

ガラス固化技術開発施設(TVFF)における 固化処理状況について

－漏れ電流発生の今後の対応－

令和元年12月25日

日本原子力研究開発機構(JAEA)



1. はじめに

- 廃止措置段階に移行した東海再処理施設が保有しているリスクを早期に低減していくため、**高放射性廃液のガラス固化処理の早期再開の重要性を強く認識し、運転再開に向けて3ケースの対策を原因調査と並行して進めている。**
 - ケース1: 既設設備を用いた流下ノズルと加熱コイル間のクリアランス確保(1月に成立性判断)
 - ケース2: 結合装置(加熱コイル含む)の製作/更新
 - ケース3: 3号溶融炉の製作/更新
- 対策の確実性があり長期的な対策となり得る結合装置の更新(ケース2)工程の短縮化についてメーカーと協議し、材料手配や遠隔接手(ジャンパ管)製作の前倒しにより、製作工程を**約5.5ヶ月前倒した**。今後メーカーから提示される各項目の詳細工程の精査等により、**可能な限り工程短縮を図るべく検討を継続する。**
- 3号溶融炉については、原因調査の結果を踏まえ、対策の詳細を(流下ノズルが取り付けられているインナーケーシングの構造、加熱コイルの組立時期等)を検討するとともに、**製作工程の一次ドラフトを取りまとめた**。更に、材料手配の前倒しや、今後メーカーから提示される各項目の詳細工程の精査等により、**可能な限り工程短縮を図るべく検討を継続する。**

2. 流下停止事象の概要

令和元年11月28日第35回東海再処理
施設安全監視チーム会合資料に加筆

- ガラス固化技術開発施設(TVF)の溶融炉の流下ノズル加熱装置において、流下中に漏電リレーが作動し流下が停止した事象に対して、原因調査と並行して対策を進めている(別添資料1参照)。
- これまでの調査から、流下ノズルに傾きを生じ、加熱コイルと接触することにより、漏電リレーが作動したと推定した。
- 再流下に向けた対策については、調査状況を踏まえて、既存の流下ノズル及び加熱コイルを用いたケース(ケース1)、加熱コイルのみを交換するケース(ケース2)、流下ノズル及び加熱コイルを交換(新規の3号溶融炉へ更新)するケース(ケース3)を早期のリスク低減のため並行して進めている。

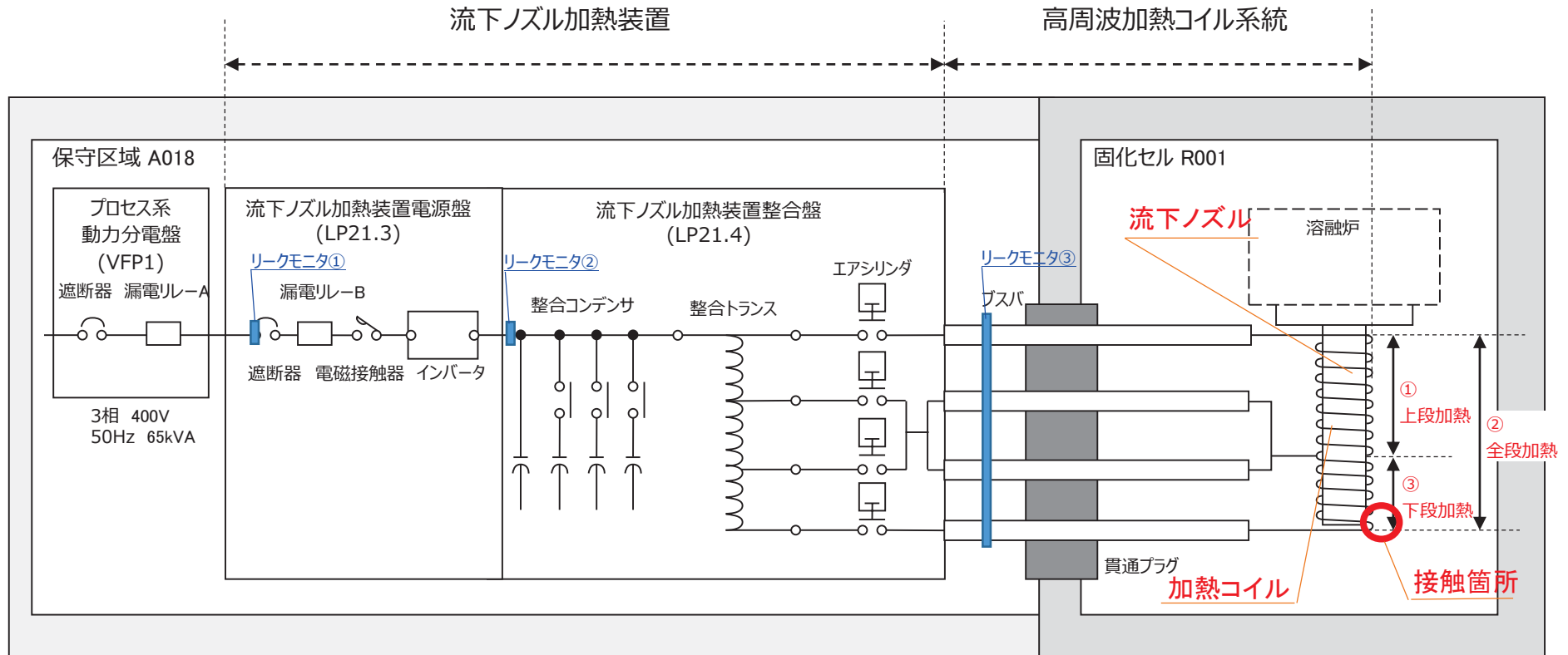


図. 加熱コイル給電系統



3. 漏れ電流発生の原因調査状況 - 概要 -

➤ 漏電リレー作動の原因

- これまでの原因調査から、全段加熱時に熱膨張により寸法が変化する固化セル内の部位は流下ノズル以外になく、流下ノズルと加熱コイルが接触して漏れ電流が発生したと判断した(参考資料23頁参照:第35回会合で報告)。

➤ 流下ノズルの傾きのメカニズム

- 流下ノズルと加熱コイルの接触は、流下ノズルが取り付けられているインナーケーシングが溶融炉の運転に伴う加熱及び冷却により塑性ひずみを生じて、流下ノズルに傾きを生じたことによるものと推定した(参考資料28-29頁参照:第35回会合で報告)。
- 流下ノズルと加熱コイルの設計上のクリアランス(約10mm)に対し、流下ノズルのずれ(西北西方向に約3.5 mm※)と、流下ノズルの傾き(西北西方向に約6 mm※)に加え、流下ノズルの加熱による熱膨張(径方向:約0.5 mm、軸方向:約6.8 mm)により、流下ノズルが加熱コイルに接触したものと判断した(参考資料24-25頁参照:第35回会合で報告)。

※ 溶融炉の運転を停止した状態(冷態時)での観察結果。

- なお、流下ノズルのずれ(西北西方向に約3.5 mm)は、インナーケーシングと耐火レンガのクリアランス(最大約5 mm)内であり(7頁参照)、インナーケーシングのずれと流下ノズルの傾きに因果関係はないと考えている。

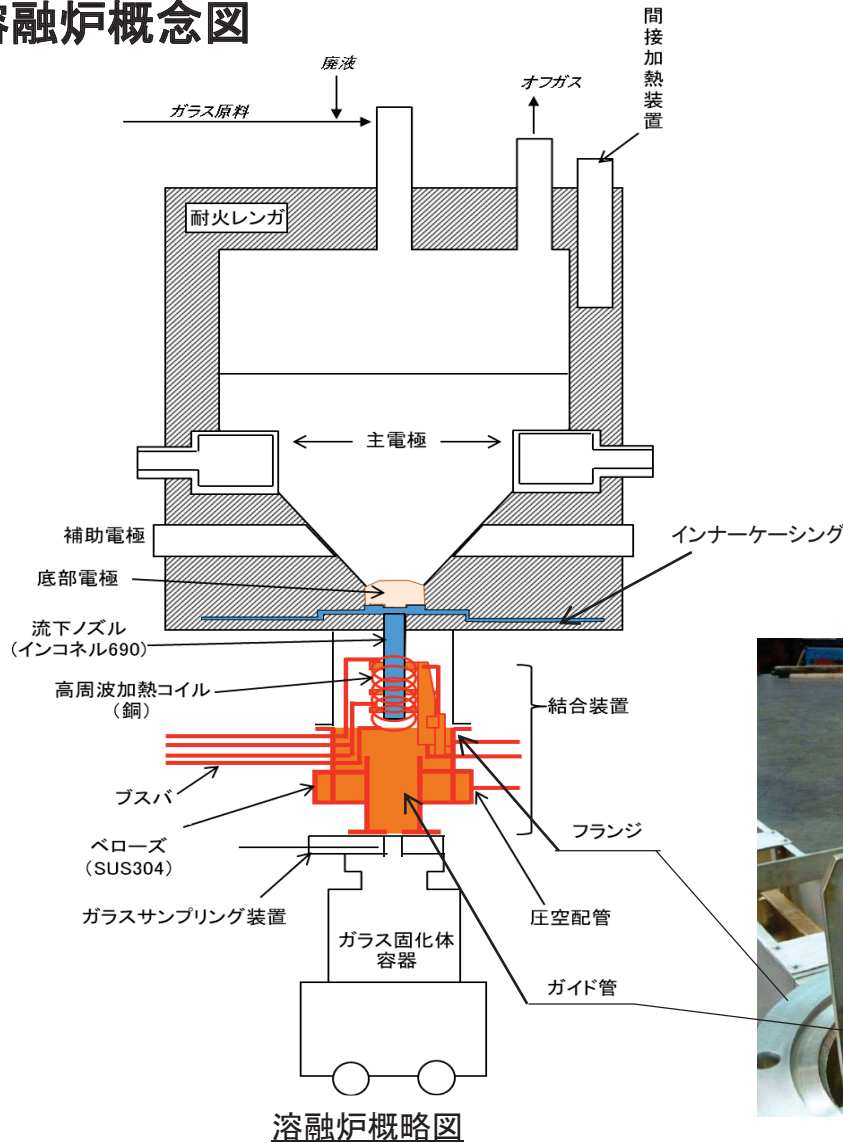
➤ 流下ノズルの傾きの傾向

- 流下ノズルの変位の推移について、流下開始時の流下ノズル映像を基に評価(画像解析)した。その結果、流下ノズルの変位の進展傾向は、約150バッチ目(2号溶融炉におけるホットでの固化体製造約20バッチ目に相当)の流下以降、運転の経過に伴い一定の割合で変位が蓄積されていることが分かった(9頁参照)。
- 現在、非定常解析により、流下ノズルの変位の進展傾向のメカニズムを確認している(実施中)。

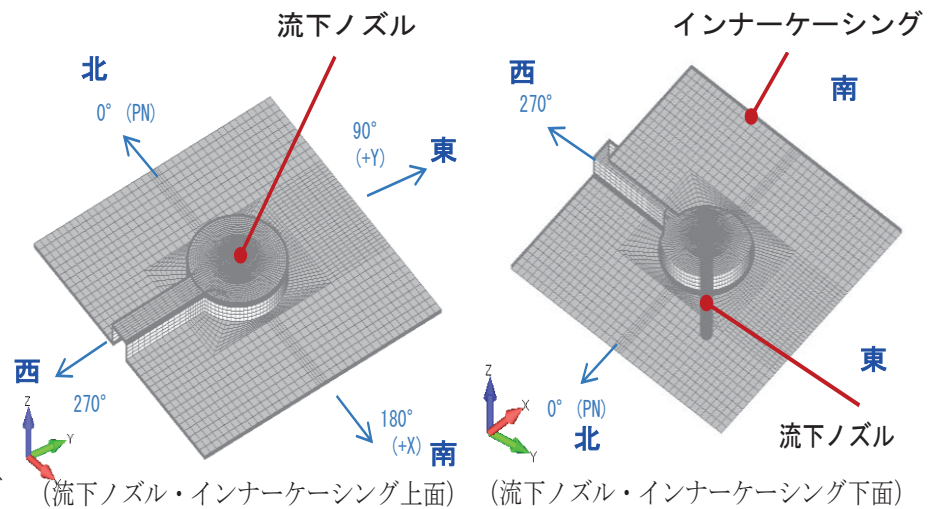
3. 漏れ電流発生の原因調査状況 - 溶融炉の概念図 -

令和元年11月28日第35回東海再処理
施設安全監視チーム会合資料

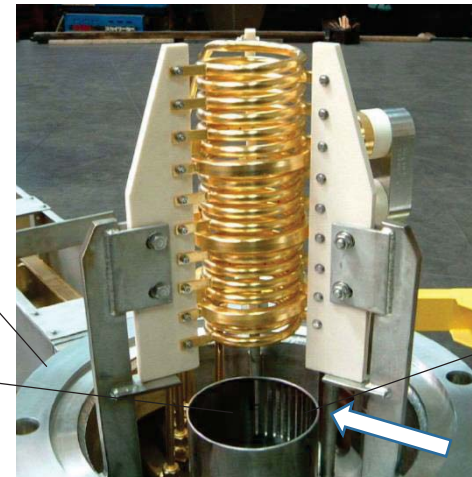
溶融炉概念図



溶融炉概略図



流下ノズル・インナーケーシング 3Dモデル図



結合装置写真

ガイド管スリット
流下監視カメラの向き (北西方向から)

- 流下ノズルの傾き(定常解析結果)について -

流下ノズルが傾くメカニズム

- ▶ 流下中、インナーケーシングが熱膨張し、A部に塑性ひずみが生じる。
- ▶ 流下後の炉底冷却時、インナーケーシングが熱収縮し、塑性ひずみを生じたA部が流下ノズル上部を斜め下方方向に押すことにより、流下ノズルが270°方向に傾く。

