

J R R - 3 冷中性子源装置の減速材容器  
アルミ化に向けた詳細設計

仕様書

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構  
原子力科学研究部門 原子力科学研究所  
研究炉加速器技術部 利用施設管理課

## 1. 目的

研究用原子炉 JRR-3 の冷中性子源装置（以下、「CNS」という。）は、原子炉内で発生した熱中性子を減速材容器内に貯留した液体水素により減速し、エネルギーの低い冷中性子に変換する装置である。CNS から発生した冷中性子は、中性子導管を用いて実験装置に輸送され、生命科学、高分子科学、環境科学等を中心とする多くの物性研究に利用されている。

CNS のうち、クライオスタットの一部である減速材容器は、設計及び工事の計画の認可（以下、「設工認」という。）において、高速中性子照射量が既定値に達する前に交換することが定められており、令和 9 年度の定期事業者検査期間に交換する必要がある。

既存の減速材容器は、水筒型のステンレス製容器を採用している。中性子科学における世界の研究用原子炉との競争力を維持するためには、冷中性子強度の改善は不可欠であり、材質及び形状の変更により冷中性子束の強度を向上させることが可能である。

すなわち、減速材容器の放射線損傷による交換時期に合わせて、高度化した新型減速材容器を製作・運用することで、JRR-3 の安定運転及び増強した冷中性子ビームの安定供給を期待できる。また、減速材容器の高度化に付随し、低温流路管の材質を変更し、構造及びサポート等の最適化を検討する。

本計画書は、CNS の減速材容器アルミ化に向けた設計開発について定めたものである。

## 2. 概要

CNS は、原子炉内で発生した熱中性子を、極低温の減速材（液体水素）により冷中性子まで減速させる装置である。JRR-3 に設置されている CNS の系統図及び概略図を、図 1 から図 3 に示す。

CNS 本体設備は、原子炉プール内に設置されたクライオスタット、サブプール内のコンデンサ及び水素緩衝タンク並びに補助設備で構成される。

クライオスタットは、減速材容器、真空容器及び低温流路管で構成され、コンデンサで液化された水素を貯留する設備である。低温流路管の構造図を図 4 に示す。低温ヘリウムガスを使用したコンデンサにより冷却され液化した水素は、低温流路管を通り減速材容器内に滴下する。減速材容器内に溜まった液体水素は、核発熱等の熱負荷により気化され、コンデンサまで上昇する。その後、再び液化されて減速材容器内に滴下することで、閉ループサーモサイフォンによる循環が繰り返されて、一定量の液体水素が減速材容器内に保持される。原子炉の運転中の減速材容器内は、核発熱により常に液体水素が沸騰しており、液体水素及び水素ガスの気液混合状態となっている。このように熱流力的なバランスが成立した条件において、冷中性子を安定的に供給することが可能となる。

既存の減速材容器は、水筒型のステンレス（A286）製容器を採用しており、また、低温流路管は、ステンレス（A286 及び SUS304 等）製であり、三重管部（図 4 の（a））では曲げ構造となっている。

### 3. 作業範囲

令和5年度に設計開発を実施した新型減速材容器の基本設計図(契約番号:0502C01627)を図5に示す。本契約で実施する詳細設計では、基本設計を継承し構造改良し、最終決定した形状に対して設工認申請用に耐圧・耐震強度評価を実施する。また、低温流路管を含めた構造を最適化することによりボイド率を低減させ、冷中性子ビーム強度の向上を図る。更に、冷中性子の安全・安定供給のために、減速材容器内の液体水素及び水素ガスの気液混合状況を解析により確認する。

減速材容器の高度化に付随して、低温流路管の材質を減速材容器と同じくアルミニウム合金(A6061-T6)に変更するため、異材継手部があること、曲げ構造から直線構造とすることから、耐圧・耐震強度評価を実施する。また、耐震性を考慮したサポートによる補強を決定し、サポートからの入熱を含む全体の熱バランス評価を実施し、既存の冷凍設備で運用できることを確認する。

