

ガラス固化技術開発施設の溶融炉の更新について

(再処理施設に関する設計及び工事の計画)

【概要】

- 東海再処理施設における高放射性廃液のガラス固化処理計画を確実に実施するための設備機器の計画的更新として、ガラス固化技術開発施設(TVF)の溶融炉(G21ME10)について、現行の2号溶融炉から3号溶融炉への更新を行う。
- 2号溶融炉における四角錐の炉底形状に対し、3号溶融炉は、高放射性廃液中に含まれる白金族元素の抽出性の向上が見込める円錐の炉底形状とする。
- また、3号溶融炉は、2号溶融炉の運転において発生した事象(流下停止事象、間接加熱装置の熱電対断線)を反映した設計とする。

令和3年5月18日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

1. はじめに

東海再処理施設における高放射性廃液のガラス固化処理計画を確実に実施するための設備機器の計画的更新として、ガラス固化技術開発施設(TVF)の溶融炉(G21ME10)について、現行の2号溶融炉から3号溶融炉への更新を行う。

以下に、溶融炉の更新に係る設計及び工事の計画の概要を示す。

2. 溶融炉の概要

溶融炉の構造概要を図-1に示す。

溶融炉は、炉内に連続的に供給した高放射性廃液及びガラス原料を加熱、溶融し、ガラス固化体容器に流下するものである。

溶融炉は、主に溶融ガラスを閉じ込めるための耐火レンガ、炉内構成部品(耐火レンガ等)を支えるためのケーシングにて構成している。炉内には、直接、溶融ガラスに電流を流すことにより溶融ガラスを加熱するための主電極及び補助電極、溶融ガラスを炉内から拔出し、ガラス固化体に流下するための流下ノズル等を設置している。

また、溶融炉特有の付帯品として、溶融炉の熱上げ時に炉内のガラスを加熱するための間接加熱装置、流下ガラスからの廃気を閉じ込めるための結合装置(G21M11)、高放射性廃液を浸み込ませたガラス原料を溶融炉に供給するための原料供給ノズル(G01X1091)、溶融炉から発生する廃気を冷却するための廃気冷却管(G41X1091)等を設置している。

3. 更新範囲

今回の更新対象の概要を図-2に示す。

更新対象は、溶融炉本体、2項に示した付帯品の他に廃気配管、廃液供給配管、ユーティリティ(圧空、冷却水、純水)供給配管等の配管類、熱電対等の電気計装品である。

4. 2号溶融炉からの変更点

(1) 炉底形状の変更

3号溶融炉は、設計方針として、開発要素を取り入れることに伴い発生する初期トラブルによって、固化処理が停滞することのないよう、実績を有している技術を採用する。具体的には、高放射性廃液中に含まれる白金族元素の拔出性の向上が見込める円錐の炉底形状とした。

2号溶融炉と3号溶融炉の炉底形状の比較図を図-3に示す。

① 構造

円錐の炉底形状については、3号溶融炉において初めて採用する構造で

はなく、以下のとおり、国内外において、既に炉底部築炉の実績を有している。

- ・ ドイツのKIT(カールスルーエ研究所)においては、WAK(カールスルーエ再処理プラント)で発生した高放射性廃液の固化処理に八角錐の炉底形状を有する溶融炉を開発、使用した。
- ・ 日本原燃(株)においては、六ヶ所再処理工場の現行の溶融炉(四角錐の炉底形状)の次期溶融炉として、円錐の炉底形状を採用している。

②白金族元素の抽出性

3号溶融炉に円錐の炉底形状を採用するにあたり、溶融炉の運転解析コードにより、以下のとおり、白金族元素の抽出性の向上が見込めることを確認した(添付-1 参照)。

- ・ 円錐の炉底形状においても、2号溶融炉(四角錐の炉底形状)と同様の運転パターンにより、1号及び2号溶融炉の運転において白金族元素の沈降堆積の抑制に実績のある炉底低温運転が適用できることを確認した。
- ・ 炉底形状を四角錐から円錐に変更することで、白金族元素が残留しやすい谷部がなくなることから、円錐と四角錐の炉底形状について、流下時の温度分布を比較し、四角錐の谷部における温度の低い箇所(ガラスの粘性が高い箇所)が円錐において解消されていることを確認した。

(2)トラブルの反映

①流下停止事象の反映

2号溶融炉では、流下ノズルを取り付けているインナーケーシングが非対称構造であることが原因となり、溶融炉の運転に伴う加熱及び冷却により流下ノズルに傾きが生じ、流下ノズルが加熱コイルに接触して漏電リレーが作動し、流下操作が自動停止した。

3号溶融炉では、本事象の発生防止対策として、流下ノズルの傾きの発生を抑制するため、インナーケーシングを対称構造に変更する(図-4 参照)。本変更の妥当性確認として、インナーケーシングの定常熱応力解析により、非対称構造における流下ノズル先端の変形量(東西方向 0.35mm)に対し、対称構造については変形のないこと(変形量:東西方向 0.00mm)を確認した(図-5 参照)。

また、2号溶融炉の流下ノズル観察結果において、水平方向へのずれ(約 3.5mm)も確認されている。この対策として、インナーケーシング取付け時に位置ずれが生じないように、インナーケーシング取付け時に耐火レンガとのクリアランスが均等であることを確認するとともに、3号溶融炉の作動試験後、流下ノズルの位置ずれ量を確認し、流下ノズル加熱コイルの位置決めに反映する。(図-6 参照)

②間接加熱装置発熱体の熱電対断線の反映

溶融炉の間接加熱装置は、5基のユニットで構成され、各ユニットには、発熱体2本及び発熱体温度監視用の熱電対が2本ずつ設置されている。2号溶融炉では、間接加熱装置発熱体の熱電対におけるアルミナ保護管の施工方法が原因となり、複数の熱電対の断線が生じたため、断線防止対策として、アルミナ保護管の固定方法を見直している。

3号溶融炉では、熱電対断線時の対策として、熱電対が断線したユニットを間接加熱装置の電源系統から分離することで、他のユニットにて間接加熱装置の運転が継続できるよう、遠隔操作によりユニット毎に電源を遮断できる構造とする。(図-7 参照)

5. 更新方法

溶融の更新に係る工事フロー案を図-8に示す。また、参考として1号溶融炉から2号溶融炉への更新(平成13年～16年)の実績を添付-2に示す。

(1) 溶融炉の更新手順

TVFの固化セル(R001)内における溶融炉の更新は、遠隔操作により、以下の手順にて行う。固化セル内での遠隔操作による更新手順を図-9に示す。

- ・ 結合装置、原料供給ノズル等の2号溶融炉の付帯品を取り外した後、2号溶融炉を溶融炉架台から取り外す。
- ・ 3号溶融炉を固化セルに搬入し、溶融炉架台に据え付ける。
- ・ 3次元計測(カメラ画像からの寸法計算)により、3号溶融炉の付帯品(付帯配管等)の取合い位置を計測し、計測結果に基づき製作した付帯品を固化セル内に搬入し、据え付ける。3次元計測の概要を図-10に示す。

(2) 溶融炉の更新に係る試験検査

本工事において、材料確認検査、外観検査、寸法検査、据付検査、作動試験及び耐圧・漏えい検査(配管類)を行う。

作動試験は、TVFへの搬入前に核燃料サイクル工学研究所モックアップ試験棟において行い、3号溶融炉の基本的な運転性能の確認として、非放射性の模擬ガラスを用いて、ガラスが溶融できること、ガラス固化体容器への溶融ガラスの流下の開始・停止ができることを確認する。

6. 「再処理施設の技術基準に関する規則」との適合性

1号溶融炉から2号溶融炉への更新に係る設工認(平成13年12月13日認可(平成13・11・01原第6号))における当時の「再処理施設に関する設計及び工事の方法の技術基準に関する規則」の適合性を踏まえた、今回の溶融炉の更新に係

る「再処理施設の技術基準に関する規則」(以下、技術基準規則。)の適合性を表-1に示す。

(1) 溶融炉の機能維持

技術基準規則第三条(廃止措置中の再処理施設の維持)について、3号溶融炉については、廃止措置中において溶融炉の閉じ込め機能及び運転機能を維持し、固化処理運転を着実に進めるため、表-2に示す設計、運転方法とする。

(2) 溶融炉の耐震性

技術基準規則第六条(地震による損傷の防止)について、地震発生時においても溶融ガラスの閉じ込め機能を維持するため、廃止措置計画用設計地震動に対して耐震性を有する設計とする。耐震性の評価対象を表-3に示す。

- ・溶融ガラスは、6項(3)に示すとおり、接液部耐火レンガとケーシング間の断熱性の高い耐火レンガ等によって形成される温度勾配によって、炉内に閉じ込められる。地震発生時において、この断熱性の高い耐火レンガ等は、接液部耐火レンガとケーシングにより内外から支える設計としている。
- ・接液部耐火レンガについては、地震発生時に炉内に倒れ込まないように、迫持ち構造を採用している。
- ・ケーシングについては、リブによる補強により耐震性を確保しており、溶融炉の架台上に、据付ボルトにより固定している。また、溶融炉の架台は固化セル床に基礎ボルトにより固定している。
- ・また、配管類については、高放射性廃液及び溶融炉ガラスからの廃気の閉じ込めを確保するため、廃止措置計画用設計地震動に対して耐震性を有する設計とする。

(3) 溶融ガラスの閉じ込め機能

技術基準規則第十条(閉じ込め機能)について、溶融炉における溶融ガラスの閉じ込め機能については、同条第1号から第10号の要求事項に該当しないものの、以下のとおり、3号溶融炉においても溶融ガラスの閉じ込め機能は維持できる。

溶融炉は、接液部耐火レンガとケーシング間に断熱性の高い耐火レンガ等(バックアップ耐火レンガ、断熱キャストブル、断熱膨張吸収材(図-1参照))を配置している。

この断熱性の高い耐火レンガ等による温度勾配により、溶融ガラスは、溶融炉内部で冷えて流動性を無くし固まることで、炉内に閉じ込められる。

四角錐から円錐への炉底形状の変更により、炉底部の接液部耐火レンガの形

状は変更するが、接液部耐火レンガの外側に設置している断熱性の高い耐火レンガ等の形状は変更しないことから、温度勾配による熔融ガラスの閉じ込め機能に影響は生じない。

7. 工事の工程

本申請に係る工事の工程を表-4に示す。

以上

表-1 溶融炉の更新における「再処理施設の技術基準」の適合性(1/4)

1号溶融炉から2号溶融炉への更新の設工認(H13年12月13日認可)における「再処理施設に関する設計及び工事の方法的技術基準に関する規則」の適合性

「再処理施設に関する設計及び工事の方法的技術基準に関する規則」の条項		適合の有無	適合性 (設工認申請書の記載)
第一条	定義	無	-
第二条	特殊な方法による施設	無	-
第三条	核燃料物質の臨界防止	無	-
第五条	耐震性	有 (1,2項)	本申請に係る溶融炉、結合装置、廃気冷却管、原料供給ノズル及び配管類は、耐震分類A類で耐震設計を行っている。また、建築基準法に定められた地震力に対して、耐震分類に応じた係数を考慮した地震力を用いた耐震設計を行い、評価の結果、耐震性に問題はない。
第七条	閉じ込めの機能	無	-
第四条	火災等による損傷の防止	有 (3項)	本申請は、可燃性物質及び爆発性物質は取り扱わないが、溶融炉、結合装置、廃気冷却管、原料供給ノズル及び配管類の一部については、安全上重要な施設に該当するため、可能な限り不燃性材料及び難燃性材料を使用する。

