

令和 7 年度 RELAP5 コードと TRACE コードによる LSTF 実験解析 仕様書

1. 一般仕様

1.1. 件名

令和 7 年度 RELAP5 コードと TRACE コードによる LSTF 実験解析

1.2. 目的および概要

日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)では、大型非定常実験装置(以下、LSTF)による加圧水型原子炉(PWR)の事故模擬実験を再現するために、RELAP5/MOD3.3 コードおよび TRACE コードを用いた解析を実施している。本仕様が定める作業の二つの目的は、これら二種類のコードを用いてそれぞれ異なる LSTF 実験に対する模擬解析を行うことである。

目的の一番目は、熱水力挙動に対する RELAP5/MOD3.3 コードの予測性能を把握するため、①炉心出口・燃料被覆管温度応答に着目した 1%低温側配管小破断冷却材喪失事故(LOCA)に関する LSTF 実験の解析を行うことである。炉心出口領域周辺のノーディングや物理モデルを検討して入力データの整備を行い、初期定常解析及び過渡解析を行う。また、②LSTF の非常用炉心冷却系(ECCS)再循環機能喪失（大破断冷却材喪失事故時の高圧再循環機能及び低圧再循環機能喪失）実験の解析を行う。入力データを整備し、初期定常解析及び過渡解析を行う。

目的の二番目は、原子力機構が参加している ATRIUM プロジェクトの目標である、LSTF による高温側配管中破断 LOCA 実験に対する入力パラメータの不確かさ伝播解析を行うことである。これまでに、同実験に対する RELAP5/MOD3.3 コード解析用入力データを、可視化入力ツール(SNAP)を用いて TRACE コード用入力データに変換したうえで、検証解析を実施した。その結果、破断口の流出係数 Cd と炉心出口領域の Wallis 型 CCFL モデルの係数 C(切片)をパラメータとして調整することで、燃料被覆管温度を再現することができた。引き続き関連するほかのパラメータについても最適化と感度解析を実施する。また、最適化した入力データを基にして、入力パラメータの不確かさ伝播解析を行う。

1.3. 作業実施場所

原子力機構が定める場所（受注者の事業所）

1.4. 納期

令和 8 年 2 月 26 日（木）

1.5. 作業内容

- (1) RELAP5/MOD3.3 コードによる LSTF 小破断 LOCA 実験に対する炉心出口・燃料被覆管温度応答解析 → 詳細は 2.1.1 節参照
- (2) RELAP5/MOD3.3 コードによる LSTF 大破断 LOCA 実験に対する ECCS 再循環機能喪失実験解析 → 詳細は 2.1.2 節参照
- (3) TRACE コードによる LSTF 中破断 LOCA 実験に対するパラメータ最適化・感度解析 → 詳細は 2.2.1 節参照
- (4) TRACE コードによる LSTF 中破断 LOCA 実験に対する不確かさ伝播解析 → 詳細は 2.2.2 節参照

1.6. 業務に必要な資格等
無し

1.7. 支給品及び貸与品

本作業の実施にあたり、原子力機構から受注者に以下のものを無償で貸与する。

- (1) RELAP5 コードと TRACE コードの参照ファイル一式およびその他必要な実験データ
- (2) その他関連する資料

1.8. 提出書類

以下の提出物はすべて電子データとして、CD もしくは DVD に収めて提出すること。報告書はワードプロセッサ（MS Word）を使用して作成し、電子データとは別に一部を印刷して提出すること。

- | | |
|-----------------------------------|----|
| (1) TRACE 入出力ファイル(LSTF 実験解析用データ) | 一式 |
| (2) RELAP5 入出力ファイル(LSTF 実験解析用データ) | 一式 |
| (3) 報告書 | 一部 |

（提出場所）

安全研究センター 熱水力安全研究グループ

1.9. 検収条件

1.8 で定める提出物が全て納入され、その内容が本仕様書の記載事項に合致していることを原子力機構が承認した時点で検収合格とする。

1.10. 適用法規・規格基準

労働安全衛生法

1.11. 特記事項

作業内容の細部については、原子力機構担当者と事前に十分に打ち合わせる事。

1.12. 産業財産権等

この業務により作成された目的物（上記提出図書等に定める報告書等）に係る著作権その他の目的物の使用、収益及び処分（複製、翻訳、翻案、変更、譲渡・貸与及び二次的著作物の利用を含む）に関する権利は原子力機構に帰属するものとする。