受注者は、日本原子力研究開発機構(以下、「当機構」という。)が考案する減速材容器形状及び低温流路管について種々の解析及び評価を行い、詳細設計を完遂させる。

#### (1) 当機構作業範囲

- ・必要に応じてモンテカルロ計算コードMCNPを用いて核特性解析を実施する。
- ・CFDモデル(ANSYS-FLUENT)を使用し、液体水素流動解析を実施する。

#### (2) 受注者側作業範囲

- ・令和5年度に設計開発を実施した容器形状では炉心側で発生するボイドが剥離し低温流路管内管へ逆流する現象が確認されているため、外管への滑らかな接続のため容器出口側の径を大きくした構造を考案している。よって、令和5年度の基本設計モデルを基に構造改良を行い、形状を当機構に提案する。その後、当機構が最終的な形状を決定する。最終決定した形状に対して、強度評価、液体水素流動評価、特性本解析(ヒートバランス評価)、継手部評価を実施する。
- ・強度評価及び耐震評価に当たっては、溶接箇所の処理方法等を含めた全体の製作性や保守性を担保し、設工認用の添付計算書作成を行う。
- ・解析方法に問題がある場合、最新の知見に基づきモデル、解析手法等を変更して再解析を行うこととする。再解析において解析手法を変更する場合は、必要に応じてより詳細な解析手法を採用することとし、モデルについても選択した解析手法に適したものを作成すること。再解析において問題が確認された場合も同様とする。
- ・解析結果において問題が発生した場合は最新の知見に基づき、解析を繰り返し行うこと。再解析においても問題を排除できない場合は設備機器の補強等の設計、提案を行うこと。
- ・その他当機構要求事項を満たすよう、必要に応じて設計開発を行う。

#### 4. 作業内容

##### (1) 強度評価

###### a. 構造強度評価

- ・ 「発電用原子力設備規格」、「試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準」等に準じ、設工認申請の範囲について耐圧強度評価を行う。減速材容器部については、構造解析モデル（ANSYS-MECHANICAL）を用いた強度評価（温度分布解析、熱応力解析、自重応力解析を含む。）を行う。
- ・ 減速材容器及び低温流路管について最高使用圧力における発生応力を評価し、十分な強度、必要厚さ以上であることを確認する。
- ・ 減速材容器が特殊形状であることから十分な構造強度を有していることを確認するため、高圧ガス保安法の特殊形状容器に適用される常用圧の4倍耐圧試験に耐えられる（塑性域まで許容）ように設計し、弾完全塑性解析を実施する。
- ・ 評価結果をもとに、製作性を考慮し溶接位置を決定する。
- ・ 核特性解析及び液体水素流動評価により形状が変更した場合については、変更後の形状について再評価を実施する。また、強度評価において補強が必要と判断した場合（容器内への差込内管を含む。）には、補強方法を提案する。

その他評価条件の詳細については、別途当機構から指示する。

（アルミニウム肉厚）

減速材容器： 1.5mm～

低温流路管： 1.5mm～

（評価条件）

内圧：0.4413MPa（容器部、外管）

外圧：0.1961MPa（容器部、外管）

内圧：0.5884MPa（真空断熱管Ⅰ）

外圧：0.1961MPa（真空断熱管Ⅰ）

内圧：0.1961MPa（真空断熱管Ⅳ）

外圧：0.5884MPa（真空断熱管Ⅳ）

高圧ガス保安法耐圧試験相当圧：常用圧（0.413MPa）の4倍

###### b. 耐震評価

- ・ 低温流路管全体（減速材容器内部に存在する低温流路管内管を含む。）のサポートの配置、形状及び数量等は耐震性を考慮して決定する。減速材容器及び異材継手部についても、耐震性を考慮したサポート等の補強について最適化する。
- ・ 減速材容器形状及び低温流路管外管サポート等の補強の詳細が決定次第、耐震評価モデルを作成し固有値解析を行う。原子炉本体に接続されているため、固有値解析の結果、固有値が50Hzを上回る場合は剛構造と判断し、静的解析により十分な耐震性を有することを確認する。固有値が50Hzを下回る場合は、固有値に対応した減速

