

## CAST (CARbon-14 Source Term) Final Symposium 参加報告

桜木智史\*1

2018 年 1 月 16 日から 18 日にかけて、CAST Final Symposium がフランス・リヨンで開催された。CAST とは CARbon-14 Source Term の略で、炭素 14 を含む廃棄物のソースターム評価に関する国際共同研究プロジェクトであり、欧州原子力共同体 (EURATOM) の IGD-TP (地層処分実施技術プラットフォーム) のプロジェクトのひとつである。今回のシンポジウムは、2018 年 3 月で終了した 4 年半におよぶ本プロジェクトの最終的な成果を報告する場であり、80 名の参加者を得た。筆者は幸運にもプロジェクト当初からメンバーとして参加する経験を得たので、本報告では、本シンポジウムの参加報告として、CAST プロジェクトの概要やその成果等について報告する。

## CAST プロジェクトの概要

CAST プロジェクトについて簡単に紹介する。放射性炭素である炭素 14 は広く天然に存在するが(宇宙線由来によるグローバルプロダクションは  $1.5 \times 10^{15}$  Bq/y)、放射化した金属廃棄物などにも比較的多く含まれ、とくにその化学的特性に不明な点が多いことから、廃棄物処分の安全性に懸念が持たれている。一方で、廃棄物分野における炭素 14 関連の研究開発は、これまで一部の国や機関を除き積極的な検討や対策は行われてこなかった。米国ではユッカマウンテン計画の R&D として 1980 年代に燃料被覆管に含まれる炭素 14 の放出に関する研究が行われ(その後はほとんど行われていない)、日本では主に TRU レポートの取りまとめに向けて 1990 年代から研究が開始・継続されている。しかし、欧州ではこれまで関心を集めることはなく、専門的に扱う機関や研究者はきわめて限られていた。ところが、2025 年までに欧州で地層処分を安全に開始するとともに処分事業が進んでいない国では処分計画を促進することが目標とされ、IGD-TP によって研究支援体制が整うと、これまで取組みが不十分であった炭素 14 関連の R&D は強化対象となり、EU 加盟国を中心にスイス、ウクライナ、日本を加えた 33 機関がプロジェクトメンバーとなる共同研究として開始されるに至った(図 1 にプロジェクトメンバーのロゴ等を示す)。なお、プロジェクトメンバーと協力関係にある大学や分析機関などからも多くの参加者があり、実質的にはさらに大きな規模のプロジェクトであった。

プロジェクトの目的は、廃棄物から処分施設への炭素 14 の放出メカニズムの理解を深めることであり、それにより処分の長期的な安全評価に対する不確実性を低減させ、セーフティーケースの信頼性を高めることである。とくに、放出された炭素 14 の化学種 (Speciation) を明らかにすることが最大の関心事であった。



図 1 CAST プロジェクト・参加機関のロゴ

プロジェクトの構成を図 2 に示す。7 つのワークパッケージ (WP) から構成され、各国の処分実施主体が WP リーダーを担っている (例えば、WP2 リーダーはスイスの Nagra である)。WP1 は全体の取りまとめである。各廃棄物のソースターム評価は WP2 から 5 で実施され、得られた成果は WP6 (安全評価) へ反映される。ただし、炭素 14 の移行や生活圏での挙動は検討外であり、WP6 ではソースタームの変化が安全評価に与える影響について検討を行う。しかしながら、この部分の扱いが CAST プロジェクト全体を通して最も困難となったところであり、安全評価を議論するには常に分配係数や微生物影響といった観点を含めたトータルシステムでの評価が欠かせないというのがその理由であったが、最終的には安全評価の結果と将来の課題をうまく整理することで取りまとめることができた。

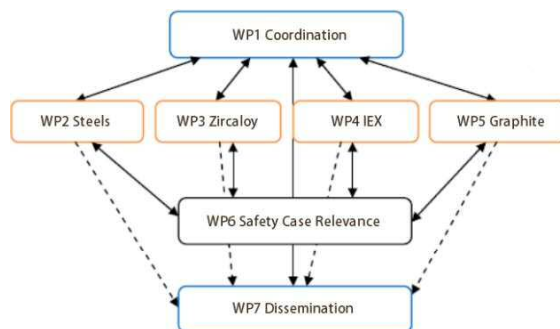


図 2 CAST プロジェクトの構成

Report on the CAST final symposium by Tomofumi SAKURAGI (sakuragi@rwmc.or.jp)

