

高速炉炉心解析評価の研究開発基盤の維持に係 る作業

仕様書

令和6年7月

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
大洗研究所
高速炉サイクル研究開発センター
高速炉解析評価技術開発部
炉心・プラント解析評価グループ

第1章 一般仕様

1.1 件名

高速炉炉心解析評価の研究開発基盤の維持に係る作業

1.2 概要

日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という）では、高速炉炉心分野の発展を支える研究開発基盤の維持を図ってきた。これらの基盤に対して、性能向上や最新技術を取り入れるといった維持作業が必要不可欠となっている。本件では、高速炉炉心解析評価の研究開発基盤の維持作業として、炉心設計仕様を自動決定する解析機能に係る作業、炉心特性解析評価の結果分析機能に係る作業を実施する。

1.3 作業範囲

- (1) 炉心設計仕様を自動決定する解析機能に係る作業
- (2) 炉心特性解析評価の結果分析機能に係る作業
- (3) 報告書の作成

1.4 貸与物件

本作業を実施するにあたり、受注者が必要とする情報及び資料等のうち、原子力機構が認めたものについて、随時無償にて貸与する。但し、原則として、機構外への持ち出しは不可とする。作業終了時には返却すること。また、機構内で作業を行う場合に必要な作業場所・環境についても機構が認めたものについて無償で貸与する。

1.5 作業実施場所

茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002 番地

日本原子力研究開発機構 大洗研究所 高速炉サイクル研究開発センター

高速炉解析評価技術開発部 炉心・プラント解析評価グループ居室及び電算機室

(FBR サイクル国際研究開発センター (Fセルボ) 4F 及び 1F)

1.6 納期

令和7年3月14日(金)

1.7 提出図書

- | | |
|---|-----|
| (1) 実施計画書（契約後速やかに） | 1 部 |
| (2) 作業工程表（契約後速やかに） | 1 部 |
| (3) 打ち合わせ議事録（随時） | 1 部 |
| (4) 委任又は下請負届（機構指定様式）（作業開始前までに） | 1 式 |
| ※下請負届については下請負がある場合のみ提出すること | |
| (5) 業務従事者等の経歴※1（契約後速やかに） | 1 部 |
| 契約先の資本関係、役員の情報、本契約の実施場所、従事者の氏名、所属・専門性（情報セキュリティに係る資格・研修等）・業務経験及び国籍についての情報を記した書類。 | |
| ※提出した内容に変更が生じた場合は、その都度提出すること。 | |
| (6) 最終報告書（ワープロ仕上げ、1 部には DVD-R を添付） | 1 部 |
| (7) 作成データ（データ容量に応じたメディアを使用） | 1 式 |

(提出場所)

茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002 番地
日本原子力研究開発機構 大洗研究所
高速炉サイクル研究開発センター 高速炉解析評価技術開発部
炉心・プラント解析評価グループ
(FBR サイクル国際研究開発センター (Fセルボ) 4F)

1.8 検収条件

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。

1.9 品質管理

原子力機構は、受注者の品質保証活動が計画通りに実施されていることを確認するため、受注者に対して監査を行うことができるものとする。監査の実施にあたっては、事前に通知を行うとともに、受注者の情報管理を尊重する。

1.10 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）に該当する環境物品が発生する場合は、調達基準を満たした物品を採用することとする。
- (2) 本仕様で定める提出図書（納入印刷物）については、グリーン購入法に該当するため、当該基準を満たしたものであること。

- (3) 受注者は、大洗研究所構内にて作業を行う場合には、大洗研究所環境方針を順守し、省エネルギー、省資源に努めること。また、大洗研究所構内に乗り入れる車両のアイドリングは極力避け、自動車排気ガスの低減に努めること。