【通常時の流下操作の概要】

- ① 流下の準備操作として、上段加熱により、流下ノズル上部を高周波加熱する。



流下開始時は、流下ノズルの加熱を全段加熱に切り替え、流下ノズル全体を高周波加熱する。



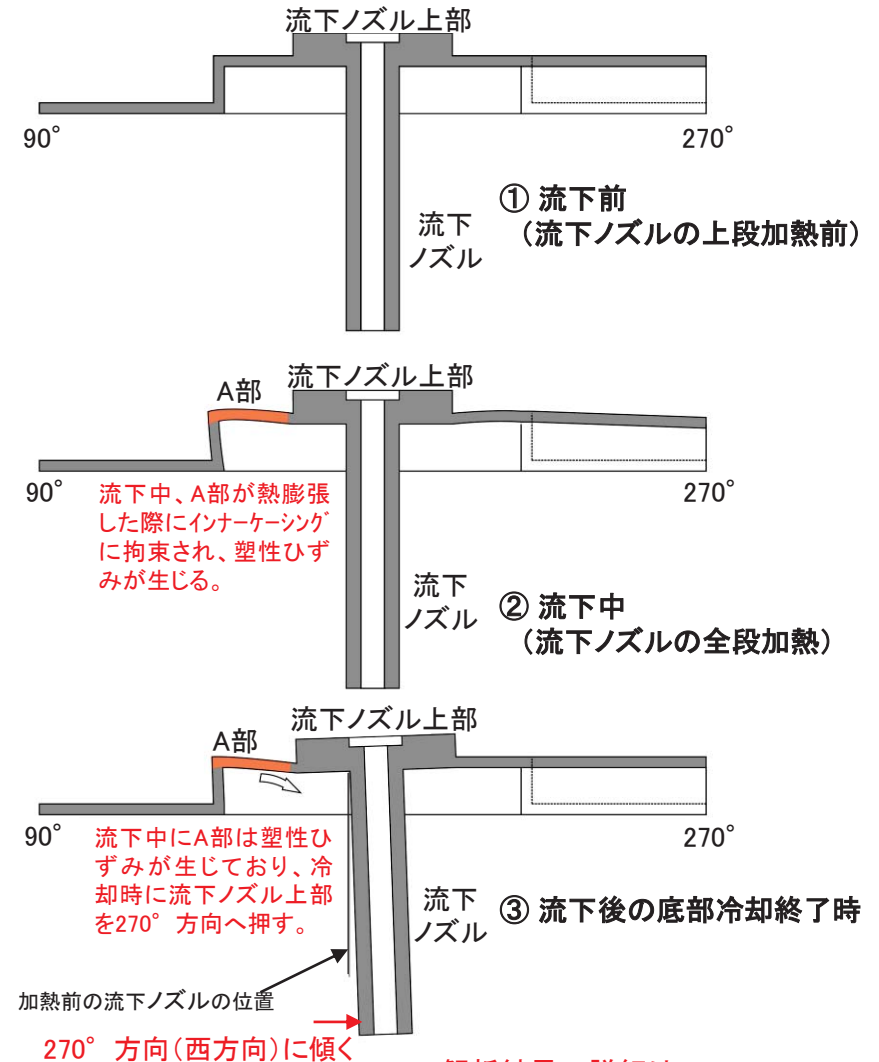
- ② 流下中は、全段加熱を継続する。
流下ノズルの温度は、約1000℃(根元部:約820℃)に達する。



流下停止は、流下ノズルの冷却(エア吹付け)及び高周波加熱の停止により行う。



- ③ 流下ノズルへの冷却エア吹付け終了後、底部電極にエアを通気し、炉底部の冷却(炉底低温運転へ早期に移行するための操作)を行う。



解析結果の詳細は、
参考資料28-29頁参照

流下ノズルが傾くメカニズム(イメージ図)



3. 漏れ電流発生の原因調査状況 - 流下ノズル(インナーケーシング)のずれについて -

(1) インナーケーシングと耐火レンガのクリアランス

➤ 構造

- インナーケーシングは、溶融炉の築炉時に耐火レンガ(C1)上に載せた後、その中央の上部に底部電極を載せ、その周りに耐火レンガ(MRT70K)を配置している。

➤ クリアランス

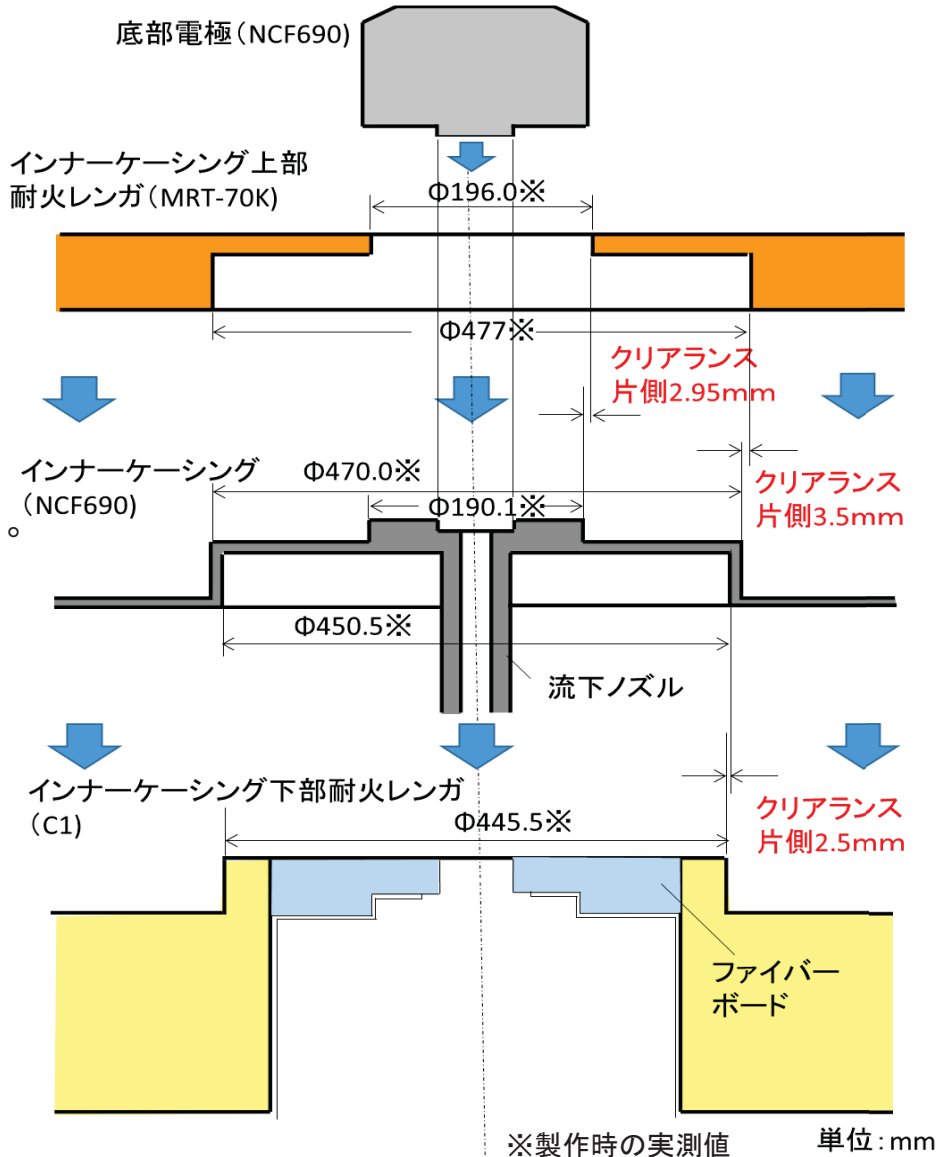
- インナーケーシングは、上部及び下部の耐火レンガ(上部:MRT-70K、下部:C1)に対して、設計上の芯位置に対して水平方向に片側約2.5mmのクリアランスを有している(築炉時芯がずれていれば最大5mm)。

(2) インナーケーシングのずれ

- 流下ノズルの設計上の芯位置に対するずれが約3.5mm(西北西方向)※(観察結果:参考資料24-25頁参照)。
※ 溶融炉の運転を停止した状態(冷態時)での観察結果。
- なお、2号溶融炉の築炉時の施工記録が残っておらず、実際据付誤差がどの程度あったか確認できない。



- 2号溶融炉においては、インナーケーシングの据付誤差等の管理が出来ていなかった。
- 今回の事象を踏まえ、3号溶融炉の製作においては、インナーケーシングの据付誤差等の管理を行う。



インナーケーシングと耐火レンガ等との取り合い状態 7



3. 漏れ電流発生の原因調査状況 - 画像解析結果について -

(1) 前回会合までの画像解析の状況(前回会合で報告)

- 2号溶融炉では、187本(131～317バッチ)のガラス固化体を製造しており、全ての流下操作について、流下開始から終了までの間、流下ノズル先端部周りの映像を記録している。この流下開始時の映像を基に流下ノズル先端の変位を画像解析により確認した(画像解析の詳細は、参考資料26-27頁参照)。
- 画像解析は、流下開始時の映像を約10バッチ間隔で抽出して実施した。その結果、約200バッチ以降(2号溶融炉での固化体製造約70バッチに相当)、変位のバラツキが大きいことを確認した。

(2) バラツキの要因

- 次の観点から流下ノズルの変位のバラツキの要因を検討した。
 - 画像解析ソフトにより自動検出した流下ノズル位置に誤りはないか(約200バッチ以降、ITVカメラの放射線劣化により、映像がぼやけている)。
 - 流下操作等の違いによる影響はないか。

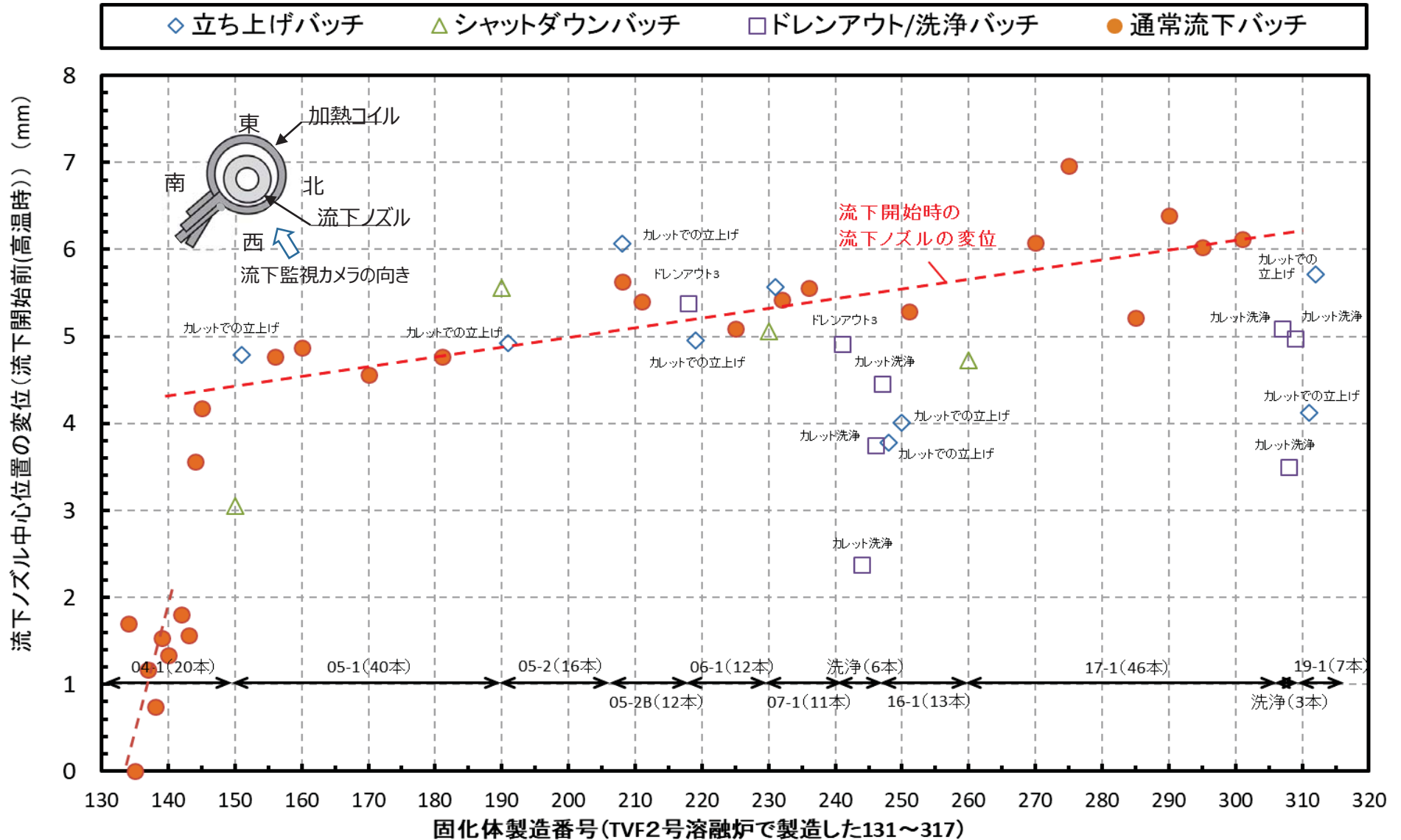
【TVF2号溶融炉の流下操作パターン】

- ① 通常流下バッチ : 炉底冷却 → 炉底低温運転 → 炉底加熱 → 流下
 - ② 立ち上げバッチ : 間接加熱装置によるガラスの溶融 → 炉底低温運転 → 炉底加熱 → 流下
 - ③ シャットダウンバッチ : ガラス溶融時間長(約+12時間)/ガラス上部温度低 → 炉底加熱 → 流下
 - ④ ドレンアウト/洗浄バッチ: ガラス温度を高温のまま維持 → 炉底加熱 → 流下
- 確認の結果、洗浄バッチやカレットでの立ち上げバッチでは、流下ノズルの変位が小さくなる傾向がみられた。(9頁参照)。