1.13. 機密保持

受注者及び作業担当者は、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。

1.14. 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。

1.15. 協議

本作業を円滑に遂行するため、必要に応じて協議・打合せするものとする。また、作業において問題が生じた場合、受注者は遅滞無く原子力機構に報告し、両者の協議により対策を決めることとする。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うえ、その決定に従うものとする。

1.16. 検査員

- (1) 一般検査 管財担当課長

2. 技術仕様

2.1. RELAP5/MOD3.3 コードによる LSTF 実験模擬解析

2.1.1. LSTF 小破断 LOCA 実験に対する炉心出口・燃料被覆管温度応答解析

熱水力挙動に対する RELAP5/MOD3.3 コードの予測性能を把握するため、炉心出口・燃料被覆管温度応答に着目した 1%低温側配管小破断 LOCA に関する LSTF 実験である SB-CL-53 の解析を行う。

SB-CL-53 実験では、ECCS である高圧注入系の不作動と補助給水系の不作動を仮定している。また、低温側配管での 1%破断を模擬し、破断口はオリフィス(口径：10.1mm)を用いている。解析では、実験より高い温度領域までの炉心出口・燃料被覆管温度応答を調べるため、実験条件と異なり、燃料被覆管温度が 1003K に到達後も炉心出力を自動停止しない。

SB-CL-53 実験の主な結果を以下に示す。上部プレナム水位の顕著な低下開始後、短時間で水位を喪失した。炉心水位の喪失と同時に下部プレナム水位の顕著な低下が開始した。下部プレナム水位は、破断流量に影響を与えた。炉心が露出後しばらく、蒸気発生器(SG)逃し弁の周期的開閉に起因して一次系圧力は SG 二次側圧力より僅かに高く維持された。以降、一次系圧力は SG 二次側圧力を下回った。燃料被覆管温度に関しては、炉心頂部と炉心中央の中間高さより下方の高さ及び炉心中央の高さでピーク値を指示した。燃料被覆管温度が 1003K に到達後、炉心保護のために炉心出力は自動停止した。燃料被覆管温度上昇から炉心出口温度上昇までには時間遅れが生じた。一方、炉心出口温度に関しては、周囲、外周、中央の順番で総じて高くなった。

RELAP5/MOD3.3 コードによる LSTF 実験解析用の標準データ等は、別途原子力機構から貸与する。LSTF 実験の解析では、図 1 に示すように、圧力容器（炉心やダウンカマ等）、両ループの高温側配管、SG 出入口プレナム、SG 伝熱管（単チャンネル）、SG 二次側、クロスオーバーレグ、低温側配管等を模擬する。また、低温側配管に取り付けられた破断口を模擬する。

さらに、図 2 に示すように、実験で観察された炉心出口温度分布を再現するため、炉心出口領域周辺（炉心出口や隣接する上部プレナム等）について当該部の構造を考慮して細分化するなどのモデルの適用を含む入力データの整備を行う。その後、初期定常解析及び過渡解析を行う。

解析結果は、代表的な温度、圧力、水位、流量等について、別途原子力機構から提示する実験結果と比較する。

2.1.2. LSTF 大破断 LOCA 実験に対する ECCS 再循環機能喪失実験解析

RELAP5 コードの熱水力応答の予測性能を把握するため、2.1.1 に示す LSTF の RELAP5 標準データ等を参照して、RELAP5/MOD3.3 コードを用いた LSTF の ECCS 再循環機能喪失実験の解析のための入力データを整備する。その際、LSTF の圧力容器（炉心やダウンカマ等）、両ループの高温側配管、SG 出入口プレナム、SG 伝熱管（単チャンネル）、SG 二次側、クロスオーバーレグ、低温側配管等を模擬する。

LSTF の ECCS 再循環機能喪失実験における低温側配管での破断は水平破断であり、オリフィス(口径：58.4mm)により模擬する。ここで、臨界流モデルはコード内蔵の Ransom-Trapp モデルを使用し、破断口における流出係数 C_d は 1.0 とする。また、一次系圧力は約 0.3MPa、二

次系圧力は約 5MPa、SG 二次側水位は SG 伝熱管頂部高さを上回る約 12m とする。さらに、炉心出力を 2.5MW、炉心水位を約 2m とする。ここで、炉心全高は 3.66m である。上記条件に対応した初期定常解析（1 ケース）を行う。