材容器及び低温流路管の設置場所におけるFRSの加速度に対して動的解析により十分な耐震性を有することを確認する。

- ・ 解析コードについてはNASTRANを使用する。
- 評価条件の詳細については、別途当機構から指示する。

#### (2) 液体水素流動評価

- ・ 当機構が実施するCFD (ANSYS-FLUENT) 解析について、解析計画、解析条件等を協議し、解析結果を基に妥当性評価を実施する。また、ボイド率低減の為、減速材容器内の低温流路管内管の位置や形状等について検討し、当機構と協議し決定する。

#### (3) 特性本解析 (ヒートバランス評価)

- ・ JRR-3の既設冷凍システムを対象にして、最適形状の減速材容器及び低温流路管を適用した場合における熱収支バランス計算をRELAP等の熱解析コードを用いて行い、発熱と入熱による総熱量が既設冷凍システムのコンデンサで十分除熱できることを確認する。
- ・ ヘリウム冷凍機側では、実機と同様のPID制御によるコントロールヒータを再現し、既存のシステムが新型CNS設備においても問題なく制御できることを確認する。
- ・ 評価条件の詳細については、別途当機構から指示する。

#### (4) 継手部評価

- ・ 真空ロウ付け、摩擦圧接等によるA6061とSUS304の接合方法及び適用する基準・規格、接合位置、補強方法等を検討する。中間材は純アルミを使用する。また、純アルミ材より適した中間材がある場合、提案すること。
- ・ 既存のケノール継手部の再利用の可否について検討し、再利用が困難な場合には、更新方法等を検討する。検証試験が必要な場合には試験計画を立案する。

### 5. 適用法規、準拠法規

#### (1) 適用法規

- ・ 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律
- ・ 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令
- ・ 試験研究の用に供する原子炉の設置、運転等に関する規則
- ・ 試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則  
(試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準)
- ・ 高圧ガス保安法

#### (2) 準拠法規または規格

- ・ 日本産業規格 (JIS)
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (JSME)
- ・ 発電用原子力設備規格 材料規格 (JSME)

- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAC4601-2008（日本電気協会）
- ・ 圧力容器構造規格
- ・ 発電用原子炉設備に関する技術基準を定める省令
- ・ 発電用軽水型原子炉設備に関する構造等の技術基準
- ・ 発電用軽水型原子炉設備の安全評価に関する審査指針
- ・ 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針
- ・ アメリカ機械学会規格（ASME）

## 6. 技術審査資料

- ・ 高圧ガス取締法に基づく冷凍保安規則に則りアルミニウム合金製特殊形状容器を設計・製作することのできる技術力を有していること。
- ・ 原子炉等規制法に基づく原子炉施設の許認可申請に係る施設・設備設計に関する知見・技術力を有すること。
- ・ サーモサイフォン現象を利用したCNSの設計に係る知見を有していること。

## 7. 貸与品

- ・ 関係図面
- ・ 関係文書及び資料（JRR-3の設計及び工事の方法の認可申請書等）
- ・ 耐震解析に使用する床応答データ
- ・ RELAP（軽水炉の安全・運転評価用のコード）

いずれも、当機構の許可なく複製することを禁止する。当機構の許可を得て複製したものは、貸与品とともに検収時に返却すること。

## 8. 納入条件

納期

令和7年3月31日（月）

納入場所

茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 研究炉加速器技術部 利用施設管理課

## 9. 提出書類

	提出書類	部数	提出時期	備考
1	全工程表	4	契約後速やかに	要確認
2	作業体制表	4	契約後速やかに	
3	作業員名簿	4	契約後速やかに	
4	品質保証計画書	4	作業開始前	
5	解析要領書 (解析手法、解析環境、使用するプログラム等の諸元、参照するデータ等を含む)	4	作業開始前	要確認
6	打合せ議事録	4	打合せ後速やかに	
7	報告書 (電子ファイル含む)	4	作業終了後速やかに	要確認
8	解析に係る電子データ (入力データ、計算結果等)	1 式	作業終了後速やかに	
9	その他必要な書類	当機構の要求に応じて必要部数提出		

