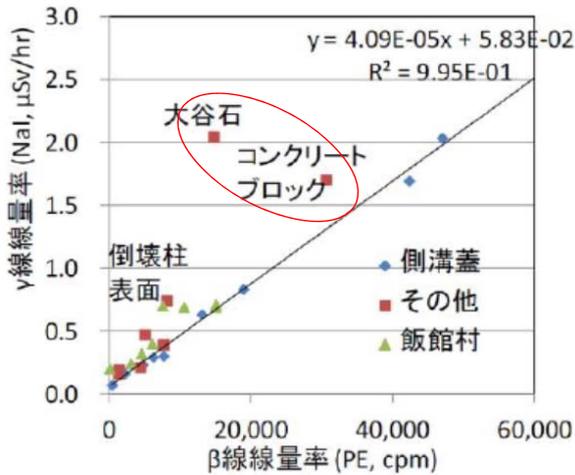
＜着目する範囲＞

事故時のコンクリートの汚染状況

事故後から廃炉の過程における
汚染状況の変化

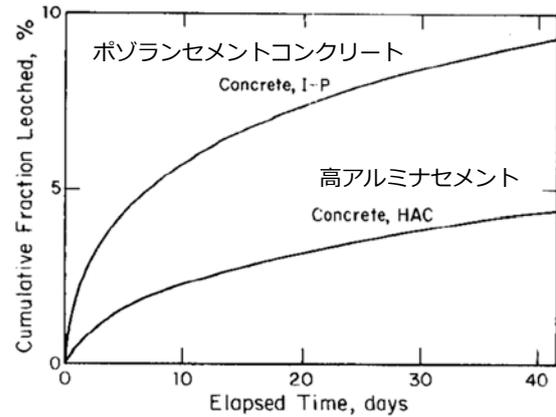
サイト外のコンクリートの汚染状況の調査とCs溶出試験

サイト外コンクリートのβ線とγ線の関係



ブロックおよび大谷石はγ線が高い側にプロット
→Cs がより深部まで浸透したことを示す
(β線よりも飛程の長いγ線の情報が、深部側のCs
についても検出されたものと考察)

固化体からCsの溶出曲線



セメントの組成によって溶出挙動が異なる
silica-adjusted (SiO₂を添加した配合)の方が溶出速度は小さい。
→非晶質シリカはポルトランド石灰と反応してシリカリッチなC-S-Hを生成し、また場合によってはシリカゲルも生成するため、溶出を抑制するものと考察

材料、化学組成の違いがCsの浸透挙動、溶出挙動に影響を及ぼす

コンクリートの状態がCsの浸透挙動に及ぼす影響

浸漬実験用モルタルの配合

セメント	骨材	真砂土の置換割合(%)	S/C	W/C	減水剤
OPC	石灰石砕砂	0	3.0	0.5	0
	石灰石砕砂、真砂土	30			3.0

炭酸化、溶脱といった経年的な状態変化を模擬したコンクリートを作製し、Csの浸透試験を実施

水溶液浸漬後の放射線強度

試料	23時間後の放射線強度/cpm		
	NaI (γ)	GM (β+γ)	GM/NaI
健全石灰石モルタル	11169	14000	1.25
炭酸化石灰石モルタル	19008	30500	1.60
溶脱石灰石モルタル	16392	7600	0.46
健全真砂土モルタル	12756	16000	1.25
炭酸化真砂土モルタル	22882	34500	1.51
溶脱真砂土モルタル	16959	10000	0.59

NaI : γ線を検出しており、Csの全浸透量に対応

GM : 減衰率の高いβ線を検出しており、表面付近のCsの情報を反映

GM/NaI : Csの全吸着量に対する表面付近の吸着量の指標値 (表層への濃集がある場合には高い。内部まで浸透すると小さくなる。)

- 真砂土の混合によりNaI、GMともに放射線強度は増大しており、真砂土を混合しないモルタルよりもCsの浸透量が多い
- 炭酸化したモルタルではGMの測定値より表面付近の吸着量が倍増しているが、溶脱したモルタルでは逆に半減 →表層の炭酸化部分に濃集、溶脱に伴う空隙の増加で内部まで浸透
→ コンクリートの状態によってCsの浸透挙動は異なる

コンクリートの汚染機構の推定

・相平衡計算と物質移行計算を練成させたモデルを用いて、コンクリート中のCsの浸透を評価

元素の総量の分布と測定結果(EPMA)の比較の一例
(高濃度CsCl水溶液)

計算結果は実験結果を比較的再現
(右図)

