

JUPITER と FrontISTR 連成解析に用いるデータコン
バーターの機能拡充作業
仕様書

第 1 章 一般仕様

1. 件名

JUPITER と FrontISTR 連成解析に用いるデータコンバーターの機能拡充作業

2. 概要

多相多成分三次元熱流動解析コード（JAEA Utility Program for Interdisciplinary Thermal-hydraulics and Engineering Research）（以下、JUPITER）による過酷事故時後期フェーズの原子炉压力容器破損モード推定を目的として、JUPITERとオープンソース大規模並列有限要素解析コードFrontISTR（以下、FrontISTR）間のデータコンバーターの改良を行う。また、原子炉压力容器下部の流体構造連成解析を行うことにより、改良したJUPITER－FrontISTR間のデータコンバーターの機能を検証する。

3. 契約範囲

JUPITER－FrontISTR 連成解析ための各種コンバーターを整備、改良し、連成解析による下部ヘッド熱変形計算によりコンバーターの機能検証を行う。また、作業内容に関する報告書を作成する。

4. 貸与品

受注者は、本作業遂行上必要であると原子力機構が認めたプログラム等の無償貸与を、作業期間内に限り受けることができる。また、プログラム等は作業終了時に返却すること。

5. 納期

令和 8 年 2 月 27 日（金）

6. 提出書類

- | | |
|--|-----|
| (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) 契約先の資本関係・役員の情報、本契約の実施場所、従事者の所属・専門性（情報セキュリティに係る資格・研修等）・実績及び国籍についての情報を記した書類（契約後速やかに） | 1 部 |
| (4) 情報セキュリティ実施状況確認書（契約後速やかに） | 1 部 |
| (5) 報告書（原子力機構指定様式） | 1 部 |
| (6) 報告書および解析データ（DVD-R 等） | 1 部 |
| (7) その他原子力機構が必要とする書類（随時） | 1 部 |

※なお、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。

(提出場所)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所

原子力基礎工学研究センター 炉物理・熱流動研究グループ (第2研究棟 135号室)

7. 検収条件

内容検査の合格、「6. 提出書類」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た時を以て、業務完了とする。

8. 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。

9. 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) 本仕様で定める提出書類（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。

10. 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（著作権法第 27 条および第 28 条に規定する権利を含む）は、原子力機構に帰属するものとする。
- (2) 受注者は、本契約により新たに発生し、また原子力機構により開示した情報に付加させた情報（但し、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、第三者に漏えいしないよう適切な措置を講じ、措置結果とそれを証明する書類を提出すること。
- (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。
但し、原子力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原子力機構に返還するものとする。
- (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、貸与情報の返還後、諸データ類の消去義務を負う。消去結果を証明する書類を提出すること。
- (9) JUPITER、FrontISTR の実行環境の整備および実行は受注者の責任として実施すること。
- (10) 受注者は、上記の各項目に従わないことにより生じた、原子力機構の損害およそ

その他の損害についてすべての責を負うものとする。

- (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、受注者による原因分析や対策検討の結果について機構の確認を受けること。

11. 協議

本仕様書に記載されている事項およ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。

12. 情報セキュリティ強化に係る特約条項

本件の特約条項については、別紙の「情報セキュリティ強化に係る特約条項」に定めることとする。

13 大型計算機の利用について

- ☐ 大型計算機（SGI8600）を利用しない
☒ 大型計算機（SGI8600）を利用する

本作業を行うに当たり、受注者は原子力機構の大型計算機を使用する。ただし、CPU ノード 12,000 ノード時間、GPU ノード 6,000 ノード時間を限度とし、この時間を超える場合は別途協議の上、原子力機構が対応するものとする。また、計算機の利用に当たっては原子力機構の利用規則を遵守するものとする。なお、使用に際しての習熟等については受注者にて行うこととする。

第2章 技術仕様

1. 概要

本作業では、構造解析コード **FrontISTR** と原子力機構で開発している多相多成分 3 次元熱流動解析コード **JUPITER** を用いた双方向連成解析のために必要となるデータコンバーターの改良を行う。改良内容は、**FrontISTR** の結果（構造物の変位量）を **JUPITER** に、あるいは **JUPITER** の結果（温度、圧力）を **FrontISTR** に渡す際に、異なる材質の構造物を区別できるようにすることである。また、作成したデータコンバーターを用いて圧力容器下部ヘッ드의流体構造連成解析を行い、改良したデータコンバーターの検証を行う。

