

高温ガス炉用ソースターム評価コードの基本設計  
仕様書

令和6年11月

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

エネルギー研究開発領域

高温ガス炉プロジェクト推進室

HTTR-熱利用試験準備グループ

## I. 一般仕様

### 1. 件名

高温ガス炉用ソースターム評価コードの基本設計

### 2. 目的及び概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という。）では、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を受けて、2030年までに大量かつ安価なカーボンフリー水素製造技術を確認するため、HTTR（高温工学試験研究炉）の近傍に熱利用試験施設を新設し、これをHTTRと接続することで、天然ガス水蒸気改質法を用いた水素製造を行う予定である。

高温ガス炉を対象に通常運転時及び設計基準事故時における公衆の被ばく線量評価を行うにあたっては、高温ガス炉から環境中へ放出される核分裂生成物（以下「FP」という。）の種類を適切に選定し、評価する必要がある。

本作業では、高温ガス炉を対象にソースターム評価コードを開発することを目的として、当該コードの基本設計を行う。具体的には評価対象核種の選定、崩壊系列の決定、高温ガス炉のプラント内におけるFPの生成崩壊挙動の基礎方程式の離散化を行い、基本設計書を作成する。

### 3. 作業内容

- (1) 高温ガス炉用ソースターム評価コードの基本設計
- (2) 報告書の作成

### 4. 提出図書

(1) 実施工程表	契約締結後速やかに	1部
(2) 実施要領書	契約締結後速やかに	1部
(3) 委任又は下請負届 (原子力機構指定様式)	作業開始2週間前までに	1部
(4) 打合せ議事録	打合せの都度	1部
(5) 報告書	期間内	3部
(6) 報告書等を収めたCD-R	期間内	1式

(提出場所) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
エネルギー研究開発領域 高温ガス炉プロジェクト推進室  
HTTR-熱利用試験準備グループ (大洗駐在)

5. 提示情報、支給品及び貸与品

(1) 提示情報

① 既往評価時の評価対象核種の一覧表 (約 150 核種)

(2) 支給品           なし

(3) 貸与品           なし

6. 作業実施場所

受注者側実施施設

7. 納期

令和7年3月21日

8. 納入場所

茨城県東茨城郡大洗町成田町4002番地

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 大洗原子力工学研究所

H T T R 研究棟内指定場所

9. 検収条件

「4. 提出図書」の確認並びに、原子力機構が仕様書の定める業務が実施されたと認められた時を以て、業務完了とする。

10. 適用法規・規定等

該当なし

11. 特記事項

- (1) 受注者は原子力機構が原子力の研究・開発を行う機関であるため、高い技術力及び高い信頼性を社会的に求められていることを認識し、原子力機構の規程等を遵守し安全性に配慮し業務を遂行しうる能力を有する者を従事させること。
- (2) 受注者は業務を実施することにより取得した当該業務及び作業に関する各データ、技術情報、成果その他のすべての資料及び情報を原子力機構の施設外に持ち出して発表もしくは公開し、または特定の第三者に対価をうけ、もしくは無償で提供することはできない。ただし、あらかじめ書面により原子力機構の承認を受けた場合はこの限りではない。

12. 検査員及び監督員

(1) 検査員 一般検査

管財担当課長

(2) 監督員 作業内容及び提出図書の確認

エネルギー研究開発領域 高温ガス炉プロジェクト推進室

H T T R－熱利用試験準備グループ員

13. 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などの調達に関する法律）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) 本仕様で定める提出図書（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。

14. その他

(1) 受注者は発注者と顕密な連絡を取りつつ作業を行うこと。発注者が必要と認めた場合には随時技術打合せを行うこと。

(2) 本仕様書に関して疑義が生じた場合は、双方協議の上、原子力機構が指示する。

## II. 技術仕様

### 1. 概要

本作業では、高温ガス炉用ソースターム評価コードの基本設計を行う。基本設計では、法令や海外諸国の高温ガス炉のソースターム評価手法として使用実績のあるものを参考に、評価対象核種の選定、崩壊系列の決定、高温ガス炉のプラント内における核分裂生成物（以下「F P」という。）の生成崩壊を考慮した物質収支に係る基礎方程式の離散化を行い、基本設計書を作成する。

### 2. 高温ガス炉用ソースターム評価コードの基本設計

本作業では、高温ガス炉用ソースターム評価コードの基本設計を行う。具体的な作業内容は以下に示す。

#### (1) 評価対象核種の選定

評価対象核種の選定にあたっては、原子力機構が提示する既往評価時の評価対象核種（約 150 核種）をベースとする。

はじめに、既往評価時の評価対象核種に含まれない核種のうち、国内外の軽水炉や高温ガス炉等の実績を基に、公衆の被ばく線量評価上、重要な核種を追加すること。既往評価時の評価対象核種にこの重要な核種を追加したものを評価対象核種の候補とする。

