

東京電力福島第一原子力発電所事故で生じた
燃料デブリから生じる放射線の特徴評価に関する
調査及び解析作業

仕 様 書

目 次

1	件名	1
2	目的	1
3	作業実施場所	1
4	納期	1
5	作業内容	1
6	支給品	4
7	貸与品	4
8	提出図書	4
9	検収条件	4
10	検査員及び監督員	4
11	保証	4
12	品質保証	4
13	機密保持	5
14	グリーン購入法の推進	5
15	協議	5

1 件名

東京電力福島第一原子力発電所事故で生じた燃料デブリから生じる放射線の特性評価に関する調査及び解析作業

2 目的

東京電力福島第一原子力発電所事故で生じた燃料デブリから発せられる放射線を測定することにより、その線源組成の推定をすることにより事故分析を行うことが検討されている。日本原子力研究開発機構は、原子力規制庁より令和8年度原子力施設等防災対策等委託費（「東京電力福島第一原子力発電所原子炉建屋内における燃料デブリに含まれる重元素核種の同定に関する調査」）事業の委託を受け、検討を進めている。

本調査及び解析作業は、燃料デブリから発せられる放射線の種類やエネルギーを解析検討により調査し、その測定可能性を調べることで、同事故における事故進展の調査及び今後の燃料デブリ取扱いに資する情報を得ることを目的とする。本作業により、放射線測定で燃料デブリの種類を大別することが出来れば、事故進展の分析、取出し工程立案時のリスク分析、作業の効率化に寄与することが可能となる。

3 作業実施場所

受注者側作業実施施設

4 納期

令和9年2月26日

5 作業内容

東京電力福島第一原子力発電所（1F）の事故においては、多岐に渡る組成・性状の燃料デブリが生じた。この燃料デブリについて取り出すことなく調べるためには、ロボットカメラ等による視覚情報と、中性子やガンマ線などの放射線によるものを調べる方法が考えられる。このうち後者について実施する場合、予想される放射線の種類、エネルギー、強度に合わせて適切な検出器を選ぶ必要がある。そのため、計算解析によって、デブリの組成・性状ごとに異なると推測される放出放射線の特性を調べるのが本調査及び解析作業の目的である。

はじめに、燃料デブリの組成として核燃料物質の核種組成を先行研究を基に解析により評価する。次に得られた核種組成から、結果の比較が容易な代表組成に対し、その組成から放出される中性子及びガンマ線（核分裂及び崩壊性核種由来のものなど）スペクトルの取得を行う。さらに、それらの放射線発生時のスペクトルから、1Fの燃料デブリとして想定される構造材料、燃料デブリの置かれている圧力容器や格納容器内で想定される環境（冷却水、蒸気など）における吸収効果によるスペクトルの変化を、パラメータサーベイした上で、比較を行う。

5.1 解析項目

5.1.1 燃焼核種組成

先行研究に基づき、1F 燃料デブリを構成する核種組成を簡易評価する。

JAEA が実施した既存の評価 [1] においては、燃焼計算により、1F 各号機ごとに、燃焼組成の「重量」、「放射能」、「発熱量」、「格子放出率」、「中性子放出率」、を 1～3 号機の炉心と使用済燃料プールにおいて求めている。今回の解析では、着目結果の違いから下記のような条件で解析計算を実施する。

(1) 核計算

燃焼計算コード： ORIGIN2.2-UPJ [2]

核データライブラリ： JENDL-4.0 ベース ORIGIN2 用断面積ライブラリセット
ORLIBJ40 [3]

参考文献[1] に記載の初期組成、定検履歴、照射履歴推定を入力として用いる

(2) 評価対象

1 号機炉心、2 号機炉心、3 号機炉心 ※使用済燃料プールは対象外

(3) 評価量

核種重量 [g/core]

放射能 [GBq/core]

発熱量 [W/core]

格子放出率 [photon/sec/core]

中性子放出率 [neutron/sec/core]

事故後 10 年から 60 年まで 5 年刻み

(4) 妥当性の確認

上記の解析条件とは別に、参考文献[1]との整合性を確認するため、[1]に記載の情報を利用して本解析役務の妥当性を評価してまとめる。

5.1.2 放射線のスペクトル計算

代表的な燃料デブリ組成として 1) のような条件を選択し、2) のような放出される放射線のスペクトルを調査する。

(1) 代表核種

U、Pu、Cm その他 2.2.1 の燃焼計算で得られたアクチノイド核種

代表的な核分裂生成物

(2) 放射線のスペクトル評価

上記 1) を線源とし、含まれる自発核分裂核種及び(α , n) を源中性子とした場合の中性子及びガンマ線（核分裂及び崩壊性の核分裂生成物核種由来のものなど）スペクトルの計算解析を行う。パラメータとしては下記のようなものが考えられる。