2. 作業実施内容

2.1 JUPITER－FrontISTR 連成解析のための異なる材質を区別できるデータコンバーターの改良

既存の **JUPITER**→**FrontISTR** コンバーターおよび **FrontISTR**→**JUPITER** コンバーターに対し、以下の改良を行う。

- **FrontISTR** の結果は材質ごとにメッシュを分割できないため、**JUPITER** に割り当てる際に異なる材質を設定できるようにする。
- **FrontISTR** では模擬されない流体部分の変形を考慮した形状データ（**STereo Lithography, STL** 形式）を作成できるようにする。作成方法を以下に示す。

該当する部分のメッシュを作成し、**FrontISTR** の物性として流体を指定する。**FrontISTR** により、流体部分も構造物部分と一緒に構造解析し、流体部分が構造物の変形に追従して変形することを可視化処理により確認する。上記方法が不可の場合、流体部分のモデルを設定する領域の表面グループを設定し、設定した表面グループを **STL** 形式で出力するようにコンバーターを修正する。

- **FrontISTR** による構造解析結果において、メッシュそのものの変形するわけではないので、**JUPITER**→**FrontISTR** のコンバーターにおいて、**JUPITER** から出力される圧力と温度は、変形前のメッシュにしか補間することができない。したがって、**FrontISTR** の結果データを読み込み、メッシュデータに圧力と温度を割り当て、変位量に応じて変形させたメッシュに対して補間できるようにする。
- **FrontISTR** で解析した二次元の変形結果を、三次元の **JUPITER** に反映できる厚みを持った **STL** を出力できるようにする。厚みの指定は、**FrontISTR**→**JUPITER** コンバーターによる変換の際に、引数で指定できるようにする。

2.2 STL コンバーターの作成

The Visualization Toolkit (VTK, <https://vtk.org/>)を用いて **STL** を **JUPITER** 用の

形状入力データファイル (VOF) へ変換するコンバーターを作成する。STL から VOF の変換に際して必要な物体の内外判定方法は、level-set 関数による方法と、物体が位置する格子点の体積割合による方法を用いることとする。

2.3 JUPITER—FrontISTR 連成による下部ヘッド熱変形の検証計算

原子力機構が提供する下部ヘッド STL データに対して、2.2 で作成した入力データ変換コンバーターを適用し、JUPITER に対応した入力データを作成する。SALOME と EasyISTR を用いたメッシュ作成ツールを下部ヘッド STL データに適用して、FrontISTR に対応したメッシュを作成する。作成した入力データとメッシュを用いて以下の手順で計算を行う。

- (1) 下部プレナムにコリウムを配置した条件で、JUPITER により下部プレナムのコリウムの流動とそれを考慮した温度分布を計算する。計算結果として、温度および圧力を出力する。
 - (2) 計算結果を 2.1 で改良したコンバーターにより FrontISTR 用データに変換し、上述のメッシュを用いて熱変形計算を行う。
 - (3) 2.1 で改良したデータコンバーターにより、熱変形計算で得られた形状データを変換し、再び JUPITER による熱流動計算を行う。
- (1)から(3)を 1 サイクルとし、10 サイクル以上計算する。JUPITER からは、溶融物と構造物の VOF 値、温度、圧力を出力し、FrontISTR からは変形量、ミーゼス応力をサイクルごとに出力する。

2.4 リスタート途中での並列数変更機能の作成

JUPITER の計算においてリスタートのタイミングで並列数を変更できるようにする。並列数の変更はパラメータの入力ファイルで指定する。なお、全格子点数は変更しないものとする。

2.4.1 並列数変更機能の機能確認計算

JUPITER による下部ヘッド熱流動計算により機能確認を行う。熱流動計算により得られる速度、温度、圧力に対し、途中で並列数を変更した結果 (バイナリデータ) と、変更せず継続した計算結果に対し diff コマンドを適用し、差異が無いことを確認する。並列数の変更は、各軸 $1 \times 1 \times 8$ 分割から $2 \times 2 \times 4$ 分割とし、1 ケース実行する。

