

「第5回 放射性廃棄物処分システムにおける腐食挙動の長期予測に関する国際ワークショップ」 会議報告

小林正人*1

1 はじめに

放射性廃棄物処分システムにおける腐食挙動の長期予測に関する国際ワークショップ (International Workshop on Long Term Prediction of Corrosion Damage in Nuclear Waste Systems : LTC2013) は、原子力のバックエンド分野を構成する技術のうち、放射性廃棄物の長期貯蔵や最終処分に関わる処分容器等の腐食挙動や寿命予測に主眼を置いた国際会議である。現在地層処分を進めている諸外国では処分場候補地の環境が異なるため、各国の処分概念に応じた処分容器の候補材料に対する研究開発が進められている。本会議はそれらに携わる各国の研究者や技術者の知見の交換、共有、議論を目的として数年に一度開催されている。これまでに2001年 Cadarache (フランス)、2004年 Nice (フランス)、2007年 PennState Univ. (アメリカ)、2010年 Brugge (ベルギー) で開催され、5回目となる今回は日本での開催となった。当初の予定の2倍を超える64件の講演申し込みがあり、急遽ポスターセッションを企画した。最終的に参加者は13カ国64名で、会議は大盛況であった。なお日本からの参加者は33名であった。

1.1 会議の概要 (略称 LTC2013)

会議略称 : LTC2013

開催期間 : 平成25年10月6日～10日

6日 welcome reception
7~9日 Oral presentation, Poster Session
10日 Technical Tour

主催 : 公益社団法人 腐食防食学会(JSCE)

支援 : EFC (European Federation of Corrosion)

協賛 : 一般社団法人 日本機械学会(JSME)

一般社団法人 日本原子力学会

バックエンド部会(NUCE)

開催場所 : 旭川市大雪クリスタルホール

参加者国 : Belgium(SCK・CEN), Canada(NWMO), China, Finland(VTT), France(CEA), Germany, Japan(NUMO, JNFL, JAEA), New Zealand, Romania, Sweden(SKB), Switzerland(NAGRA), U.K(NDA), U.S.A

※括弧内は主な参加機関。その他、大学、企業等、多数の研究機関からの出席があった。

発表件数 : 口頭発表 30件, ポスター 28件



LTC2013 国際会議会場の様子

2 各セッションの概要

7日の9:30からのOpening wordsでは本会議の発起人の一人であるProf. D. Féron (CEA), 実行委員長の安住教授(北海道大学)から本会議の趣旨、概要が説明された。それに続いて口頭発表が行われた。口頭発表は9つのトピックスについて11のセッションに分かれて行われた。以下に講演内容を簡潔に紹介する。

2.1 Over view

日本におけるHLW・TRU廃棄物の処分事業の実施主体である原子力発電環境整備機構(NUMO)より、処分概念、現在の研究の進捗等が紹介された。

処分容器の候補材料として各国で研究が進められている炭素鋼、銅、チタン、Ni基合金などの金属材料について、腐食挙動の長期予測の全体概要が紹介された。具体的な処分環境として、酸化性/還元性雰囲気、緩衝材の存在、セメント系材料の使用による高pH環境などが挙げられた。同一材料においても各国の地質環境や処分概念の違いから着目する課題が異なることを共有した。

2.2 Design Concept

現在地層処分を進めている諸外国では、処分場候補地の環境が異なるため、各国の処分概念に応じた処分容器の候補材料に対する研究開発が進められている。高レベル放射性廃棄物の処分容器の候補材料については、大きく分けると炭素鋼と銅が挙げられる。

炭素鋼の長期健全性は機械的/化学的な観点からの評価が重要である。工学技術は長期寿命の予測や設計・製作等に関わる工学的技術に頑健性を持たせる視点で開発が進められている。それらに基づく溶接や超音波探傷などの製作・非破壊検査に係わる技術、材料強度等を考慮した材料の選定等、現在の開発状況が紹介された。また銅-構造体の2重構造容器の代替として、被覆層を形成する新たな試