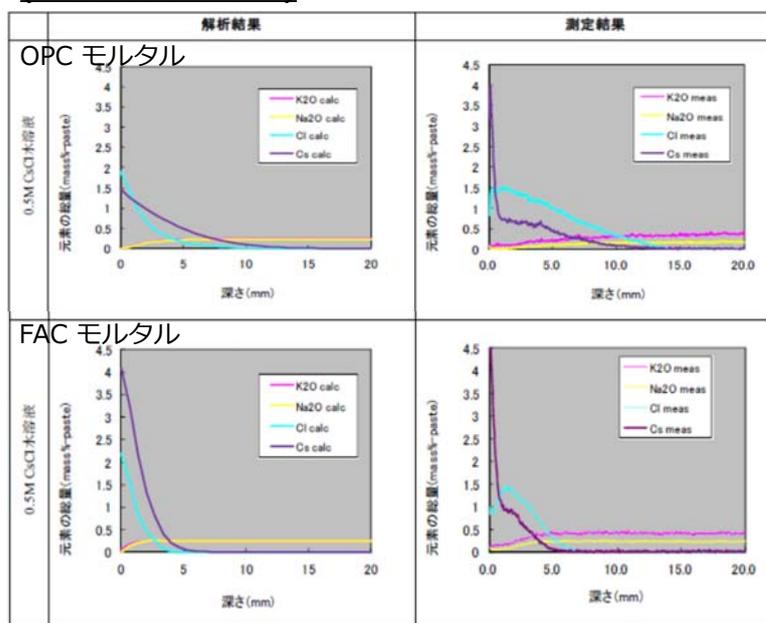
計算における重要因子

C-S-Hの化学組成

競合イオンの存在

構造因子

これらの因子をコンクリートへのCsの浸透挙動に対する重要な因子と判断



汚染機構の原理的解明に向けた取り組みの提案

汚染機構の原理的解明に向けては、統一かつトレーサブルな試験方法により基礎データを取得する必要がある

調査の結果から得られた、核種の浸透、収着、溶出挙動に関する以下の影響要因について、今後、試験研究を進めることとした。

核種の浸透・収着・溶出挙動にかかわる重要因子

コンクリートの化学組成

核種の化学形態

環境条件・使用状況 (事故時の履歴)

- ・使用材料 (セメント種類、骨材)
- ・水和物の組成
- ・表層塗装有無 ・ひび割れ有無
- ・構造因子 (空隙径分布、屈曲度)

- ・溶脱/炭酸化 (海水影響)
- ・核種との接触状態 (飽水、乾燥、蒸気)