2.5 報告書の作成

2.1 から 2.4 の作業をまとめ、報告書を作成する。なお、文章については WORD (WINDOWS 版)あるいは互換性のあるソフトで作成するものとする。電子媒体 (DVD-R 等) には、データコンバーター、解析コードから出力される一連のデータファイル (イ

ンプットデータファイル、リスタートファイル等を含む)、報告書および報告書に用いた図(表計算ソフトおよび図画作成ソフトのデジタルデータおよびファイル)を格納すること。

3. 大型計算機の利用について

本作業を行うに当たり、受注者は原子力機構の大型計算機を使用する。ただし、CPU ノード 12,000 ノード時間、GPU ノード 6,000 ノード時間を限度とし、この時間を超える場合は別途協議の上、原子力機構が対応するものとする。また、計算機の利用に当たっては原子力機構の利用規則を遵守するものとする。なお、使用に際しての習熟等については受注者に行うこととする。

4. その他(特記事項)

(1) 本件の遂行においては、数値流体力学および数値計算手法に関する専門的な知識を有し、C 言語による流体コード作成および改良等のプログラミング作業、数値解析の実行および評価分析に関わる技術力を有することが必要である。特に、JUPITER は一流体モデル(CLS-VOF)をベースとした自由界面を有する多相多成分熱流動解析手法であるため、これら手法開発に関わる知見・技術力を有することが必要である。

(2) 本件では、原子炉設計データに関わる情報を扱うこと、および解析コード管理および解析コードのトレーサビリティ(品質保証)確保の観点から、本作業に用いる JUPITER とデータコンバーターの原子力機構外への持ち出しは不可とする。大型計算機での開発・実行に関する環境及び作業場所については原子力機構との協議により決定する。

(3) 本作業は、(2)と同じ理由から、全ての解析は、原子力機構で所有する大型計算機(SGI8600)で実施することとする。計算機の仕様等の情報については原子力機構から提供するが、使用に際しての習熟は受注者の責任にて行うこと。したがって、受注者は大規模な PC クラスタ計算機に係わる一般的な知識を有すること。

(4) コード管理は、Git 及び GitHub を用いること。Git および GitHub によるコード管理の習熟は受注者の責任にて行うこと。

(5) 「2. 作業実施内容」のうち、2.1, 2.2 を除くものについては、原子力機構の大型計算機上でのみ行うこととする。また、「2. 作業実施内容」の修正が必要になる場合は原子力機構と協議する。

(6) ポスト処理(可視化)に関しては、汎用性、大規模データに対する優位性の観点から、parallel vtu(pvtu)フォーマット及び XDFM フォーマットを用いた Paraview による可視化で対応する。可視化対象は、コリウムの流動挙動(速度ベクトル)、構造物と流体の温度、圧力分布およびミーゼス応力とする。

(7) 本作業で用いる FrontISTR は、<https://www.frontistr.com/download/>から入手する

こととし、FrontISTR 用入力データの作成、JUPITER-FrontISTR 連成解析に関わる実行環境整備は受注者の責任にて行うこと。

(8) 本作業で用いる SALOME および EasyISTR はそれぞれ、<https://www.salome-platform.org/>, <http://opencae.gifu-nct.ac.jp/pukiwiki/index.php?AboutEasyISTR> から入手することとし、SALOME と EasyISTR に対する入力データの作成、環境整備は受注者の責任にて行うこと。

(9) JUPITER は CMake によりビルドすること。CMake は <https://cmake.org/download/> から入手し、大型計算機への導入と習熟は受注者の責任にて行うこと。ビルド要件を以下に示す。

- C99 に準拠し、OpenMP3.0 が使用できる C コンパイラ
- GCC の場合は、4.3 以降
- Intel Compiler (Linux) の場合は、11.1 以降で、かつ GCC4.3 以降
- MPI ライブラリ (MPI2.1 以降の使用に準拠しているもの)
- CMake 2.8.12 以降を用い、3.6 以降推奨

(10) JUPITER のビルドには、re2c (Regular Expression to C)が必要である。re2c の入手は <https://github.com/skvadrik/re2c> から行うこと。また、大型計算機への導入は受注者の責任にて行うこと。

以上

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。