今回の2号溶融炉から3号溶融炉への更新に係る申請における「再処理施設の技術基準に関する規則」の適合性

「再処理施設の技術基準に関する規則」の条項		評価の必要性の有無	適合性
第一条	定義	-	-
第二条	特殊な設計による再処理施設	-	-
第三条	廃止措置中の再処理施設の維持	有	3号溶融炉は、廃止措置中において溶融炉の閉じ込め機能及び運転機能を維持し、固化処理運転を着実に進めるとともに、表-2に示す設計、運転方法とする。
第四条	核燃料物質の臨界防止	無	-
第五条	安全機能を有する施設の地盤	無	-
第六条	地震による損傷の防止	有 (2項)	3号溶融炉の耐震重要度分類はSクラスとし、廃止措置計画用設計地震動による発生応力に加え、溶融炉の運転に伴う耐火レンガの熱膨張による発生応力等を考慮しても、構造上の許容限界を超えない設計とする。 評価対象を表-3に示す。
第七条	津波による損傷の防止	無	-
第八条	外部からの衝撃による損傷の防止	無	-
第九条	再処理施設への人の不法な侵入等の防止	無	-
第十条	閉じ込めの機能	無	-
第十一条	火災等による損傷の防止	有 (3項)	溶融炉本体及び付帯品には、不燃性材料及び難燃性材料を使用している。 本更新において、上記の設計に変更はないため、影響はない。
第十二条	再処理施設内における溢水による損傷の防止	無	-

表-1 溶融炉の更新における「再処理施設」の技術基準に関する規則の適合性(2/4)

「再処理施設に関する設計及び工事の方法の技術基準に関する規則」の条項	適合の有無	適合性 (設工認申請書の記載)
第十一 安全上重要な施設	無	-
第六 材料及び構造	有 (1,2項)	本申請に係る廃気冷却管、原料供給ノズル及び配管類は、設計上の耐圧強度を満足するように製作及び施工を行うとともに、当該廃気冷却管、原料供給ノズル及び配管類の耐圧強度を評価し、使用厚さが必要厚さより大きく、設計上要求される強度が十分満足するよう設計する。また、廃気冷却管、原料供給ノズル及び配管類は良好な耐食性を有するステンレス鋼とする。 また、廃気冷却管、原料供給ノズル及び配管類は、耐圧・漏えい試験を行い、変形及び漏えいがないことを確認する。
第十三 使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設	無	-
第十四 計測制御系統施設	無	-
第十八 放射線管理施設	無	-



「再処理施設に関する規則」の条項	評価の必要性の有無	適合性
第十三 再処理施設内における化学薬品の漏えいによる損傷の防止	無	-
第十四 安全避難通路等	無	-
第十五 安全上重要な施設	無	-
第十六 安全機能を有する施設	有 (2,3項)	溶融炉は、制御室からの圧力、温度状況の確認及びITVカメラによる外観確認により、検査又は試験が可能である。更新後においても、台車と結合装置のインターロックの作動試験が行えることを結合装置の作動試験により確認する。 また、溶融炉及び付帯品は、遠隔操作により交換等の適切な保守及び修理が可能である。 本更新において、上記の設計に変更はないため、影響はない。
第十七 材料及び構造	有 (1,2項)	廃気冷却管、原料供給ノズル及び配管類は、設計上の耐圧強度を満足するように製作及び施工を行うとともに、当該廃気冷却管、原料供給ノズル及び配管類の耐圧強度を評価し、使用厚さが必要厚さより大きく、設計上要求される強度が十分満足するよう設計している。また、廃気冷却管、原料供給ノズル及び配管類は良好な耐食性を有するステンレス鋼としている。 本更新において、廃気冷却管、原料供給ノズル及び配管類について、耐圧・漏えい試験を行い、変形及び漏えいがないことを確認する。
第十八 搬送設備	無	-
第十九 使用済燃料の貯蔵施設等	無	-
第二十 計測制御系統施設	無	-
第二十一 放射線管理施設	無	-

表-1 溶融炉の更新における「再処理施設」の技術基準に関する規則の適合性(3/4)

「再処理施設に関する設計及び工事の方法の技術基準に関する規則」の条項	適合の有無	適合性 (設工認申請書の記載)
第十五条 制御室	無	-
第十六条 廃棄物処理施設	無	-
第十七条 保管廃棄施設	無	-
第十八条 使用済燃料等による汚染の防止	無	-
第八条 しゃへい	無	-
第九条 換気	無	-
第十九条 非常用電源設備	無	-



「再処理施設の技術基準に関する規則」の条項	評価の必要性の有無	適合性
第二十二条 安全保護回路	無	-
第二十三条 制御室等	無	-
第二十四条 廃棄施設	無	-
第二十五条 保管廃棄施設	無	-
第二十六条 使用済燃料等による汚染の防止	無	-
第二十七条 遮蔽	無	-
第二十八条 換気設備	無	-
第二十九条 保安電源設備	無	-
第三十条 緊急時対策所	無	-
第三十一条 通信連絡設備	無	-
第三十二条 重大事故等対処施設の地盤	無	-
第三十三条 地震による損傷の防止	無	-
第三十四条 津波による損傷の防止	無	-
第三十五条 火災等による損傷の防止	無	-
第三十六条 重大事故等対処設備	無	-
第三十七条 材料及び構造	無	-
第三十八条 臨界事故の拡大を防止するための設備	無	-
第三十九条 冷却機能の喪失による蒸発乾固に対処するための設備	無	-
第四十条 放射線分解により発生する水素による爆発に対処するための設備	無	-

表-1 溶融炉の更新における「再処理施設に関する規程」の適合性(4/4)

「再処理施設に関する設計及び工事の方法の技術基準に関する規程」の条項	適合の有無	適合性 (設工認申請書の記載)	「再処理施設の技術基準に関する規程」の条項	評価の必要性の有無	適合性
			第四十一条 有機溶媒等による火災又は爆発に対処するための設備	無	-
			第四十二条 使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備	無	-
			第四十三条 放射性物質の漏えいに対処するための設備	無	-
			第四十四条 工場等外への放射性物質等の放出を抑制するための設備	無	-
			第四十五条 重大事故等への対処に必要な水の供給設備	無	-
			第四十六条 電源設備	無	-
			第四十七条 計装設備	無	-
			第四十八条 制御室	無	-
			第四十九条 監視測定設備	無	-
			第五十条 緊急時対策所	無	-
		第五十一条 通信連絡を行うために必要な設備	無	-	
		第五十二条 電磁的記録媒体による手続	無	-	

表-2 溶融炉の機能維持に係る設計及び運転方法

機能分類	溶融炉の機能	機能維持に係る設計及び運転方法
安全機能	<p>溶融ガラスの閉じ込め機能</p> <p>高放射性廃液及び溶融ガラスからの廃気の閉じ込め機能</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・断熱性の高い耐火レンガ等（バックアップ耐火レンガ、断熱キヤスタブル、断熱膨張吸収材）による温度勾配により、溶融ガラスは、溶融炉内部で冷えて流動性を無くし固まることで、炉内に閉じ込められる。 ・溶融ガラスに接する接液部耐火レンガ、電極類及び流下ノズルについては、溶融ガラスに対して耐食性を有する材料（クロミア・アルミナ質電鍍レンガ、NCF690）を使用する。 ・主電極については、腐食を抑制するため電流値を制限するとともに内部空冷を行う。 ・原料供給ノズル、廃気冷却管等の高放射性廃液、溶融ガラスからの廃気と接触する部位については、腐食を考慮し、耐食性を有する材料（SUS304JLC、NCF690）を使用する。
運転機能	熱上げ機能	<ul style="list-style-type: none"> ・間接加熱装置は、経年劣化による発熱体の断線を考慮し、遠隔操作による交換が可能な構造とする。 ・間接加熱装置の発熱体の熱電対が断線しても、熱電対が断線したユニットを間接加熱装置の電源系統から分離することで、他のユニットにて間接加熱装置の運転が継続できるよう、遠隔操作によりユニット毎に電源を遮断できる構造とする。（2号溶融炉において発生した間接加熱装置の発熱体の熱電対断線事象を反映）
運転機能	ガラス溶融機能	<ul style="list-style-type: none"> ・接液部耐火レンガ及び主電極については、500本のガラス固化体を製造するために必要な腐食代を設ける。 ・溶融炉運転中においては、炉底低温運転により、炉底部への白金族元素への沈降、堆積を抑制する。 ・炉底形状については、白金族元素の拔出性の向上が見込まれる円錐形状とする。 ・炉底部に残留した白金族元素を多く含むガラスを定期的に除去しながら、運転を継続する。 ・溶融炉の廃気配管については、配管内付着物による閉塞を考慮し、水洗浄による閉塞の解除を行いながら、運転を継続する。
運転機能	ガラス流下機能	<ul style="list-style-type: none"> ・流下ノズルを取り付けているインナーケーシングの熱応力により、流下ノズルが変形し、加熱コイルに接触することを防止するため、インナーケーシングの形状を対称構造とする。（2号溶融炉において発生した流下停止事象を反映）

下線部 : 2号溶融炉から設計変更を行った点

* : 補助電極間電流値の調整により、炉底部の温度を上部のガラス温度よりも低い温度に維持する運転

表-3 溶融炉の更新に係る耐震評価対象

部位		1号溶融炉から2号溶融炉への更新に係る設工認 (H13年12月13日認可)における耐震評価実績	今回の溶融炉更新の設計及び工事の計画に係る廃止措置計画変更申請における耐震評価内容
溶融炉 (G21ME10)	ケーシング	地震荷重及び自重による発生応力(一次応力)に炉内の耐火レンガ等の熱膨張荷重及びケーシングの熱応力(二次応力)を加え、一次+二次応力が、許容応力以下であることを評価した。	同左 (炉底形状の変更によるケーシング主要寸法の変更、また、気相部耐火レンガ及び断熱膨張吸収材の材料組成の変更に伴い、廃止措置計画用設計地震力に対して、溶融炉の耐震性に問題がないことを確認する。)
	据付ボルト	地震荷重及び自重による発生応力が許容応力以下であることを評価した。	同左
	架台(更新対象外) 基礎ボルト(更新対象外)		(廃止措置計画用設計地震力に対して、据付ボルト、架台及び基礎ボルトの耐震性に問題がないことを確認する。)
	接液部耐火レンガ(側壁部分)	地震時に耐火レンガ間に発生するせん断力を算出し、耐火レンガの熱膨張により生じる耐火レンガ間の摩擦抵抗力と比較することによって、耐火レンガ間にすべりが生じないことを確認した。	耐火レンガ組積構造について、地震荷重がかかった場合、耐火レンガが互いに圧縮することで、炉内への倒れ込みが生じない迫持構造を採用することで、耐震性を確保する。
結合装置(G21M11) 廃気冷却管(G41X1091) 原料供給ノズル(G01X1091)	評価対象外(溶融炉の自重の一部として評価した。)		同左
配管類	地震荷重、自重及び配管内圧による発生応力が許容応力以下であることを評価した。	同左 (廃止措置計画用設計地震力に対して、配管類の耐震性に問題がないことを確認する。)	

