

高速炉の炉内熱流動適正化に係る
炉上部プレナム領域熱流動解析手法の適用解析

引合仕様書

令和8年6月

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 高速炉研究開発部

システム熱流動工学グループ

第 1 章 一般仕様

1.1 件名

高速炉の炉内熱流動適正化に係る炉上部プレナム領域熱流動解析手法の適用解析

1.2 目的及び概要

本件は、経済産業省からの委託事業である「令和 5 年度高速炉実証炉開発事業（基盤整備と技術開発）」の一部として実施するものである。

日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という）では、ナトリウム冷却高速炉の安全性・安定性向上を目的として、炉内の重要な熱流動課題である、原子炉容器内炉上部プレナム液面部におけるカバーガス巻き込み現象の評価手法およびその評価ツールである「StreamViewer」の整備を進めている。StreamViewer は、数値解析等で得られた速度分布から渦領域を抽出し、渦モデルを適用することでガス巻き込み現象を評価するツールであり、オープンソースの可視化アプリケーションである ParaView 上で実行するマクロとして開発されている。

昨年度実施した「高速炉実機評価に向けた炉上部プレナム領域熱流動解析評価の適用性確認」では、プレナム簡略化体系を対象とした解析作業および StreamViewer によるガス巻き込み評価を行い、乱流モデルの設定による評価結果の影響について確認した。また、タンク型炉実機炉上部プレナム部を模擬した 10 分の 1 縮尺体系による水試験を対象とした解析モデルを整備し、予備解析によって物理的に妥当な流況が発生することを確認した。

今年度は、昨年度解析作業を実施したプレナム簡略化体系について、層流条件での解析作業及びメッシュサイズをパラメータとした解析作業を実施する。また、昨年度整備したタンク型炉実機炉上部プレナム部模擬 10 分の 1 縮尺水試験体系の解析モデルについて、解析モデルの修正および適用性確認の解析作業を実施する。

1.3 作業範囲

- | | |
|---------------------------------------|-----|
| (1) タンク型炉上部プレナム簡略化体系を対象とした解析作業 | 1 式 |
| (2) タンク型炉実機炉上部プレナム縮尺水試験体系の解析メッシュの修正作業 | 1 式 |
| (3) 報告書の作成 | 1 式 |

1.4 作業実施場所

- ・ 日本原子力研究開発機構 大洗原子力工学研究所
FBR サイクル国際研究開発センター（Fセルボ）3F
高速炉研究開発部 システム熱流動工学グループ居室

1.5 支給品及び貸与物件

(1) 支給品

イ. 水、電気等のユーティリティ

(2) 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計算機、解析コード及びソフト、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、原則として原子力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。

イ. クラスタ計算機 (OS : Linux) 及びデスクトップ PC (OS : Windows)

ロ. イ. にインストール済の解析コード (ANSYS FLUENT、StreamViewer)

ハ. イ. にインストール済のメッシュ作成ソフト (ANSYS ICEM CFD)

ニ. イ. が設置された作業スペース

ホ. 解析作業に関する情報及び資料 (解析対象とする試験体系の寸法、試験データ等)

1.6 納期

令和9年2月26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) 品質保証計画書 (契約後速やかに) | 1 部 |
| (4) 業務従事者等の経歴 (契約後速やかに) (契約後速やかに) | 1 部 |

※本件は機密情報を扱うため、以下の情報を記した書類を提出のこと。

契約先の資本関係・役員の情報、本契約の実施場所、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。

*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。

- | | |
|----------------------------------|-----|
| (5) 打ち合わせ議事録 (随時) | 1 部 |
| (6) 委任先又は中小受託事業者等の承認について (作業開始前) | 1 式 |
| ※中小受託事業者等へ請負等がある場合のみ提出すること | |
| (7) 報告書 (作業終了後速やかに) | 1 部 |
| ・ワープロ仕上げ、DVD-R 等の光ディスクを 1 部添付 | |
| (8) 解析結果データ (作業終了後速やかに) | 1 式 |
| ・DVD-R 等の光ディスク渡し | |

(提出場所)