検討課題の整理（具体的な中核的研究テーマの構成）

文献調査および分科会での議論より挙げられた検討課題

(a) 現場コンクリートの状態推定

（事故発生時におけるコンクリートの状態推定）

(b) 現場コンクリートの核種の汚染/吸着形態の把握

- ✓ 建屋より採取したサンプルの追加分析
（コンクリート工学の観点で）

(c) コンクリートの状態/化学組成が核種の収着・浸透・溶出に及ぼす影響の評価

- ✓ 事故時の履歴、環境条件を模擬したサンプルの分析
- ✓ セメント種類、境界条件（核種との接触状態）の影響評価

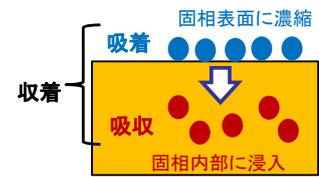
(d) 汚染状況、浸透挙動の評価/予測に向けた評価手法検討

(e) 廃炉までに想定される経年変化の事象整理

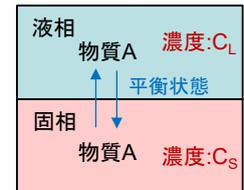
(f) 経年変化に伴う汚染状態の変化

（核種の残存汚染の挙動、経年変化）

<収着/吸着/吸収の模式図>



<分配係数(K_d)の定義>



$$C_s/C_L = K_d$$

K_d は分配先の相の組成、状態、環境温度等に依存

青字下線の項目が研究開発戦略で対象とする中核的研究テーマ

研究計画（研究テーマのアプローチ方法）

(a) 現場コンクリートの状態推定

① 現場コンクリートの履歴調査

- ・ 建屋コンクリートに使用された材料、環境条件の変化を、建屋別、部位別に調査する。
- ・ α 核種も含めた核種の汚染状況等に関する情報を収集し、整理する。

(c) コンクリートの状態/化学組成が及ぼす核種の収着・浸透・溶出への影響評価

② 模擬変質試料を用いた浸漬試験

溶脱および炭酸화를意図的に進行させた試料を作製し、浸透に及ぼす影響を評価する。

③ セメント種類の影響評価

セメント種類、配合が異なる試料を作製し、核種の収着・浸透に及ぼす影響を評価する。

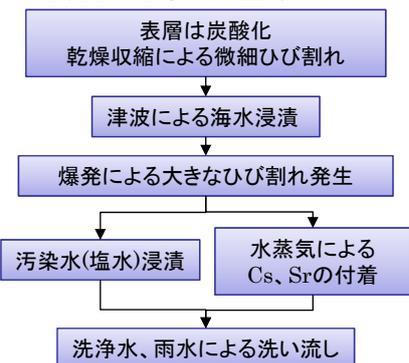
④ 核種の接触形態の影響評価

コンクリートと核種の接触界面（状態）の相違の影響を評価するための手法検討。

⑤ 核種の溶出挙動の評価

既存の汚染（RI）試料を浸漬試験に供し、溶出試験を実施する。

<想定される事故発生時の状態>



研究計画（研究テーマのアプローチ方法）

(d) 汚染状況、浸透挙動の評価/予測に向けた手法検討

⑥ モデルによる核種の浸透シミュレーション

乾湿繰り返しによる核種の物質移行に関する評価手法を検討する。

⑦ 水分移動に関する評価

核種の浸透挙動に影響する水分の形態のうち、水没した状態（液水移動）について、NMR等を用いた実験的アプローチや計算による評価手法を検討する。

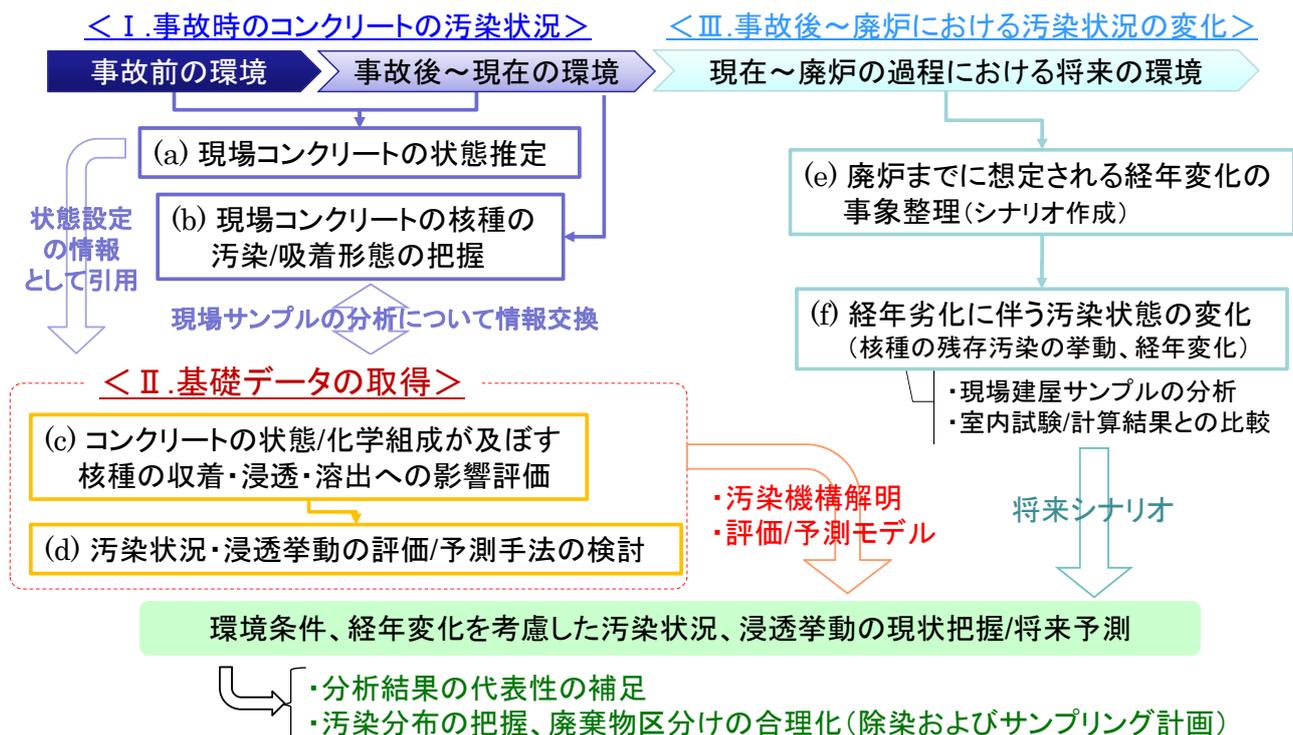
(e) 廃炉までに想定される経年変化の事象整理

⑧ 経年変化の事象整理

コンクリートの経年変化、塗装材料の状態変化等、廃炉までに想定される事象を整理する。

成果の反映先

（中長期ロードマップ及び技術戦略プランとニーズから逆算される実施時期と達成目標）



成果の反映先

(中長期ロードマップ及び技術戦略プランとニーズから逆算される実施時期と達成目標)

中核的研究テーマの実施の結果、期待される成果（～H31年度）

⇒ 浸透挙動の評価方法/予測手法に資する知見、基礎データの集積

- 同一試験系における、条件が異なる試料に対するCs、Srの浸透挙動の比較評価
⇒ 抽出された課題（統一かつトレーサブルな試験）に対応
- モデルによる核種浸透挙動評価に向けた課題の抽出/整理
- 乾湿繰り返し、水分移動を想定した評価手法の検討
⇒ 次ステージに資する知見、基礎データの蓄積



これらの成果は、廃炉の各ステップにおいて必要となる
コンクリート除染や、将来の廃棄物管理に役立つと考える