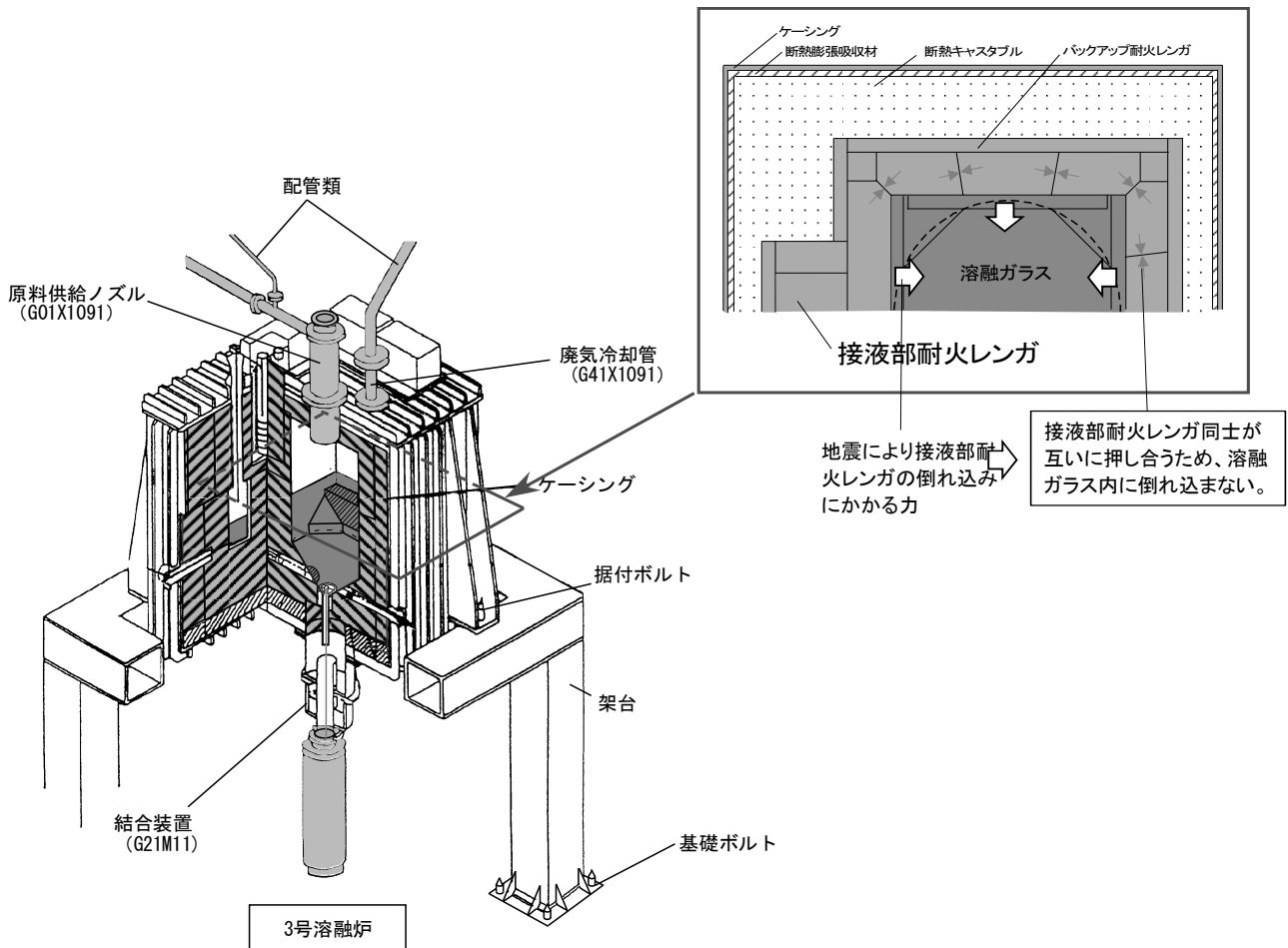


表-4 TVF の溶融炉の更新に係る工事工程表

		令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度
①	・3号溶融炉製作(耐火レンガの加工～溶融炉本体完成)	9月 □	11月 □		
②	・3号溶融炉の作動試験		11～1月 □		
③	・2号溶融炉本体及び付帯品取り外し		1月 □	4月 □	
④	・3号溶融炉本体取付け ・固化セル内の3次元計測による付帯品の取合い位置計測 ・付帯品製作、取り付け			4月 □	4月 □

※上記③及び④は、2号溶融炉の運転状況を踏まえて計画を策定する。

具体的には、設計寿命(ガラス固化体 500 本製造)を目安とし、接液部耐火レンガ及び主電極の腐食状況から、溶融炉更新の判断を行う。また、耐火レンガ、電極類、流下ノズル等、遠隔操作により交換できない部位において、想定外の不具合が生じた場合、溶融炉の更新を行う。