日本原子力研究開発機構 大洗原子力工学研究所
FBR サイクル国際研究開発センター (Fセルボ) 3F
高速炉研究開発部 システム熱流動工学グループ居室

1.8 検収条件

提出図書の完納および内容検査の合格をもって検収とする。

1.9 検査員および監督員

検査員： 一般検査 管財担当課長

監督員： 大洗原子力工学研究所

高速炉研究開発部 システム熱流動工学グループ

グループリーダー

1.10 品質管理

(1) 受注者は、本件に係る品質管理プロセスを含む品質保証計画書を原子力機構に提出し、その確認を得ること。受注者は、受注者の品質保証計画書を遵守して、本仕様書に定められた作業を行うこと。また、受注者が作業の一部を下請会社等に外注する場合、品質に関する要求事項が下請会社等にまで確実に適用されていること。

(2) 受注者は、契約期間中に品質保証計画書を変更した時及び不適合が発生した際に原子力機構からの要求があった場合には、立入調査及び監査に応じるものとする。

1.11 情報セキュリティの取扱い

情報セキュリティの取扱いについては、別紙-1「情報セキュリティ強化に係る特約条項」による。

1.12 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) 本仕様書に定める提出図書（納入印刷物）については、グリーン購入法に該当するため、当該基準を満たしたものであること。

1.13 知的財産権等

知的財産権等の取扱いについては、「知的財産権特約条項」に定められたとおりとする。

1.14 特記事項

(1) 納入物件の所有権および納入物件に係わる著作権その他この納入物件の使用、収益および処分（複製、翻訳、翻案、変更、譲渡・貸与および二次的著作物の利用を含む）に関する一切の権利は、機構に帰属するものとする。ただし、本契約遂行のために使用するプログラム等のうち、本契約締結以前から、受注者が所有するものについての著作権

は受注者に帰属する。

- (2) 受注者は、本契約により新たに発生し、また機構により開示した情報等に付加させた情報（ただし、受注者が引合い前から自己所有していた情報を除く。以下「成果情報」）の機密を保ち、第三者に漏洩しないよう適切な措置を講じなければならない。
- (3) 成果情報の外部発表もしくは公開、または第三者への公開は行わないこととする。ただし、機構の文書による承認を得た場合はこの限りではない。
- (4) 貸与物件は、契約終了後速やかに機構に返還するものとする。機構外への持ち出しは原則不可とするが、情報漏えい防止対策を明示し、機構による承認を得た場合はこの限りではない。
- (5) 貸与情報および成果情報の目的外使用を禁止する。
- (6) 貸与情報および成果情報の第三者使用を禁止する。
- (7) 受注者は貸与情報および成果情報の機密保持の義務を負う。
- (8) 契約終了後は、貸与物件・情報の返還後、諸データ類の消去義務を負う。機構外持ち出しを承認された電子物件・電子成果情報については、完全に消去されたことを確認できるエビデンスを示すこと。
- (9) 受注者は上記の各項目に従わないことにより生じた、機構の損害およびその他の損害についてすべての責を負うものとする。
- (10) 本作業は、原則として、原子力機構大洗原子力工学研究所内で原子力機構担当者が指定する場所で行う。
- (11) 受注者は異常事態等が発生した場合、原子力機構の指示に従い行動するものとする。また、契約に基づく作業等を起因として異常事態等が発生した場合、受注者がその原因分析や対策検討を行い、主体的に改善するとともに、結果について機構の確認を受けること。

1.15 協議

当該作業を実施する上で疑義が生じた場合は、機構は受注者と協議の上その措置を定め議事録に記載する。受注者はその決定に従うものとする。

第 2 章 技術仕様

2.1 概要

原子力機構では、ナトリウム冷却高速炉の安全性・安定性向上を目的として、炉内の重要な熱流動課題である、原子炉容器内炉上部プレナム液面部におけるカバーガス巻込み現象の評価手法およびその評価ツールである「StreamViewer」の整備を進めている。StreamViewer は、数値解析等で得られた速度分布から渦領域を抽出し、渦モデルを適用することでガス巻込み現象を評価するツールであり、オープンソースの可視化アプリケーションである ParaView 上で実行するマクロとして開発されている。

昨年度実施した「高速炉実機評価に向けた炉上部プレナム領域熱流動解析評価の適用性確認」では、プレナム簡略化体系を対象とした解析作業および StreamViewer によるガス巻込み評価を行い、乱流モデルの設定による評価結果の影響について確認した。また、タンク型炉実機炉上部プレナム部を模擬した 10 分の 1 縮尺体系による水試験を対象とした解析モデルを整備し、予備解析によって物理的に妥当な流況が発生することを確認した。