- ・核燃料の濃縮度

（例： ^{235}U 濃縮度 1、2、3、4、4.9 wt. %、Pu 富化度など）

- ・核燃料の化学形

（例： UO_2 、 U_3O_8 など）

このうち中性子については、上限エネルギー20MeV までの範囲に対し、107 群以上の詳細群と 3 群（熱・熱外・高速）で求める。

一方、ガンマ線については10MeV までの範囲に対し 50 群程度で求める。この際、核分裂から生じる即発ガンマ線の有無がわかるような群構造を選択する。また、1) の結果に基づき燃料デブリの組成を精査し、主要なガンマ線放出核種をその放出ガンマ線エネルギーと放出率についてまとめること。

(3) スペクトルの減衰（変化）の評価

上記 2) で求めた線源スペクトルの周囲媒質による吸収反応による減衰の結果、変化したスペクトルについてパラメータ計算を行う。パラメータとして下記を設定する

- ・核燃料の化学形以外の燃料デブリに含まれる混合物

（ジルカロイ、炭素鋼、ステンレス鋼、コンクリート、など）

※コンクリートの組成については別途協議

- ・燃料デブリ周囲にある媒質

（真空仮定、乾燥空気、湿度 100% 空気、水ミスト（約 0.1 kg/m^3 ）、冷却材水など）

媒質の厚さもパラメータとするが、中性子や光子の減衰曲線を参考に範囲を決める。

5.2 解析結果の整理

上記 2.2 で得られた結果を、代表核種と比較して図表として整理する。

比較を行う代表核種は中性子では自発核分裂核種の ^{252}Cf 、ガンマ線源としては ^{154}Eu とする。

5.3 納品物仕様

8 に記載の納入図書も含め納品物は磁気記憶媒体に収録して納品すること。解析結果を得るのに作成した補助プログラムは納品物に収めること。また、組成の入力、計算パラメータの設定など、解析結果を得るまでの処理工程について報告書で説明すること。

6 支給品

特になし

7 貸与品

特になし

8 提出図書

図 書 名	提 出 時 期	部数	電子送付	依頼元確認
作業工程表	契約後速やかに	1 部	可	要
作業要領書	契約後速やかに	1 部	可	要
作業報告書	納入時	2 部	不可※	要

※納入前の事前確認を求める場合のみ可

(提出場所)

原子力機構 安全研究センター 臨界安全研究グループ

9 検収条件

「8. 提出図書」の確認並びに原子力機構が仕様書に定める作業が実施されたと認めた時を以て、作業完了とする。

10 検査員及び監督員

検査員

(1) 一般検査 管財担当課長

監督員

(1) 技術検査 安全研究センター 臨界安全研究グループ員

11 保証

第2章に定める技術仕様を満足した、Microsoft Windows 11 の 64bit オペレーションシステムにおいて読み込みができることを保証すること。

12 品質管理

(1) 本調査に係る作業等は、全ての工程において、以下の事項等について十分な品質管理を行うこととする。

- ・管理体制
- ・設計管理
- ・工程管理
- ・検査管理

- ・不適合管理
- ・記録の保管

13 機密保持

受注者は、本業務の実施に当たり、知り得た情報を厳重に管理し、本業務遂行以外の目的で、受注者、下請会社等の作業員を除く第三者への開示又は提供を行ってはならない。

14 グリーン購入法の推進

- (1) 本契約において、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に適用する環境物品（事務用品、OA機器等）が発生する場合は、これを採用するものとする。
- (2) 本仕様に定める提出図書（納入印刷物）については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

15 協議

本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、原子力機構と協議の上、その決定に従うものとする。

以 上

参考文献

[1] 西原健司、岩元大樹、須山賢也、「福島第一原子力発電所の燃料組成評価」、JAEA-Data/Code 2012-018、日本原子力研究開発機構、(2012) .

<https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Data-Code-2012-018.pdf>

Appendix

[https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Data-Code-2012-018-appendix\(CD-ROM\).zip](https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Data-Code-2012-018-appendix(CD-ROM).zip)

[2] <http://www.oecd-neo.org/tools/abstract/detail/nea-1642>

[3] 奥村啓介、杉野和輝、小嶋健介、神智之、岡本力、片倉純一、「JENDL-4.0に基づくORIGEN2 用断面積ライブラリセット：ORLIBJ40」、JAEA-Data/Code 2012-032、日本原子力研究開発機構、(2013) .