1.11 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もと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。
- (3) 受注者は異常事態等が発生した場合、機構の指示に従い行動するものとする。また、安全衛生上緊急に対処する必要がある事項については指示を行う場合がある。
- (4) 貸与物件は、契約終了後速やかに原子力機構に返還するものとする。
- (5) 貸与情報及び成果情報の開示は原子力機構の定める規定に従うものとする。
- (6) 貸与情報及び成果情報の外部発表もしくは公開、または第三者への開示は行わないこととする。ただし、原子力機構から外部発表の指示があった場合は、あらかじめ文書により原子力機構の承認を得た上で受注者はこれを行うものとする。
- (7) 貸与情報及び成果情報の目的外使用を禁止する。
- (8) 貸与情報及び成果情報の第三者使用を禁止する。
- (9) 受注者は、貸与情報及び成果情報の機密保持の義務を負う。
- (10) 受注者は、契約終了後、貸与情報の返還後、諸データ類の消去義務を負う。
- (11) 産業財産権等の取扱いについては、別紙「産業財産権特約条項」に定められたとおりとする。

1.12 協議

仕様書に記載のあるなしに関わらず、作業に際して疑義が生じた場合には、原子力機構と受注者の協議により詳細を決定し、受注者の作成する議事録にて双方で確認した後、作業するものとする。議事録で確認した事項は、本契約仕様書に準じた効力を持つものとする。

第 2 章 技術仕様

2.1 炉心設計仕様を自動決定する解析機能に係る作業

これまで、設定した炉心性能が向上するように、高速炉の設計仕様を自動で算出する解析機能を整備し使用してきたが、最新手法等を取り入れつつ、より効率的な機能に整備していく維持作業が必要不可欠となっている。そこで、炉心性能を考慮して設計値を自動で算出する手法の最新情報や、これまで使用していなかった他の手法の調査、それらの手法が実装された公開 Python ライブラリを利用したテスト計算コードを整備する（ここで使用する Python ライブラリについては機構と協議の上決定する）。具体的には、以下に示す 6 手法について、単目的の最適化を実施するテスト計算コードを整備する。

- ベイズ最適化手法
- Bayesian Optimization with Sparse Axis-Aligned Subspaces (SAASBO)
- 遺伝的アルゴリズム NSGA-II
- 遺伝的アルゴリズム NSGA-III
- SLSQP 法
- COBYLA 法

これら 6 手法について、整備したテスト計算コードを使用し、機構が提示したベンチマーク問題（3 ケース）を用いた性能比較を行う。計算コストと得られる解の精度を評価し、炉心設計に対して適した手法を明らかにする。

また、以下に示す 3 手法について多目的最適化を実施するテスト計算コードを整備する

- ベイズ最適化手法
- 遺伝的アルゴリズム NSGA-II
- 遺伝的アルゴリズム NSGA-III

これら 3 手法について、機構が提示したベンチマーク問題（3 ケース）を用いた性能比較を行う。多目的最適化の性能評価は、パレート解集合の精度を評価する超体積指標を計算する機能を整備し、実施する。

また、上記に示した手法において共通のインプット形式での使用を可能とする、共通インターフェースを整備する。単目的最適化では上述の 6 手法、多目的では 3 手法に対応したインターフェースを整備する。

2.2 炉心特性解析評価の結果分析機能に係る作業

炉心特性解析評価の結果分析機能として、以下の2機能を整備する。

- ▶ 炉心設計解析で着目する炉心性能や制約条件、設計変数に対して、相関分析を行う機能（相関係数計算法については、スピアマンの相関係数等が考えられるが、別途機構から指定した手法を使用する）
- ▶ 設計仕様を自動で算出する解析の結果に対し、指定した目的関数ごとの重みを反映し、パレート解を抽出する機能（正規化重み距離（normalized weight distance）を計算することでパレート解を選出する）

また、炉心特性解析評価の結果の可視化機能を整備する。具体的には、以下に示す6種類の可視化図を作成する機能を整備する。

- ▶ ベイズ最適化を実行した際に、ガウス過程回帰により予測される炉心特性（性能指標や制約条件として設定した特性）の等高線図（設計変数を軸とする）
- ▶ ベイズ最適化、遺伝的アルゴリズム NSGA-II、遺伝的アルゴリズム NSGA-IIIの3手法について、多目的最適化計算の結果を対象とした、以下に示すパレート解集合の可視化図
 - ・ パレート解集合を2つの目的関数の組み合わせごとの軸でプロットした図
 - ・ 指定した三つの目的関数を軸とした、パレート解集合の3次元分布図
 - ・ 横軸を変数とし、縦軸をパレート解の個数とした図（頻度分布）
 - ・ 指定したパレート解について、そのパレート解の各目的関数の値がパレート解集合の中でどのレベルにあるかを評価する指標（グレード）を計算し、目的関数ごとのグレードを示すレーダー図
 - ・ 超体積指標の変化を示す線図