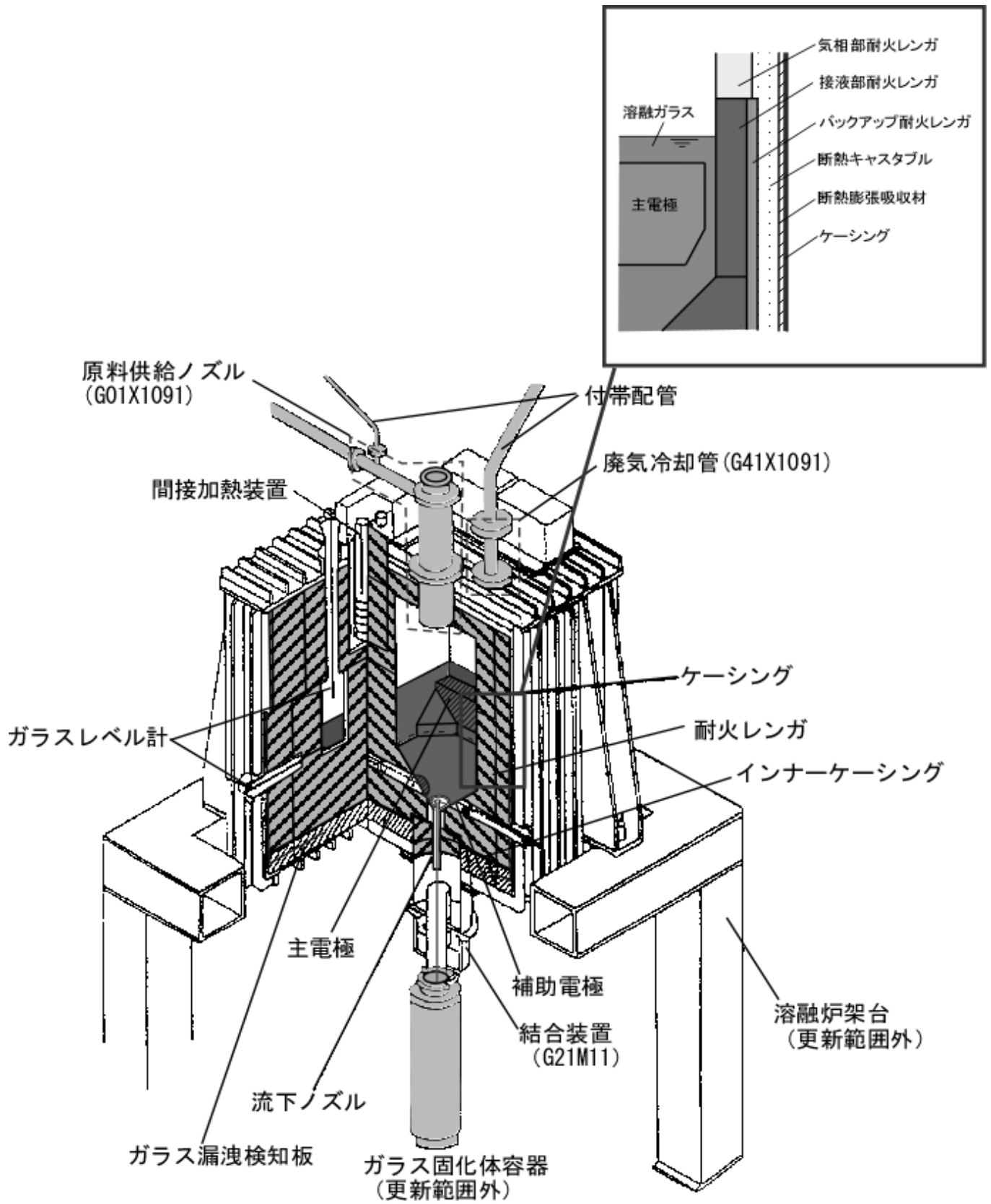


図-1 3号溶融炉 (G21ME10) の構造概要

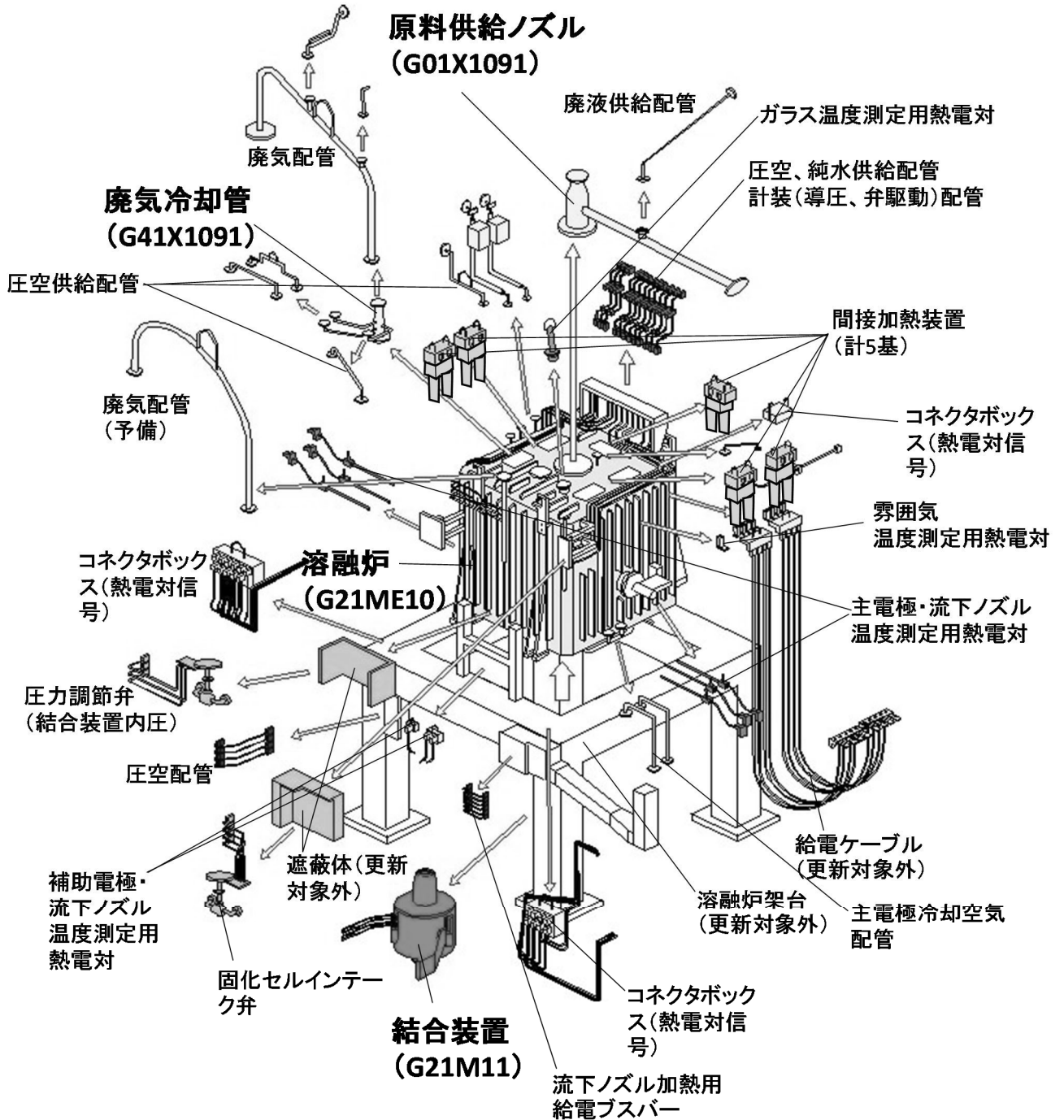


図-2 更新対象概要

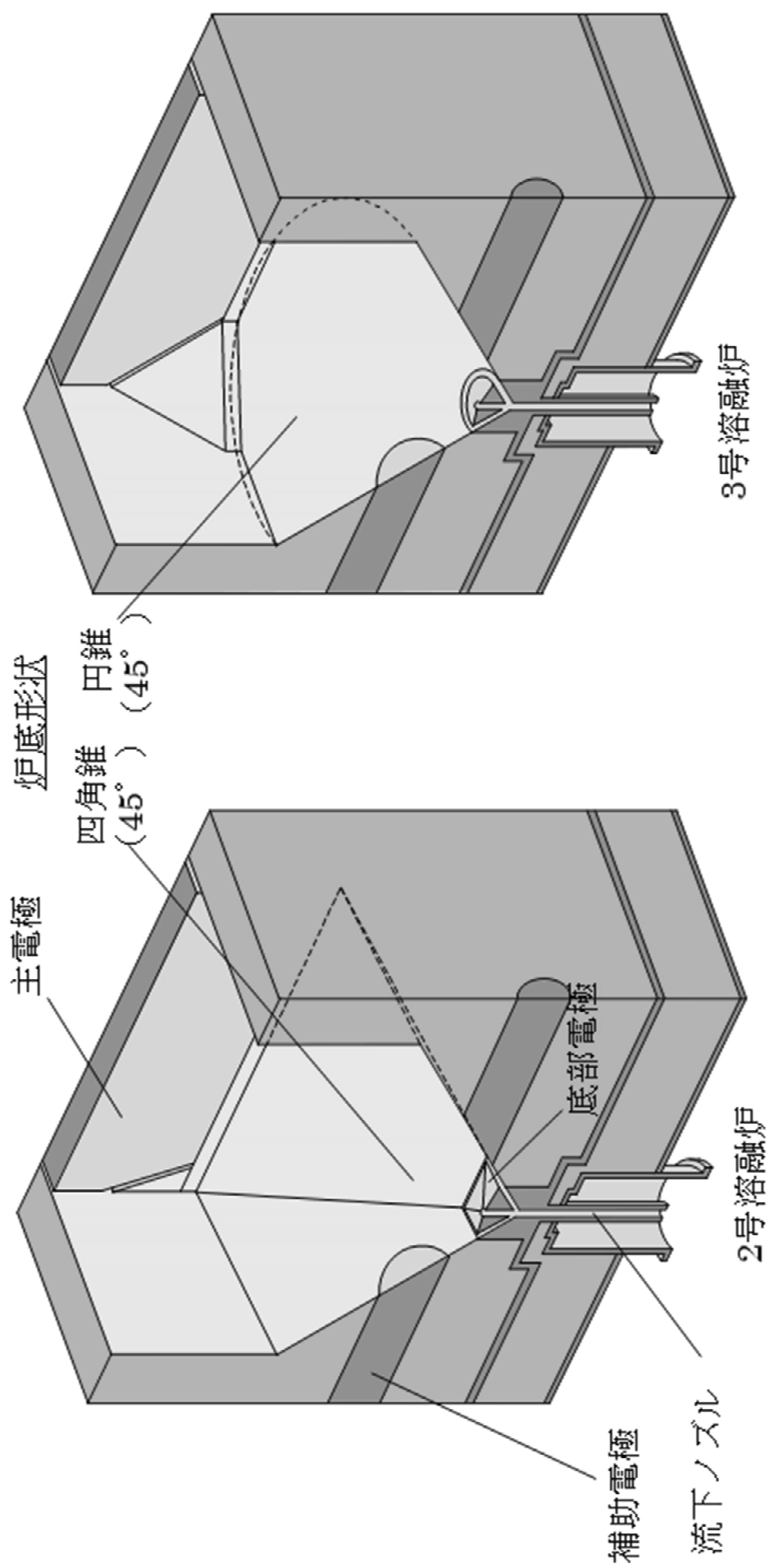
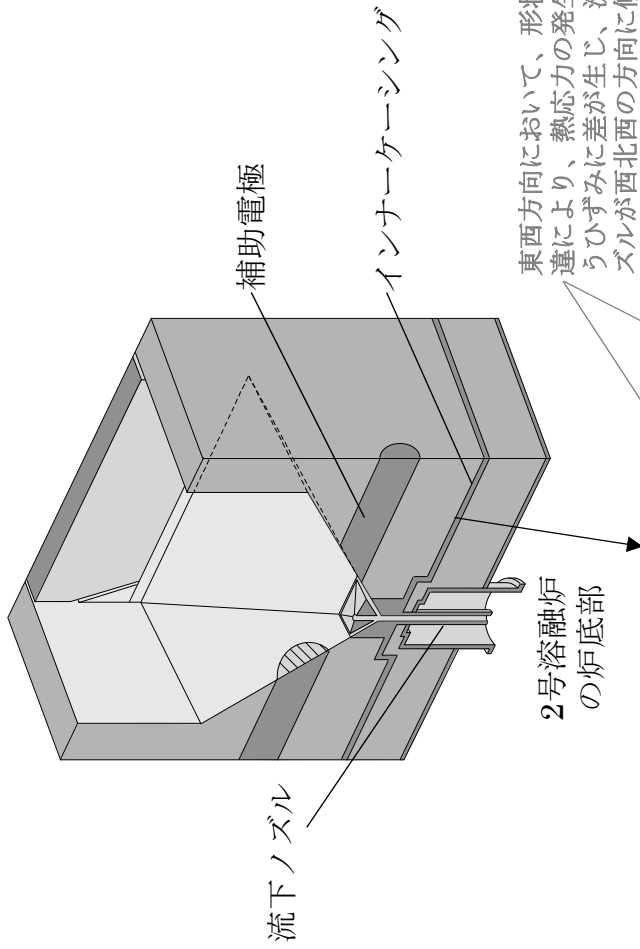
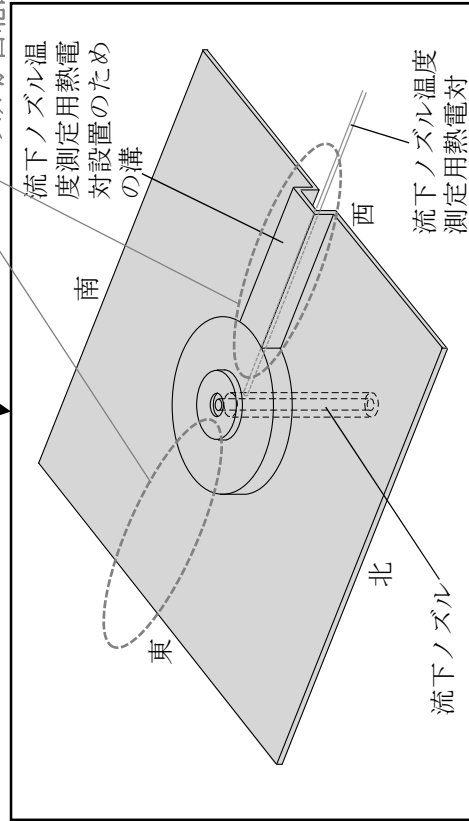


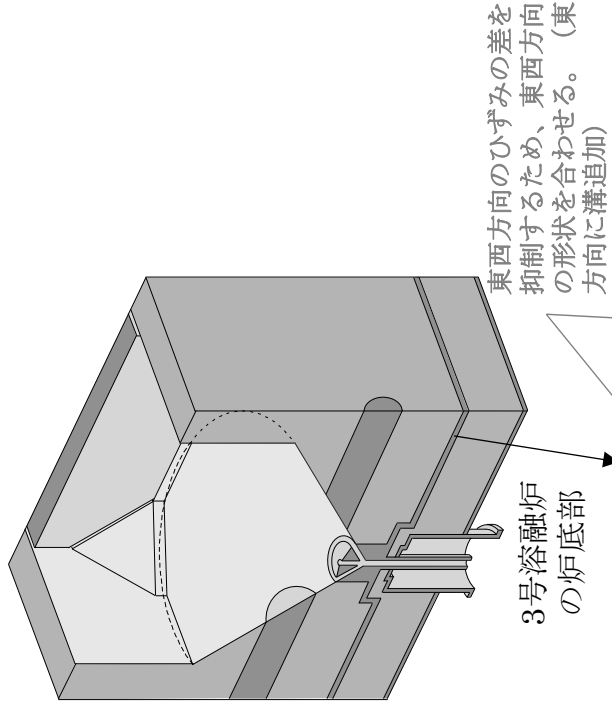
図-3 2号溶融炉と3号溶融炉の炉底形状の比較



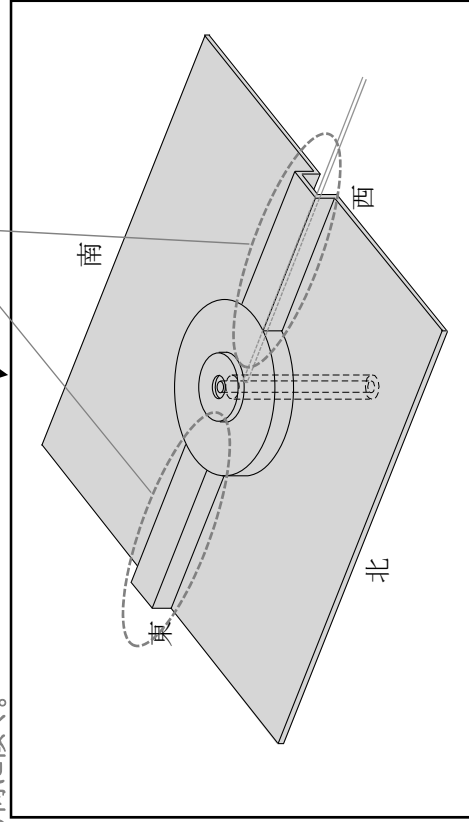
東西方向において、形状の相違により、熱応力の発生に伴うひずみに差が生じ、流下ノズルが西北西の方向に傾く。



流下ノズル温度測定用熱電対設置のための溝
流下ノズル温度測定用熱電対

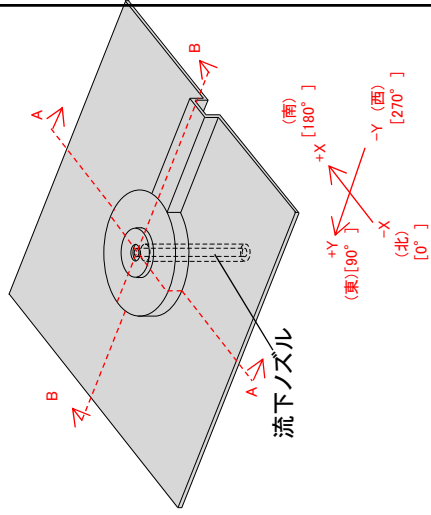


東西方向のひずみの差を抑制するため、東西方向の形状を合わせる。(東西方向に溝追加)

