

ガラス固化技術開発施設(TVF)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2年●月●日

日本原子力研究開発機構(JAEA)

- ✓ 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。(別添資料-1)**

対策ケース	メリット	デメリット
<p>【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)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・溶融炉: 継続使用 ・加熱コイル: 継続使用 	<ul style="list-style-type: none"> ・最短で運転できる可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。
<p>【ケース2】 結合装置(加熱コイルを含む)の製作/交換</p> <ul style="list-style-type: none"> ・溶融炉: 継続使用 ・加熱コイル: 新規 	<ul style="list-style-type: none"> ・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(当初予定どおり2号溶融炉で約180本製造可能)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。
<p>【ケース3】 新規溶融炉(3号溶融炉)の製作/交換</p> <ul style="list-style-type: none"> ・溶融炉: 新規 ・加熱コイル: 新規 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。

- ✓ 対策
 - ケース1及びケース1'の成立性判断

判断結果記載予定
 - 運転再開に向けた対策
 - 並行して、ケース3(3号溶融炉の製作)を進める。
 - ケース2(結合装置の製作/更新)の対応状況
 - R2年●月より材料手配に着手した。
 - 更なる工程短縮として、検査のタイミングの見直し等により、約●ヶ月の工程短縮を図った(前回会合で示した21.0ヶ月→15.5ヶ月への短縮をさらに1●.●ヶ月へ短縮)。
 - ケース3(結合装置の製作/更新)の対応状況
 - 材料手配の前倒しを検討し、前回会合で示した時期から約1.5カ月前倒した。
 - 更なる工程短縮を図るべく、検討を継続する。
- ✓ 原因調査
 - 流下ノズルの傾きの進展傾向
 - カレット洗浄等のバラツキ、カレット洗浄後(140本目)以降のバラツキについて、非定常解析等により評価した。
 - 評価の結果、流下ノズルの傾きは、約0.013mm/1本で進展すると考えられる。

1. ケース1及びケース1'の成立性判断

早期のリスク低減の観点から、既存の2号溶融炉及び結合装置(加熱コイルを含む)の継続使用を前提に、速やかに固化処理を再開可能なケースとして、その成立性の検討を進めた。

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、以下の観点から段階的にその成立性を判断した。

(1) 成立性判断1(図面による成立性の検討)

① ケース1

- ・ 結合装置との取り合い部は既存設備を改造しないで結合装置と取り合う(遠隔継手接続部のずれ: $\pm 1\text{mm}$ 以内(設計値))ことを前提に、確保可能な流下ノズルと加熱コイルのクリアランスを図面により検討した。
- ・ 検討の結果、**約0.06mmクリアランスを増加できることが分かった。**(6頁参照)

判断結果記載予定

② ケース1'

- ・ 結合装置との取り合い部を一部改造して結合装置を取り付けることを前提に、確保可能な流下ノズルと加熱コイルのクリアランスを図面により検討した。
- ・ 検討の結果、溶融炉のガイドピンと結合装置のガイド穴の公差より、結合装置を最大 0.95° まで傾けることが可能であり、**約2mmクリアランスを増加できることが分かった。**(7頁参照)
- ・ 結合装置を傾けたことにより、**ブスバの遠隔継手接続部を溶融炉架台に固定する部分に約22.7mmの隙間が生じ、既存の取付け方法では遠隔継手接続部が固定できないことから、この隙間にスペーサを設置する方法を検討した。**

(2)成立性判断2(結合装置取外し後の観察結果を踏まえた検討)

① ケース1'(8頁参照)

判断結果記載予定

② 流下ノズル、加熱コイル等の外観観察(9-10頁参照)

・有意な変形や損傷等は認められなかった。

判断結果記載予定

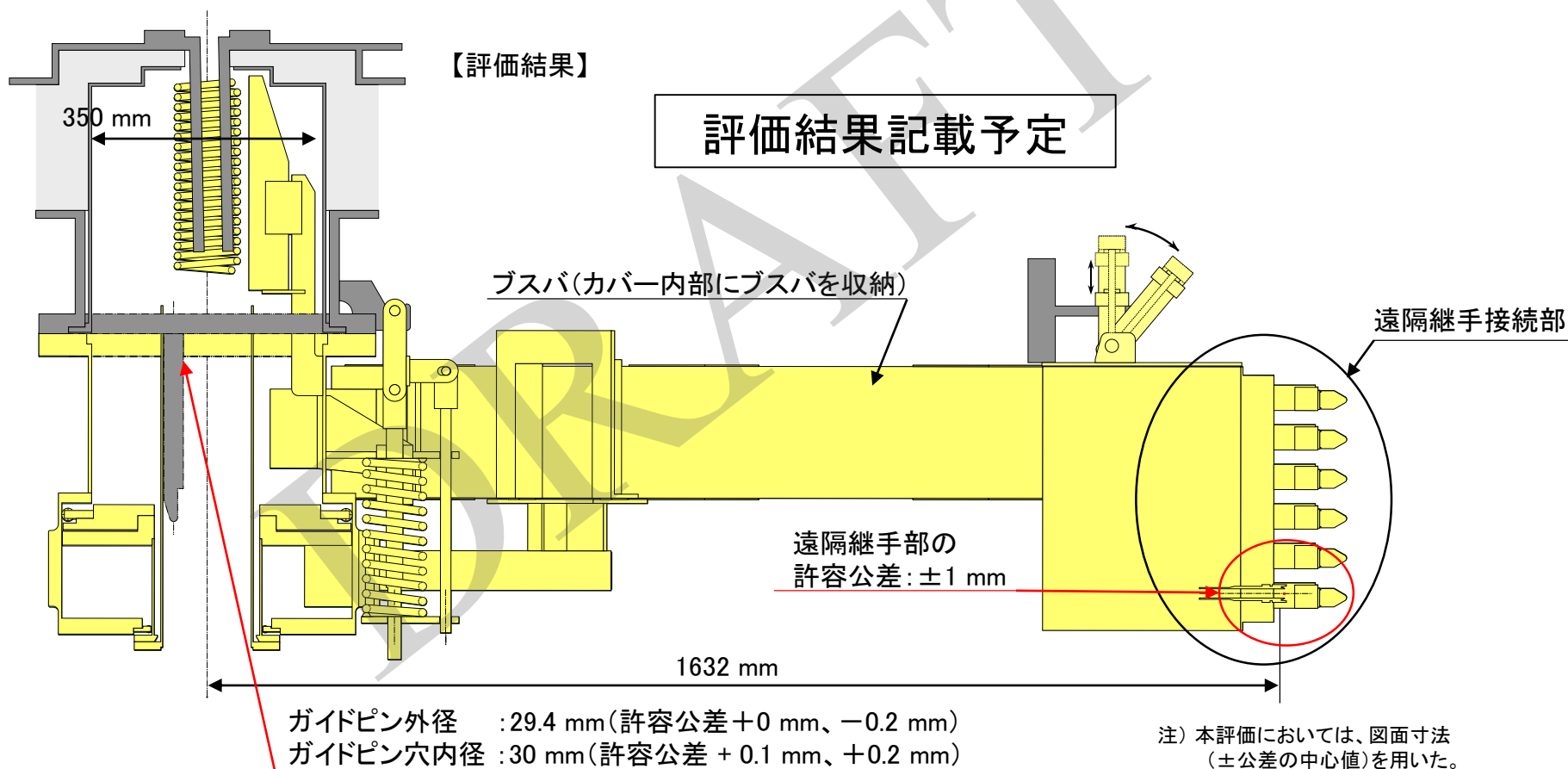
- ケース1及びケース1'の成立性判断(3/7) -

成立性判断1: 図面による成立性検討

(1) ケース1(結合装置との取り合い部は既存設備を改造しない方法)

【評価の仕方】

結合装置を傾斜させると、ブスバの先端に設置された遠隔継手接続位置がズれる。このズレが設計許容範囲に入るように傾斜パッキンを設定した場合、流下ノズルと加熱コイルのクリアランスがどの程度広げられるかを確認した。

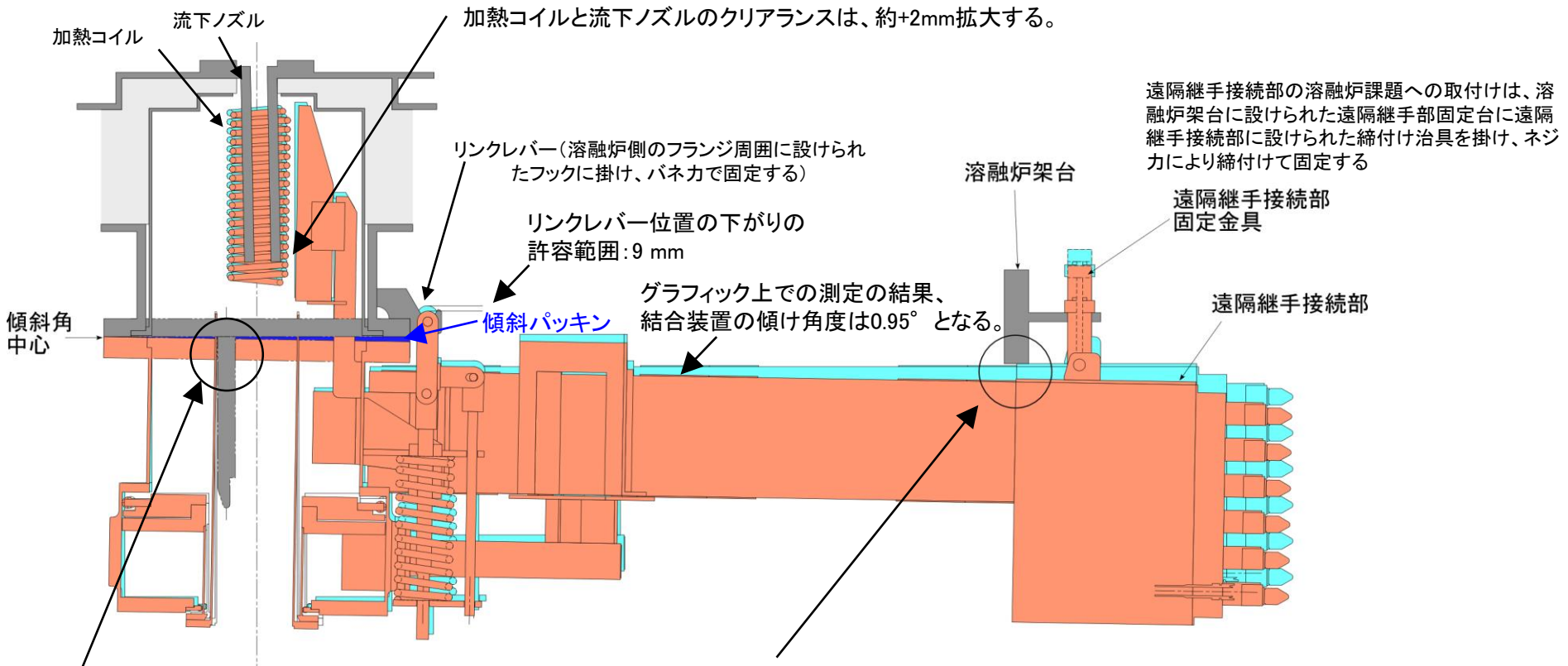


傾斜パッキンによる調整のイメージ図

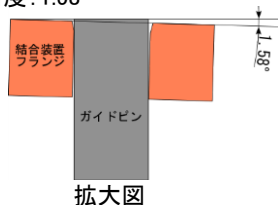
- ケース1及びケース1'の成立性判断(4/7) -

成立性判断1: 図面による成立性検討

(1) ケース1' (結合装置との取り合い部(遠隔接手)を一部改造する方法)



