

液体鉛ビスマスターゲット過渡応答解析の改良 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過渡応答解析の改良

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）ターゲットにおける機器故障等を想定した過渡事象を解析的に把握するため、同ターゲットのモックアップである試験装置で得られた実験データを基に、解析モデルの最適化を目的とした改良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技術の改良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 12 月 25 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

量子ビーム技術ディビジョン 陽子ビーム応用セクション 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 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。

2. 技術仕様

2.1 概要・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) ターゲットにおける機器故障等を想定した過渡事象を解析的に把握するため、同ターゲットのモックアップである試験装置で得られた実験データを基に、解析技術の予測精度向上を目的とした改良を実施するものである。

令和7年度において、対象となる試験装置に対して 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 (Advance/FrontNet/T) を用い、一次元管路の組み合わせによるモデル化/過渡事象に関する解析を実施した。本件では、当該の解析を通じて得られた知見 (解析において放熱条件の厳密化が重要であること等) を基に、本仕様書が定める改良および各対象事象に対して解析評価を実施するものである。

2.2 解析対象の概要、初期条件等

2.2.1 解析対象の概要と改良点

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た体系の改良および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、本件では一次系、二次系までがモデル化の対象であり、三次系のモデル化に関しては除外して一定の熱量放出を仮定しても良い。この場合、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、各部の機器・構造に関しては外気への放熱を考慮すること。

また、本件において実施する解析に関し、以下の改良を実施すること。

- ① 各部要素からの放熱条件が過渡的な温度変化の変化量、時定数に直結する。このため、ターゲット容器、膨張タンクその他、外周のコイルを冷却するために常時ファンによる送気が行われている電磁ポンプ駆動ダクトに対し、実験データ等を基に放熱条件の高精度化に向けた調整を行う。
- ② 二次系駆動ポンプ停止時の解析上で生じる逆流現象に関し、ポンプ抵抗係数がデータの再現性に寄与することが明らかである。このため、ポンプ抵抗係数の見直しとともに二次系各部からの放熱条件の見直しを行う。
- ③ 一次系の電磁ポンプ駆動条件に変更を加えた場合、すなわちポンプの昇圧条件の変化にともない PHX-LBE 出口、電磁ポンプ、MH 入口などで流量のオーバーシュートおよびアンダーシュートが生じる。解析上で生じる当該の事象は電磁ポンプ駆動部の再現性によるものと推定されるため、駆動部ダクトの分割化、電磁ポンプ用モデルの開発等による対応を行う。

モデル化に必要なとなる 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	164.8-3.94×10 ⁻² T+1.25×10 ⁻⁵ T ² -4.56×10 ⁻⁵ T ²
Thermal conductivity	λ	W/m·K	3.284+1.617×10 ⁻² T-2.305×10 ⁻⁶ T ²
Thermal diffusivity	α_p	m/s ²	$\lambda/(\rho \cdot c_p)$
Viscosity	η	Pa·s	4.94×10 ⁻⁴ T·exp (754.1/T)
Thermal expansion	β_p	K ⁻¹	1/(8558-T)
Bulk modulus	B_s	Pa	(38.02-1.296×10 ⁻² T+1.320×10 ⁻⁶ T ²) ×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（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（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3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】	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】	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

本件は、過去に実施した解析技術の改良および改良により得られた新たな結果の評価を目的としたものである。従って、解析にはAdvance/FrontNet/T（アドバンスソフト株式会社）を使用すること。また、解析を実施するにあたり、以下に示す知見・技術力を有すること。

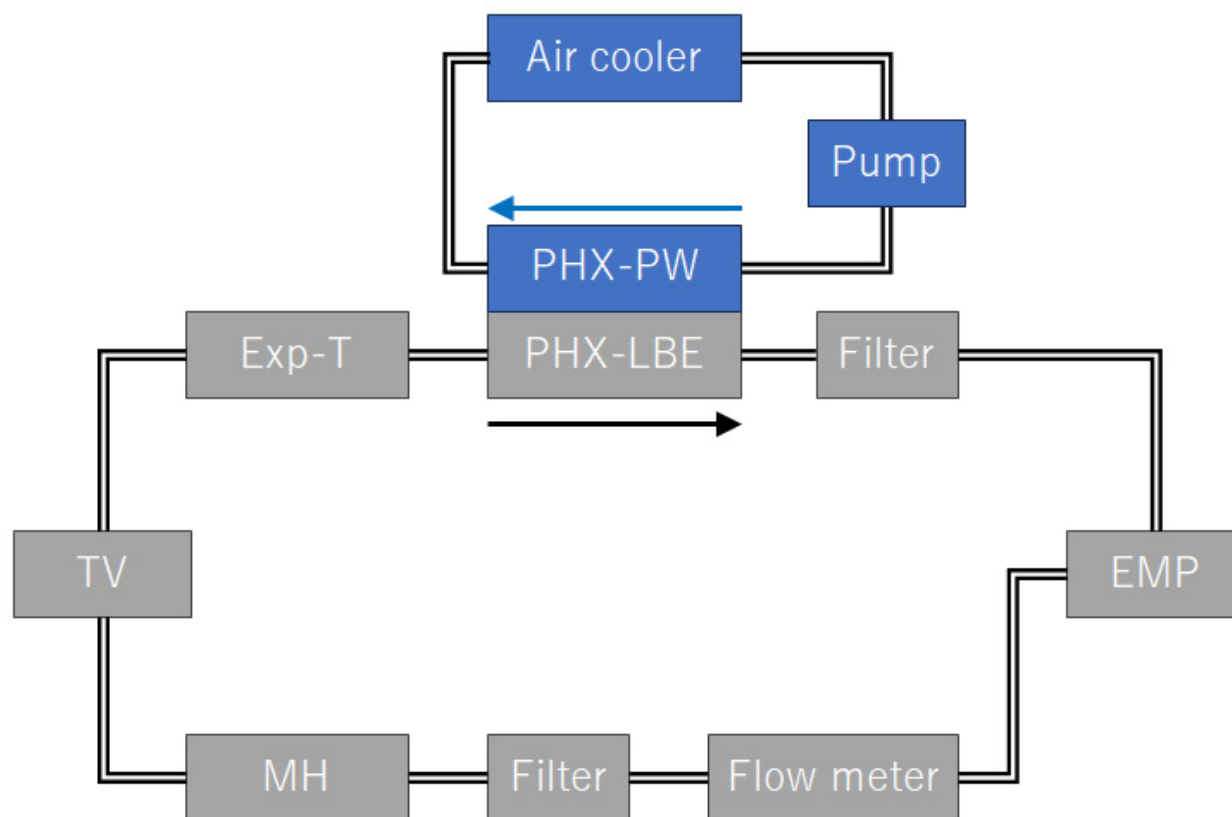
① LBEに類する液体金属を対象とした解析に関する知見・技術力

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

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