- 通常流下バッチのみの映像を抽出し、画像解析を実施した。この結果、約200バッチ以降のバラツキを抑えられることを確認した(±約2.5 mm → ±約1 mm)。
- この結果から、150バッチ以降の流下ノズルの変位の進展傾向は、約1 mm/100本と推定した。

3. 漏れ電流発生の原因調査状況 - 画像解析結果について -



流下ノズルの変位の進展傾向(流下開始前(高温時))



3. 漏れ電流発生の原因調査状況 - 原因調査結果の反映 -

定常解析により、流下ノズルに傾きが生じるメカニズムを推定した(6頁参照)。

画像解析により、これまでの流下ノズルの傾きの進展傾向を把握した(9頁参照)。

非定常解析により今後の進展を定量的に評価可能か

Yes

非定常解析により、今後の進展性を評価する。

No

解析条件となる既知の温度履歴は流下ノズル付け根部の温度測定値のみであり、温度分布は流下ノズル温度測定値を境界条件とした熱伝導解析により算出していることから、傾きの定量的な値は、実際の現象とは一致しないと考ええる。

○ 時間依存の現象であるクリープ、応力緩和の状況を解析することで、応力の分類(荷重制御型応力、又は変位制御型応力)を行い、これまでの流下ノズルの傾きの進展傾向のメカニズムを評価する。

○ 傾きの進展の定量値は、画像解析結果から評価する。



4. 対策の状況 - 概要 -

令和元年11月6日第34回東海再処理施設安全監視チーム会合資料に加筆

- ✓ 流下停止の原因は、流下ノズルと加熱コイルの接触によるものと判断しており、早期のリスク低減のため、ケース1～3の対策を原因調査と並行して最速で進めている(別添資料2参照)。
- ✓ ケース2は、ケース1の採否に係らず、並行して最短で進める。また、ケース3は、ケース1及びケース2の採否に係らず最短で進め、更新に向けて早期に準備する。

| 対策ケース | メリット | デメリット |
|---|---|---|
| 【ケース1】 流下ノズルと加熱コイル間のクリアランス確保(傾斜パッキンによる調整) ・溶融炉:継続使用 ・加熱コイル:継続使用 | ・最短で運転できる可能性がある。 | ・傾斜パッキンを用いて加熱コイルを傾かせることで、流下ノズルと加熱コイル間のクリアランスを確保できるか否か成立性を要検討。 ・仮に成立しても確保可能なクリアランスは小さく、長期対策とならない可能性が高い。 |
| 【ケース2】 結合装置(加熱コイルを含む)の製作/交換 ・溶融炉:継続使用 ・加熱コイル:新規 | ・流下ノズルの芯ずれや傾きを踏まえた加熱コイルの製作が可能となる。 ・一定程度のクリアランスを確保できる確実性があり、長期対策となりえる可能性が高い。(当初予定通り2号溶融炉で約180本製造可能) | ・結合装置を新たに製作することから、運転再開までに時間を要する。 |
| 【ケース3】 新規溶融炉(3号溶融炉)の製作/交換 ・溶融炉:新規 ・加熱コイル:新規 | ・流下ノズル部を含めた溶融炉全体を製作/交換することから、流下ノズルの傾き等に対する対策を打つことが可能となる。 | ・溶融炉を新たに製作することから、ケース2よりも運転再開までにさらに時間を要する。 ・2号溶融炉を使用せず、ケース3のみで対応した場合、溶融炉の設計寿命(500本製造)を踏まえると、さらに4号溶融炉が必要となる。 |



4. 対策の状況

- ケース1及びケース1' について(1/2) -

【ケース1】 流下ノズルと加熱コイル間のクリアランス確保(傾斜パッキン等による調整※)

(1) 対策の詳細

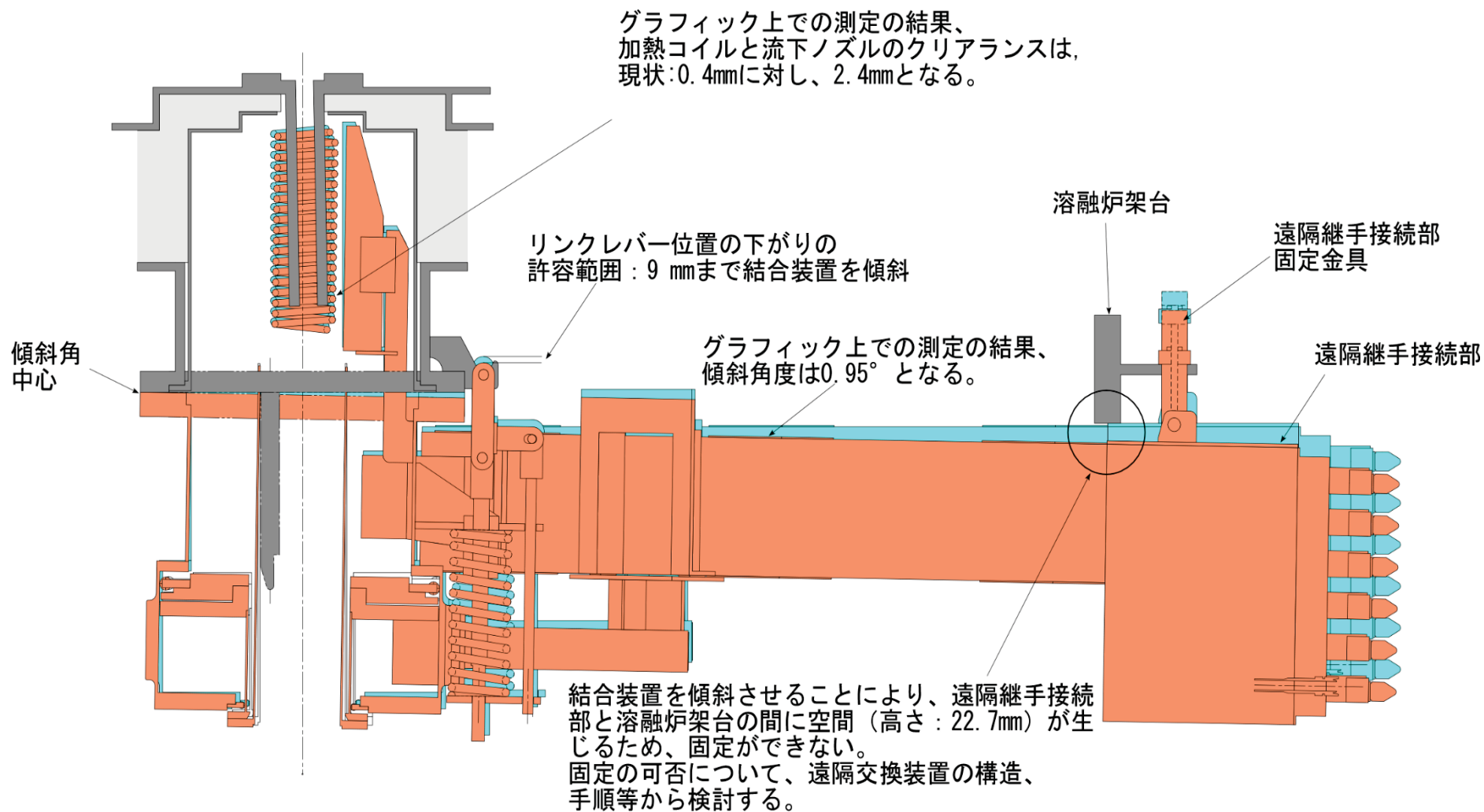
- ・ 溶融炉と結合装置のフランジ間に傾斜パッキンを挟み、流下ノズルの傾きを踏まえて結合装置(加熱コイルを含む)全体を傾けることにより、クリアランスを確保する。
- ・ 流下ノズルと加熱コイルの位置関係に関する詳細観察等を踏まえ、**段階的にその成立性を判断**する。

(2) 工程

- ・ **ケース1及びケース1' について**、図面等により流下ノズルと加熱コイルのクリアランス確保は、課題が多く、**適用は難しい見込み**であるものの遠隔交換装置の作動を確認したうえで、既存の結合装置を取り外し、流下ノズルと加熱コイルの位置関係や既設との取り付け位置を最終的に確認して、**R2年1月に成立性を判断**する。
- ・ **成立性については**、ガラス固化部長が技術的判断をし、再処理廃止措置技術開発センター長が技術的判断結果を確認し判断を行う。その結果を、核燃料サイクル工学研究所長、役員(担当理事他)へ報告する。
- ・ ケース1またはケース1'が成立すると判断した場合、運転再開時期はケース1がR2年5月頃、ケース1'がR3年2月頃となる見込み。

4. 対策の状況

- ケース1及びケース1' について(2/2) -



ケース1' のイメージ図



4. 対策の状況

- ケース2について(1/4) -

【ケース2】 結合装置(加熱コイルを含む)の製作/交換

(1)対策の詳細

【加熱コイル径の拡大】

- 流下ノズルの傾き及びずれを考慮し、加熱コイル径を拡大するとともに、加熱コイル位置をずらすことにより、**確保可能な最大のクリアランス(約10 mm)を確保する。**
(画像解析の結果から、流下ノズルの変位の進展傾向は、約1 mm/100 本程度と推定しており、**今後約180本の運転は可能と考えている。**)
- クリアランス約10 mmは、結合装置の構造上の制約等を踏まえ、加熱コイル内径をΦ80 mm→Φ90 mmに拡大すること、中心位置を傾きの方向に約5 mmオフセットすることにより確保する(16頁参照)。
- 加熱コイル内径拡大(Φ80 mm→Φ90 mm)に伴う加熱性については、解析により問題ないことを確認しており、試験においても確認する。
- 流下ノズルの傾きの進展傾向が変化した場合を考慮して、加熱コイルに絶縁材を設置し、流下ノズルと加熱コイルの絶縁確保について検討する。検討において、絶縁材を設置した場合の影響を試験により確認する。
- また、漏れ電流発生時、他設備/機器への影響を防止するため、加熱コイルの給電系統に絶縁トランスの設置を検討する。
- 結合装置予備品については、3号溶融炉と共用できるように検討を進めている。



4. 対策の状況

- ケース2について(2/4) -

【技術基準への適合性に該当する項目】

- 結合装置は閉じ込め等の安全機能を有していない。
- ガラス固化処理に係る施設であることから、性能維持施設に該当すると考えている。
- 性能維持施設として、流下ノズルが加熱でき、流下できることを検査項目として検討中。

(2)工程

- ケース2は、ケース1の採否に関わらず進める。
- ケース2の場合、過去の作業実績や類似作業実績、メーカーの作業工程等の情報を基に各作業の必要期間を見積り、**運転再開時期をR3年11月頃としていたが、**メーカーと協議し、材料手配や遠隔接手(ジャンパ管)製作の前倒しにより、**製作工程を約5.5ヶ月の工程を短縮した**(別添資料3に示す)。
- さらに、今後メーカーから提示される各項目の立会検査工程等を精査し、**可能な限り工程短縮を図るべく検討を継続する。**