### (確認方法)

「確認」は次の方法で行う。

当機構は、確認のために提出された図書を受領したときは、期限日を記載した受領印を押印して返却する。また、当該期限までに審査を完了し、確認の承認をしない場合には修正を指示し、修正等を指示しないときは、確認したものとする。

但し、委任または下請負届 (当機構指定様式) については、2 週間以内に当機構から変更請求をしない場合は、自動的に確認したものと見做す。

## 10. 産業財産権

納入物件の所有権については、発注元である当機構に帰属するものとする。また、技術情報の取扱いに係る著作権、その他の権利については、別途協議するものとする。

## 11. 検収条件

9. 項に示す提出書類の完納をもって検収とする。ただし、納期前 1 週間以内に会議を行った場合は、その打合議事録の納期内提出は検収条件には含めないが、議事録は検収後であっても速やかに提出すること。

## 12. 特記事項

### (1) 保証

検収後 1 ケ年以内に受注者の責に帰すべき入力データのミス等があった場合には、受注者の責任において無償にて対応を図るものとする。

## (2) 協議

本仕様書に記載のあるなしに関わらず、作業に関して疑義が生じた場合には、当機構と受注者の協議により詳細を決定し、受注者の作成する議事録にて双方で確認した後、作業するものとする。議事録で確認した事項は、契約仕様書に準じた効力を持つものとする。

## (3) その他

- ・ 受注者は、貸与情報及び成果情報の機密を保ち、第三者に漏えいせぬよう、適切な処置を講じるものとする。
- ・ 受注者は、貸与情報及び成果情報を、本契約の目的以外のために使用しない、もしくは第三者に使用させぬものとする。
- ・ 受注者は、貸与情報及び成果情報を外部に発表、公開、もしくは開示せぬものとする。ただし、予め当機構の文書による承認を得た場合はこの限りではない。
- ・ 解析に使用する計算コードは、十分な実績と信頼性のあるものであること。また引用式、材料の物性等については出典、参考文献を示すとともに、当該引用部分の写しを提出すること。
- ・ 受注者は本作業に着手する前に、業務及び情報管理に関する管理体制が明記された品質保証計画書を提出すること。
- ・ 減速材容器の製作性、保守性を担保すること。
- ・ 受注者は当機構が原子力の研究・開発を行う機関であるため、高い技術力及び高い信頼性を社会的に求められていることを認識し、本仕様書 6. 項に示す法規、規格を遵守し業務を遂行しうる能力を有するものを従事させること。
- ・ 受注者は本仕様書の要求事項の一部を外注先に依頼する場合には、本仕様書の要求事項を外注先にまで適用させることを徹底すること。