ガイドピンとガイド穴のガタの範囲で儲けられる最大の角度: 1.58°



【課題】 ブスバの遠隔継手接続部を溶融炉架台に固定する部分に約22.7mmの空間が生じ、既存の取付け方法では遠隔継手接続部が固定できない。



2. 対策

- ケース1及びケース1'の成立性判断(5/7) -

成立性判断2:(結合装置取外し後の観察結果を踏まえた検討)

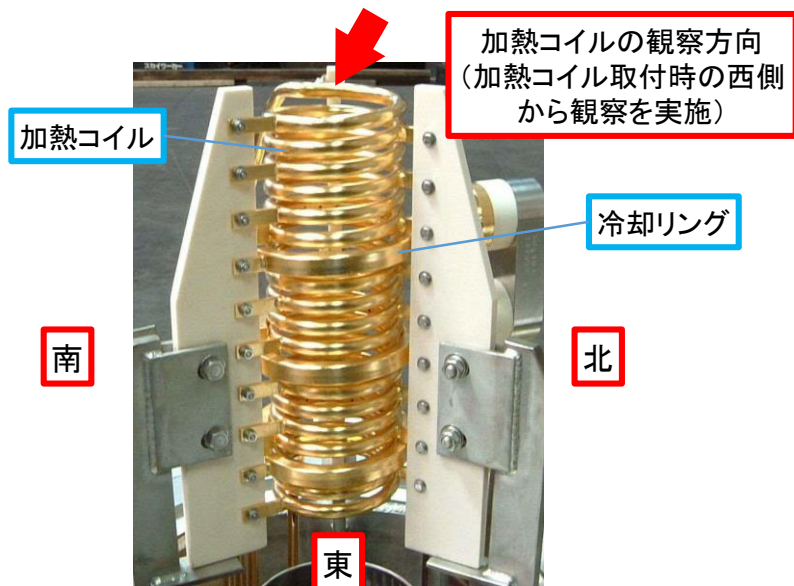
- ・スペーサ設置方法の検討

検討結果記載予定

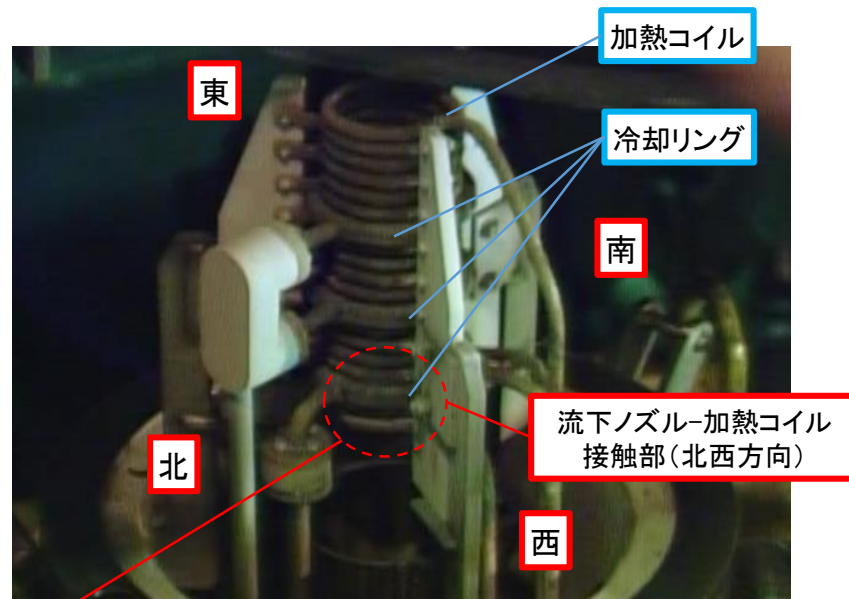
2. 対策

- ケース1及びケース1'の成立性判断(6/7) -

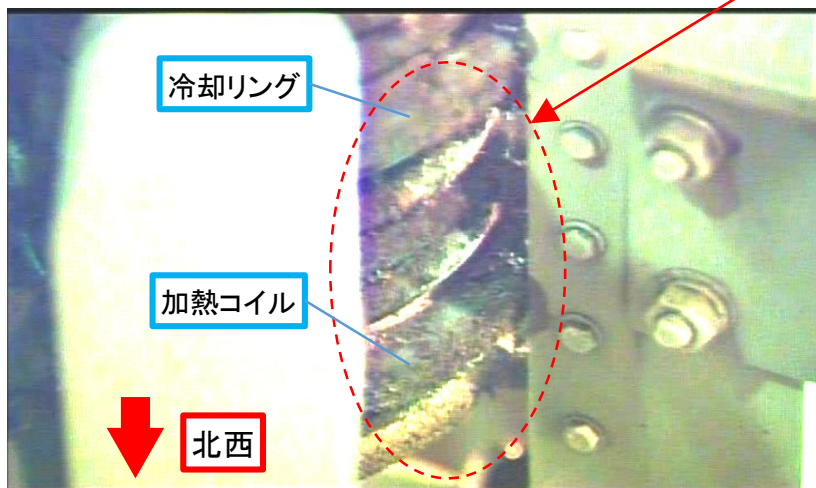
- 結合装置取り外し後の流下ノズルと加熱コイル外観観察(ITVカメラによる)



2号溶融炉使用前の加熱コイル外観(参考)



↑ 加熱コイル外観観察結果: 流下ノズルとの接触箇所外面の加熱コイル、冷却リング、絶縁材、配管等に変形、亀裂等は確認されなかった。

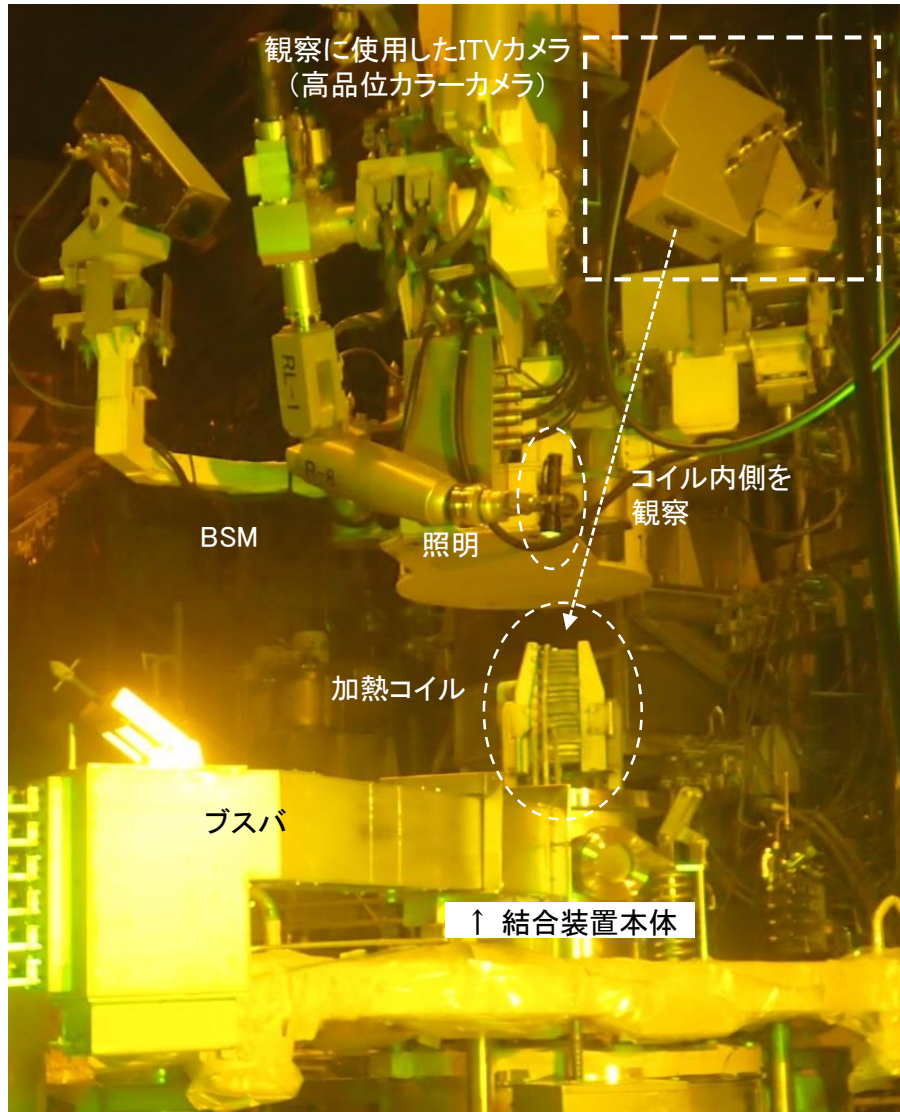


← 流下ノズル-加熱コイル接触部観察結果: 流下ノズルとの接触箇所外面の加熱コイルに変形、亀裂等は確認されなかった。

2. 対策

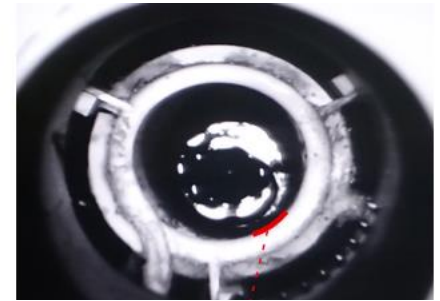
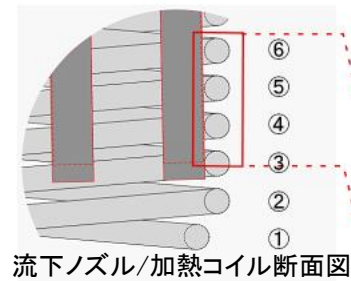
- ケース1及びケース1'の成立性判断(7/7) -

・結合装置取り外し後の流下ノズルと加熱コイル内面観察(ITVカメラによる)