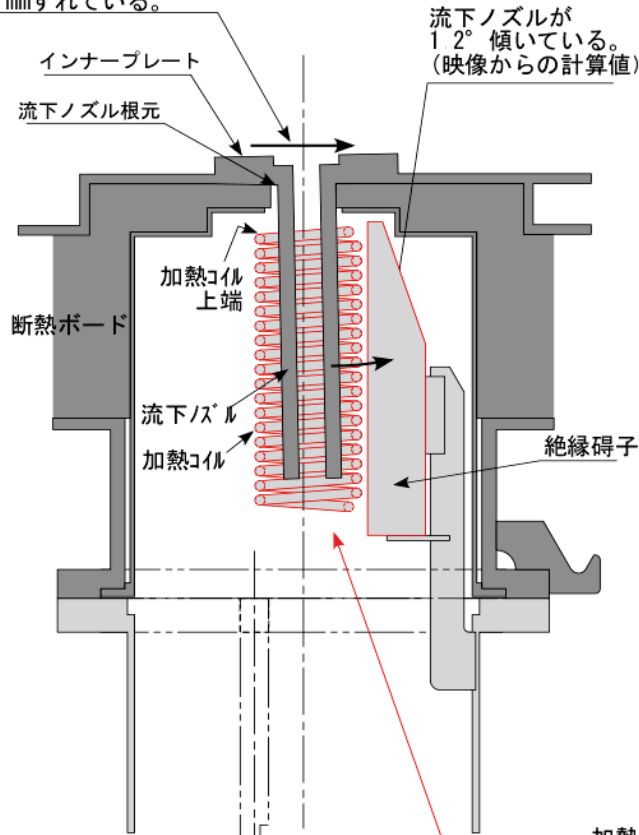
4. 対策の状況

- ケース2について(3/4) -

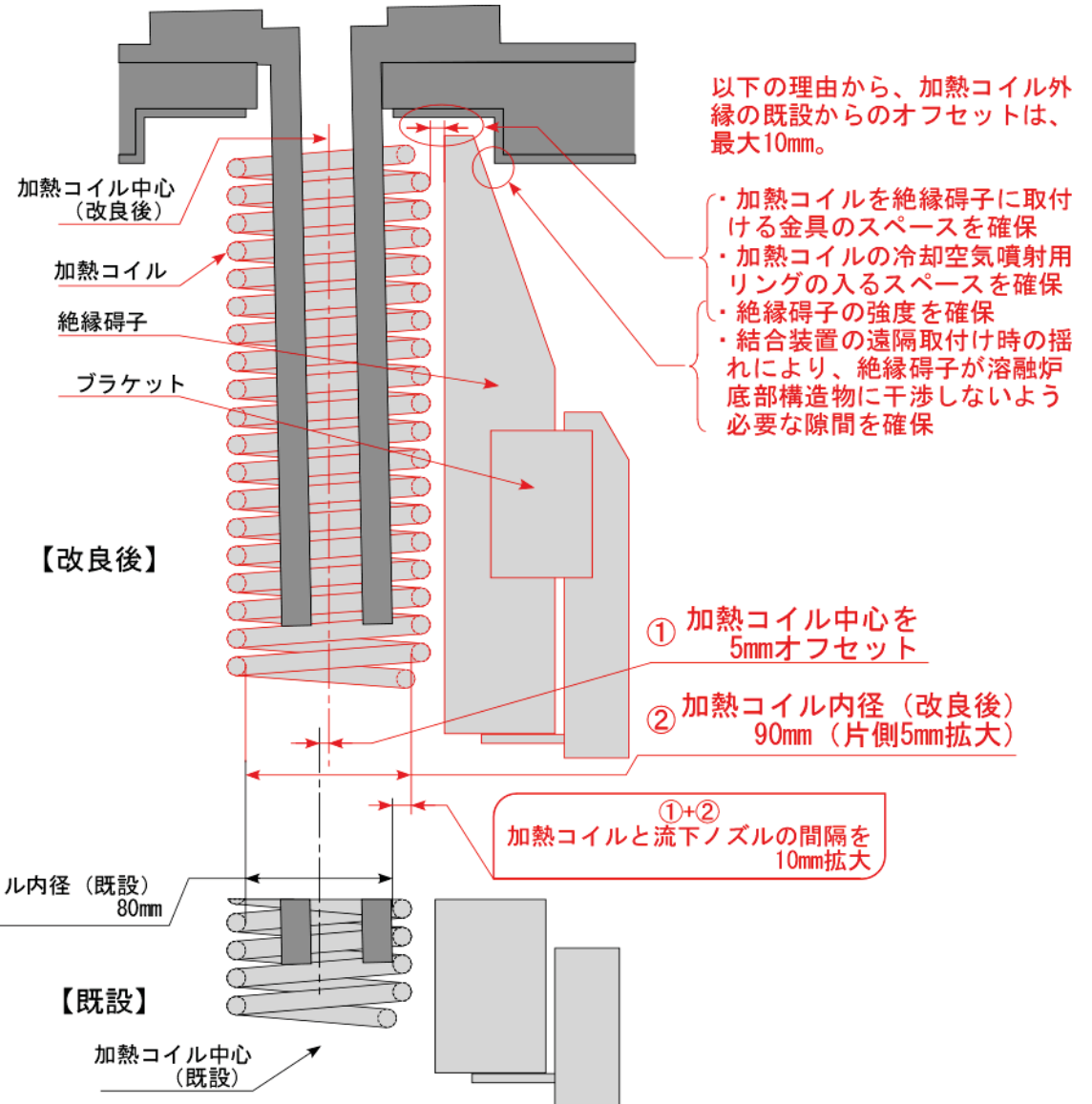
令和元年11月28日第35回東海再処理施設安全監視チーム会合資料に加筆

ケース2の検討状況

流下ノズルが根本部から水平に3.5mmずれている。



【加熱コイルの改良概要】
 以下の改良を行うことにより、流下ノズルと加熱コイルの間隔を約10mm広げる。
 ・加熱コイルの内径を10mm大きくする。
 ・加熱コイルを流下ノズルが傾いている方向へ5mm水平にオフセットする。



加熱コイル径拡大のイメージ図



4. 対策の状況 - ケース2について(4/4) -

赤文字：流下停止事象を踏まえた対応

| 分類 | | 実施状況 | 遅延リスク | | |
|----|----------------------|---|---|---|---|
| | | | 内容 | 対策 | |
| 調達 | 結合装置 | <ul style="list-style-type: none"> ・H30年～R元年度にかけて、試作コイルを製作し、製作メーカの体制及び製作上の課題等ないことを確認し、調達のリスクを低減した。(R元/12) ・契約時期を前倒し(R2/2予定→R2/1予定)、早期に材料手配を進める。 ・契約締結後、設計条件や製作工程、立会検査等の工程の合理化を進める。 | <ul style="list-style-type: none"> ・搬入の遅れ | <ul style="list-style-type: none"> ・ガラス固化部会にて日割り工程表による進捗管理を行っている。 | |
| | 作業員 | <ul style="list-style-type: none"> ・溶融炉更新（結合装置据付）の経験者4名を中心とした遠隔操作体制（約6名）を整備する。（要員確保済み） | <ul style="list-style-type: none"> ・なし（要員確保済） ・作業員の力量不足 | <ul style="list-style-type: none"> ・遠隔交換装置の作動確認や遠隔操作訓練により、個人の力量維持向上を図る。 | |
| 作業 | 手順書 | <ul style="list-style-type: none"> ・前回実績を反映した手順書を整備した。(R元/12) ・既設結合装置取外し作業を踏まえ、新規据付時の各作業のホールドポイントを確認する。(R2/1予定) | <ul style="list-style-type: none"> ・手順書の不備 | <ul style="list-style-type: none"> ・ホールドポイントを明記した作業手順書の制定にあたってはQMSに従い、課長が承認する。 | |
| 設備 | BSM(2基)・固化セルクレーン(1基) | 更新 | <ul style="list-style-type: none"> ・BSM2基(M120/121)の制御部をH30/2に更新完了。 ・固化セルクレーンの制御部をH30/2に更新完了。 ・BSM旋回台(M120)は、H27/8に更新完了。 ・BSM旋回台(M121)は、H30/9に更新完了。 | <ul style="list-style-type: none"> ・なし | — |
| | | 点検 | <ul style="list-style-type: none"> ・BSM：日々の使用開始前点検及び、運転前に運転に係る全操作による点検を実施している。 ・固化セルクレーン：日々の使用開始前点検、月例点検、年次点検、性能検査（1回/2年）を実施している。 | <ul style="list-style-type: none"> ・点検の遅れ ・故障 | <ul style="list-style-type: none"> ・課長が点検内容を確認している。 ・予備品のリストアップ、確保。 |
| | 遠隔交換装置 | <ul style="list-style-type: none"> ・除染セル内で電気チェック、動作チェック、外観チェックを行い、異常のないことを確認した。(R元/12) ・固化セル内に搬入後、電気チェック、動作チェックを行い、異常のないことを確認する。(R元/12未予定) | <ul style="list-style-type: none"> ・故障 | <ul style="list-style-type: none"> ・予備品のリストアップ、確保。 | |



4. 対策の状況

- ケース3について(1/4) -

【ケース3】 新規溶融炉(3号溶融炉)の製作/交換

(1) 対策の詳細

- 解析の状況から、**流下ノズルの傾きは、流下ノズルが取り付けられているインナーケーシングの形状が関係しているものと推定**しており、流下ノズルの傾きを抑制するため、インナーケーシングの構造変更(非対称構造→対称構造 等)を検討する。
- **インナーケーシング構造の検討**にあたっては、他の溶融炉の設計情報や運転状況を考慮する。
- 変更したインナーケーシング構造の妥当性は、熱応力解析により確認する。
- インナーケーシングの熱伸びやひずみを吸収する設計とするとともに、組立時の検査項目(寸法検査等)を検討する。
- 運転中の流下ノズルの傾きを考慮し、加熱コイルとのクリアランスの確保[※]や位置調整機能を有する加熱コイルのサポート等を検討する。

※ 溶融炉を固化セルへ搬入する前に流下ノズルの位置情報を確認し、確認結果を基に加熱コイルの取付け位置調整、加熱コイル径の拡大等を行うことを検討する。

【技術基準への適合性に該当する項目】

ガラス溶融炉は、高放射性廃液をガラス固化する設備であることから、第5条の2 耐震、第6条 材料、第7条 閉じ込めに該当すると考えている。また、ガラス固化処理に係る施設であることから、性能維持施設に該当すると考えている。

- 第5条の2 耐震

耐震クラスはSクラス相当で設計・製作する。



4. 対策の状況

- ケース3について(2/4) -

- 第6条 材料

耐火レンガ、電極：溶融ガラスに対して十分に耐食性のある材料で設計・製作する。

- 第7条 閉じ込め

高放射性廃液を含む溶融したガラスが溶融槽を形成する耐火レンガの温度勾配で閉じ込められる構造とする。

- 性能維持施設として、高放射性廃液を含むガラスを溶融でき、流下できることを検査項目として検討中。

(2) 工程

- 3号溶融炉による運転開始可能な時期は、廃止措置計画に記載したR6年6月頃としているが、前倒してTVFに据え付けられるよう最短で製作を進める。
- 原因調査の結果を踏まえ、対策の詳細を(流下ノズルが取り付けられているインナーケーシングの構造、加熱コイルの組立時期等)を検討するとともに、**製作工程の一次ドラフトを取りまとめた**。更に、材料手配の前倒しや、今後メーカから提示される各項目の詳細工程の精査等により、**可能な限り工程短縮を図るべく検討を継続する**(別添資料4に示す)。



4. 対策の状況 - ケース3について(3/4) -

進捗を踏まえて平成30年1月23日第19回東海再処理施設等安全監視チーム会合資料に加筆

赤文字：流下停止事象を踏まえた対応

| 分類 | 実施状況 | 遅延リスク | |
|----|--|--|---|
| | | 内容 | 対策 |
| 調達 | 3号熔融炉設計 <ul style="list-style-type: none"> ・H29年度の詳細設計を完了した。(H30/3終了) <ul style="list-style-type: none"> ・基本構造に基づく各構成機器及び取合機器の構造を決定した。 ・炉底部の詳細形状を決定した。 ・熔融炉に接続する配管のうち、耐震裕度が比較的小さい代表配管を対象に予備的耐震評価を行い、全ての配管で耐震性を満足することを確認した。 ・H30年度より製作のための設計（施工設計）を実施している。(R2/3終了予定) | ・施工設計の遅れ。 | ・ガラス固化部会にて日割り工程表による進捗管理を実施している。 |
| | 3号熔融炉製作 (部品、材料の手配を含む) <ul style="list-style-type: none"> ・詳細設計の中で必要な構成機器の材料や構造を決定した。(H30/3終了) ・現行の2号熔融炉の気相部耐火レンガ材 (AZ-GS)の入手が不可(メーカー撤退)であるため、代替材の選定を実施し、採用可能な見通しのある材料の物性を取得した。(H30/2終了) ・現行の2号熔融炉の断熱膨張吸収材 (イビウール)の入手が不可(生産終了)であるため、代替材の選定を実施し、採用可能な見通しのある材料の物性を取得した。(H30/3終了) ・調整設計の中で、2号炉で使用していた発熱体遮へいレンガ (DC-N)の製造が中止されていることが判明したことから、代替材の選定を実施し、採用可能な見通しのある材料の物性を取得した。(R2/3終了見込み) ・円錐K-3レンガの製作性については、製造メーカーより試作は必須との連絡があり、要求仕様を満足する製品(傾斜角45度円錐形状)が入手可能であることを確認した(H31年3月終了)。 | ・調達又は製作遅れによる、部品、材料の入手の遅れ。 ・製作期間が長いK-3レンガ(接液レンガ)の不具合、再製作及び製作・築炉中の破損。 | ・ガラス固化部会にて日割り工程表による進捗管理を実施している。 ・材料入手期間を考慮し、調達を行っていく。 ・築炉にあたっては、破損等を十分に留意した作業要領とする。 |



4. 対策の状況

- ケース3について(4/4) -

進捗を踏まえて平成30年1月23日第19回東海再処理施設等安全監視チーム会合資料に加筆

赤文字：流下停止事象を踏まえた対応

| 分類 | | 実施状況 | 遅延リスク | |
|----|--------------------------|---|---|---|
| | | | 内容 | 対策 |
| 調達 | 3号溶融炉製作 (部品、材料の手配を含む) | <ul style="list-style-type: none"> 結合装置の予備品検討段階で、高周波加熱コイルの製作メーカーが撤退を考慮しているとの情報を受け (H30)、懸案 (技術者や検査等) を解決するため試作品の設計、製作を実施。試作品の製作実績により懸案が解決され、対応可能と判断している。(R元/12) 材料手配の前倒しを検討する。 インナーケーシング構造の妥当性を、発注までに熱応力解析等により確認する。(R元/2予定) 溶融炉製造は、実績のあるメーカーにて実施する。 | <ul style="list-style-type: none"> 調達又は製作遅れによる、部品、材料の入手の遅れ。 | <ul style="list-style-type: none"> ガラス固化部会にて日割り工程表による進捗管理を行っている。 材料入手期間を考慮し、調達を行っていく。 |
| 作業 | 作業員 | <ul style="list-style-type: none"> 溶融炉製造の実績のあるメーカーにて実施する。 H29/5にメーカーからの技術者を配属し、体制強化を図った。 設計、製作においてはガラス固化部内技術者にて確認、検査を実施する。 | <ul style="list-style-type: none"> 検査要員等の不足。 | <ul style="list-style-type: none"> 製作期間中は工場検査等が多くなるため、作業量に応じて対応要員の調整を行っていく。 ガラス固化部会にて日割り工程表による進捗管理を実施していく。 |
| 設備 | モックアップ試験棟内設備 (3号溶融炉搬入設置) | <ul style="list-style-type: none"> 3号溶融炉の作動試験を実施するための搬入準備 (スペースの確保等) を行う。 | <ul style="list-style-type: none"> 事前確認の不備による搬入及び作動試験に係る整備の遅れ。 | <ul style="list-style-type: none"> メーカーと作動試験に必要な設備等を事前に調査し、配置や取り扱い方法の確認を実施中。 ガラス固化部会にて日割り工程表による進捗管理を実施していく。 |