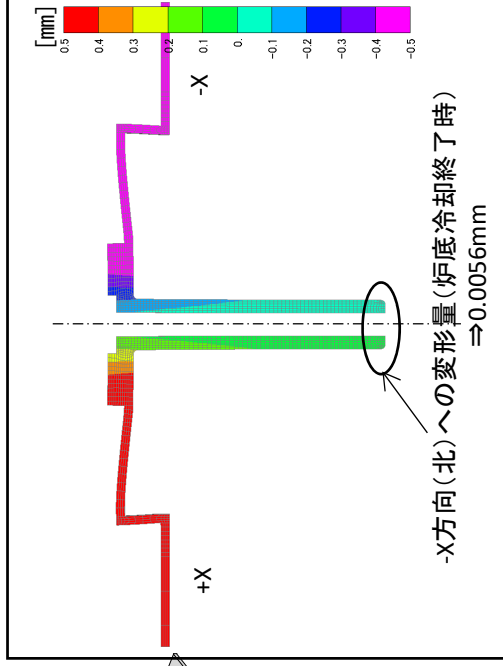


2号溶融炉のインナーケーシング
3号溶融炉のインナーケーシング

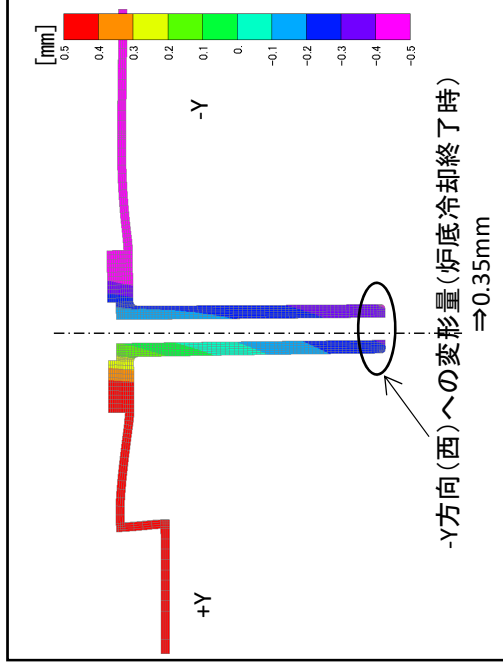
図-4 2号溶融炉と3号溶融炉のインナーケーシング形状の比較



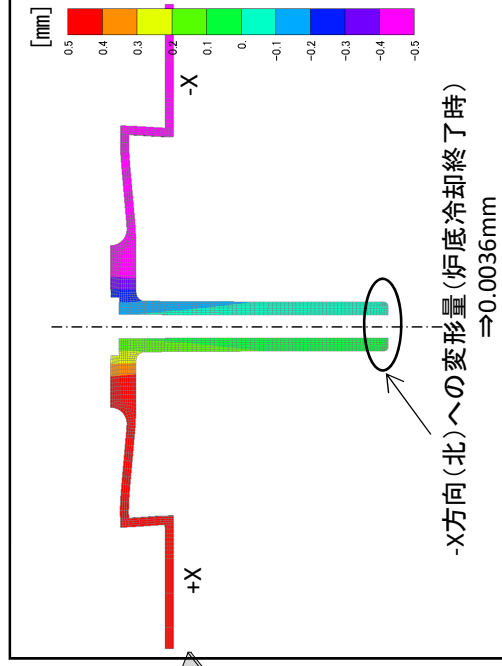
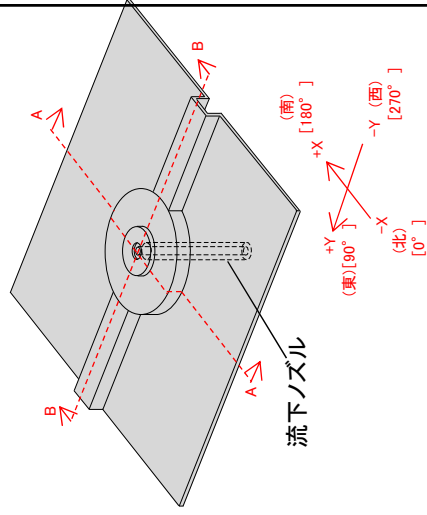
2号溶融炉インナーケーシング



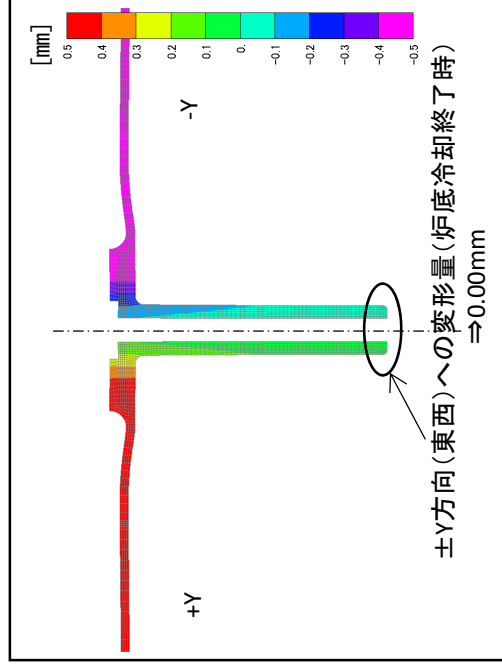
A-A断面の変形量分布



B-B断面の変形量分布



A-A断面の変形量分布

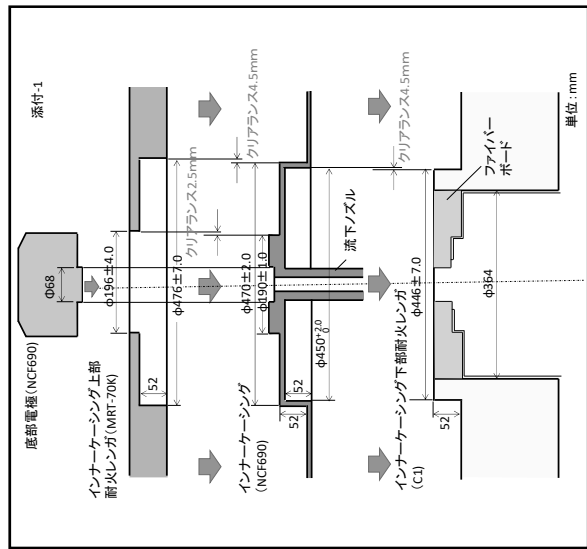
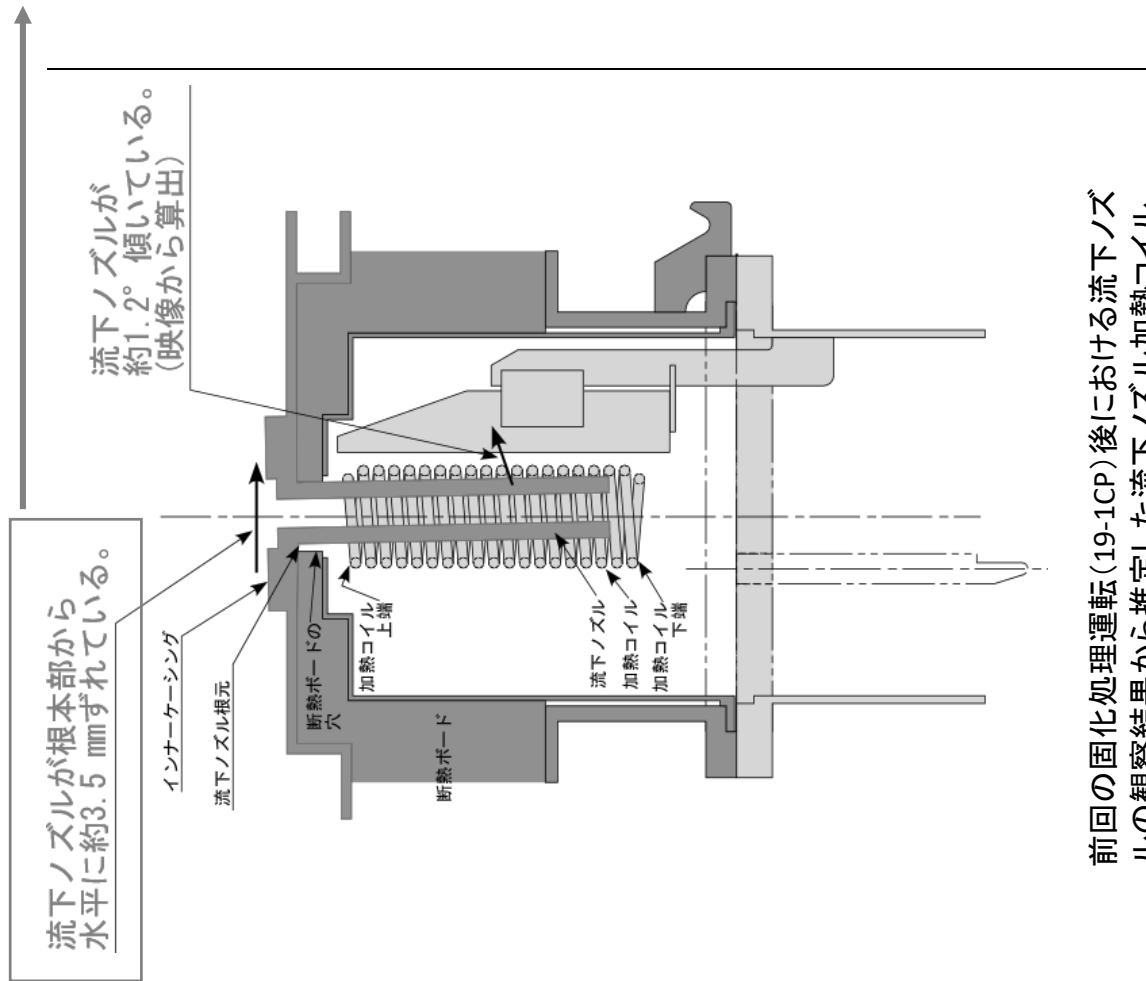


B-B断面の変形量分布

使用解析コード：汎用有限要素解析コード「ABAQUS」

図-5 流下ノズル先端の変形量比較(インナーケーシングの定常熱応力解析結果)

インナーケーシング取付け時に位置ずれが生じないように、インナーケーシング取付け時にインナーケーシングと耐火レンガ間のクリアランスが均等であることを確認する



3号溶融炉の作動試験後、流下ノズルの位置ずれ量を確認し、流下ノズル加熱コイルの位置決めを反映する。

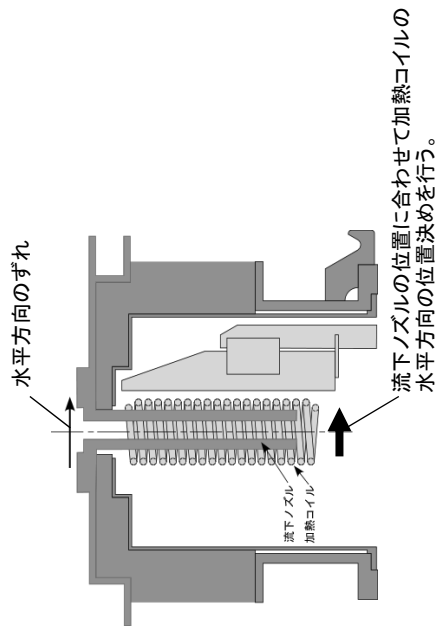


図-6 流下ノズルと加熱コイルのクリアランス確保に係る製作管理

前回の固化処理運転(19-1CP)後における流下ノズルの観察結果から推定した流下ノズル加熱コイルの位置関係(常温時)