Report on "5th International Workshop on Long Term Prediction of Corrosion Damage in Nuclear Waste Systems : LTC2013" by Masato KOBAYASHI (m-kobayashi@rwm.or.jp)

*1 (公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター
Radioactive Waste Management Funding and Research Center
〒104-0052 東京都中央区月島 1-15-7

みの事例が紹介された。これはコールドスプレーや電着法などで銅の薄い被膜を形成するものである。炭素鋼に比べて処分サイトでの水素発生を低減出来る等の潜在的な可能性を秘めるもので、今後の研究が期待される。

2.3 Modeling

酸化性雰囲気下での炭素鋼の腐食速度評価に対して、2層から成る保護性の被膜の成長と被膜の溶解を仮定したモデルが提案された。ILW (Intermediate Level radioactive Waste)用処分容器材料であるステンレス鋼に対しては、Cl⁻を含む付着物下での孔食成長を表現する最適なモデルを構築することが共通の課題とされ、X-ray tomography を用いた相対湿度と塩濃度の作用についての評価や、有限要素解析による評価等からモデルの信頼性を向上させていた。

2.4 Experimental I Copper

コールドスプレーや電着法の製作試験や銅被覆の性状、製作した銅被覆の 3M NaCl 溶液での浸漬試験結果がカナダの NWMO より報告された。還元性雰囲気下では 90 日経過後も腐食が確認されず、酸素吹き込み下では 30 日で粒状の腐食生成物が確認された。

銅上に生成する Cu₂S 被膜の成長は[Cl⁻]や[Cl⁻]:[HS⁻]に依存し、処分環境のように流動がない環境下では被膜は多孔質となることが示された。

スウェーデンの Äspö 島の地下 450 m に位置する Äspö Hard Rock Laboratory で実施されている小型試験体を使用した試験の結果が紹介された。還元性雰囲気での Äspö 地下水環境では SRB (Sulphate reducing bacteria)の活発な活動が認められ、銅の腐食速度は 0.15µm y⁻¹以下であることが示された。

2.5 Experimental II Carbon steel in Alkali media

安定な粘土層が存在し、湧水が少ない環境を処分場候補地としている国では、炭素鋼をアルカリ環境下で使用する事も検討されている。アルカリ環境下では炭素鋼は全面腐食および SCC (Stress corrosion cracking)に対して良い耐久性を示す。しかしながら、硫化物の存在や容器に鍍層が予め付着している場合は耐食性を損なう可能性があり、セメント製造時に混入する鉄粉により水素ガス発生の評価が難しくなることが示された。

2.6 Experimental III Carbon steel, Stainless steel

英国の ILW 用処分容器はオーステナイト系や 2 相系ステンレス鋼の使用が検討されており、NaCl や MgCl₂ 等の付着による SCC が懸念されている。これに対して微細な初期き裂の検出に有効な手法である in-situ の DIC (Digital Image Correlation)により、き裂進展におよぼす相対湿度と塩の種類の関係が示された。

中国の地層処分における炭素鋼の腐食検討事例が、University of Science and Technology Beijing の Prof. K. Gao より報告された。中国での処分場候補の 1 つである Beishan の地下水組成や、その環境下での市販材の試験結果が紹介された。中国の処分事業についての情報が少ないこともあ

り、当日最後の講演であったにも関わらず参加者は興味深く講演に聞き入っていた。

2.7 Natural Analogue

処分容器の長期寿命予測を支持する 1 つの手法として、地質や遺跡からの出土品を対象としたナチュラルアナログがある。本セッションではそれらの事例や分析結果が報告された。そして実験室での模擬試験、腐食のモデル化、考古学の出土品の分析結果を比較し関連させる方法論が示された。

2.8 Microbiological Corrosion

粘土質環境下での鉄の腐食におけるバイオフィームや微生物の代謝作用では、マグネタイトを主とする腐食生成物におけるバイオフィームの存在が報告された。またインキュベーション条件と処分環境を比較した結果、バクテリアは腐食生成物に作用して腐食速度を上昇させることが示された。