今年度は、昨年度解析作業を実施したプレナム簡略化体系について、層流条件での解析作業及びメッシュサイズをパラメータとした解析作業を実施する。また、昨年度整備したタンク型炉実機炉上部プレナム部模擬 10 分の 1 縮尺水試験体系の解析モデルについて、解析モデルの修正および適用性確認の解析作業を実施する。

2.2 タンク型炉上部プレナム簡略化体系を対象とした解析作業

原子力機構では、ホットレグ配管を 2 本模擬した簡易的なタンク型炉上部プレナム部縮尺体系の水試験（以下、「プレナム簡略化体系水試験」）を実施し、その試験体系を対象とした CFD 解析および StreamViewer の評価を行い、StreamViewer の適用性を確認した。本件では、プレナム簡略化体系水試験を対象に、層流条件（乱流モデルなし）での解析及び StreamViewer の評価、並びに解析メッシュのサイズをパラメータとした解析及び StreamViewer の評価を実施する。

解析対象となるプレナム簡略化体系水試験の試験体の解析メッシュを図 1 に示す。解析メッシュは六面体メッシュ（ヘキサドラルメッシュ）で作成されており、液相のみを模擬している。メッシュサイズについては、一般部（壁から離れた位置）のサイズが 5mm 程度であり、メッシュ総数は 300 万程度である。層流条件での解析は、図 1 の解析メッシュを用いて、試験においてガス巻込みが発生した流速条件を対象とし、対流項の離散化手法として 2 次精度以上のものの適用を基本とする。

メッシュサイズをパラメータとした解析については、図 1 の解析メッシュをベースとして、一般部のサイズが 2 倍程度、および半分程度の解析メッシュを作成し、解析を行う。解析条件については、試験においてガス巻込みが発生した流速条件を対象とし、乱流モデルとして RNG $k-\epsilon$ モデル（曲率補正オプションを適用すること）、対流項の離散化手法として

2次精度以上のものの適用を基本とする。

解析メッシュの作成および数値解析については、原子力機構で所有するメッシュ作成ソフトおよびANSYS FLUENTを用いて行う。ANSYS FLUENT、メッシュ作成ソフト、および計算機は原子力機構担当者より別途貸与する。ただし、ANSYS FLUENT、メッシュ作成ソフトの実行環境の整備および実行に係る習熟は受注者の責任として実施すること。StreamViewerのマニュアルについては機構より貸与するが、その取り扱いに係る習熟は受注者の責任とする。

なお、本作業ではガス巻き込み現象に関する解析作業を取り扱うことから、Burgers 渦モデル等の各種モデルを理解していることが望ましい。

本作業にあたり、原子力機構から貸与する資料等（全部および一部の複製物を含む）の原子力機構外への持ち出しは厳禁とする。

2.3 タンク型炉実機炉上部プレナム縮尺水試験体系の解析メッシュの修正作業

原子力機構では、StreamViewer の妥当性確認に向け、タンク型炉実機炉上部プレナム部を模擬した10分の1縮尺体系による水試験（以下、「ホットプレナム体系水試験」）を実施する計画を立てている。

本件では、ホットプレナム体系水試験を対象とした解析メッシュの修正作業を行う。さらに、修正した解析メッシュの適用性を確認するための解析作業を実施する。

ホットプレナム体系水試験の解析メッシュを図2に示す。解析メッシュは、六面体メッシュ（ヘキサドラルメッシュ）で作成され、液相のみを模擬している。メッシュサイズについては、一般部（壁から離れた位置）のサイズが5mmであり、メッシュ総数は1,000万程度である。図2に示す解析メッシュを、原子力機構より提示する寸法や機器形状等の情報に基づいて修正する。また、解析作業の解析条件については、乱流モデルとしてRNG $k-\epsilon$ モデル（曲率補正オプションを適用すること）、対流項離散化手法として2次精度以上の手法の適用を基本とする。

解析メッシュの作成および数値解析については、原子力機構で所有するメッシュ作成ソフトおよびANSYS FLUENTを用いて行う。ANSYS FLUENT、メッシュ作成ソフト、および計算機は原子力機構担当者より別途貸与する。また、本作業で対象とする解析体系に関する寸法、解析作業の解析条件等の情報については機構より貸与する。ただし、ANSYS FLUENT、メッシュ作成ソフトの実行環境の整備および実行に係る習熟は受注者の責任として実施すること。