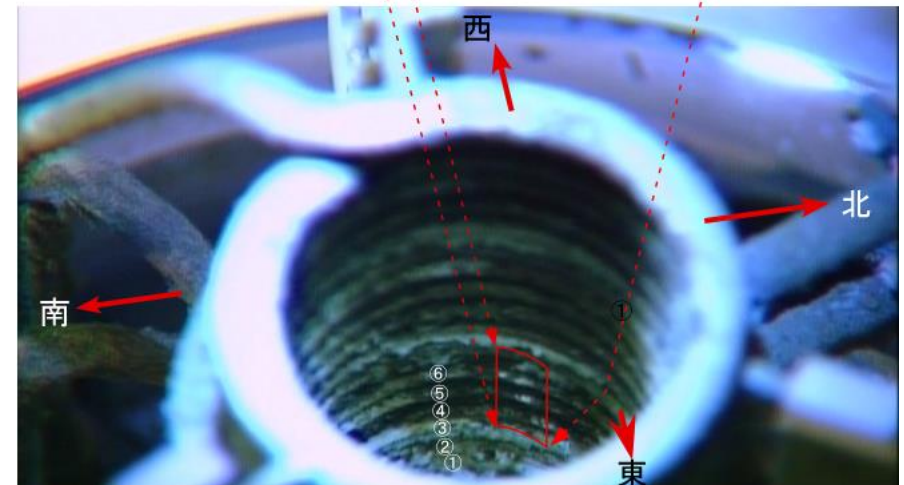


BSMによる観察の様子

流下ノズルが接触していたエリア(赤印部)



流下ノズル/加熱コイル下からの写真



流下ノズルが接触していたと想定する部位(赤枠内)が白くなっており、接触により黒色の付着物が剥がれたものと推定している。

この部位に変形や亀裂、溶融痕等は確認されなかった。

【ケース2】 結合装置(加熱コイルを含む)の製作/交換の対応状況

(1) 工程短縮検討

- 前回監視チーム会合で示した15.5ヶ月に対し、更なる工程の短縮として、メーカーと協議し、製作/交換の工程管理を行うためのマイルストーンを設定し、詳細な工程を検討した。その中で、検査のタイミングの見直し等により、約●ヶ月の工程短縮を図った。(別添資料-2)
- 今後は、設定したマイルストーン毎に監視チーム会合にて進捗を報告する。

(2) 工程管理

- R2年●月より材料手配に着手した。
- 作業の進捗を踏まえ、各項目の詳細工程の精査により更なる工程短縮を検討する。
- 短縮結果については、マイルストーンのタイミングで工程を調整し、反映する。

－ 運転再開に向けた対策：ケース2(2/3) －

(3)対策

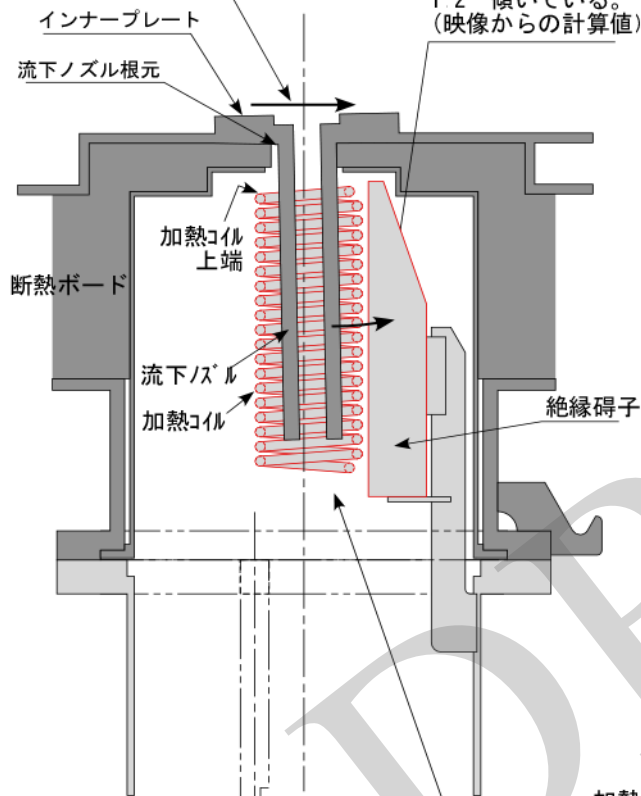
【加熱コイル径の拡大】

- 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、今後約200バッチ繰り返した場合の変位の増加分は最大で標準誤差(95%信頼区間)を考慮すると約4.2mmと推定している。)
- 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(13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た。試験においても確認中。
- 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。

【ケース2の対策の概要】

流下ノズルが根本部から水平に
3.5 mmずれている。

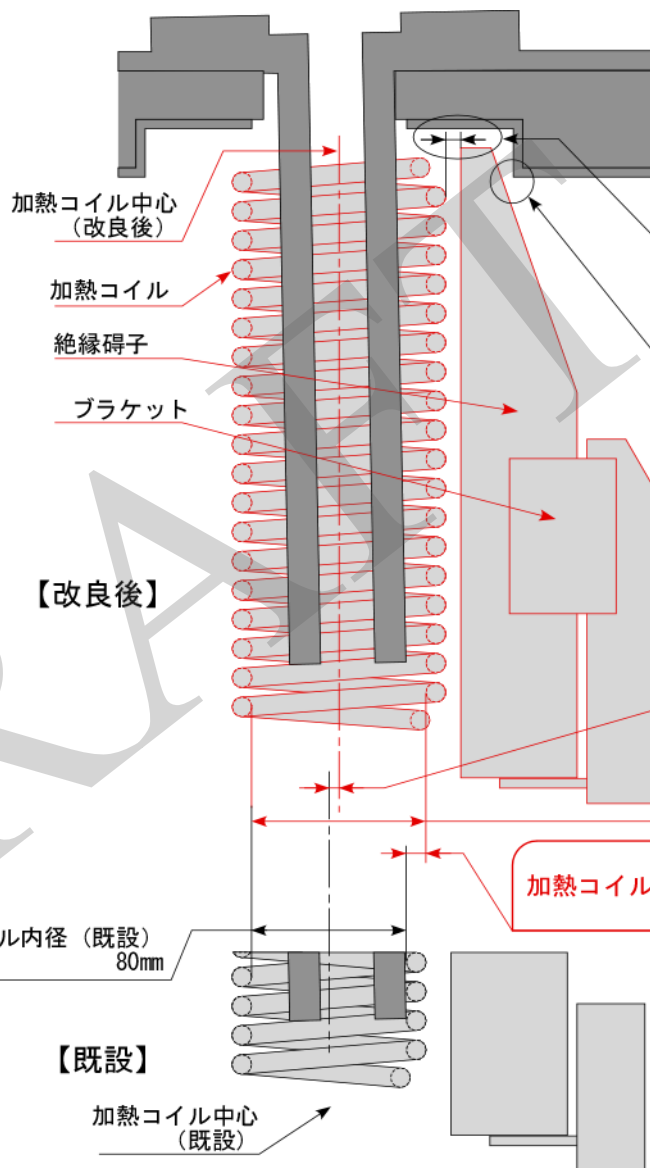
流下ノズルが
1.2° 傾いている。
(映像からの計算値)



【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。



以下の理由から、加熱コイル外縁の既設からのオフセットは、最大10mm。

- ・加熱コイルを絶縁碍子に取付ける金具のスペースを確保
- ・加熱コイルの冷却空気噴射用リングの入るスペースを確保
- ・絶縁碍子の強度を確保
- ・結合装置の遠隔取付け時の揺れにより、絶縁碍子が溶融炉底部構造物に干渉しないよう必要な隙間を確保

① 加熱コイル中心を
5mmオフセット

② 加熱コイル内径 (改良後)
90mm (片側5mm拡大)

①+②
加熱コイルと流下ノズルの間隔を
10mm拡大

加熱コイル径拡大のイメージ図

【ケース3】 新規溶融炉(3号溶融炉)の製作/交換

(1) 工程短縮検討

- ・前回監視チーム会合で示した工程に対し、材料手配の前倒しを検討し、約1.5ヶ月の工程短縮を図った。(別添資料-3)
- ・流下停止事象を踏まえ、流下ノズルの傾きを抑制するため、インナーケーシング構造変更(非対称構造→対称構造 等)の妥当性について、熱応力解析により確認中。
- ・今後、契約締結後にメーカーから提示される各項目の詳細工程の精査により、可能な限り工程短縮を図るべく検討を継続する。

(2) 対策

- ・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。
- ・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。

➤ 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。
- ITVカメラによる加熱コイルの観察の結果、流下ノズルが接触していたと想定する部位が白くなっており、接触により黒色の付着物が剥がれたものと推定している。

➤ 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33-34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29-30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。

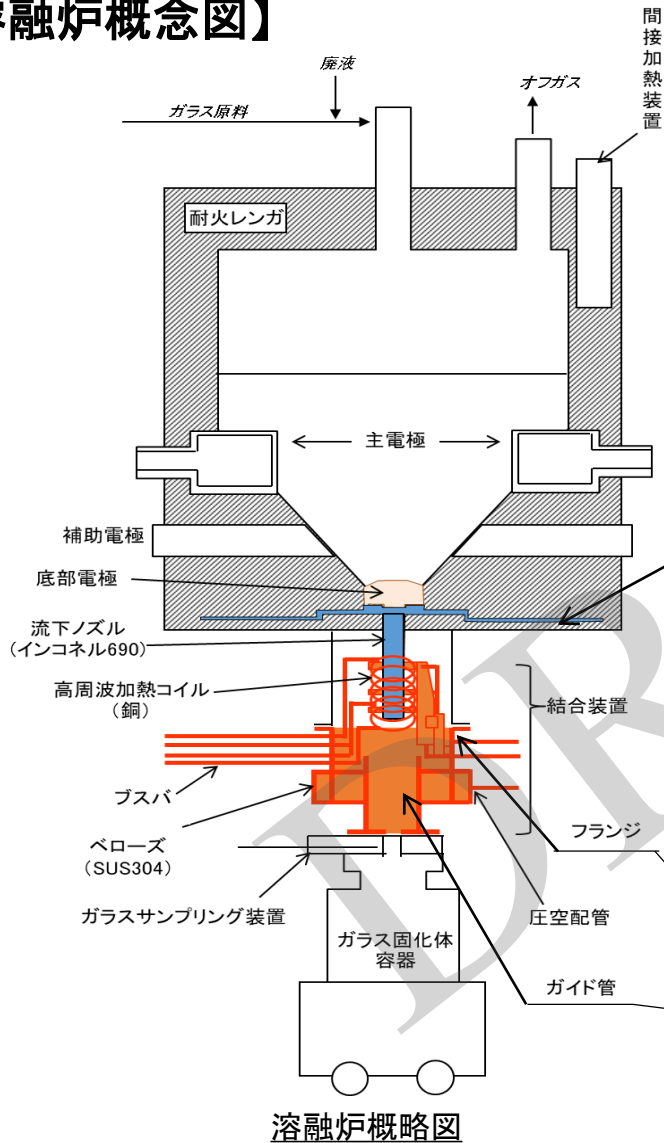
- なお、流下ノズルのずれ(西北西方向に約3.5 mm)は、インナーケーシングと耐火レンガのクリアランス(最大約5 mm)内であり、インナーケーシングのずれと流下ノズルの傾きに因果関係はないと考えている。(参考資料28頁参照:第36回会合で報告)