次に、前述の評価対象核種の候補に関して、それぞれの核種の半減期（崩壊定数）、実効エネルギー及び核分裂収率（独立収率、累積収率）を調査して整理すること。本作業で必要な半減期（崩壊定数）、実効エネルギー及び核分裂収率（独立収率、累積収率）に関する情報の参照先は、原子力機構が指示する。なお、より適した情報の参照先がある場合は、原子力機構と協議の上、他の情報を参照することも可とする。

続いて、高温ガス炉から環境中へのF P放出時間のオーダーとして3パターン想定し、それぞれのパターンに対して評価対象核種の選定を行う。本作業にあたっては、前述の評価対象核種の候補に関して、整理したそれぞれの核種に関する情報を基に、公衆の被ばく線量評価上、重要でない核種を除外すること。具体的には以下の3パターンとする。

- ① 環境中へのF P放出時間が「分」オーダーの場合  
（短半減期核種の寄与が重要となるケース）
- ② 環境中へのF P放出時間が「時間」オーダーの場合
- ③ 環境中へのF P放出時間が「日」オーダーの場合  
（長半減期核種の寄与が重要となるケース）

#### (2) 崩壊系列の選定

2. (1)項の3パターンに既往評価時の評価対象核種の1パターンを加えた計4パターンの評価対象核種を基に、それぞれのパターンの評価対象核種に対する崩壊系列を選定する。本検討にあたっては、それぞれの評価対象核種のF P量が大きくなるよう保守的な仮定（中性子捕獲反応に伴う増加分を考慮する等）を置くこと。また、原子力機構が指示する崩壊系列に関する情報（分岐比等）を参照すること。なお、より適した情報の参照先がある場合は、原子力機構と協議の上、他の情報を参照することも可とする。

(3) 基礎方程式の離散化

ソースターム評価にあたっては、高温ガス炉の炉心に蓄積されるF P量、主冷却設備内を循環するF P量及び主冷却設備内壁面に沈着するF P量をそれぞれ評価する。それぞれのF P量の評価式の例を以下に示す。これらの評価式は自己核種のみでの生成崩壊を考慮した物質収支に係る基礎方程式である。当該評価式は、(2)で整理した崩壊系列及び保守的な仮定を考慮して修正する。

① 高温ガス炉の炉心に蓄積されるF P量

$$\frac{dN_{a,i}}{dt} = B_i \cdot (1 - (R/B)_i) - \lambda_i \cdot N_{a,i}$$

② 主冷却設備内を循環するF P量

$$\frac{dN_{c,i}}{dt} = B_i \cdot (R/B)_i - (\lambda_i + r_{p,i} + r_{d,i}) \cdot N_{c,i}$$

③ 主冷却設備内壁面に沈着するF P量

$$\frac{dN_{p,i}}{dt} = r_d \cdot N_{c,i} - \lambda_i \cdot N_{p,i}$$

$N_{a,i}$	: 高温ガス炉の炉心に蓄積されるF P量	(atom)
$N_{c,i}$	: 主冷却設備内を循環するF P量	(atom)
$N_{p,i}$	: 主冷却設備内壁面に沈着するF P量	(atom)
$B_i$	: 燃料内での核種 i の生成率	(atom/s)
$(R/B)_i$	: 核種 i の炉心平均放出割合	
$\lambda_i$	: 核種 i の崩壊定数	(/s)
$r_{p,i}$	: ヘリウム純化設備による核種 i の除去率	(/s)
$r_{d,i}$	: 配管壁面への沈着による核種 i の除去率	(/s)
$t$	: 時間	(s)

これらの基礎方程式の数値解法は、4次の陽的Runge-Kutta法、陰的Runge-Kutta法を採用する。それぞれの数値解法に基づいて基礎方程式の離散化を行うこと。なお、より適した数値解法がある場合は、原子力機構と協議の上、他の数値解法を採用することも可とする。

(4) 評価フローの作成

本作業では、入力データから出力データを得るまでのソースターム評価コードでの計算処理の手順を整理した評価フローの作成を行うこと。代表的な入力データ、出力データはそれぞれ以下のとおりとする。

① 入力データ：

- 核種に関するデータ（崩壊定数、核分裂収率等）
- 運転条件（運転時間、冷却材流量、冷却材保有量等）

② 出力データ：

- 経過時間
- 経過時間毎のF P量

他、評価フローの作成に必要な入力データ、出力データに関する項目は、原子力機構が提示する。

### 3. 報告書の作成

前項までの作業内容をまとめた報告書を作成する。報告書の文章はMicrosoft Word、図面はMicrosoft Excel（いずれもWindows版）、あるいは同等互換のあるソフトで作成すること。報告書には以下を含めること。

- 評価対象核種の選定手順をまとめたフローチャート
- 高温ガス炉用ソースターム評価コードの設計仕様をまとめた基本設計書
  - 入力データ（項目、単位、型等）の一覧
  - 出力データ（項目、単位、型等）の一覧
  - 評価対象核種の選定結果をまとめた一覧表
  - 評価モデル（崩壊系列、基礎方程式の離散化式を含む。）

#### 参考文献

- [1] 沢和弘 他, 「高温工学試験研究炉の遮蔽設計における核分裂生成物線源評価」、JAERI-M 91-198 (1991)