発熱体の熱電対2本が断線したユニット内の発熱体2本を電源系統から分離できるよう、遠隔操作によりユニット毎に電源を遮断できる構造とする。

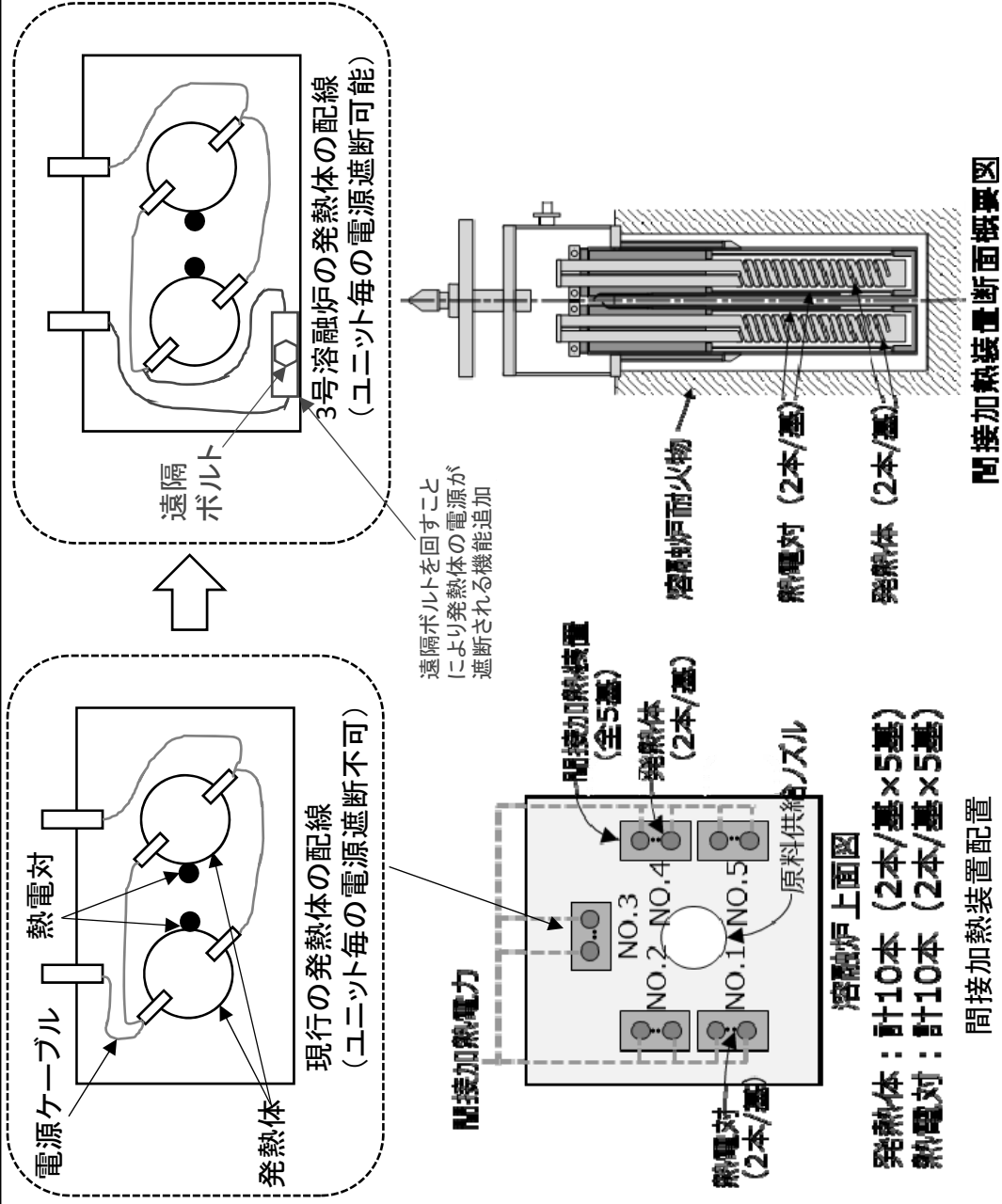


図-7 間接加熱装置発熱体の熱電対断線対策

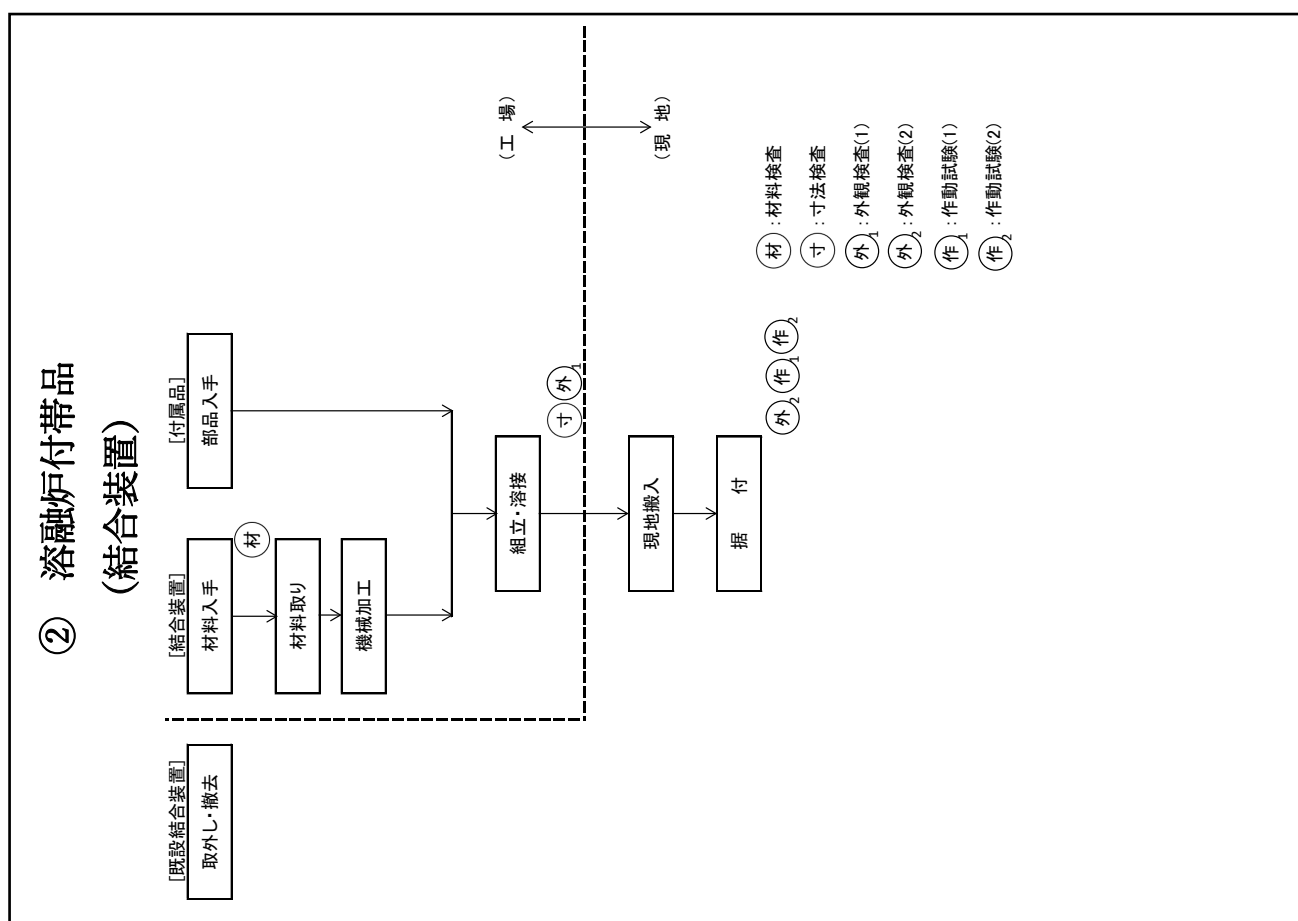
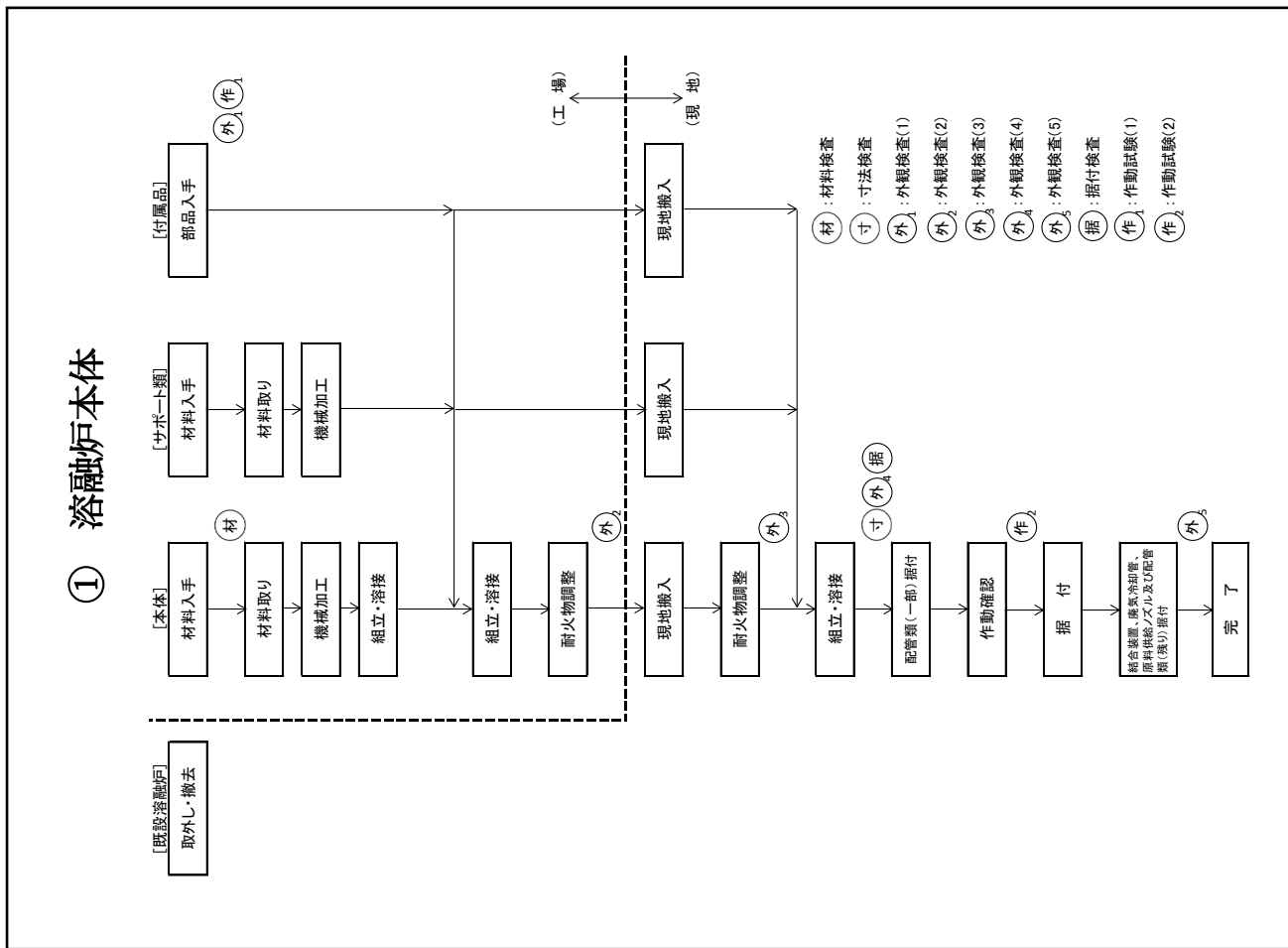