➤ 流下ノズルの傾きの傾向

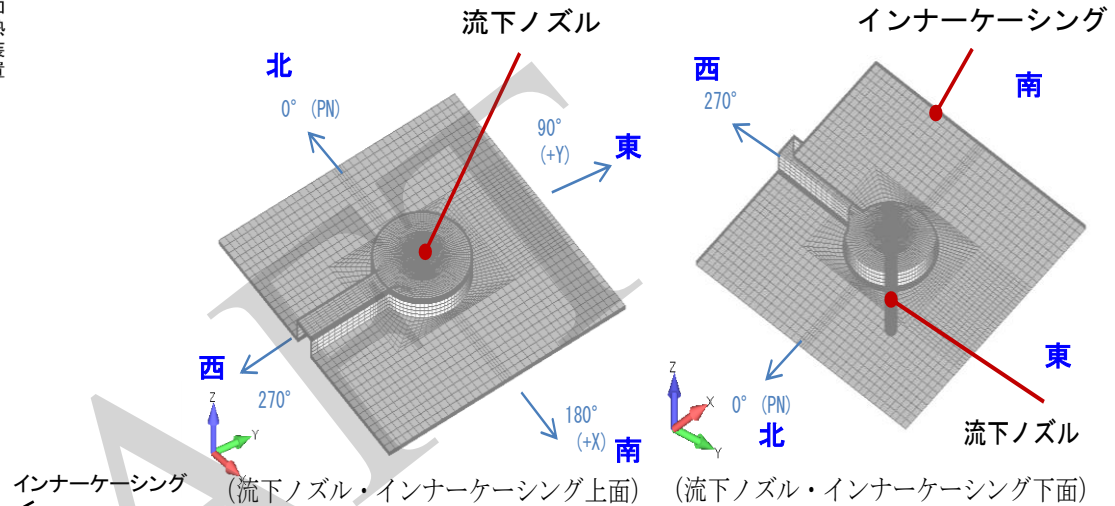
- 流下ノズルの変位の推移について、流下開始時の流下ノズル映像を基に評価(画像解析)した。その結果、流下ノズルの変位の進展傾向は、約20本目の流下以降、運転の経過に伴い一定の割合で変位が蓄積されていることが分かった(20頁参照)。
- 非定常解析により、流下ノズルの変位の進展傾向のメカニズムを確認した(18頁参照)。

3. 漏れ電流発生の原因調査状況 - 流下ノズルの傾きのメカニズム -

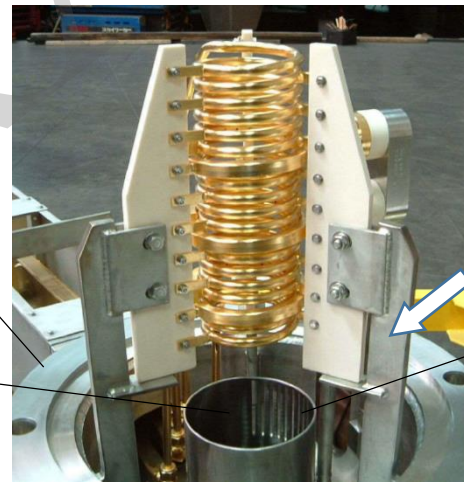
【溶融炉概念図】



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

流下監視カメラの向き (北西方向から)

ガイド管スリット

【定常解析結果】

- 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。

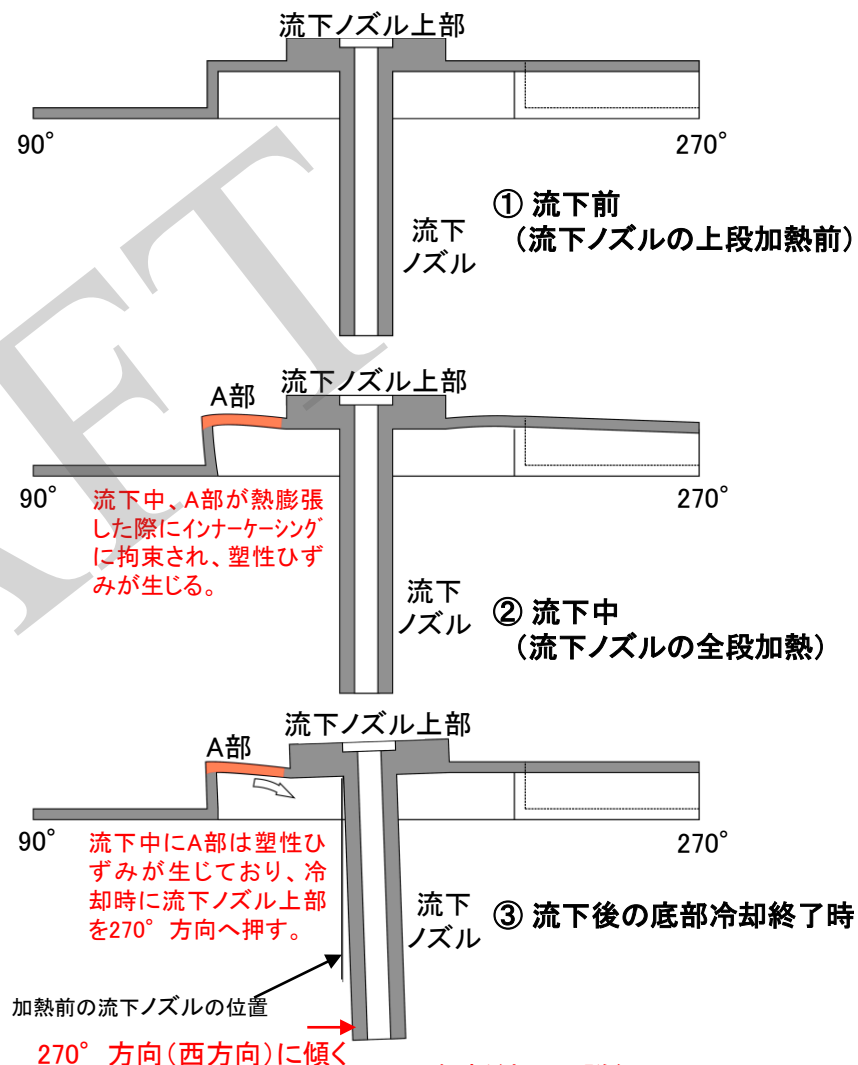
流下開始時は、流下ノズルの加熱を全段加熱に切り替え、流下ノズル全体を高周波加熱する。

流下中は、全段加熱を継続する。

- ② 流下ノズルの温度は、約1000°C (根元部: 約820°C) 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33-34頁参照

3. 漏れ電流発生の原因調査状況 - 流下ノズルの傾きのメカニズム -

【非定常解析結果】

定常解析結果の妥当性を説明予定(ひずみや変形の方法等)
非定常解析結果取りまとめ中

評価中

3. 漏れ電流発生の原因調査状況 - 流下ノズルの傾きの進展傾向について -

【画像解析結果】

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、流下ノズルが傾き、この傾きが蓄積されたことによるものと推定している。

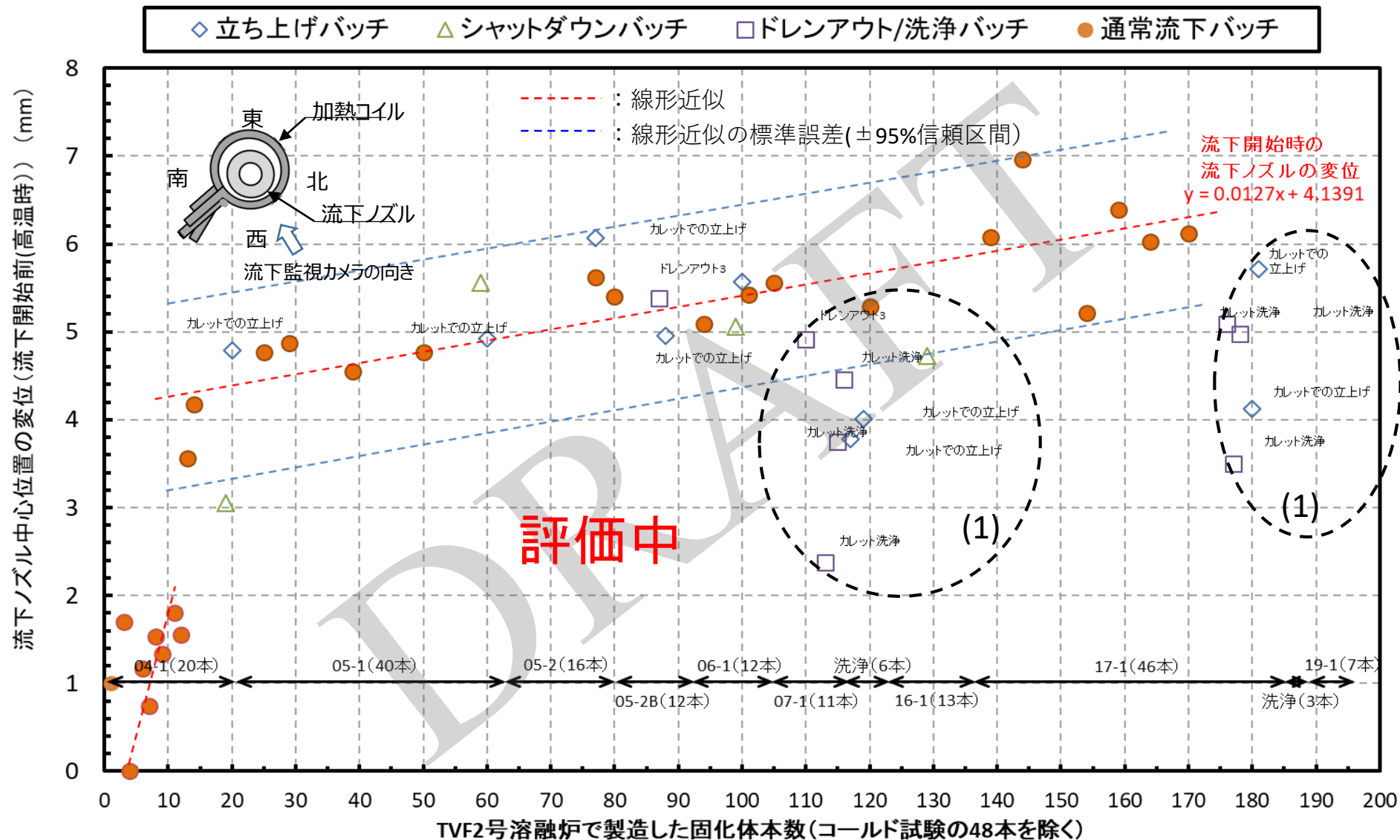
傾きの進展傾向を把握し、対策の妥当性を評価するため、流下ノズルの変位の推移について、流下開始時の流下ノズル映像を基に評価(画像解析)した。