\*1 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター  
Radioactive Waste Management Funding and Research Center  
〒104-0044 東京都中央区明石町 6 番 4 号ニチレイ明石町ビル 12 階

WP7 は成果の普及を担っており、ワークショップ開催によるステークホルダー (規制機関や廃棄物発生者等) への情報提供や、人材育成プログラムも実施している。このよ

うな取り組みは欧州プロジェクトの大きな特徴のひとつである。なお、筆者の所属する原環センターは日本から唯一の参加機関として、WP2, WP3 および WP6 のメンバーとして活動を行ってきた。

## Final Symposium と CAST 成果概要

CAST プロジェクトでは、各ワークパッケージ (WP) のミーティングに加え、年に 1 回、プロジェクトの総会 (General Assembly meeting) がロンドン (2013)、ブリュッセル (2014)、ブカレスト (2015)、ルツェルン (2016) で開催されてきた。最後の総会は、CAST プロジェクトの成果を取りまとめるだけではなく、成果の普及、さらに CAST メンバー外からの関連研究の情報も得ながら広く議論できる場とするためにシンポジウムとして開催された。そのため、各 WP の成果報告に加え、ポスター発表、外部識者によるレビュー、パネルディスカッションなどが行われた。ここでは CAST プロジェクトの中心的な議題であった照射済みスチールやジルカロイを対象とした成果報告の内容と、外部レビューによる本プロジェクトの総括について記載する。なお、CAST Final Symposium の報告内容は、後述のように CAST プロジェクトの HP にも公開されているので、黒鉛や廃樹脂の報告等についてはそちらを参照されたい。

WP2 (スチール) および WP3 (ジルカロイ) はともに金属廃棄物を対象とし、金属腐食や分析手法に関して課題や試験方法に類似点が多いことから、WP ミーティングも合同で実施するなど一体となってプロジェクトを進めてきた。WP2&3 での主な検討対象を以下に示す。

- ・炭素 14 インベントリ
- ・腐食速度 (浸出速度)
- ・炭素 14 化学種
- ・Instant Release Fraction (IRF : 廃棄体による核種閉じ込めを期待しない、いわゆる瞬時放出割合)

各機関においては、炭素 14 の分析手法の検討から始まり、未照射および照射された金属を用いた腐食試験により、浸出した炭素の分析が行われた。WP2 で実施された試験結果のまとめを表 1 に示す。照射された鋼材の腐食によって生成・放出される炭素 14 は溶存種が多いが、ガス成分も一定の割合で確認されている。類似の結果はジルカロイについても得られている。なお、一部の機関では、溶存・ガス成分の炭素 14 をクロマトグラフィーにより化合物単位に分離・分画し、加速器質量分析 (AMS) で定量分析する試みも行われており、低級のカルボン酸が確認されている。また、各機関ともに腐食試験の期間が比較的短く、数年単位の長期試験による炭素 14 の挙動については今後の課題として位置づけられるため、プロジェクト終了後も独自の判断で試験を継続する機関もあるようである。

外部評価委員 2 名 (金属腐食と環境中の炭素 14 動態研究の専門家) のレビューによる本プロジェクトの評価・取りまとめは以下である。これまで例がなかったプロジェクトであり、非常に難しい課題である炭素 14 の問題に取り組んだ姿勢や、ソースタームパラメータについて、化学種、放

表 1 放射化ステンレス鋼等の浸漬試験で得られた炭素 14 の化学種の分析結果のまとめ (WP2)

Organisation	Conditions	Material	Liquid phase		Gas phase	
			Spec.	%	Spec.	%
PSI inactive	alkaline anoxic	SS	AA, FA, OA	95	Met, Eth	5
PSI active	alkaline anoxic	SS	FA, AA, LA	n.d.	n.d.	n.d.
NRJ/Wood	alkaline anoxic	SS	CO <sub>3</sub>	90	Met, (CO)	10
KIT	acidic digestion	SS	organic	70	organic	30
SCK	alkaline anoxic	CS	AA, FA	n.d.	Met	n.d.
Ciemat	alkaline oxalic	SS	n.d.	n.d.	CO	n.d.
	acidic oxalic	SS	OA	n.d.	CO	n.d.