参考資料

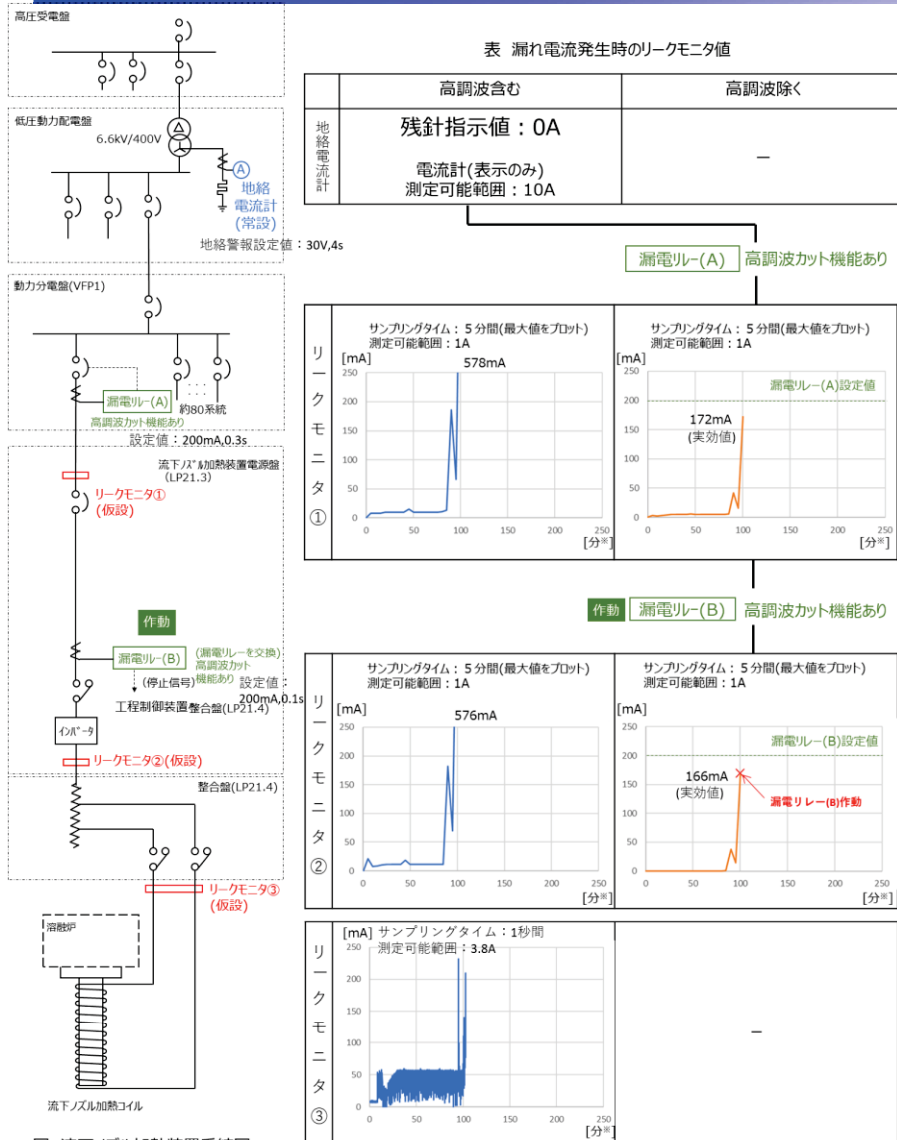
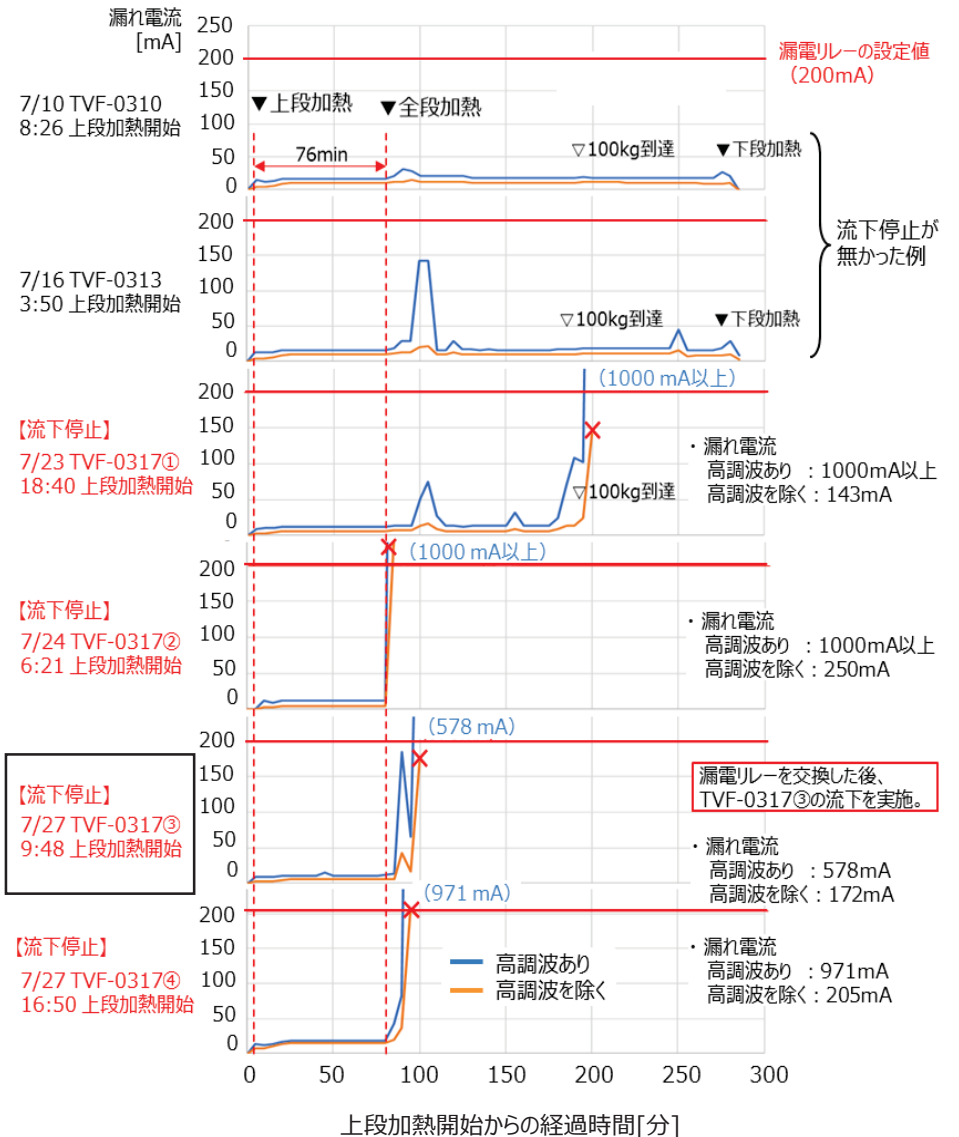


図 流下ノズル加熱装置系統図

7月27日 TVF-317③ (11:17 流下停止)



流下ノズル加熱装置電源盤に設置したリークモニタ①による計測結果

【流下ノズルと加熱コイルの観察結果】

【推定方法】

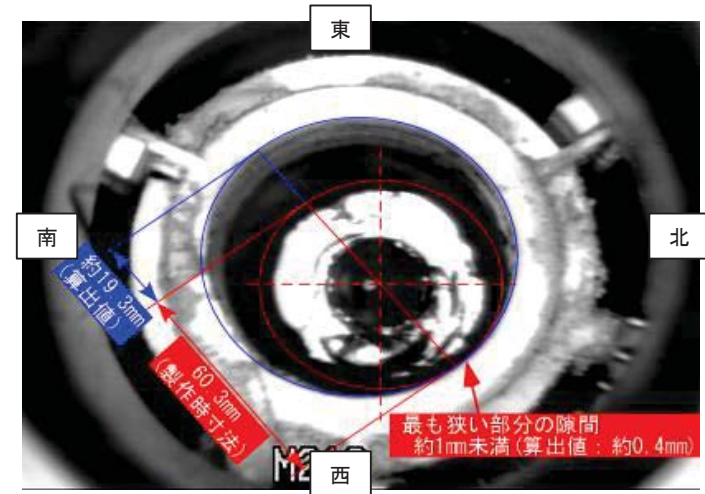
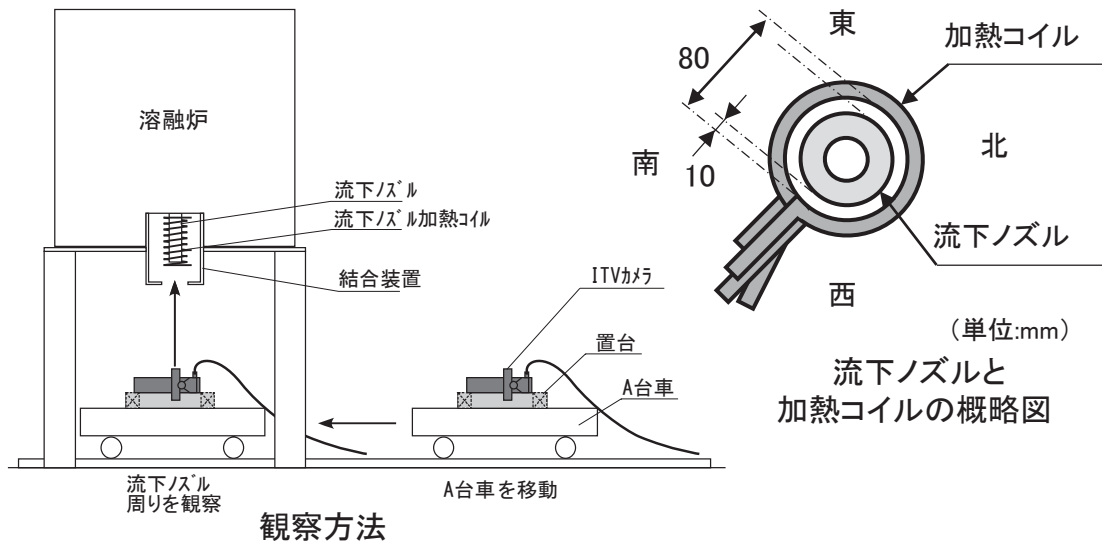
- 流下ノズル外径60.3mm(製作時の実測寸法)を基準として、画像上での計測値を換算して寸法を算出した。
- 加熱コイルの内径は設計値80mmとした。

① 流下ノズル先端部

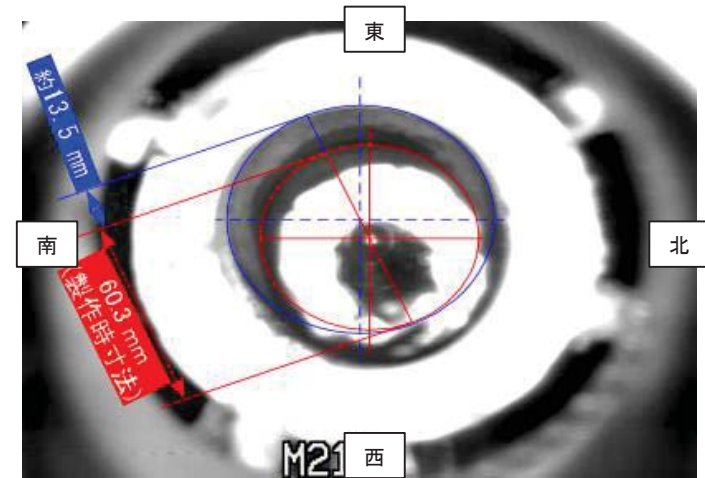
- 流下ノズル先端部と加熱コイルの間隔は、最も広い箇所では約19.3mm。
- **流下ノズル先端部と加熱コイルの間隔は、最も狭い箇所では約0.4mmと推定。**