つぎに、初期定常状態から一次系インベントリの低下に伴い炉心が露出し、燃料被覆管表面温度が約 50K 上昇した時点で、両ループの低温側配管へ ECCS の注水を行う。1 ループ当たりの ECCS 注水流量は 2kg/s、注水温度は 310K とする。ECCS 注水により全炉心がクエンチした時点で、ECCS を停止する。上記初期定常状態から ECCS の停止までに対応した過渡解析（1 ケース）を行う。

その他の詳細な実験条件等については、別途原子力機構から提示する。ダウンカマと炉心の水位差、SG 出入口間差圧、燃料被覆管表面温度等に対する解析結果についてまとめる。

2.2. TRACE による LSTF 中破断 LOCA 実験解析

2.2.1. パラメータ最適化・感度解析

LSTF による高温側配管 17%破断 LOCA 実験(実験番号：IB-HL-01)を対象として、TRACE コードを用いた模擬解析を行う。図 3 に LSTF システム全体のノーディング概略図を示す。IB-HL-01 実験では、非常用炉心冷却系(ECCS)である高圧注入系の全故障と、補助給水系の全故障を仮定している。また、高温側配管内面に接するように、長いノズル(口径：41mm)を上向きに取り付けることにより、破断口を模擬している。

IB-HL-01 実験の主な結果を以下に示す。破断後一次系圧力が急激に低下し、蒸気発生器(SG)二次側圧力よりも低くなった。破断流は、破断直後に水単相から二相流に変化した。炉心露出は、ループシールクリアリング(LSC)前に、クロスオーバーレグの下降流側の水位低下と同時に開始した。低温側配管に注入された ECCS の蓄圧注入系冷却水の蒸気凝縮により両ループの LSC が誘発された。LSC 後の炉心水位の急激な回復により、全炉心はクエンチした。模擬燃料棒被覆管最高温度は、LSC とほぼ同時に検出された。

これまでに IB-HL-01 実験に対する RELAP5/MOD3.3 コード解析用入力データを、可視化入力ツール(SNAP)により TRACE コード用入力データに変換したうえで、検証解析を実施した。特に、破断口の流出係数 C_d と炉心出口領域の Wallis 型 CCFL モデルの係数 C (切片)をパラメータとした感度解析を通じて、今後の解析の方向性を定めることができた。この成果を踏まえ、引き続き TRACE コードによる同実験解析に対するモデル（ノーディング、物理モデル）の最適化余地について検討し、改良作業および検証解析を行う。

解析結果は初期定常解析と過渡解析に分けて整理すること。破断流量、高温側配管水位、一次系圧力及び SG 二次側圧力、低温側配管水位、蓄圧注入系流量、クロスオーバーレグ下降流側水位、上部プレナム水位、炉心水位、燃料被覆管温度について、RELAP5 コードの結果や別途原子力機構から提示する実験結果と比較する。

2.2.2. 不確かさ伝播解析

2.2.1 で最適化された TRACE コード用入力データを基にして、GRS 法(Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit)に沿って入力パラメータの不確かさ伝播解析を行う。解析ケース数を、累積確率値と信頼水準を指定して Wilks の式($1 - \alpha^N \geq \beta$; N :解析ケース数, α :累積

確率値, β :信頼水準)から算出する。累積確率値と信頼水準は協議により決定する。不確かさを与える入力パラメータは、臨界流現象に係るものと post-CHF 現象に係るものことから、それぞれ一つか二つを協議により決定し、原子力機構が指定する確率分布に従うようにサンプリングする。安全評価パラメータとして、燃料被覆管ピーク温度を評価対象とする。