その結果、約20本目の流下以降、運転の経過に伴い一定の割合で流下ノズルの変位が蓄積されていることが分かった。

評価中

3. 漏れ電流発生の原因調査状況 - 画像解析結果について -

令和元年12月25日第36回東海再処理施設安全監視チーム会合資料に加筆



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 - 流下ノズルの傾きの進展傾向について -

(1) カレット洗浄時等の傾きのバラツキの要因

カレット洗浄時はガラスの重量や流下ノズル周りの温度が変化することから、流下ノズル上面へのガラスの加重や流下ノズル周りの温度の違いによる影響について確認中。

- ・流下ノズル上面へのガラスの加重の有無(3本分:900kgと、0kg)による影響については、数mmのバラツキに対して僅かである。
- ・流下ノズル周りの温度の違いによる影響については、温度と流下ノズルの変位の関係を整理中。

評価中

3. 漏れ電流発生の原因調査状況 - 流下ノズルの傾きの進展傾向について -

(2) 流下ノズルの傾きの進展性評価

- ・非定常解析(3サイクル)結果より、傾きは収束方向であるが、徐々に進展していく。
- ・熱応力のみでの簡易モデルによる解析結果(500サイクル)で、変位が加速度的に増加することは無く、繰り返していくと変形は僅かに進行するが飽和傾向を示す。

以上の結果等から、変形の進展は、ほぼ線形で外挿することで評価可能である。

評価中

3. 漏れ電流発生の原因調査状況 - 流下ノズルの傾きの進展傾向について -

流下ノズルの変位は、全体的にガラス固化体の製造を繰り返すごとに増加しており、保守的に線形外挿して今後の変位の増加量を求めることとした。

- 今後、約300本繰り返した場合の変位の増加分は最大で標準誤差(95%信頼区間)を考慮すると約5.4mmと推定する。
- 現状、流下ノズル先端部は、加熱コイルの中心から約9.6mm(加熱コイルとのクリアランス約0.4mm)の位置にある。(参考資料 32頁)
今後、300本のガラス固化体を製造した場合、流下ノズル先端部は、加熱コイルの中心から約15mmの位置になると推定する。
- 加熱コイル径を拡大等するケース2の対策を施すことで、今後2号溶融炉の寿命を踏まえ300本のガラス固化体を製造したとしても、流下ノズルと加熱コイルのクリアランスは保守的にみても約5mm確保可能と考えられる。

評価中

原因調査から得られた「流下ノズルと加熱コイルの位置関係が変化する」ことを踏まえた流下ノズルと加熱コイルのクリアランスの管理

(1) ケース2、ケース3共通の対応

項 目		対 応
設計	最大のクリアランスを確保する方法(加熱コイルの下部の径を広げる、径の異なる複数の加熱コイルの準備等)	流下ノズル傾きの進展傾向(約0.013mm/本)を踏まえ、既存の結合装置に取り付け可能な最大の加熱コイル径を設定し、10mmのクリアランスを確保する。
設計	位置関係の変化にすぐに対応できるような結合装置の設計	遠隔にて加熱コイルの位置を調整する機能を結合装置に加えることができるか検討したが、既存の結合装置の配管等の取合いを踏まえると困難である。 従って、流下ノズル傾きの進展傾向が増大した場合を考慮し、加熱コイルに絶縁材を設置する等の処置を講じ、流下ノズルと加熱コイルの接触による漏電を防止する。
運転	予備品の準備	予備品を部品段階で準備しておくことにより、加熱コイルの位置調整が必要となった場合、位置調整を行い結合装置を組み上げ、交換する。
運転	流下ノズルと加熱コイルのクリアランスの管理	運転中は漏電の発生の有無を確認するとともに、キャンペーン終了時に流下ノズルと加熱コイルの位置関係を確認する。 流下ノズルと加熱コイルが接触し、漏電の発生を確認した場合は、結合装置を予備品と交換する。

(2) ケース3への対応

項 目		対 応
設計	流下ノズルの傾きの抑制	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構造に起因するものと考えている。原因調査結果を踏まえて、流下ノズルの傾きを抑制する構造(例:非対称構造→対称構造等)に変更する。(構造検討中)
設計 据付	流下ノズルの初期の芯ずれの抑制	検討中。
設計 据付	流下ノズルの初期の芯ずれの吸収	コールド試運転後(溶融炉を固化セルへ搬入前)の芯ずれを計測する。 計測結果を基に、流下ノズルが加熱コイルの中心となるよう加熱コイルの位置を調整し、結合装置を取り付ける。

参考資料

DRYFET

- 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。

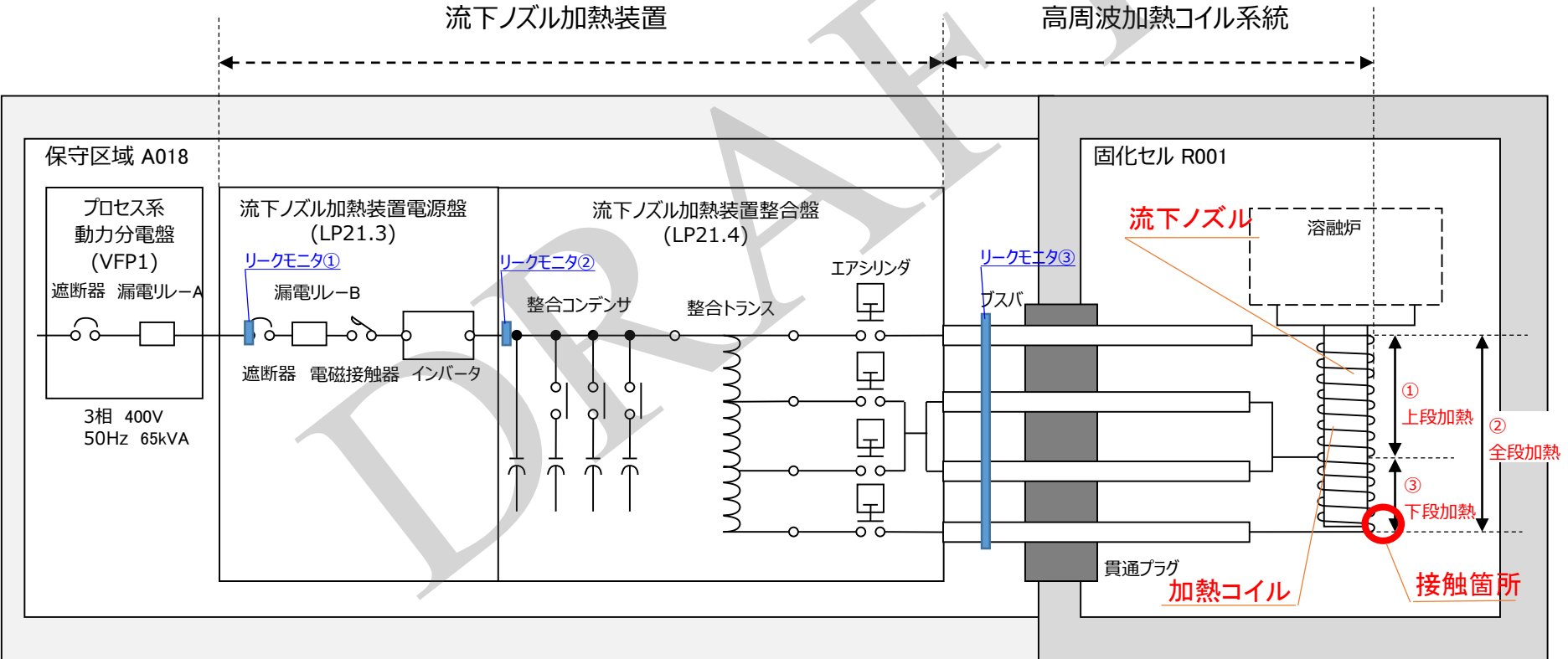


図. 加熱コイル給電系統

- 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

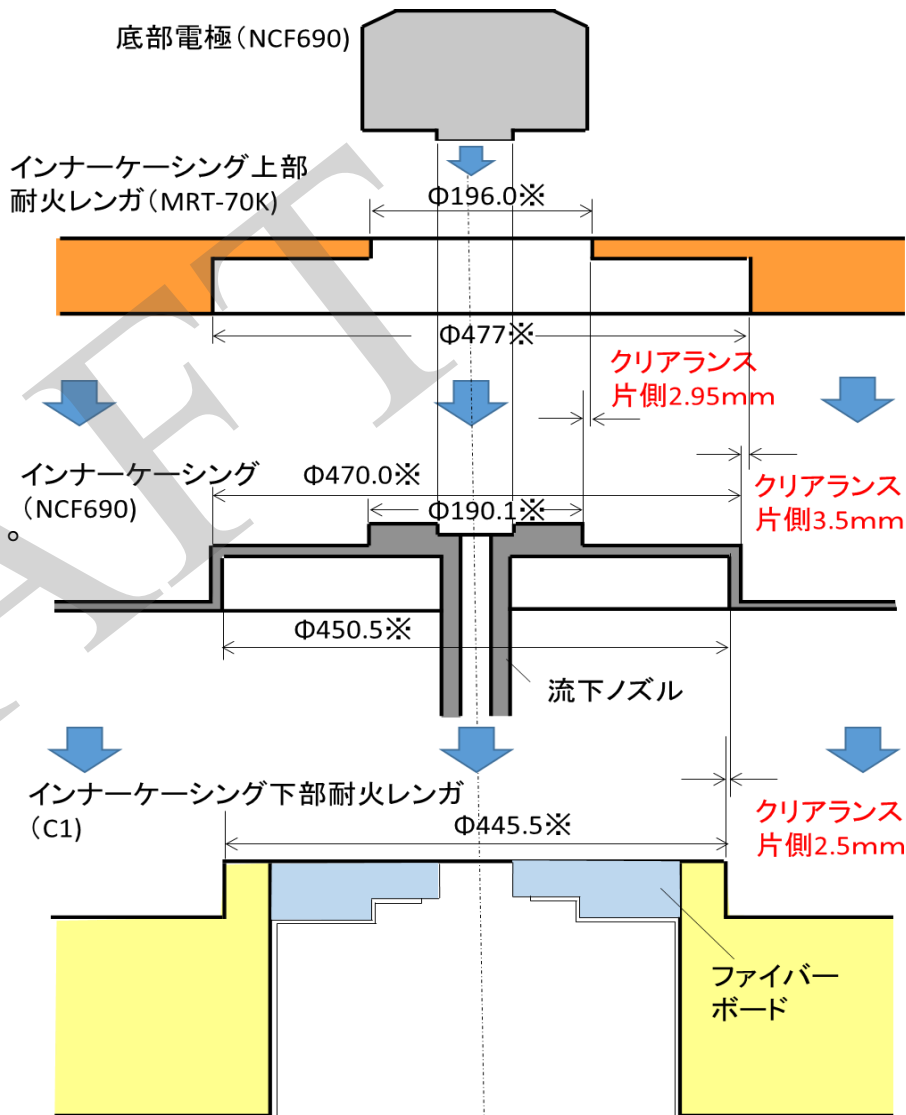
- 流下ノズルの設計上の芯位置に対するずれが約3.5mm(西北西方向)※(観察結果:参考資料24-25頁参照)。