② 流下ノズル根本部

- 流下ノズルの根本付近と加熱コイル上部の間隔は、最も広い箇所では約13.5mm。
- **流下ノズル根本部のずれは、北西側に約3.5mmと推定。**

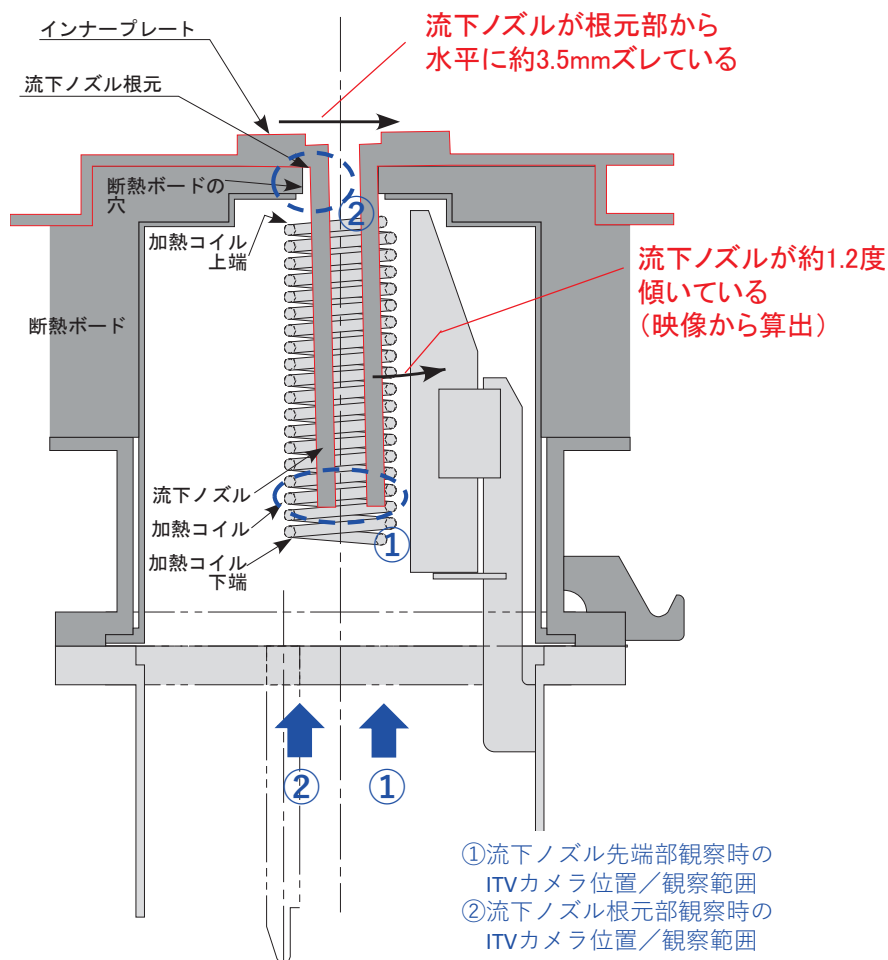


① 流下ノズル先端部の観察結果

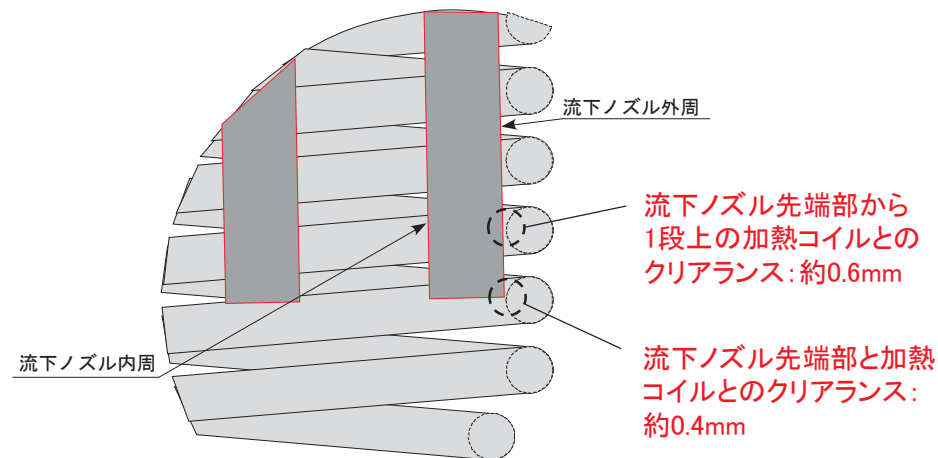


② 流下ノズル根本部の観察結果
観察結果

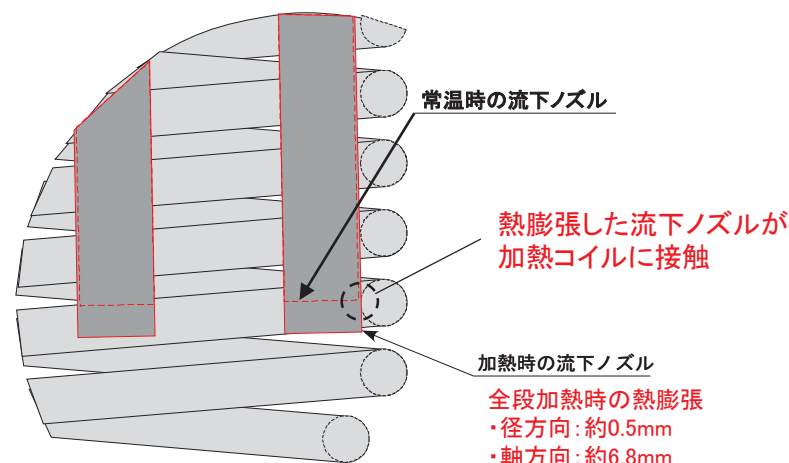
✓ 現状、室温の状態では流下ノズル先端部と加熱コイルのクリアランスは最も狭い箇所で約0.4mmと推定でき、全段加熱時の流下ノズルの熱膨張(軸方向に約6.8mm、径方向に約0.5mm膨張する)により、加熱コイルに接触したと考えられる。



観察結果から推定した
流下ノズルと加熱コイルの位置関係(常温時)

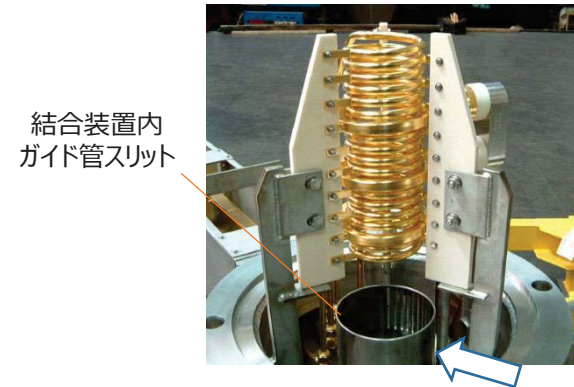
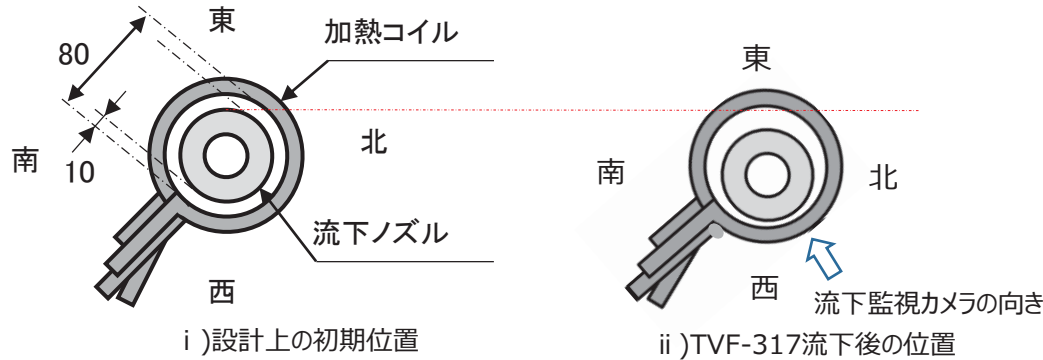


流下ノズルと加熱コイルの位置関係拡大図(常温時)



流下ノズルと加熱コイルの位置関係拡大図(全段加熱時)

【画像解析状況】



流下監視カメラの向き

流下ノズル
(外径60mm)

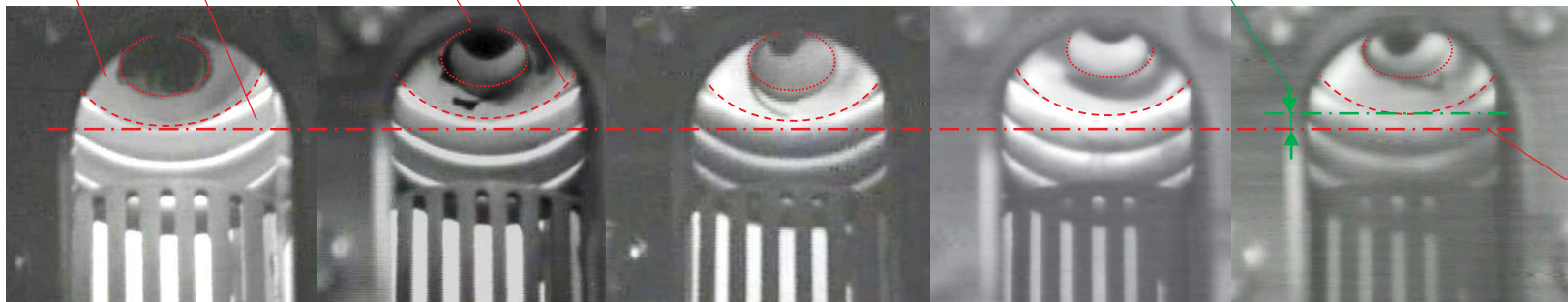
加熱コイル
(内径80mm)

流下ノズル内周

流下ノズル外周

TVF-0135の流下ノズル下端とTVF-0317
の流下ノズル下端との差

TVF-0135の
流下ノズル下端



○TVF-0135
(5本目の流下映像)
流下日：2004年10月30日
(04-1キャンペーン)

○TVF-0185
(55本目の流下映像)
流下日：2005年4月27日
(05-1キャンペーン)

○TVF-0235
(105本目の流下映像)
流下日：2007年2月11日
(07-1キャンペーン)

○TVF-0285
(155本目の流下映像)
流下日：2017年4月20日
(17-1キャンペーン)

○TVF-0317
(187本目の流下映像)
流下日：2019年7月27日
(19-1キャンペーン)

TVF2号溶融炉での流下ノズルの位置関係の推移例

TVF2号炉での据付時(TVF-131)から現在(TVF-317)までの範囲でX方向及びZ方向の変位を以下の方法で算出し、変位量から、進行性については評価中する。

画像により倍率や左右位置が異なるため、次の方法でX方向(北方向)、Z方向(西方向)の変位を算出した。

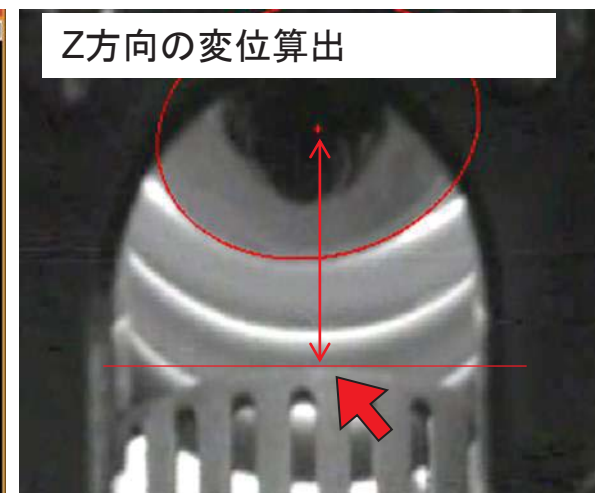
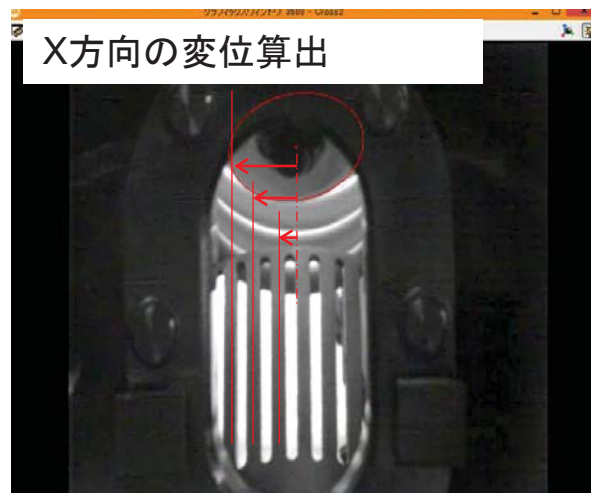
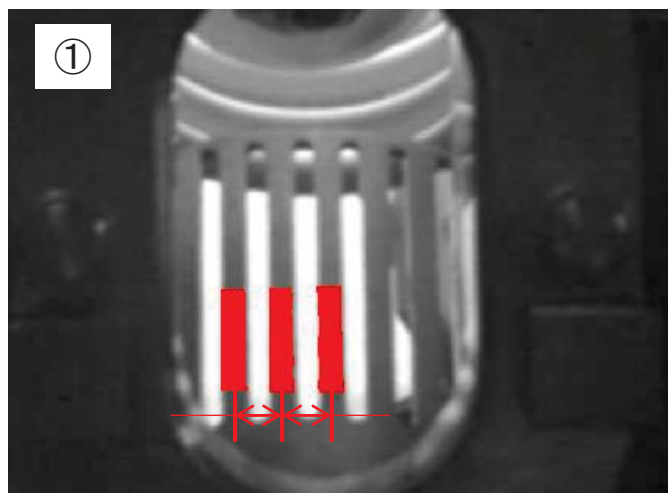
- ① 格子がくっきり映っている範囲において、2値化処理(白と黒の2階調に変換)で3本の格子範囲を抽出
- ② 各格子範囲の中心位置から左右方向の格子間隔を求め、TVF-135の間隔を「1」とした際のスケーリング係数を算出する。
- ③ 各画像を再スケーリングし、楕円をあてはめ中心座標を求める。

【X方向の変位算出】

左右方向変位は、3本の格子の中心位置と楕円中心の位置関係から算出(3点の平均値)した。

【Z方向の変位の算出】

上下方向変位は、格子の頂点部分を目で見て判断し、楕円中心との位置関係から算出した。



【解析による傾き等評価】

1. 解析条件及び解析モデル

- (1) 解析対象 : 流下ノズル・インナーケーシング
- (2) 解析モデル : 3次元ソリッド要素モデル
- (3) 解析手順

熔融炉運転時の代表的な時点[下図の(A: 流下中[流下ノズル温度が最も高いとき]), (B: 底部冷却終了時[流下ノズル温度が最も低いとき])]について, 運転データをもとに定常伝熱解析で流下ノズル全体の温度分布を求め, その温度条件を使用して熱応力解析(弾塑性解析)を実施し, 流下ノズルの傾きを検討した。