## 13. グリーン購入法の推進

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。

## 14. 検査員及び監督員

### 検査員

- (1) 一般検査 管財担当課長

### 監督員

- (1) 実施内容及び提出書類の確認 研究炉加速器技術部 利用施設管理課主査



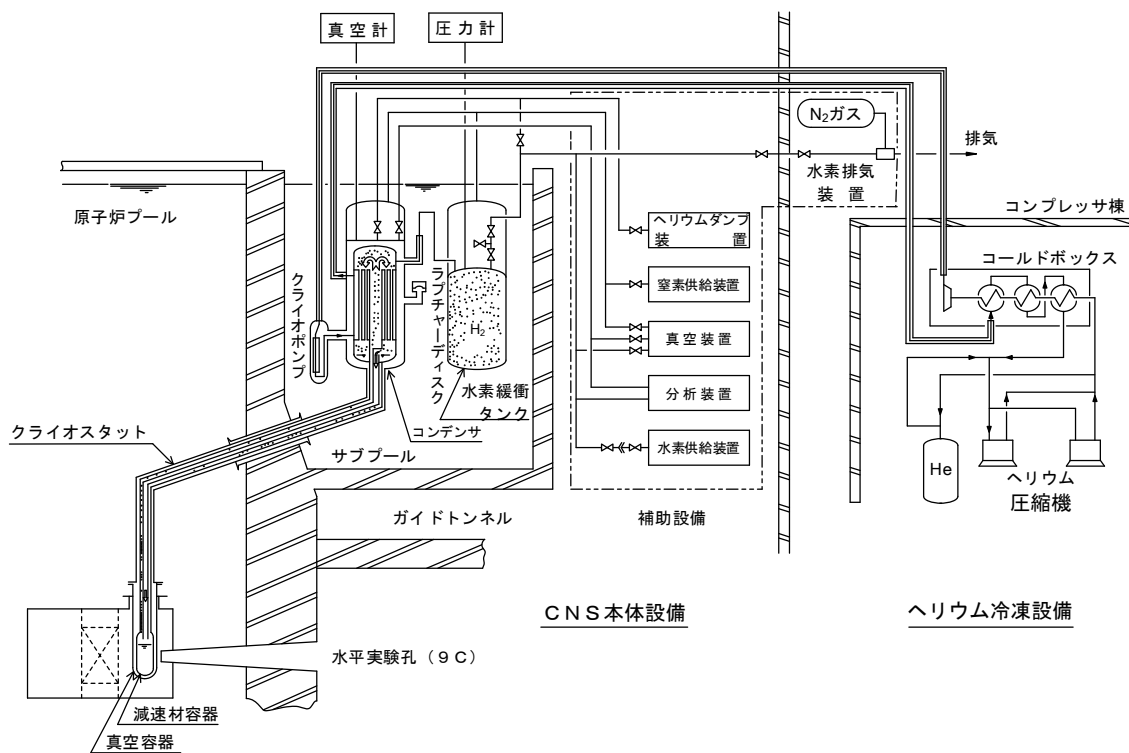


図1 CNS系統図