※ 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。



【流下ノズルと加熱コイルの観察結果】

【推定方法】

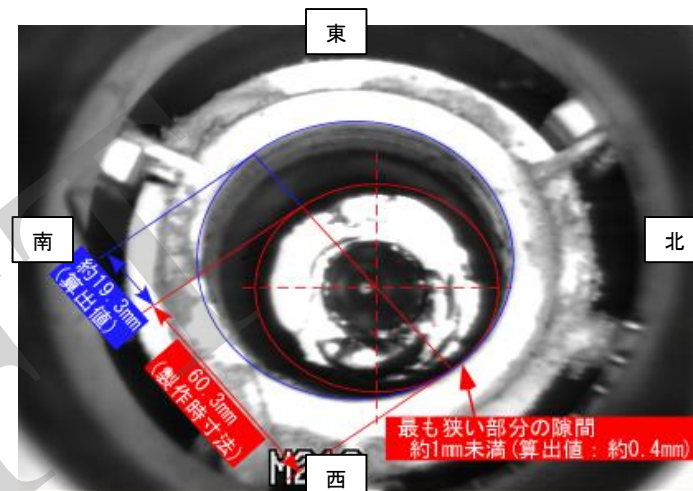
- 流下ノズル外径60.3mm(製作時の実測寸法)を基準として、画像上での計測値を換算して寸法を算出した。
- 加熱コイルの内径は設計値80mmとした。

① 流下ノズル先端部

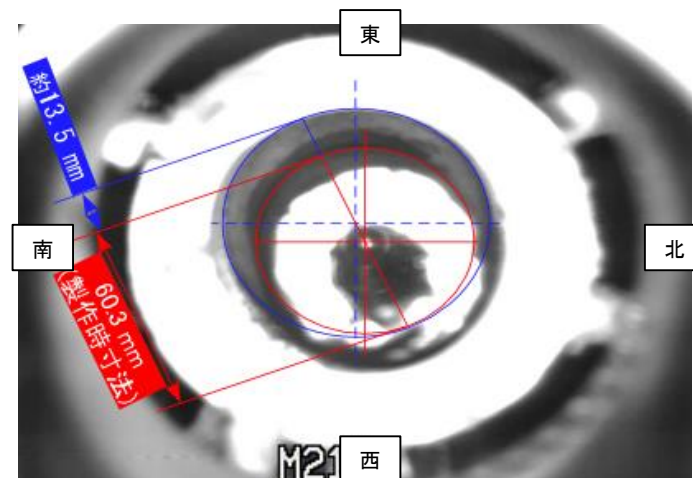
- 流下ノズル先端部と加熱コイルの間隔は、最も広い箇所で約19.3mm。
- **流下ノズル先端部と加熱コイルの間隔は、最も狭い箇所で約0.4mmと推定。**

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。**

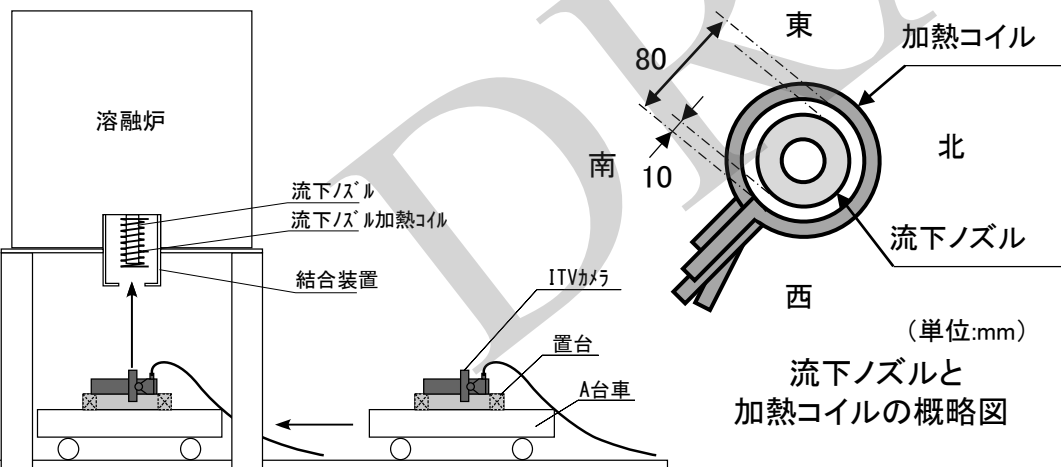


① 流下ノズル先端部の観察結果



② 流下ノズル根本部の観察結果

観察結果

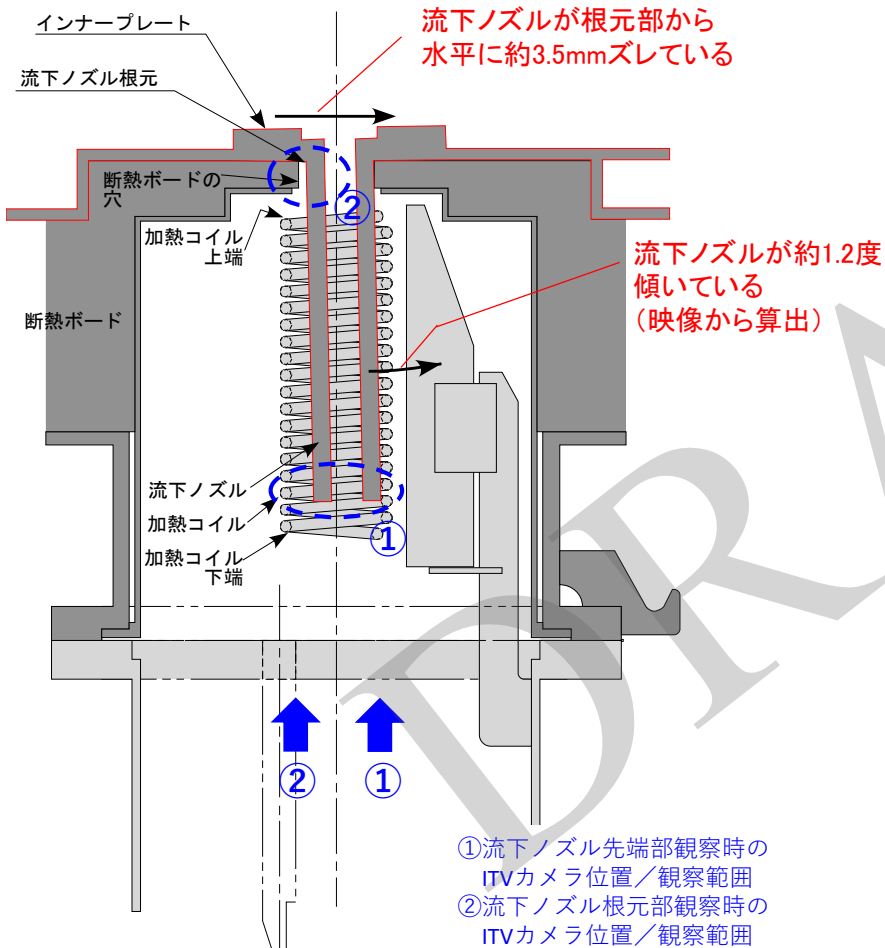


観察方法

流下ノズル
周りを観察

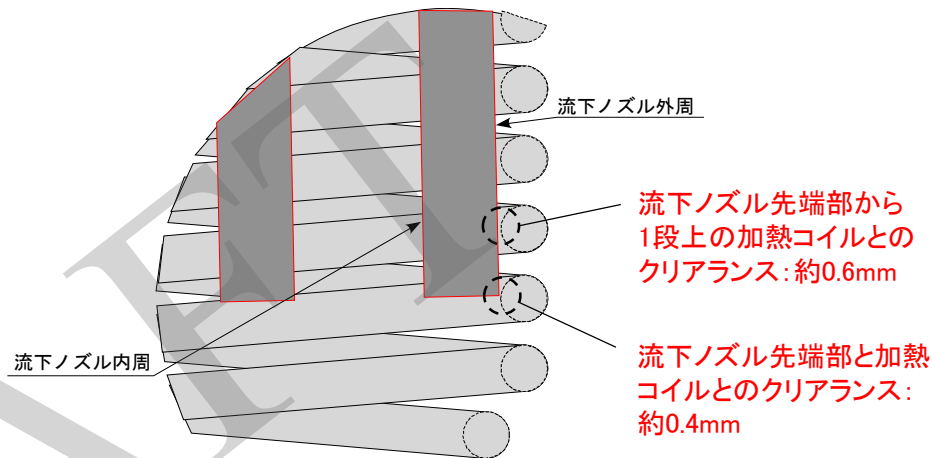
A台車を移動

✓ 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。

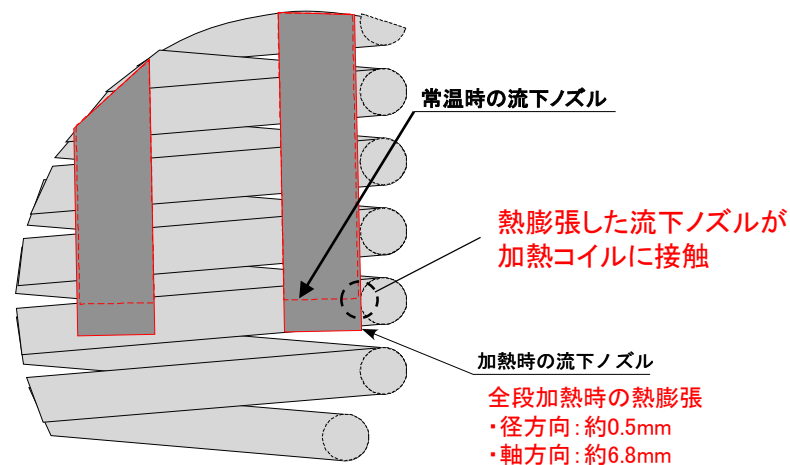


観察結果から推定した

流下ノズルと加熱コイルの位置関係(常温時)