なお、本作業ではガス巻き込み現象に関する解析作業を取り扱うことから、Burgers 渦モデル等の各種モデルを理解していることが望ましい。

本作業にあたり、原子力機構から貸与する資料等（全部および一部の複製物を含む）の原子力機構外への持ち出しは厳禁とする。

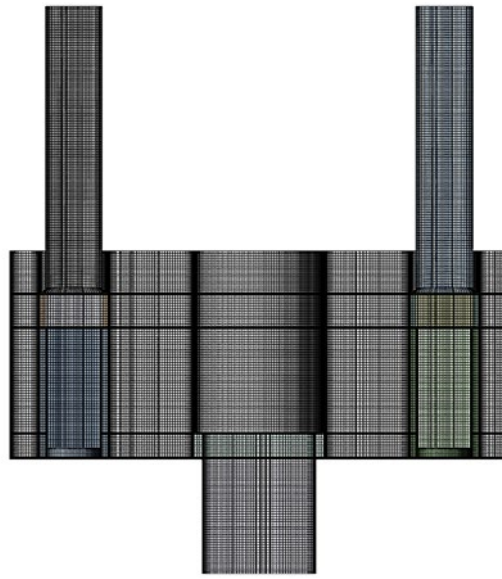
2.4 報告書の作成

2.2 および 2.3 で実施する作業をまとめて報告書を作成する。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 あるいは 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。

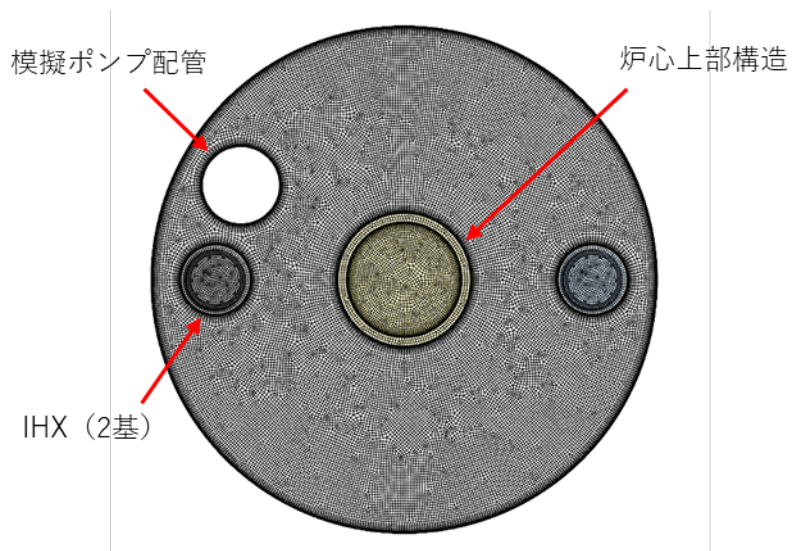
2.5 その他特記事項

受注者は、当該業務に関する各データ、技術情報、成果、その他のすべての資料および情報（設計データ含む）に関して守秘義務を負い、解析モデル作成ソフトの管理および解析モデルのトレーサビリティ確保、機密情報の管理が必須となることから、原則として、機構より貸与された解析作業に関わる情報の機構外への持ち出しを不可とする。機構内で必要な作業環境（作業スペース、作業用 PC 等の貸与）については機構担当者との協議により決定する。ただし、解析モデル作成に際しての習熟作業等は、受注者の負担にて行うこと。さらに、作業進捗に支障を生じないよう本作業で扱う解析コード用あるいは同等の解析コード用の解析モデル作成作業を実行できる知見・技術力を有している必要がある。

