

液体鉛ビスマターゲットに関する過渡応答解析
仕様書

1. 一般仕様

1.1 件名

本仕様書は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構とする。）における下記の件名に適用する。

件名：液体鉛ビスマスターゲットに関する過渡応答解析

1.2 概要および目的

本件は、陽子ビームを用いた核変換技術の一環として、ADS ターゲット試験施設（TEF-T）に導入することを計画している液体鉛ビスマス（LBE）ターゲットの挙動解明に資するため、同ターゲットのモックアップである試験装置を対象とした過渡応答解析を実施するものである。

1.3 契約範囲

- (1) 本委託解析に関する計画および実施等に関する協議
- (2) 本仕様書が定める解析の実施および解析結果の取りまとめ
- (3) 納入に係る作業

上記(1)~(3)に示す項目を本件の契約範囲とする。

1.4 納期

令和 8 年 2 月 27 日

1.5 検収条件

本件の検収は、1.6 項に定める図書等の提出結果を基に、原子力機構担当者が行う員数確認の合格をもって検収完了とする。

1.6 提出図書等

図 書 名	提 出 時 期	部数	確認
① 作成した解析モデル体系、入力、出力結果を含む各種ファイル等 USB メモリ、SSD、CD-R、DVD-R 等の媒体へ記録し、提出すること	① ②ともに納入時	一式	不要
② 上記①を取りまとめた報告書		1 部	不要
③ 情報セキュリティに係る書類（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※）	③契約締結後速やかに	1 部	要

※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 J-PARC センター
核変換ディビジョン HENDEL 棟 310 号室

1.7 適用法規・規格基準

本件業務の実施に際し、以下の法令、規格、基準等を適用または準用して行うこと。

- ・ 日本産業規格（JIS）
- ・ 労働安全衛生法
- ・ その他受注業務に関し、適用または準用すべき全ての法令・規格・基準等

1.8 機密保持

受注者は、本業務の実施にあたり、知り得た情報を厳重に管理し、本業務遂行以外の目的で、受注者及び下請会社等の作業員を除く第三者への開示、提供を行ってはならない。

1.9 グリーン購入法の推進

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。

1.10 特記事項

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

1.11 協議

本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載されていない内容について疑義が生じた場合は、必要に応じ原子力機構と協議、打合せを実施し、その対応を決定するものとする。

1.12 検査員

- （１）一般検査 管財担当課長

以上

2. 技術仕様

2.1 概要

本件は、陽子ビームを用いた核変換技術の一環として、ADS ターゲット試験施設 (TEF-T) に導入することを計画している液体鉛ビスマス (LBE) ターゲットの挙動解明に資するため、同ターゲットのモックアップである試験装置を対象とした過渡応答解析を実施するものである。具体的には、LBE に類する液体金属 (Na, Li) を用いたシステムの設計あるいは予測解析に用いられた実績があるコードを用い、モックアップ試験装置を一次元管路の組み合わせでモデル化し、本仕様書が定める各事象に対して解析評価を行う。

2.2 解析対象の概要、初期条件等

2.2.1 解析対象の概要

本件では、TEF-T 液体鉛ビスマス (LBE) ターゲットのモックアップである試験装置 (IMMORTAL [1]) を対象として、一次元管路の組み合わせでモデル化し、解析評価を実施する。図 1 に当該の装置を構成する主要な要素 (ドレンタンクを除く) を記載した系統概略図を示す。IMMORTAL は 3 つの系統を有し、各系統の冷媒は一次系/LBE、二次系/加圧水 (加圧量 2MPa)、三次系/空気である。尚、本解析では一次系、二次系までをモデル化し、三次系のモデル化に関しては除外する。このため、三次系の代替として二次系中に一定の除熱量を持ったセルを設けること。また、一次系のうち、図 1 中の PHX-LBE 出口から MH 入口までの区間の機器・構造に関しては外気への放熱が生じることを考慮すること。モデル化に必要となる LBE の各物性値[2]を表 1 にまとめる。