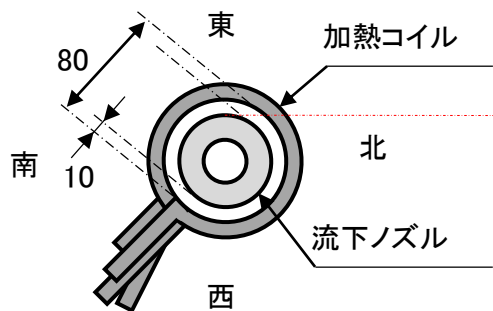


流下ノズルと加熱コイルの位置関係拡大図(常温時)

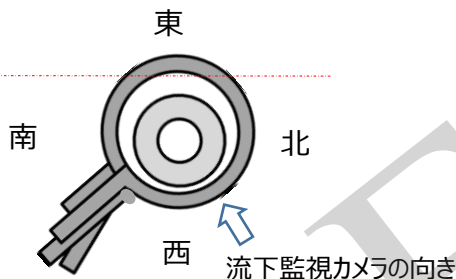


流下ノズルと加熱コイルの位置関係拡大図(全段加熱時)

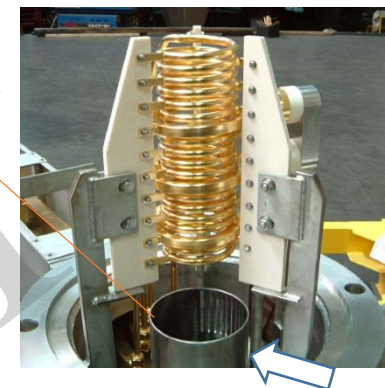
【画像解析状況】



i) 設計上の初期位置



ii) TVF-317流下後の位置



流下監視カメラの向き

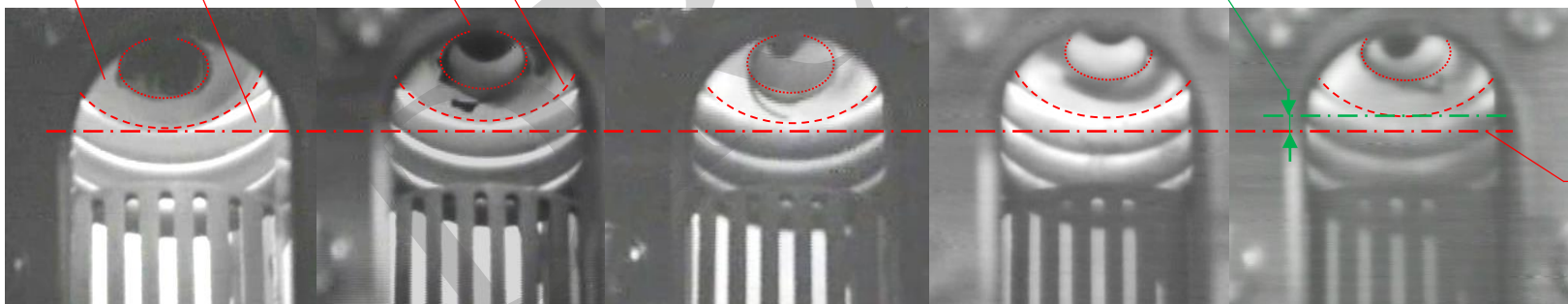
流下ノズル
(外径60mm)

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。

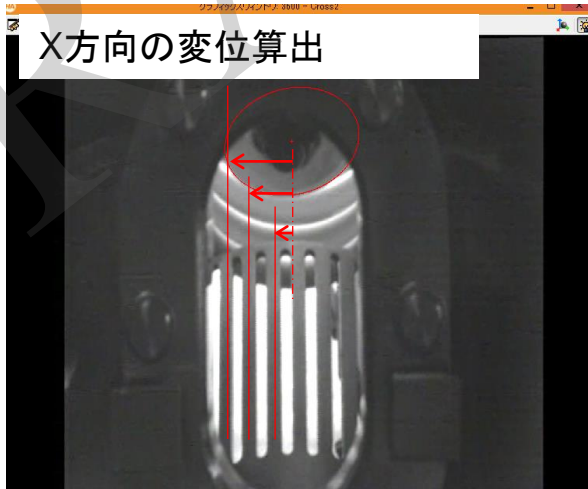
【Z方向の変位の算出】

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。

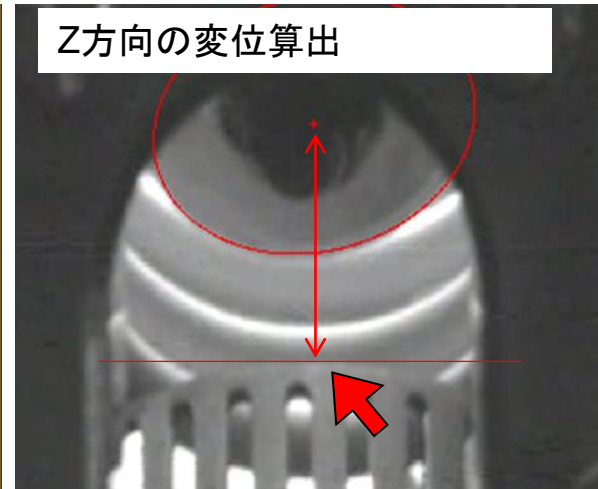
①



X方向の変位算出



Z方向の変位算出



【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。

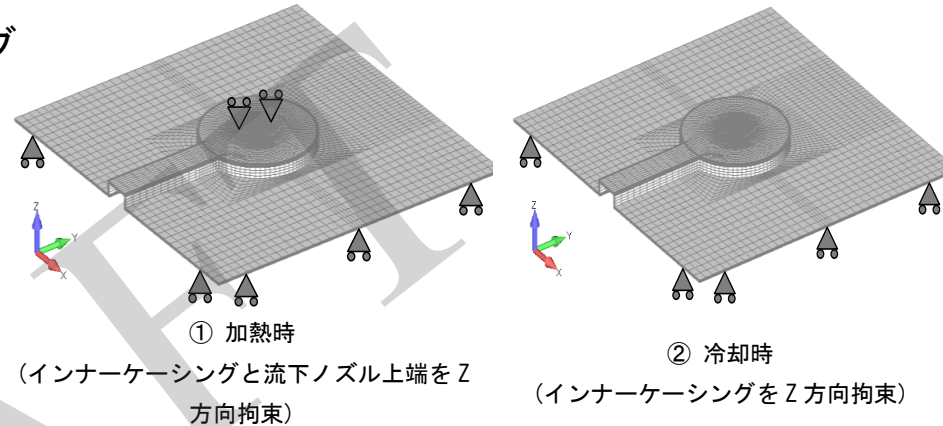


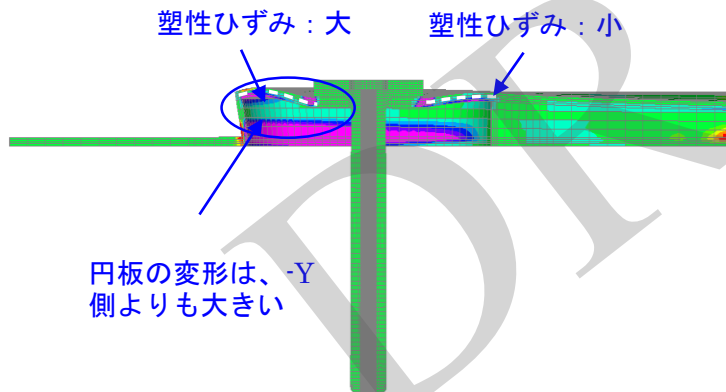
図3 熱応力解析の拘束条件



- 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】

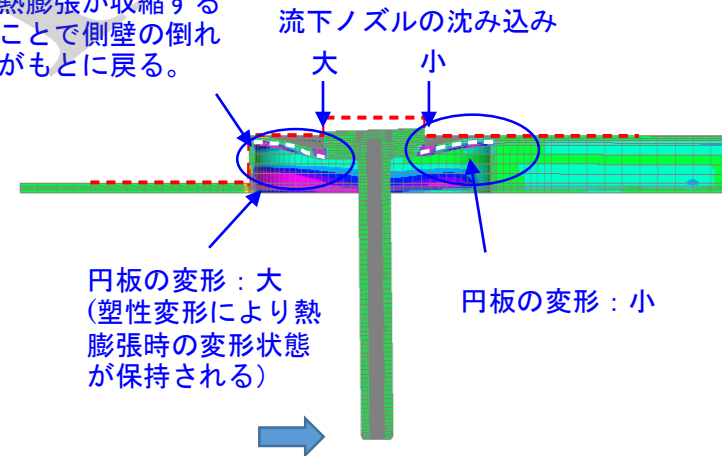
流下ノズル温度計の段差部がある側(-Y)よりその反対側(+Y)の応力が大きいことから、塑性ひずみも+Y側で大きく発生している。