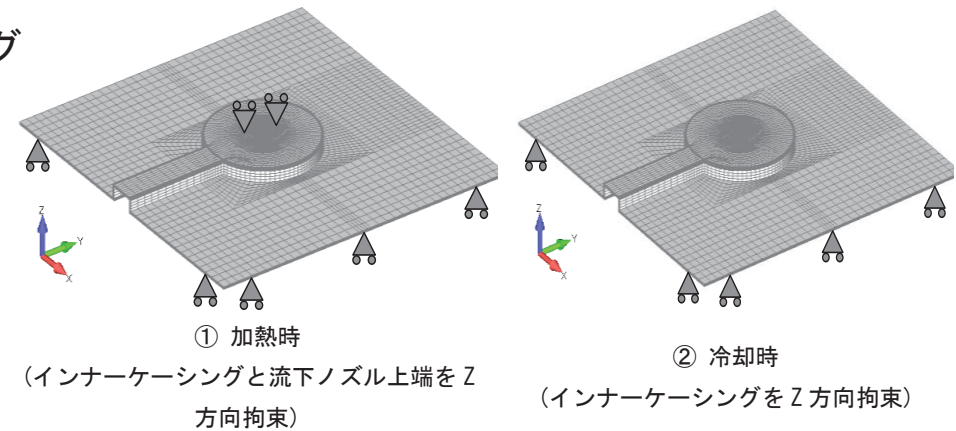
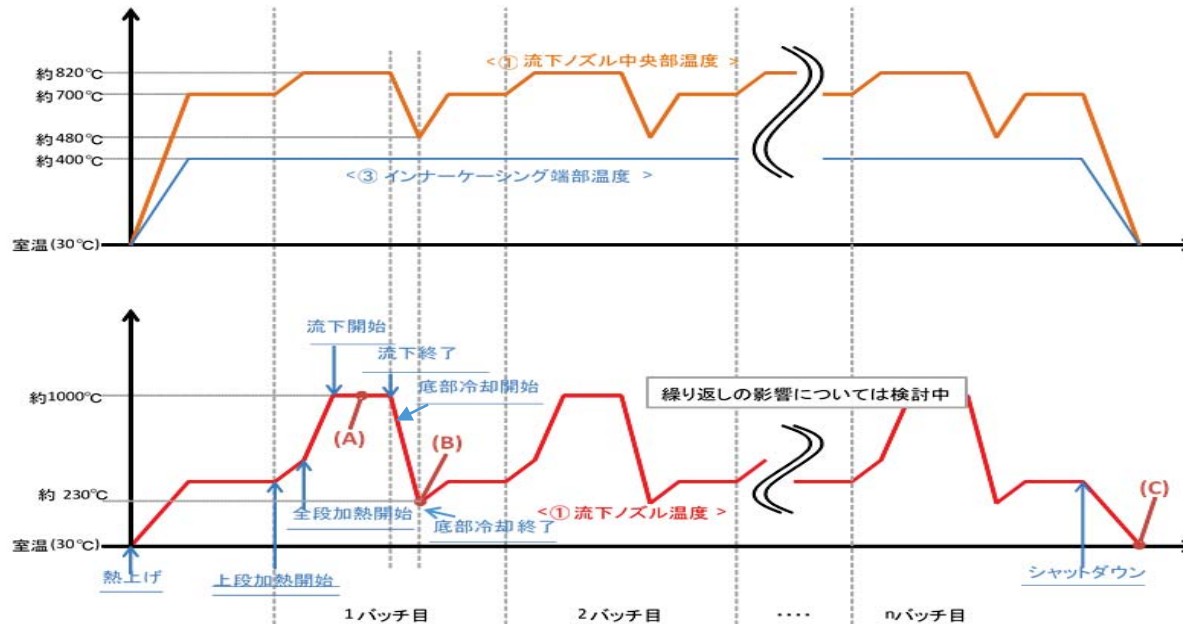


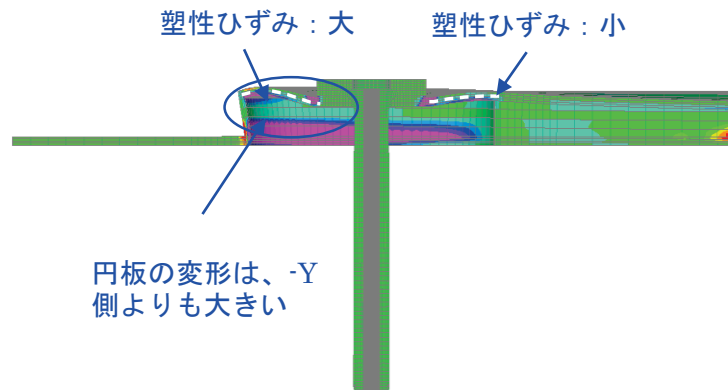
図3 熱応力解析の拘束条件



- 溶融炉の熱上げにより流下ノズルの温度も上昇し熱膨張を生じる。
- 流下ノズルの熱膨張による変位が周囲の耐火レンガに拘束されることで応力が生じる。発生した応力が降伏応力に達した部位では塑性ひずみが生じる。この状態では、耐火煉瓦の拘束により流下ノズルに傾きは生じてない。
- 底部冷却時等、流下ノズルの温度が低下すると熱膨張が収縮し元の状態に戻ろうとする。この時、高温時に生じた塑性ひずみにより加熱前の元の形状には戻らず変形が生じる。
- 高温時に発生した塑性ひずみの分布により、流下ノズルの温度を下げたときにノズルを傾ける変形が生じる。

【流下中】

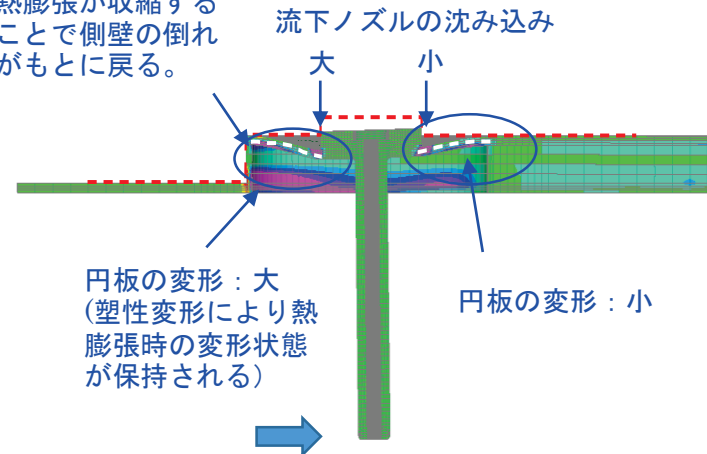
流下ノズル温度計の段差部がある側(-Y)よりその反対側(+Y)の応力が大きいことから、塑性ひずみも+Y側で大きく発生している。