表 1 液体鉛ビスマス合金の各物性値

Physical properties	Symbol	Unit	Equations
Density	ρ	kg/m ³	$11065-1.293T$
Heat capacity	c_p	J/kg·K	$164.8-3.94\times 10^{-2}T+1.25\times 10^{-5}T^2-4.56\times 10^{-5}T^2$
Thermal conductivity	λ	W/m·K	$3.284+1.617\times 10^{-2}T-2.305\times 10^{-6}T^2$
Thermal diffusivity	α_p	m/s ²	$\lambda/(\rho\cdot c_p)$
Viscosity	η	Pa·s	$4.94\times 10^{-4}T\cdot\exp(754.1/T)$
Thermal expansion	β_p	K ⁻¹	$1/(8558-T)$
Bulk modulus	B_s	Pa	$(38.02-1.296\times 10^{-2}T+1.320\times 10^{-6}T^2)\times 10^9$

T=LBE temperature [K]

IMMORTAL 各部構造の諸寸法等に関しては本件契約後に原子力機構担当より提示する。尚、解析対象となる流体の LBE、加圧水に関しては単相状態として解析を実施する。

参考資料

[1] 原子力機構技術報告書 JAEA-Technology 2021-035 (2022/03)

[2] OECD/NEA Handbook on Lead-bismuth Eutectic Alloy and Lead Properties, Materials Compatibility, Thermal hydraulics and Technologies, 2015 Edition

2.2.2 解析における初期条件

入力として解析における初期条件を設定し、各部の温度が安定した定常状態へ移行した後に次項 2.3 に示す各事象の解析評価を実施すること。尚、各系統を構成する構造材料は SUS316 で統一する。また、一次系の主要配管は 65A sch10S、二次系は 40A sch20S である。以下に本

解析における初期条件を示す。各数値は参考値であり、解析着手前に原子力機構担当と協議の上、合意の下に確定する。

一次系（LBE）

- LBE 温度条件：MH 出口、PHX-LBE 入口 190℃
- 循環流量：0.031 m³/min
- MH 出力：34.8 kW（入熱量，暫定）
- EXP-T 内圧：0.035MPa（カバーガス層：Ar）

二次系（加圧水）

- 温度条件：PHX-PW 入口、Air-cooler 出口 150℃
- 循環流量：0.12 m³/min
- 加圧圧力：1.9MPa
- 系統放熱量：PHX-LBE 出口から MH 入口までの区間で合計 2kW（暫定）

三次系（空気）

- 温度条件（周辺雰囲気温度）：20℃（暫定）
- 空冷熱交換器除熱量：32.8KW（暫定、二次系内に代替セルを設けること）

2.3 解析事象

本件では、2.2.2に示す初期条件から各系統温度が定常状態に移行した後に以下に示す事象が発生した場合の過渡応答解析を実施する。対象とする事象は以下の3区分とする。

- ① 一次系の循環流量変化（増加、低下、循環停止）
※循環流量増加事象に関してはEMP（電磁ポンプ）の発熱が系統に付与される点を考慮すること。増加後のEMP発熱量に関しては契約締結後に原子力機構より別途指定する。
- ② 一次系のMH（加熱器）出力変化（増加、出力停止）
- ③ 二次系の循環流量変化（循環停止）

表1に本件で解析対象とする事象の区分および内容の一覧を示す。上記3つの区分のそれぞれに対し、表に示す各ケースの解析（全6ケース）を実施する。尚、各ケースの解析に関し、表に示す変化の内容以外の条件については2.2.2に示す条件の通り（初期条件から変更なし）とする。解析結果に関しては、一次/二次系統各要素における冷媒および構造物の温度、流量（流速）、圧力等の過渡変化を出力すること。

表 1 解析対象とする事象の区分および内容の一覧

区分	変化の内容（暫定）	左記変化の内容以外の条件
① 一次系循環流量変化 【LBE系】	増加：0.042 m ³ /minへ変更 低下：0.012 m ³ /minへ変更 循環停止：0 m ³ /minへ変更	2.2.2に示す条件の通り （変更無し）

② 一次系MH出力変化 【LBE系】	増加：60.30 kWへ変更 出力停止：0 kWへ変更	2.2.2に示す条件の通り (変更無し)
③ 二次系循環流量変化 【加圧水系】	循環停止：0 m ³ /minへ変更	2.2.2に示す条件の通り (変更無し)

2.4 解析結果の提出

本件で実施した解析の結果に関し、作成した解析モデル体系、入力、出力結果を含む各種ファイル等について USB メモリ、SSD、CD-R、DVD-R 等の媒体へ記録し、提出すること。出力結果に関しては Microsoft excel で読込可能な形式（.xlsx, .csv, .txt 等）とする。また、これらの成果に関しては取りまとめの上報告書として提出すること。