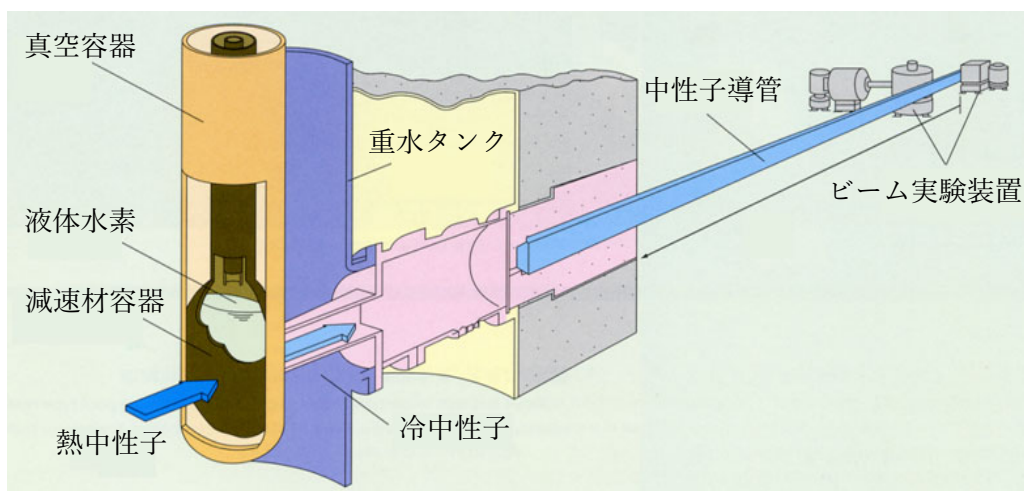


図2 CNS概略図

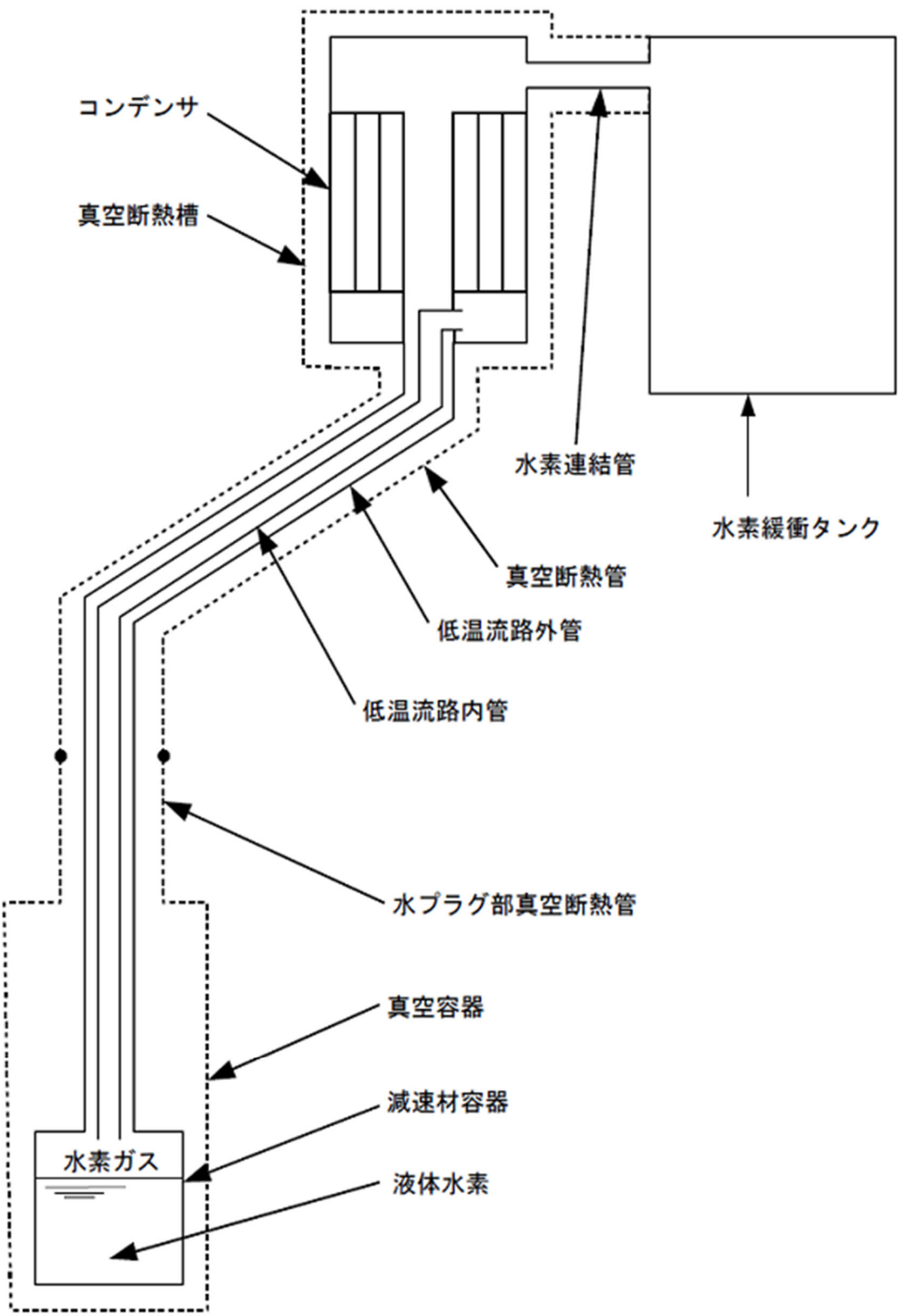


図3 CNSのクライオスタット部概略図