以上



(a) 側面図

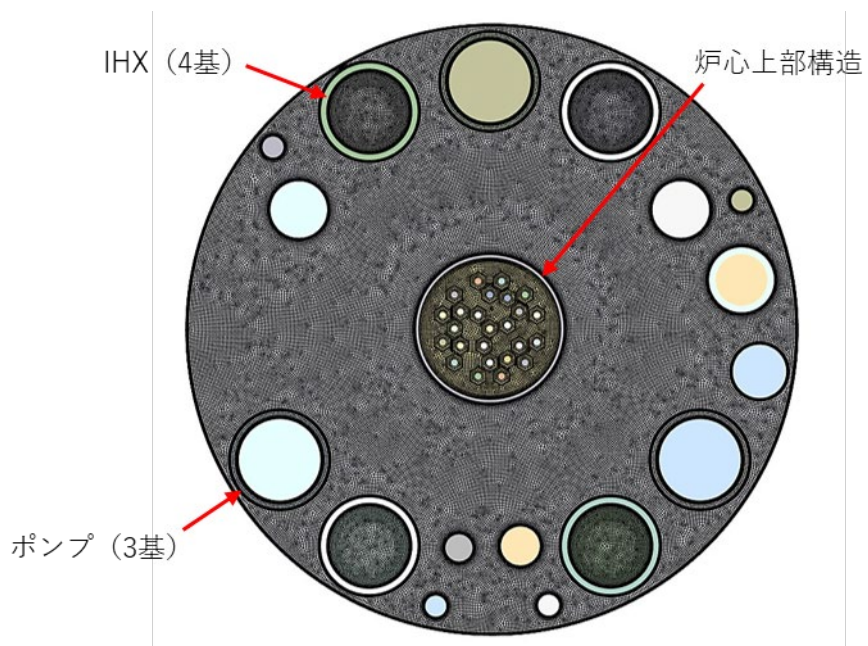


(b) 上面図

図 1. プレナム簡略化体系水試験の解析メッシュ



(a) 鳥瞰図



(c) 上面図

図 2. ホットプレナム体系水試験の解析メッシュ

情報セキュリティ強化に係る特約条項

受注者（以下「乙」という。）は、本契約の履行に当たり、情報セキュリティの強化のため、契約条項記載の情報セキュリティに係る遵守事項に加え、以下に特約する内容を遵守するものとする。

（情報セキュリティインシデント発生時の対処方法及び報告手順）

第1条 乙は、情報セキュリティインシデントが発生した際の対処方法（受注業務を一時中断することを含む。）及び発注者（以下「甲」という。）に報告する手順について整備しておかなければならない。

（情報セキュリティ強化のための遵守事項）

第2条 乙は、次の各号に掲げる事項を遵守するほか、甲の情報セキュリティ強化のために、甲が必要な指示を行ったときは、その指示に従わなければならない。

- (1) この契約の業務を実施する場所を、情報セキュリティを確保できる場所に限定し、それ以外の場所で作業をさせないこと。
- (2) 業務担当者に遵守すべき情報セキュリティ対策について教育・訓練等を受講させるとともに、業務担当者には甲の情報セキュリティ確保に不断に取り組み、甲の情報及び情報システムの保護に危険を及ぼす行為をしないよう誓約させること。また、業務担当者の異動・退職等の際には異動・退職後も守秘義務を負うことを誓約させ、これを遵守させること。
- (3) 暗号化を要する場合は、「電子政府推奨暗号リスト」に記載された暗号化方式を実装し、暗号鍵を適切に管理すること。
- (4) 甲の承諾のない限り、この契約に関して知り得た情報を受注した業務の遂行以外の目的で利用しないこと。
- (5) 甲が提供する情報を取り扱う情報システムへの不正アクセスを検知・抑止するために、ログを取得・監視し全ての業務担当者についてシステム操作履歴を取得すること。
- (6) 甲が提供する情報を格納する装置、機器、記録媒体及び紙媒体について、業務担当者のみがアクセスできるよう施錠管理や入退室管理を行い、セキュアな記録媒体の使用や使用を想定しないUSBポートの無効化、機器等の廃棄時・再利用時のデータ抹消など想定外の情報利用を防止すること。
- (7) 情報システムの変更に係る検知機能やログ解析機能を実装し、外部ネットワークへの接続を伴う非ローカルの運用管理セッションの確立時には、多要素主体認証を要求するとともに定期的及び重大な脆弱性の公表時に脆弱性スキャンを実施し、適時の脆弱性対策を

行うこと。

(8) システムの欠陥の是正及び脆弱性対策について、対策計画を策定し実施するとともに、システムの欠陥の是正及び脆弱性対策等の情報セキュリティ対策が有効に機能していることの継続的な監視と確認を行うこと。

(9) 委任をし、又は下請負をさせた場合は、当該委任又は下請負を受けた者に対して、業務担当者が遵守すべき情報セキュリティ対策についての教育・訓練等を行うこと。

(10) 契約条項に基づき甲が乙に対して行う情報セキュリティ対策の実施状況についての監査の結果、情報セキュリティ対策の履行が不十分である場合には、甲と協議の上改善を行い、甲の承諾を得ること。

(11) 契約の履行期間を通じて前各号に示す情報セキュリティ対策が適切に実施されたことの報告を含む検収を受けること。また、本契約の履行に関し、甲から提供を受けた情報を含め、本契約において取り扱った情報の返却、廃棄又は抹消を行うこと。