図-8 (1/2) 溶融炉の更新に係る工事フロー案

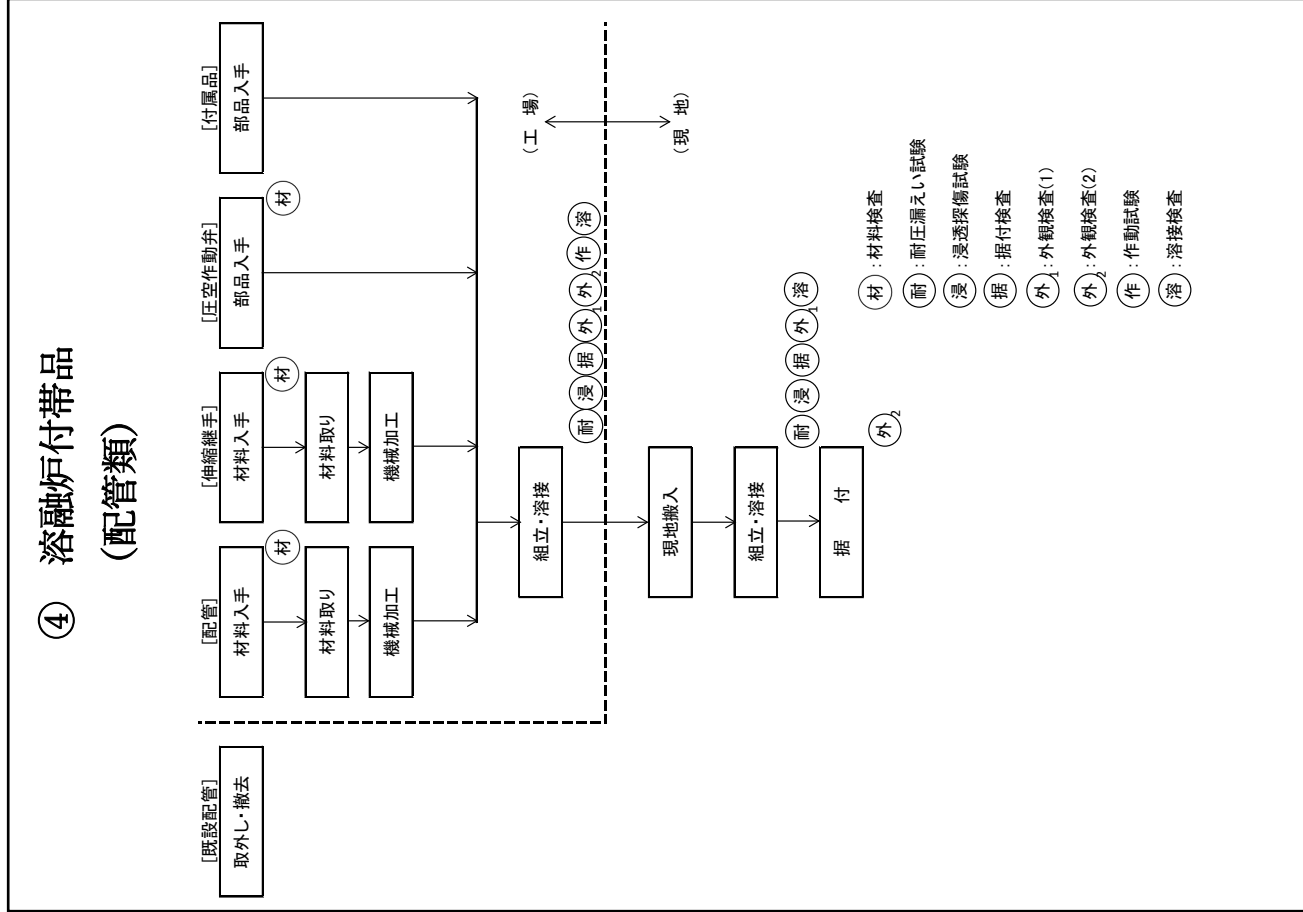
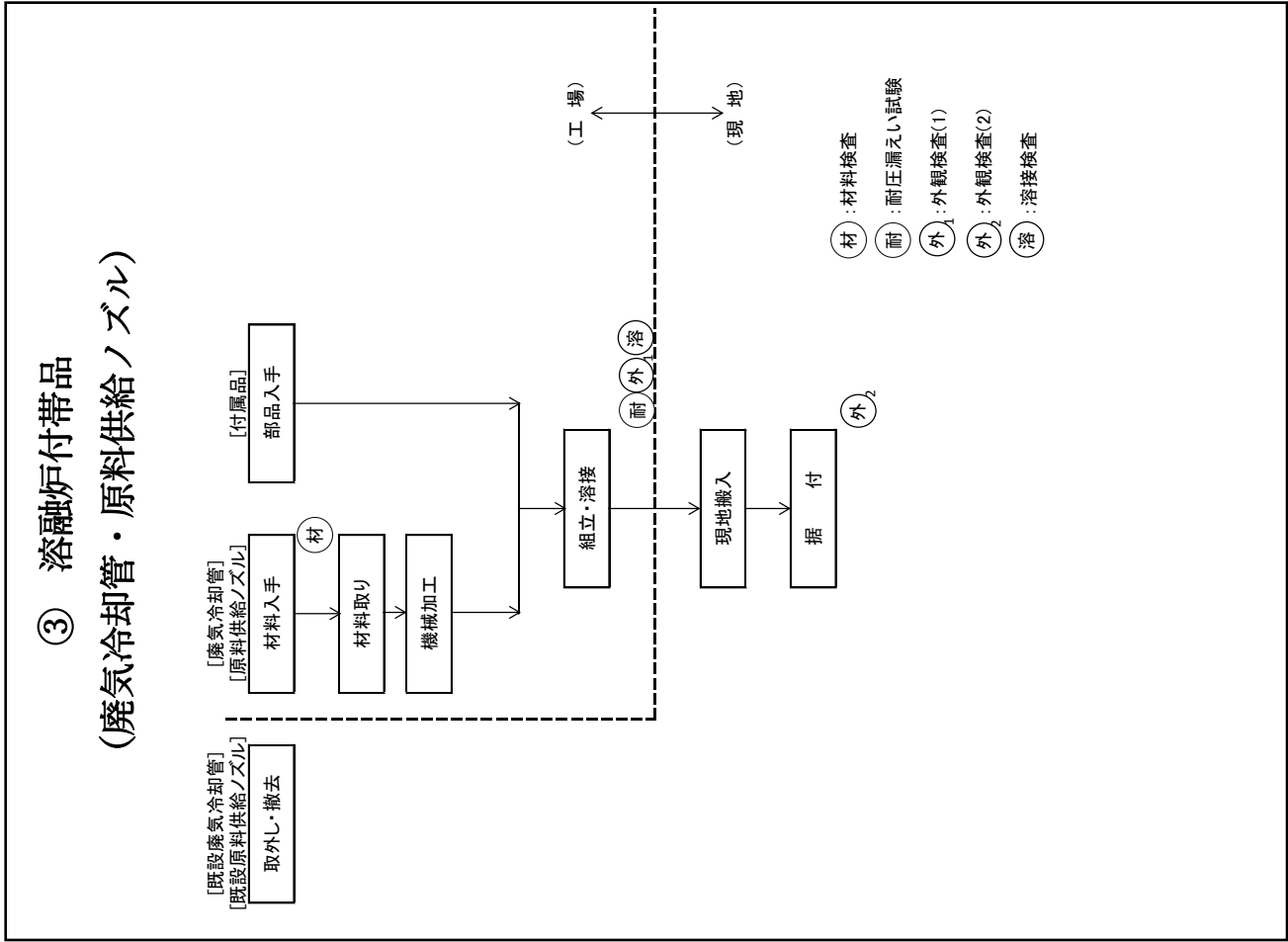
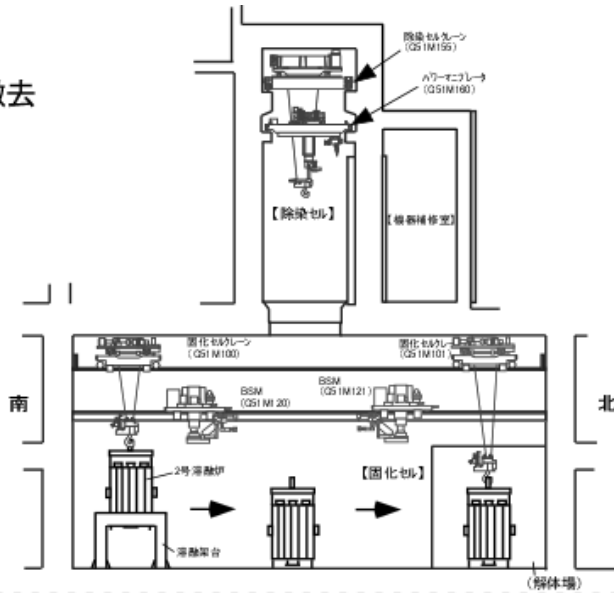


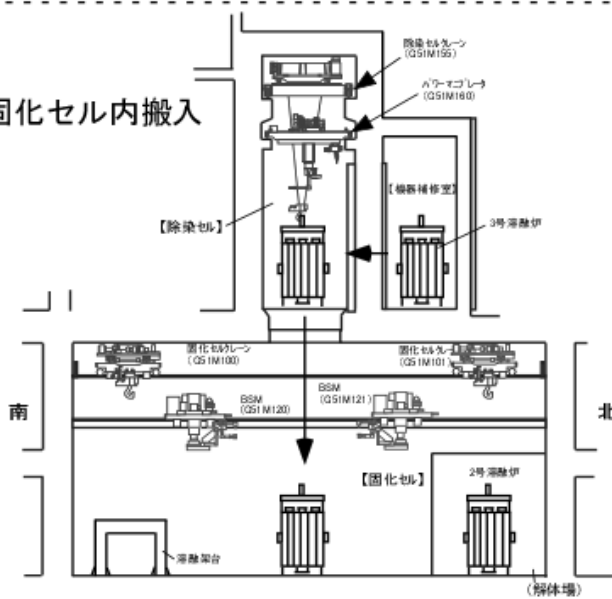
図-8 (2/2) 溶融炉の更新に係る工事フロー案

①2号溶融炉の撤去



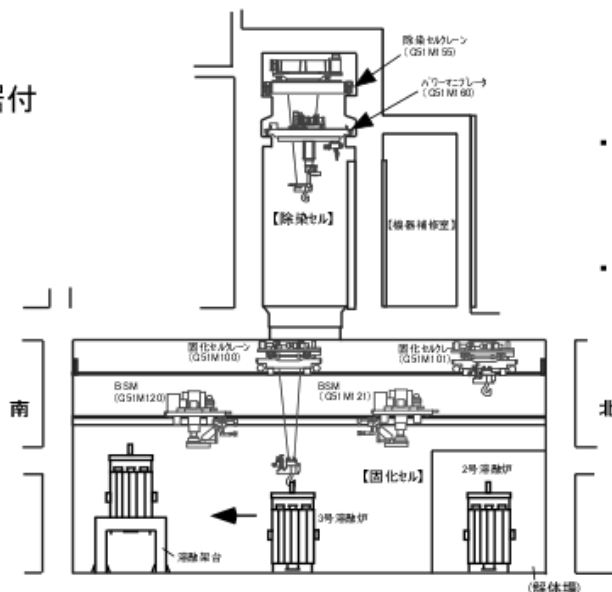
- ・2号溶融炉の付帯品（原料供給ノズル、結合装置等）を取り外した後、固化セルクレーン（G51M100）にて溶融炉架台から2号溶融炉を取り外し、固化セル中央に仮置きする。
- ・固化セルクレーン（G51M101）にて、2号溶融炉を解体場へ移動する。

②3号溶融炉の固化セル内搬入



- ・TVFの管理区域に搬入した3号溶融炉を固化セル上部の除染セルまで移動する。
- ・除染セルクレーンにて3号溶融炉を固化セル内搬入し、固化セル中央に仮置きする。