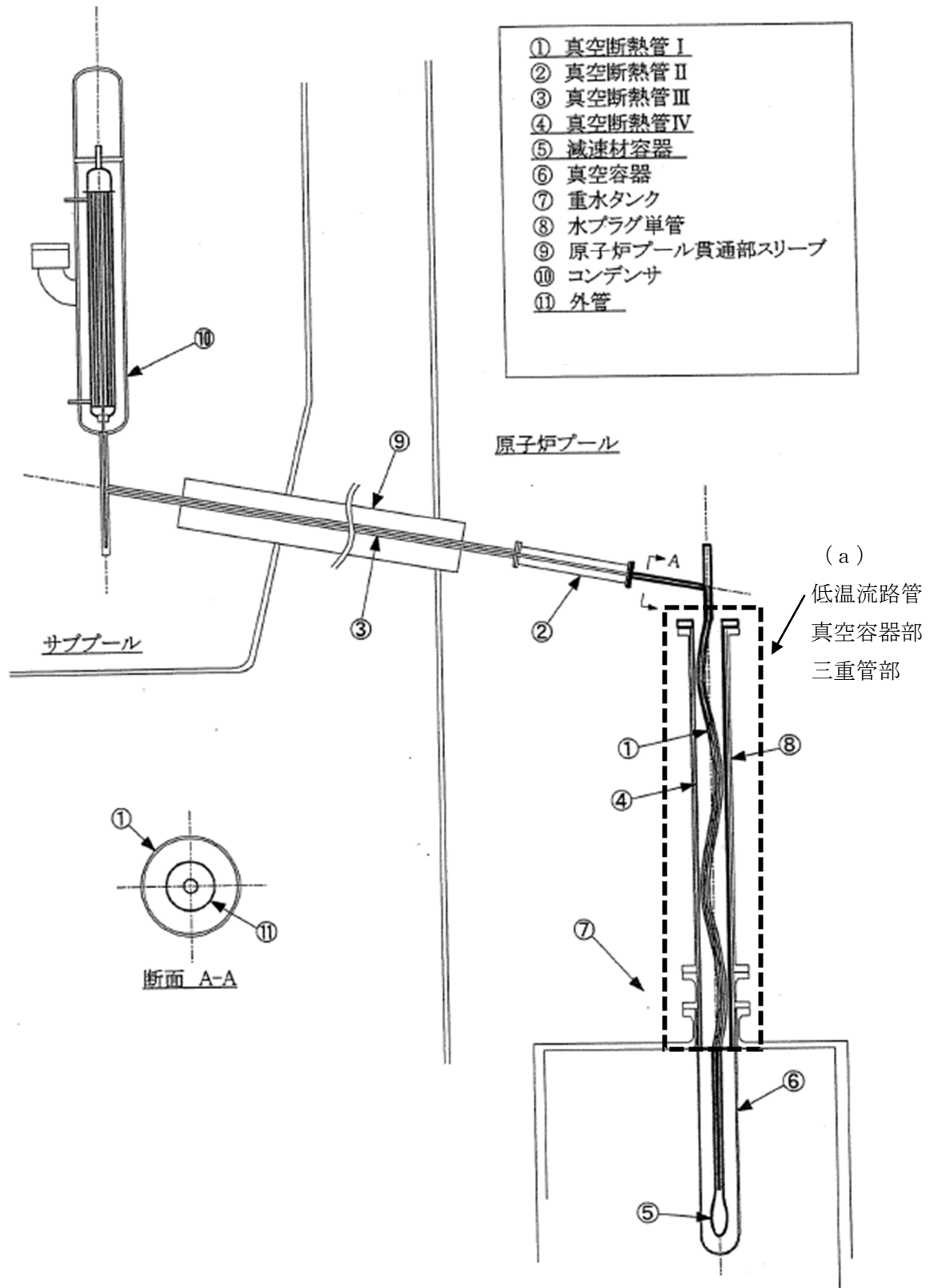


図4 低温流路管構造図

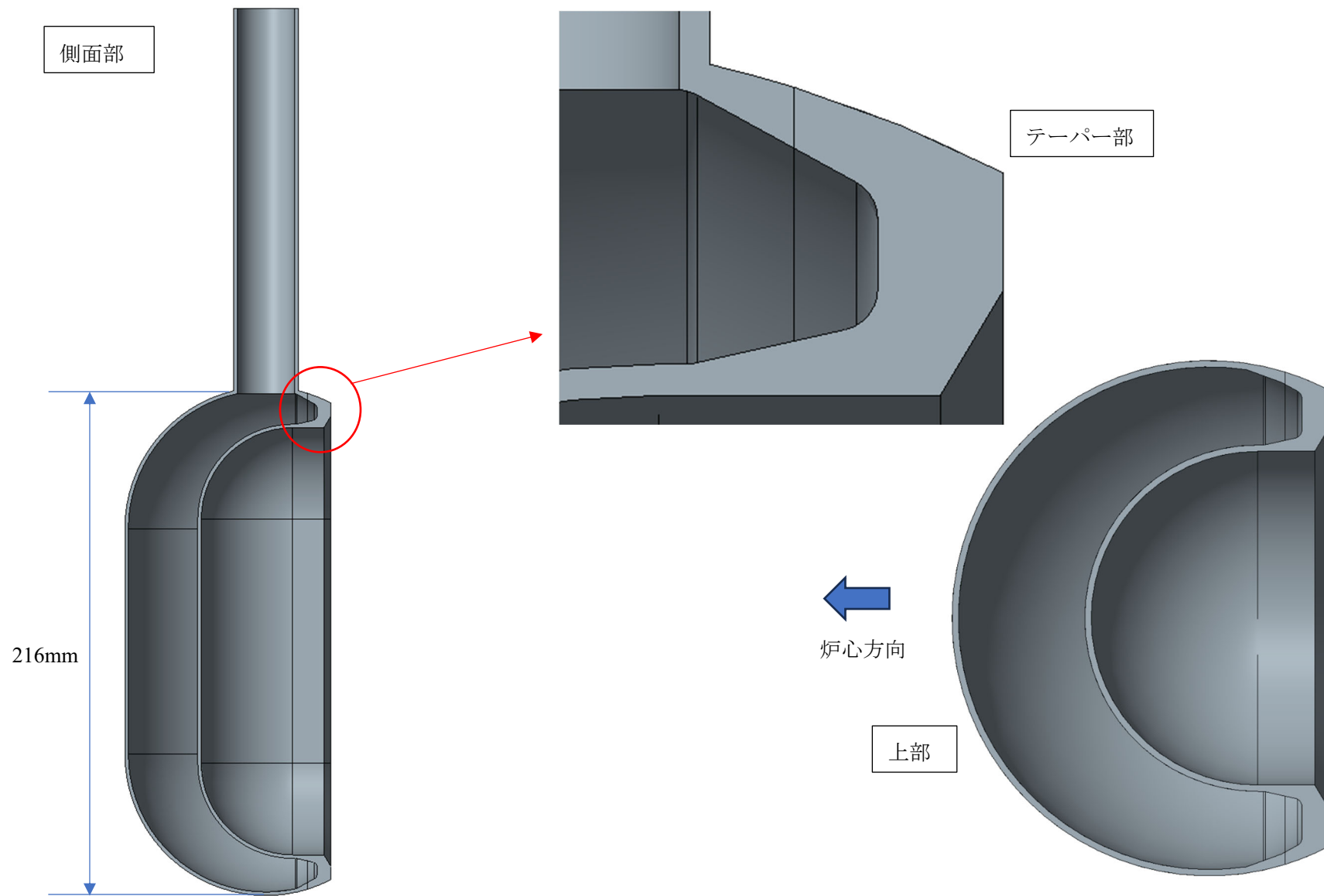


図5 新型減速材容器基本設計（詳細寸法については、契約締結後に示す。）