出速度、IRF など新しい知見が多く得られた点が高く評価された。また、安全評価に対しては、各国それぞれで対応が異なるなか、様々な廃棄物、システム、処分環境に対して実験的に得られたソースタームを適用させるとともに、ガス移行などの異なるシナリオや分配係数や拡散係数といった移行パラメータの影響に対しても幅広く考察することで、科学的な理解が深まり、安全性や長期評価の信頼性を高めることができたと評された。さらに、成果の普及の観点、人材育成の面でも高く評価されている。一方、今後も最新の炭素 14 の分析技術などを活用し、継続的に炭素 14 の問題・課題に取り組んで欲しいとの期待・要望も示された。

原環センターの CAST プロジェクトに対する貢献は、プロジェクトの開始前より独自に実施していたジルカロイやステンレス鋼の長期腐食試験の結果を提供するといった、他の機関とは異なった特色あるデータ提供を行った点にある。それらのデータは Final Symposium でもプロジェクトの主要な成果としてピックアップされ、WP リーダーからは感謝の言葉を頂くなど、目標とする貢献ができたものと考えている。原環センターの研究に尽力頂いた協力会社の方々のおかげである。また、Final Symposium へは CAST メンバーではないが電力中央研究所の中林主任研究員が参加され、ステンレス鋼から放出される炭素の化学種に関する研究を発表された。これまで CAST では議論されてこなかった新しい研究データが示され、CAST メンバーから多くの興味を集め高く評価された。炭素 14 研究の分野での我が国のポテンシャルはまだまだあるように思える。

現在、CAST のホームページ (<https://www.projectcast.eu/>) では、70 以上の技術レポートを含むニュースレターやミーティング資料など合計 170 以上のドキュメントが公開されている (最終的にはもう少し増えるだろう)。そのうち原環センターも著者に加わっているレポート等が 20 を超える。メンバー限定サイトではそれ以上、無数の情報が存在しており、5 年近くプロジェクトで多くの関係者が努力した痕跡を確認することができる。一部の成果については既に Migration 等の国際会議で報告されており、これからさらに多くの成果が学術誌 Radiocarbon の Special Edition に掲載される予定である。また、人的交流や人材育成への貢献を含

め、地層処分の実現へ向けて有益かつ貴重なプロジェクトであった。

## おわりに

CAST プロジェクトは 2018 年 3 月末で終了した。今まだ少し、技術レポートや **Radiocarbon** 誌の公開手続きが残っている。多くの参加機関がほぼゼロからのスタートであり、当初はなかなか思うような進捗ではなかった。とくに試験条件の統一や同一サンプルの利用などの試みも検討されたが、各国・各機関で諸条件が異なり難しい面があった。安全評価への取り組みも同様である。しかし、最終的には一致団結して取りまとめることができた。この大所帯のプロジェクトにおいて、若手からベテランまでのメンバーそれぞれがお互いの意見を尊重し、とくにアットホームな雰囲気、議論しやすい環境づくりに皆が努力していたことが強く印象としてあるが、プロジェクトが成功できた要因もそこにあると思われる。

筆者は幸運にもこのプロジェクトへ参加する機会を得て、4 年半におよぶプロジェクトで様々なことを経験できた。参加メンバーのなかには、途中、就職が決まって参加できなくなったポスドクや、プロジェクトの途中や終了とともに研究者としての現役を引退された方々もいた。彼ら（彼女ら）多くの研究者・関係者と交流を得ることができた。国際会議でよく見かけていた著名な研究者とも仲良くなった。また、毎年数回行われるミーティングではヨーロッパのいろいろな国をいろいろな季節に訪問でき、主要国の地下研や廃棄物関連の施設を見学する機会も得られた。たしかに毎度毎度のレポーティングやプレゼン準備には苦労するが、またとない貴重な経験であった。今のところ、CAST の後継プロジェクトは予定されていないが、将来に期待したい。

最後に、この貴重なプロジェクトに筆者を引き込んでくださった元原環センター・原子力学会フェローの田辺博三さんにこの場を借りて厚くお礼申し上げる。

CAST プロジェクトへの参画は、平成 29 年度までの資源エネルギー庁の委託事業である高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業（TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発）の一環である。



写真 1 Final Symposium 会場の様子



写真 2 CAST Final Symposium の集合写真(リヨン・サンジャン大教会の前にて)