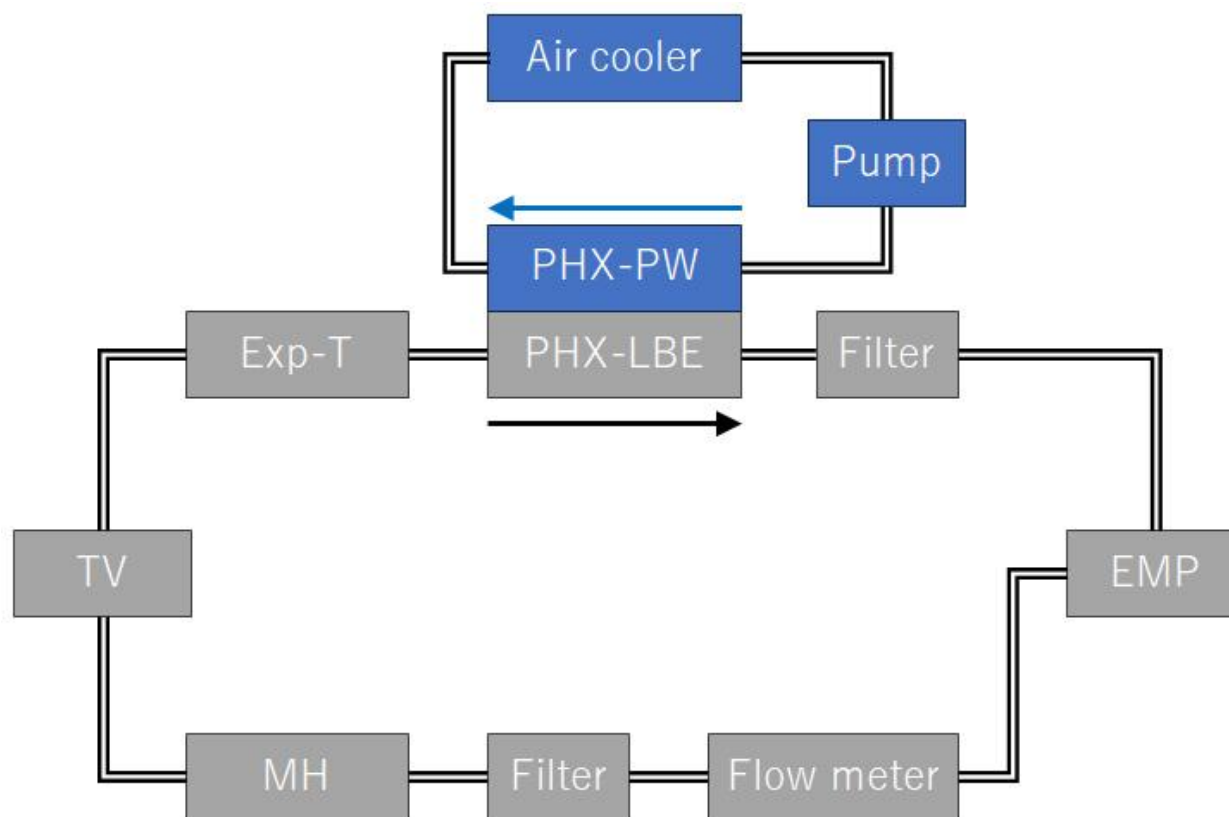
2.5 その他特記事項

本件において解析に使用するコードに関しては、以下に示す事項を満たすものを使用すること。

- ① LBE に類する液体金属を対象とした解析に関する知見・技術力を有すること
- ② 原子力関連設備等における熱流動過渡解析に適用された知見・技術力を有すること
- ③ 独自にソースコードを保有し、本解析に必要となるカスタマイズが可能であること
- ④ 一次元ループ管路系の過渡応答変化を安定に解けること
- ⑤ 構造物の熱伝導解析と管内流動の連成解析が可能であること

また、解析の実施に際し疑義が生じた場合は、必要に応じ原子力機構と協議、打合せを実施し、その対応を決定すること。

以上



TV：ターゲット容器
 Exp-T：膨張タンク
 PHX：熱交換器
 Filter：フィルタ
 EMP：一次系電磁ポンプ
 Flow meter：流量計
 MH：加熱器
 Pump：二次系ポンプ
 Air cooler：空気冷却器

図1 解析対象とする IMMORTAL 系統の概略図

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。