2.3 報告書の作成作業

以上の成果をまとめた報告書を作成する。報告書はワープロにて作成する。なお、文章については WORD、図面については Power-Point、グラフについては 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ものとする。

2.4 業務に必要な資質・資格等

2.1～2.3 項に定める業務を遂行する者

- (1) 解析の実行やプログラミングに必要な、Windows、Linux のオペレーティングシステム、Python に関する専門的な知識を有すること
- (2) スクリプト言語による解析ジョブの実行・管理に関する知見・技術力を有すること
- (3) 数値計算に必要な数式の展開、プログラミング、及び、Python ライブラリの改良・実行に着手できること
- (4) 解析実行時に発生する可能性の高い不具合（計算不安定・発散）に対処して解析ジョブを速やかに復旧させることのできる知見・技術力を有すること
- (5) 最適化手法に関する知識を有すること
- (6) 原子力分野の解析技術に関する知見を有すること
- (7) Python プログラムによる最適化計算や結果の可視化機能の整備を実施する技術力を有すること
- (8) クライアントサーバーのユーザーインターフェース整備に関する知見を有すること

以上

産業財産権特約条項

(乙が単独で行った発明等の産業財産権の帰属)

第1条 乙は、本契約に関して、乙が単独でなした発明又は考案(以下「発明等」という。)に対する特許権、実用新案権又は意匠権(以下「特許権等」という。)を取得する場合は、単独で出願できるものとする。ただし、出願するときはあらかじめ出願に際して提出すべき書類の写しを添えて甲に通知するものとする。

(乙が単独で行った発明等の特許権等の譲渡等)

第2条 乙は、乙が前条の特許権等を甲以外の第三者に譲渡又は実施許諾する場合には、本特約条項の各条項の規定の適用に支障を与えないよう当該第三者と約定しなければならない。

(乙が単独で行った発明等の特許権等の実施許諾)

第3条 甲は、第1条の発明等に対する特許権等を無償で自ら試験又は研究のために実施することができる。甲が甲のために乙以外の第三者に製作させ、又は業務を代行する第三者に再実施権を許諾する場合は、乙の承諾を得た上で許諾するものとし、その実施条件等は甲、乙協議の上決定する。

(甲及び乙が共同で行った発明等の特許権等の帰属及び管理)

第4条 甲及び乙は、本契約に関して共同でなした発明等に対する特許権等を取得する場合は、共同出願契約を締結し、共同で出願するものとし、出願のための費用は、甲、乙の持分に比例して負担するものとする。

(甲及び乙が共同で行った発明等の特許権等の実施)

第5条 甲は、共同で行った発明等を試験又は研究以外の目的に実施しないものとする。ただし、甲は甲のために乙以外の第三者に製作させ、又は業務を代行する第三者に実施許諾する場合は、無償にて当該第三者に実施許諾することができるものとする。

2 乙が前項の発明等について自ら商業的实施をするときは、甲が自ら商業的实施をしないことにかんがみ、乙の商業的实施の計画を勘案し、事前に実施料等について甲、乙協議の上、別途実施契約を締結するものとする。

(秘密の保持)

第6条 甲及び乙は、第1条及び第4条の発明等の内容を出願により内容が公開される日まで他に漏洩してはならない。ただし、あらかじめ書面により出願を行った者の了解を得た場合はこの限りではない。

(委任・下請負)

第7条 乙は、本契約の全部又は一部を第三者に委任し、又は請け負わせた場合においては、その第三者に対して、本特約条項の各条項の規定を準用するものとし、乙はこのために必要な措置を講じなければならない。

2 乙は、前項の当該第三者が本特約条項に定める事項に違反した場合には、甲に対し全ての責任を負うものとする。

(協議)

第8条 第1条及び第4条の場合において、単独若しくは共同の区別又は共同の範囲等について疑義が生じたときは、甲、乙協議して定めるものとする。

(有効期間)

第9条 本特約条項の有効期限は、本契約締結の日から当該特許権等の消滅する日までとする。