アウトプットセット: Step 1, Inc 8
変形(6.384): Total Translation
要素コンタ: Plastic Strain-2

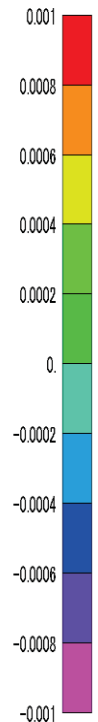
【底部冷却終了時】

熱膨張が収縮することで側壁の倒れがもとに戻る。



アウトプットセット: Step 2, Inc 1
変形(1.637): Total Translation
要素コンタ: Plastic Strain-2

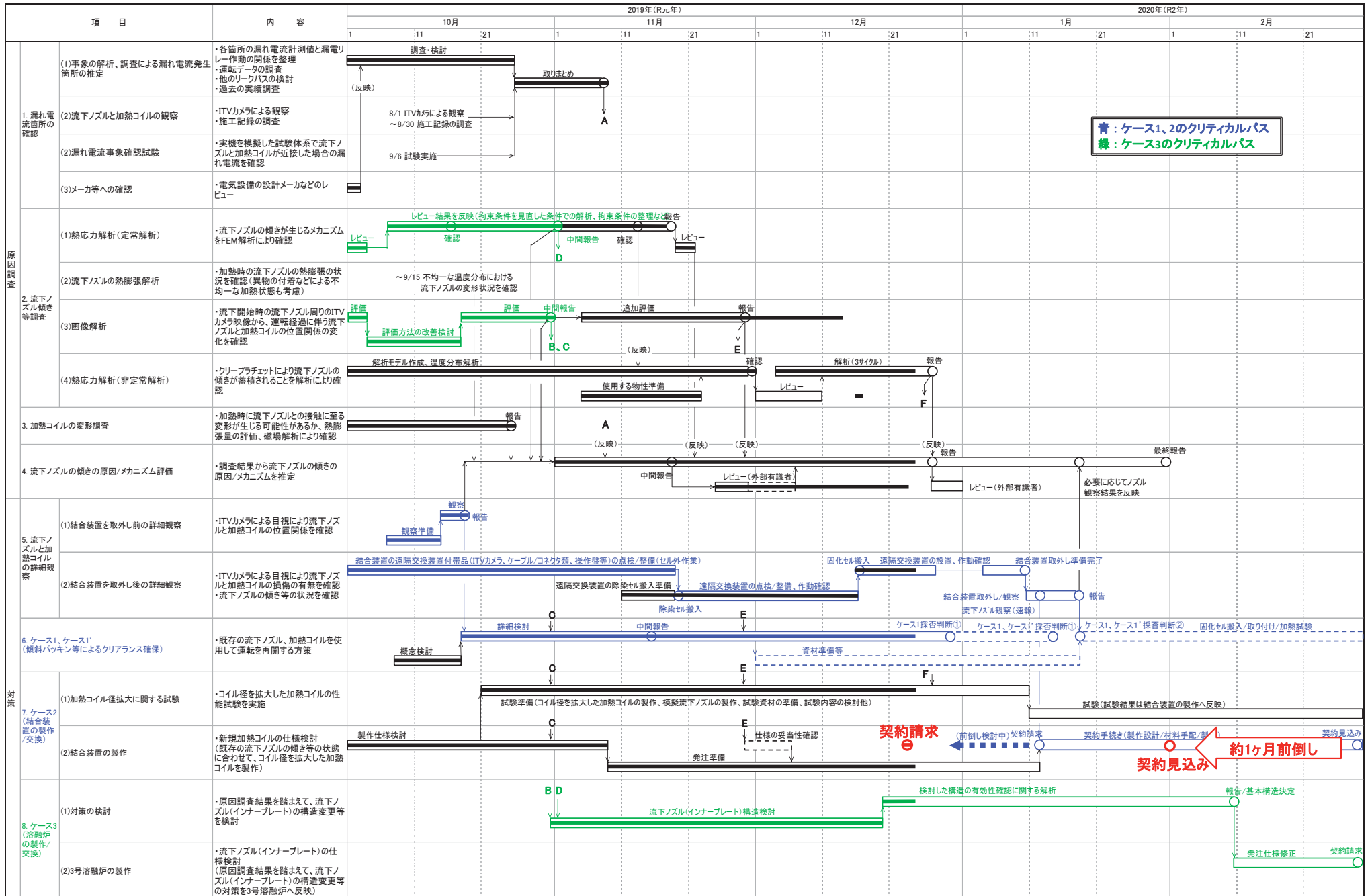
【mm/mm】



流下停止に係る原因調査、対策スケジュール

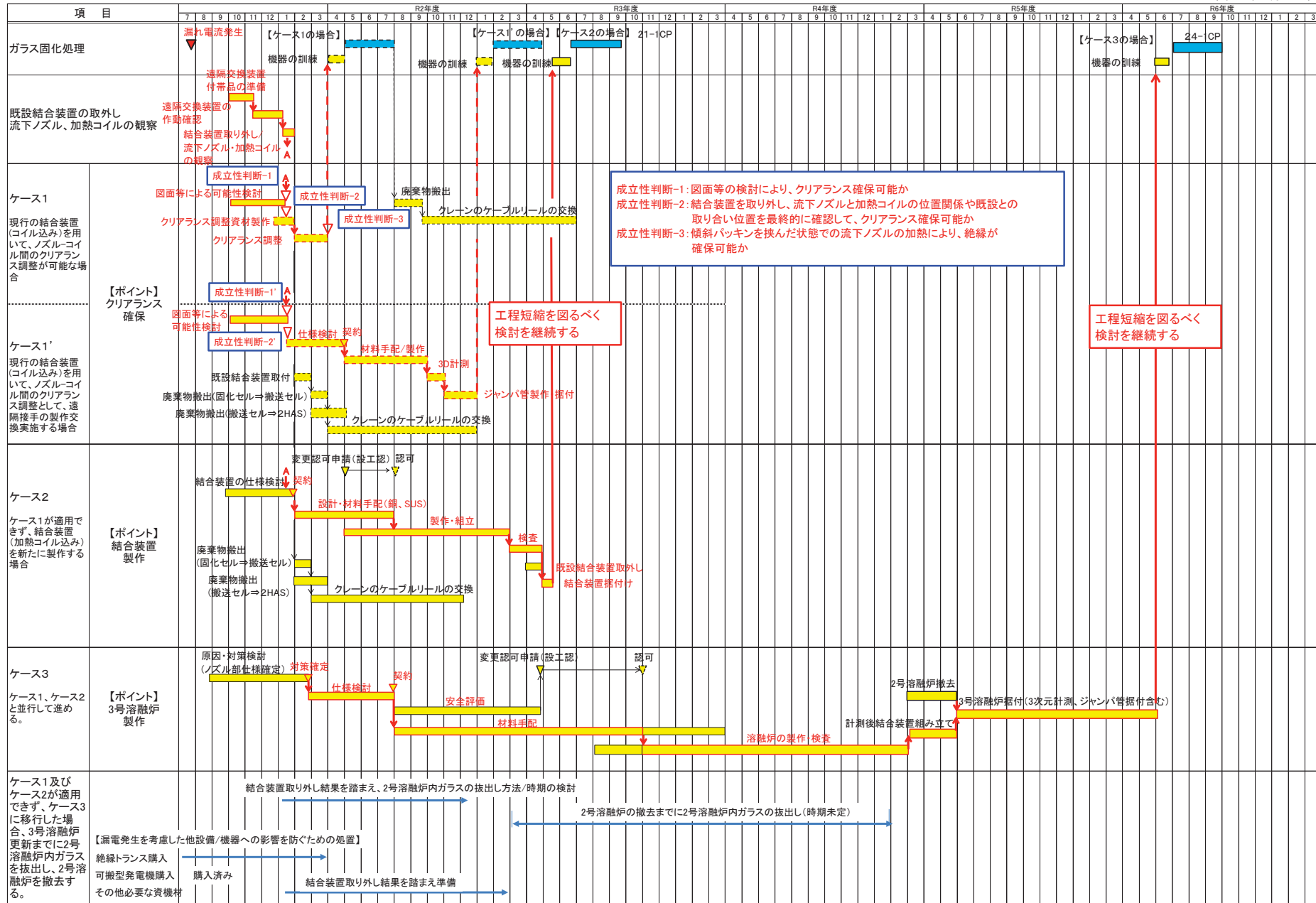
別添資料-1

令和元年11月27日作成
令和元年12月24日改訂



TVF次回運転までのスケジュール

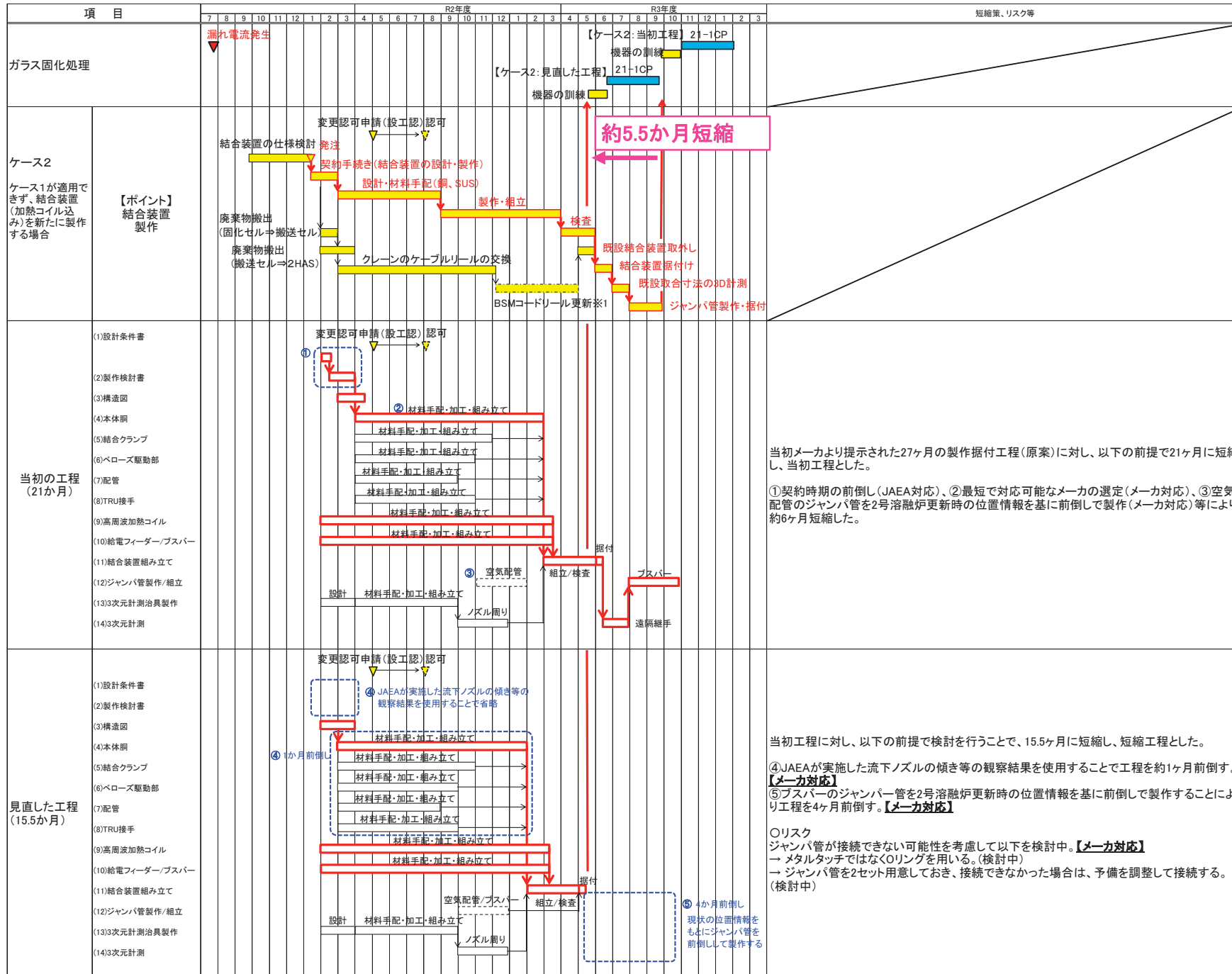
令和元年11月27日作成
令和元年12月24日改訂



凡例: 赤線)クリティカルパス、点線)成立性判断で成立するとした時の工程
工程は随時見直し、早期のリスク低減を図る。

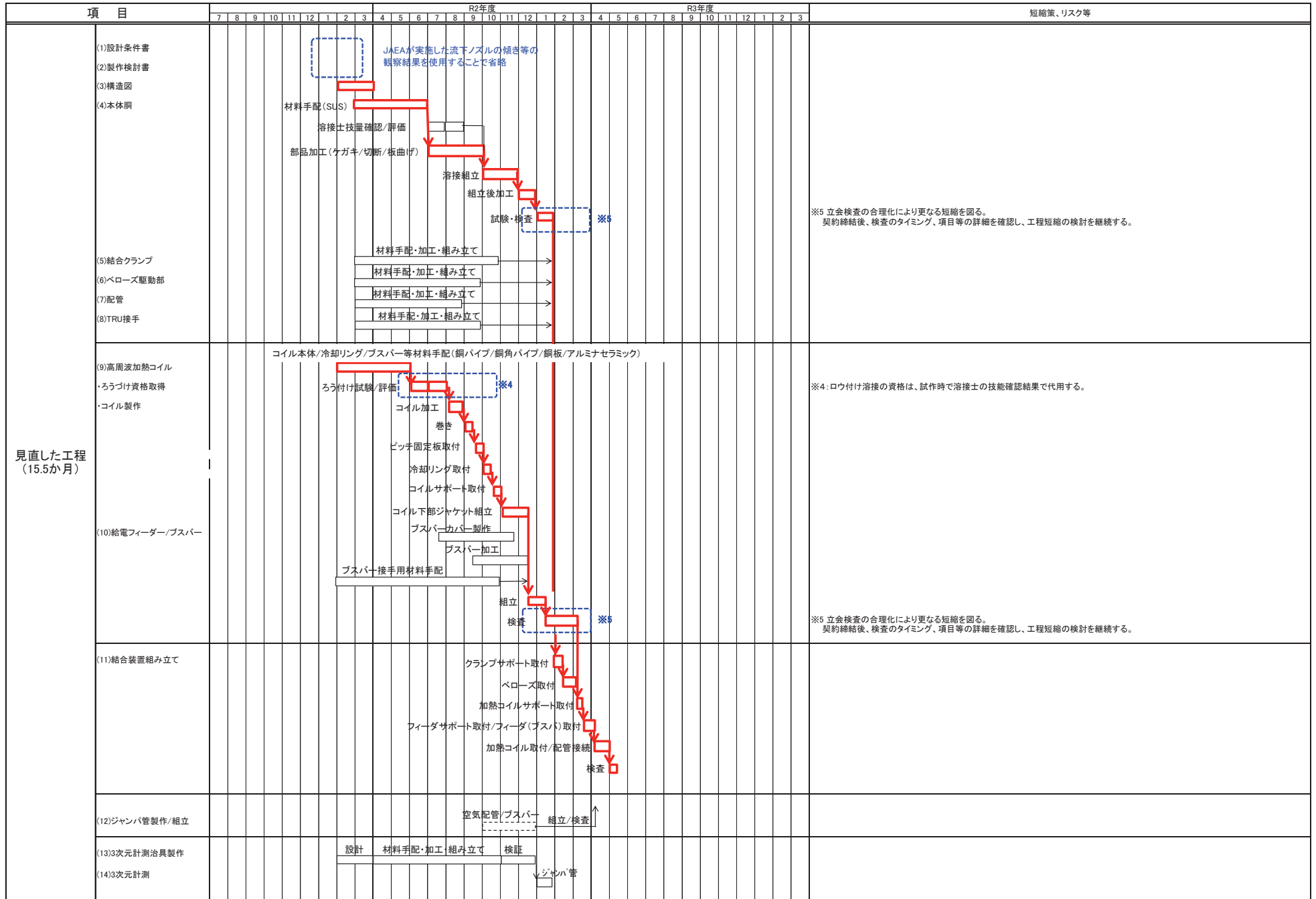
ケース2 全体詳細工程

令和元年12月24日作成

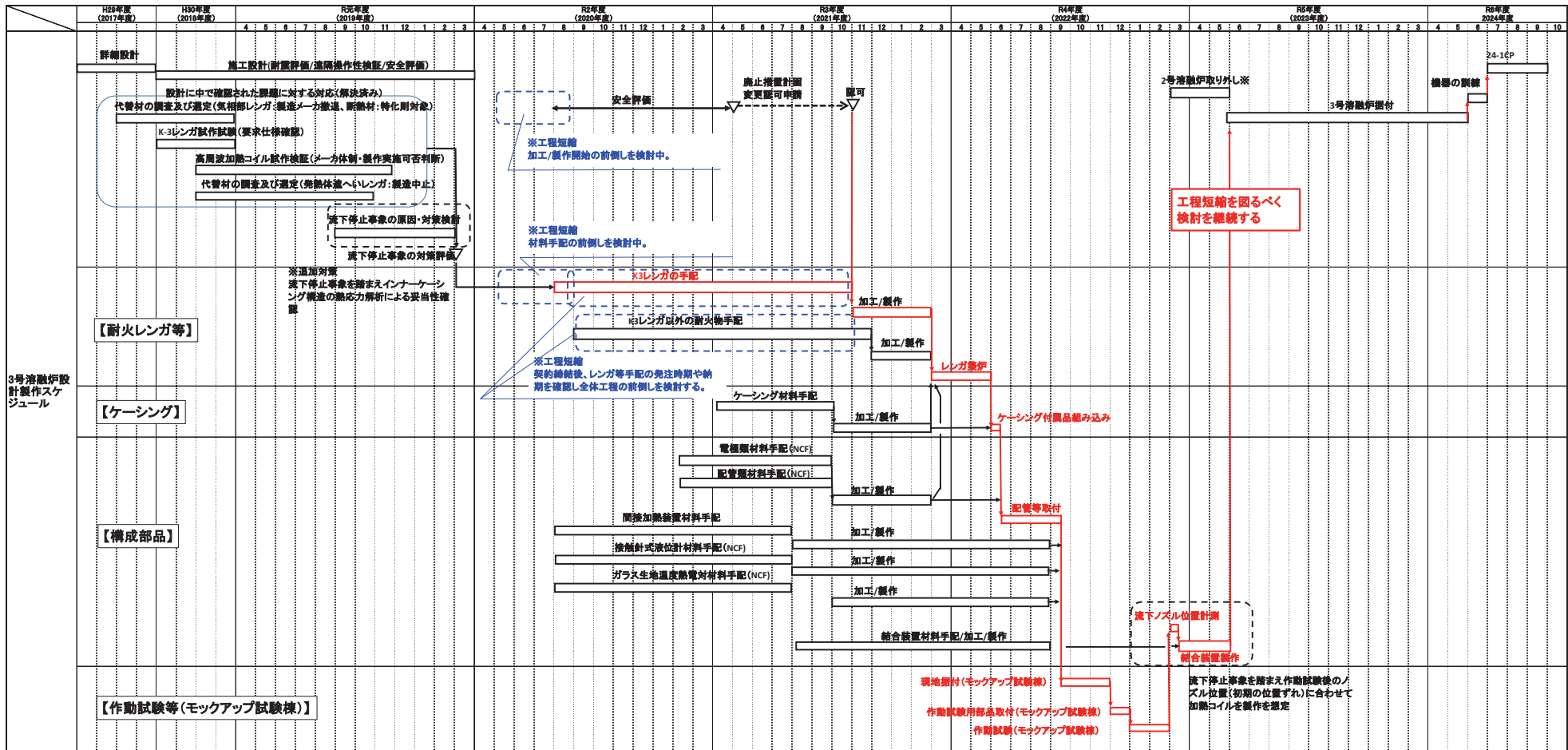


ケース2 全体詳細工程(見直した工程)

令和元年12月24日作成



令和元年12月24日作成



- ・製作・据付の工程短縮を検討中
- ・2号熔融炉取り外し前に、ガラスの抜き出しが必要。実施時期は調整中。