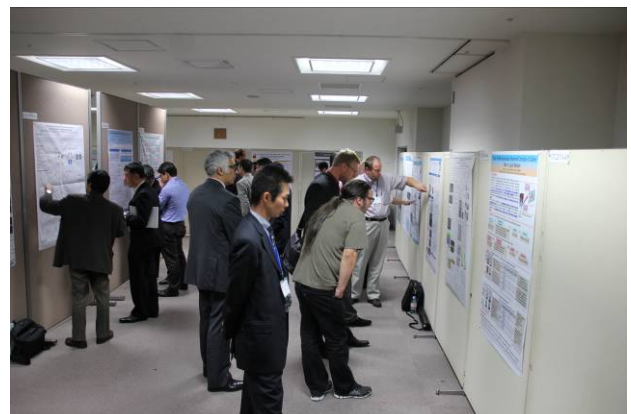
2.9 LLW in Japan

日本では、炉内構造物の余裕深度処分のための処分容器材料として、炭素鋼が検討されている。処分容器は、セメントと高圧縮膨張剤環境下におかれるために、炭素鋼の腐食速度と膨張率に関する文献調査および実験的検討が行われ、処分ステージの進行と腐食速度の妥当性が検証された。また、局所腐食に関する実験も実施され、局所腐食の発生可能性は少ないことが示された。

3 その他

3.1 ポスターセッション

10月7日の口頭発表後にポスターセッションが開催された。会場は軽食を取りながらのリラックスした雰囲気であり、活発な議論が交わされた。



ポスターセッション会場の様子

3.2 Banquet

10月9日のセッション終了後、旭川の名所の 1 つである旭山動物園を散策した。その後動物園内にあるレストランにて Banquet が催され、北海道の味覚に舌鼓を打ちながら、研究者間の交流を深めた。



幌延-250m 地下調査坑道の視察の様子



地層処分実規模試験施設でのデモ風景

4 テクニカルツアー

4.1 幌延深地層研究センター

会期最終日の10月10日は原子力機構幌延深地層研究センターを視察した。この施設は高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発として地層科学研究や地層処分研究開発を行う我が国で唯一の場所であり、この施設の視察は本会議の目玉であった。旭川市を早朝に出発しバスに揺られること約4時間、幌延町にある当該施設に到着した。視察場所は地下-250 mに位置する調査坑道と地上PR施設であるゆめ地創館、および併設された地層処分実規模試験施設（原環センター）である。-250 mの地下調査坑道へ工事用エレベーターで降り、施設の説明や原位置で実施されている調査研究について説明を受けた。

4.2 地層処分実規模試験施設

地層処分実規模試験施設では、実規模スケールの緩衝材ブロックやオーバーパックが展示されており、定置概念の1つである堅置きブロック方式を実感することが出来た。さらに定置試験装置による模擬緩衝材ブロックの定置試験が実演され、工学技術の開発状況を理解することが出来た。

5 おわりに

本会議は処分容器の腐食を主とした長期健全性評価に特化したものであり、諸外国で当該研究開発に携わる研究者が一堂に会する極めて貴重な場である。よって処分容器の腐食に関わる研究開発動向の把握および最新知見に関する意見・情報交換を行うには最適の場所である。今回は研究が先行する欧州から遠く離れた日本での開催にも関わらず、多くの講演申込みや参加者があったことから、本分野に対する意識や興味の高さが伺える。今回で5回目となる本会議は常連の参加者が多く、また対象としている分野が共有されているため、coffee break や昼食の間にも随所で意見交換が行われていた。このような会議に参加出来たことは当該研究に携わる者として非常に有意義なものである。

放射性廃棄物の処分事業は人類共通の課題であり、事業も百年近い長期間にわたって実施される。また対象となる技術分野も地質、土木、材料、社会科学などと非常に多岐にわたる。次回は2016年にカナダのトロントで開催の予定である。本会会員の皆様にも是非ご参加いただき、ご自身の専門分野からの意見や、腐食の分野からのフィードバックを受けていただきたいと思います。



本会議参加者集合写真（大雪クリスタルホール中庭にて）