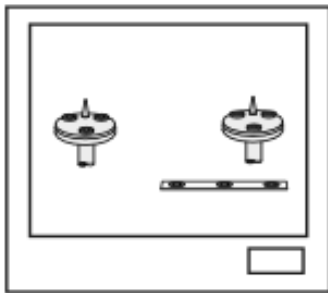
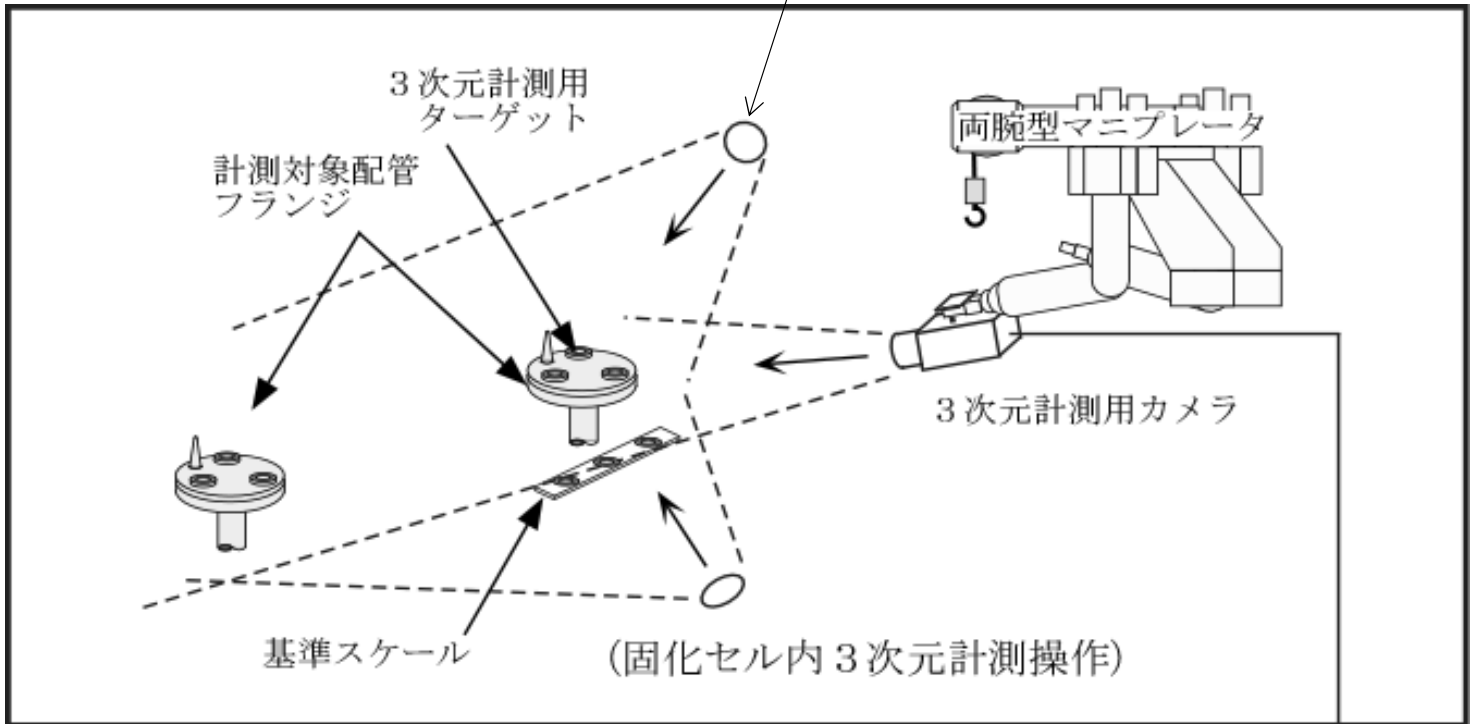
③3号溶融炉の据付



- ・固化セルクレーン（G51M100）にて3号溶融炉を固化セル中央から溶融炉架台まで、据え付ける。
- ・3号溶融炉据付後、3次元計測を行い、計測結果に基づき、原料供給ノズル等の付帯品を製作し、3号溶融炉への据付を行う。

図-9 固化セル内における溶融炉の更新手順

計測精度を高めるため複数の方向から、
ターゲットを撮影



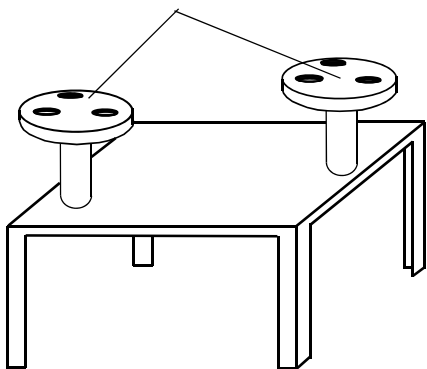
映像データからターゲットの位置座標を算出する。

ターゲットの位置座標より、配管フランジ間の 3 次元的な位置関係（取合い寸法）を算出する。

配管フランジ間の位置関係を再現した型取配管を製作する。

型取配管に取り付けられるように配管を製作する。

配管フランジ間の位置関係を再現



型取配管イメージ

図-10 3次元計測の概要

3.遅延リスクの対応方策の検討 (3) 溶融炉更新 (3/3)

添付-1

平成29年11月10日
第16回 東海再処理施設等
安全監視チーム 会合資料より抜粋、加筆

【溶融炉更新の見直し結果】

・3号溶融炉の炉底構造の変更

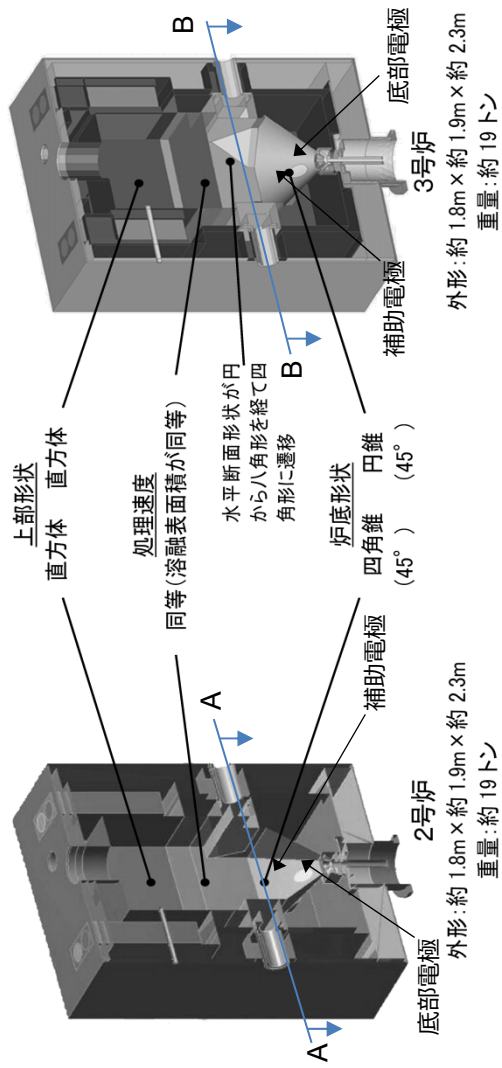
○溶融炉更新について、3号溶融炉は2号溶融炉とほぼ同じ基本構造とし、炉底形状については国内外の実績や最新の技術情報等を踏まえて円錐45度形状（左下图参照）とした。

○再検討の結果、信頼性向上が見込めることを確認した。

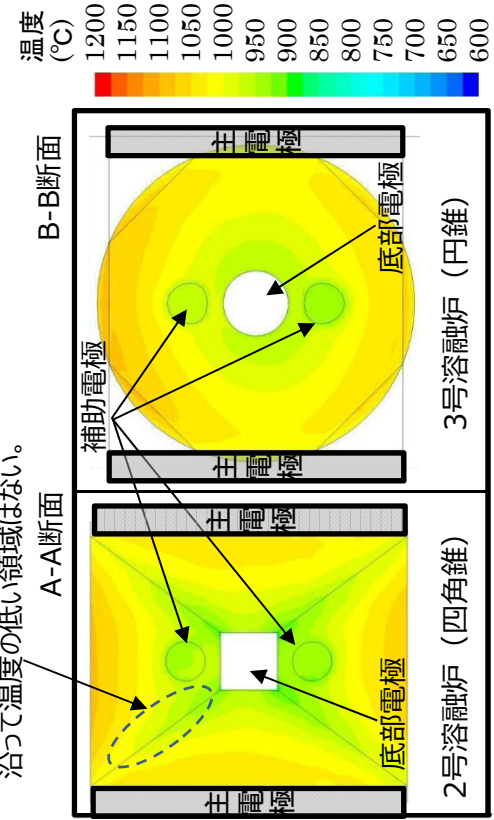
○溶融炉の運転解析コードにより以下を確認した。

- ・選定した円錐45度炉底形状では、2号溶融炉と同様の運転パターンで炉底低温運転が適用できる。
- ・2号溶融炉では谷部に沿って温度の低い（ガラスの粘性の高い＝流動が小さくガラスが残留しやすい）領域が生じるのに対し、3号溶融炉では円錐形状であり谷部が無いためガラスが残留しやすい箇所はなかった（右下図参照）。

➤ ガラスが残留しやすい場所はなかった。



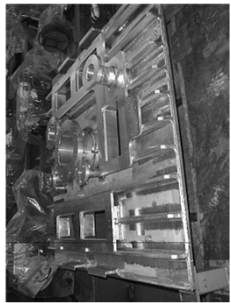
3号溶融炉の基本構造（2号溶融炉との比較）



2号溶融炉は傾斜面の谷部に沿って温度の低い領域が生じる（＝粘性の高い）。3号溶融炉は谷部がないため、傾斜面に沿って温度の低い領域はない。

ガラス流下時（約100kg流下時）の炉底傾斜面上の温度分布

溶融炉ケーシングの製作状況



溶融炉天板



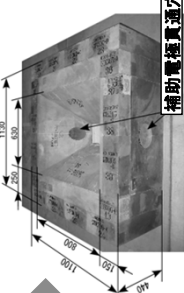
溶融炉本体

材質：SUS304
2600
1900
1870
1070

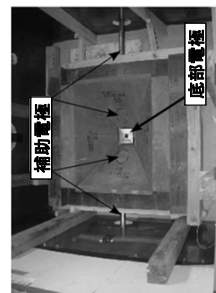
溶融炉の築炉(メーカー工場)



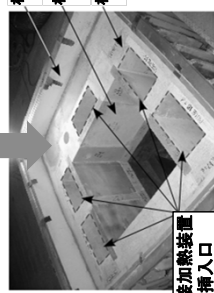
接液部耐火レンガの組立前検査(外観、材料確認等)



接液部耐火レンガの仮組確認(炉底部)
*材質：K31レンガ(アルミナ・クロミア質)
補助電機通穴



溶融炉ケーシング内への接液部耐火レンガ据付(炉底部位置合せ)



溶融炉ケーシング内への耐火レンガ据付(気相部仕上げ)

材質：セラミックファイバ(シリカ・アルミナ質)
材質：DO-N(酸化珪素結合炭化珪素質)
材質：AZ-GS(アルミナ・ジルコニア質)

溶融炉のモックアップ試験棟への搬入



溶融炉架台の設置



トローラから溶融炉の吊上げ



溶融炉の搬入



架台への溶融炉据付

溶融炉の築炉(モックアップ試験棟)



気相部耐火レンガの据付



気相部耐火レンガの据付



断熱キャスタブルの施工



断熱膨張吸収材の施工

溶融炉作動試験設備



ガラスカレット投入ホッパー(試験用)



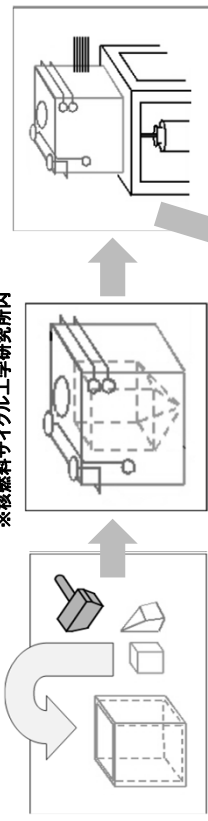
カートリッジ投入器(試験用)

溶融炉及び操作架台

最終組立(モックアップ試験棟※)
※核燃料サイクル工学研究所内

中間組立(メーカー工場)

作動試験(モックアップ試験棟)



TVFへの溶融炉搬入



TVFへの溶融炉搬入(1)



TVFへの溶融炉搬入(2)

溶融炉更新工程の概要

2号溶融炉据付(TVF固化セル)

1号溶融炉撤去(TVF固化セル)