2.3. 報告書作成

- (1) 各項目の作業内容について、資料としてまとめる。
- (2) その他、プログラムやデータの使用に際して必要となる資料を作成する。

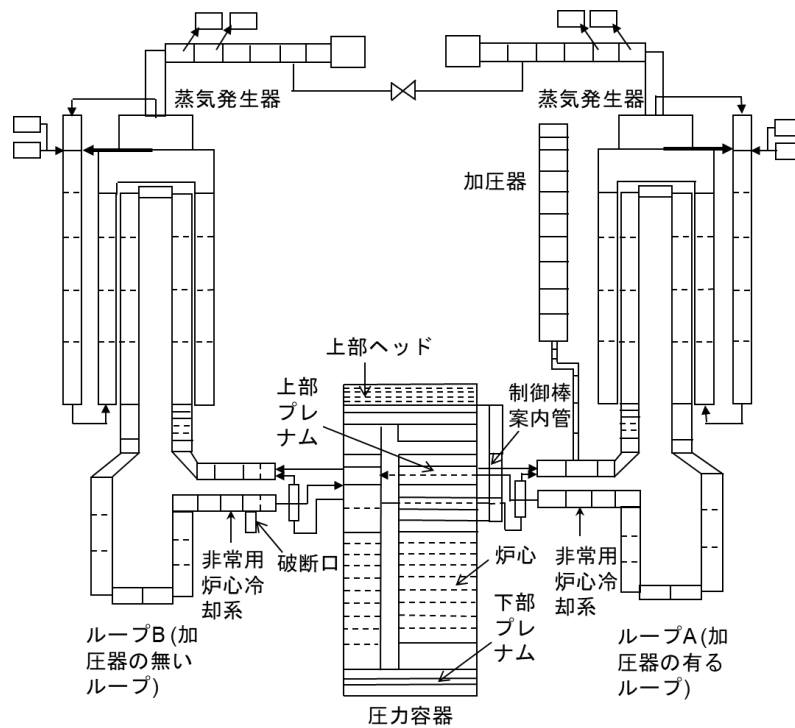


図 1 LSTF システム全体のノーディング概略図(SB-CL-53 用)

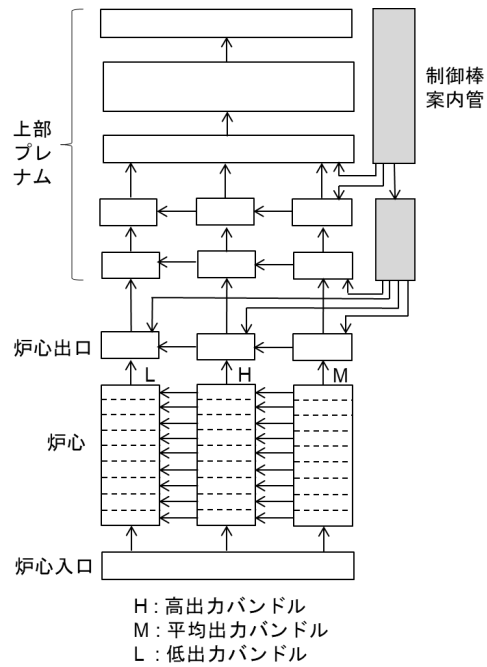


図 2 LSTF 炉心及び周辺のノーディング概略図

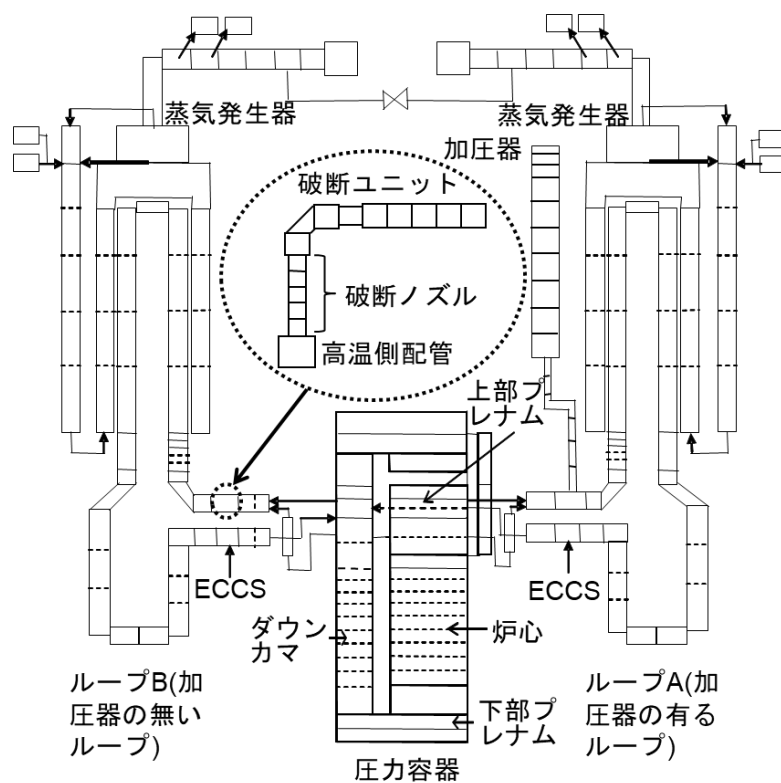


図 3 LSTF システム全体のノーディング概略図(IB-HL-01 用)

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。