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

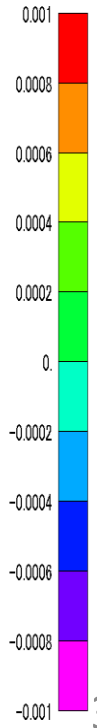
【底部冷却終了時】

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

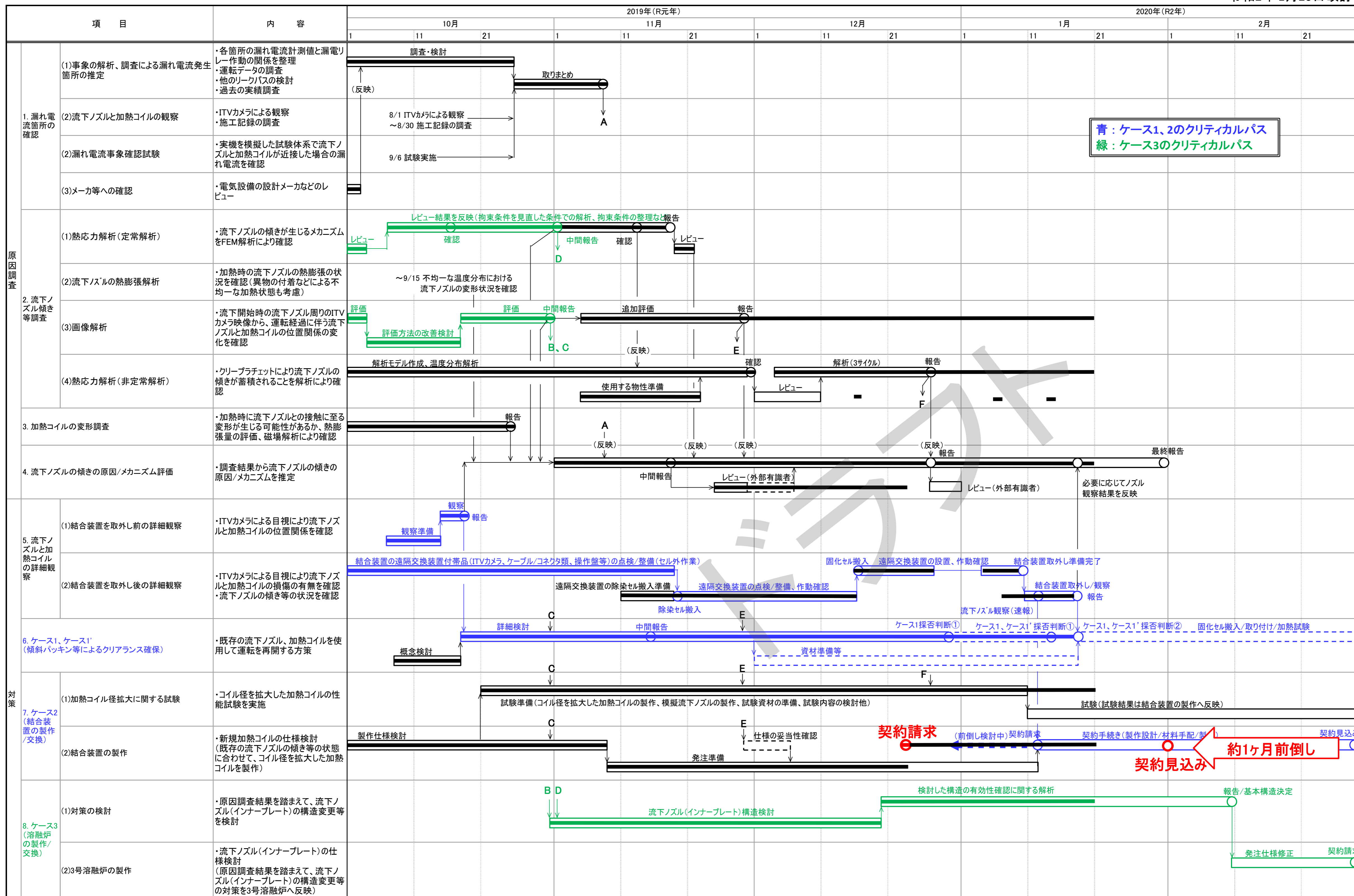
【mm/mm】



流下停止に係る原因調査、対策スケジュール

別添資料-1

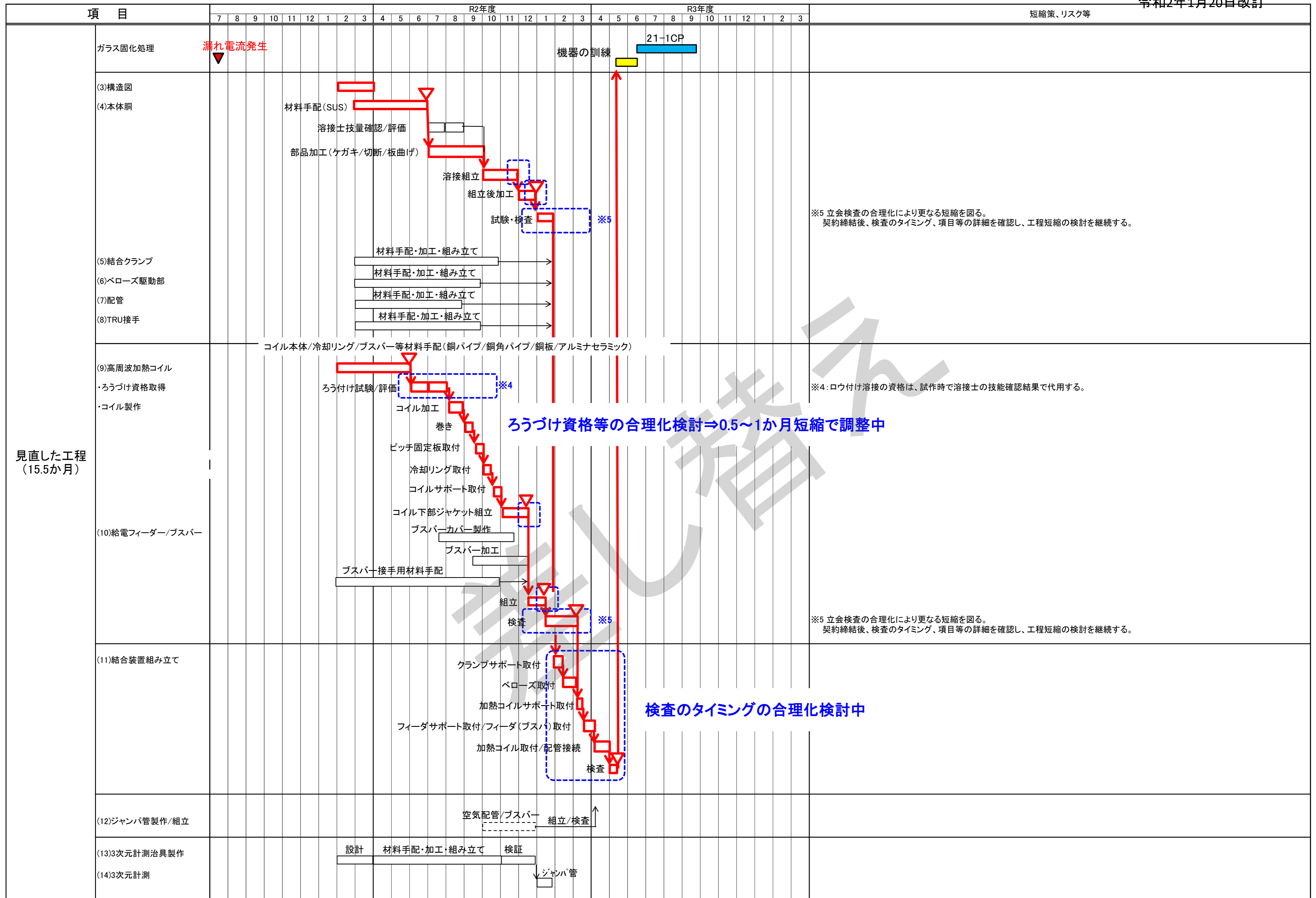
令和元年11月27日作成
令和2年1月20日改訂



ケース2 全体詳細工程(工程短縮検討中)

別添資料-2

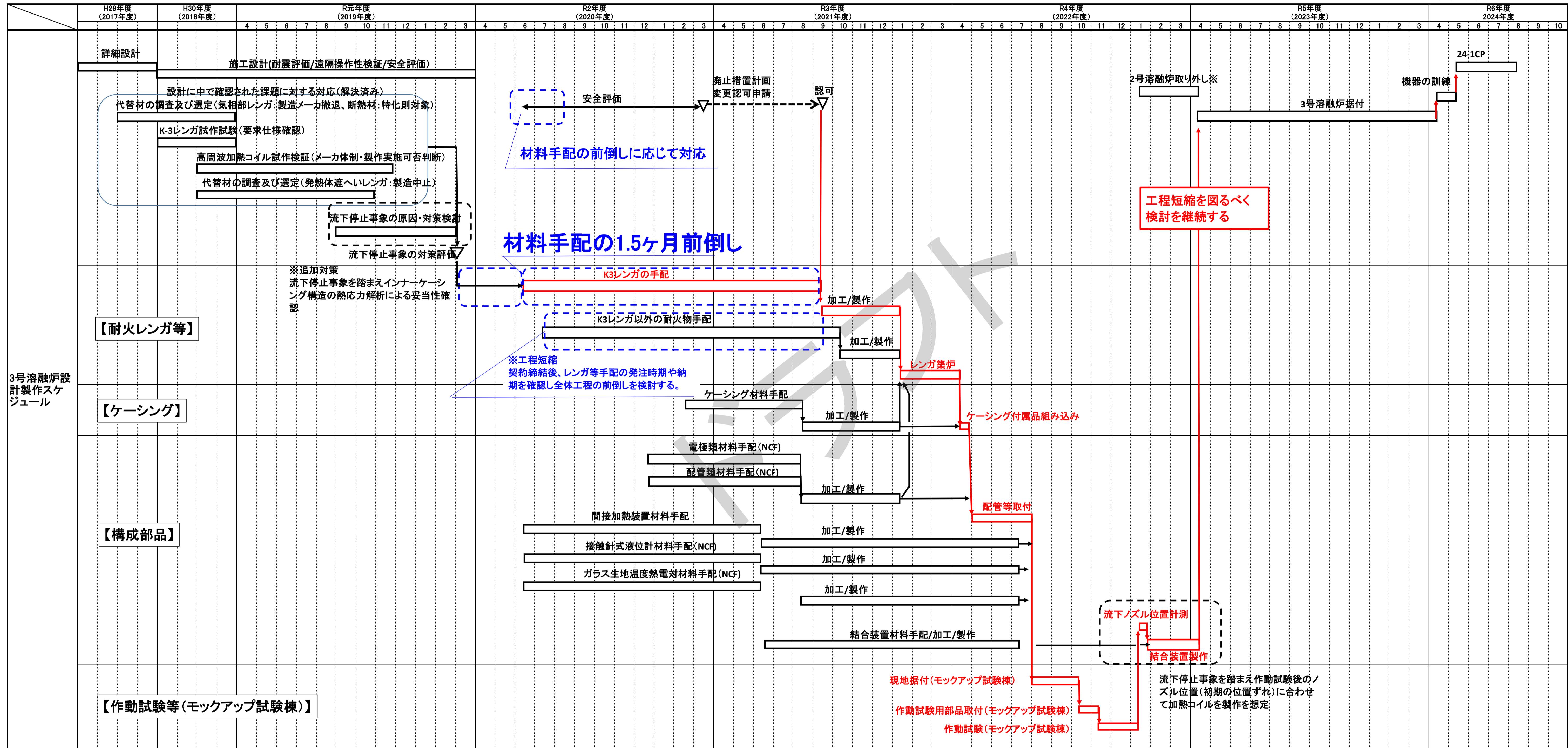
令和元年12月24日作成
令和2年1月20日改訂



見直した工程
(15.5か月)

TVF3号溶融炉の製作に係るスケジュール(1次ドラフト)

令和元年12月24日作成
令和2年1月20日改訂



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