

# 流下ノズル加熱電源系統における漏れ電流発生の原因及び対策について

令和元年 8 月 6 日  
再処理廃止措置技術開発センター

## 1. 概要

ガラス固化技術開発施設（TVF）の溶融炉の流下ノズル加熱電源系統において、漏れ電流発生により漏電リレーが作動し、ガラス流下が停止した。この漏れ電流発生の原因調査結果に基づき、対策を講じた上で、TVF の運転を再開する。

## 2. 漏れ電流発生の原因調査結果

### 2. 1 流下ノズル加熱装置の概要

#### (1) 流下ノズル加熱電源系統の構成

漏れ電流が発生している流下ノズル加熱電源系統について、全体構成及び固化セル内の構成をそれぞれ図-1、2 に示す。なお、流下ノズル加熱電源系統の内、流下ノズル加熱装置（電源盤、整合盤）については、前回の運転（17-1CP、平成 29 年 1～6 月）において発生した流下停止を踏まえ、今回の運転（19-1CP、令和元年 7 月 8 日～）開始前に更新を行っている。

#### (2) 流下ノズルの加熱手順

流下ノズル加熱装置による流下ノズルの加熱手順を図-3 に示す。

### 2. 2 漏れ電流の発生状況

漏れ電流が発生した際、流下ノズル加熱装置（電源盤）の漏電リレーの作動による「接地異常」表示の点灯を確認した。その他、「過電流」や「インバータ過電圧」等の表示は点灯していない。

図-4 に流下ノズル電源系統の漏れ電流の発生状況を示す。今回の運転において、ピーク状に瞬時に収まる漏れ電流（最大約 250mA）が繰り返し生じており、各流下における漏れ電流の発生のタイミング、電流値について規則性は見られなかった。

漏電リレー作動による流下停止後の絶縁抵抗測定の結果、異常は認められていない。

以上から、漏れ電流は、通電経路（ブスバ、流下ノズル加熱コイル等）と流下ノズルやカバー等との近接に伴い発生したスパークによるものであると考えられる。

## 2. 3 系統の点検結果

### (1) セル外系統の点検結果

流下ノズル加熱電源系統の内、セル外に設置されているブスバ及び流下ノズル加熱装置（電源盤及び整合盤）について、絶縁抵抗測定及び外観目視点検を行い、絶縁の低下がないこと、通電部位の変形、絶縁材の破損等がないことを確認した。絶縁測定及び外観目視点検の結果をそれぞれ図-5,6 に示す。

### (2) セル内系統の点検結果

流下ノズル加熱電源系統の内、セル内に設置されている流下ノズル加熱コイル（以下、コイルとする。）及びブスバについて、ITV カメラにより外観目視点検を行った。

コイルについては、コイル真下からコイルと流下ノズルの位置関係を確認した結果、コイルと流下ノズル間の距離（設計 10mm）が約 3mm 程度まで近接している箇所を確認した。これについては、前回の運転終了後においても、同様に確認している。

ブスバについては、ブスバのカバーの取り外し可能な遠隔接手箇所（2 か所）を確認した結果、ブスバの変形、絶縁材の破損等がないことを確認した。

以上の点検結果を、添付-1、図-7 に示す。

外観を確認できないブスバについては、コイルに比べ、溶融炉からの熱影響を受けにくく、ブスバの絶縁材が損傷している場合、ブスバと金属部位が接触するため、これまで確認されているようなピーク状の漏れ電流は生じないことから、ブスバでの漏れ電流の発生は考えにくい。

## 2. 4 漏れ電流発生状況と各データとの関係

2. 2 及び 2. 3 項の結果より、漏れ電流は、セル内でのスパークによるものであると考えられることから、湿度や温度等の環境の変化による影響の有無について、漏れ電流の発生状況（タイミング、漏れ電流値）と固化セル内湿度、流下ノズル下部温度、流下ノズル加熱電圧との関係を以下の通り、調査した。

- ① 固化セル内の湿度と漏れ電流の関係（図-8 参照）については、湿度の上昇により漏れ電流が高くなる傾向が見受けられている。
- ② 流下ノズル加熱電圧と漏れ電流の関係（図-9 参照）については、約 300V 以下の範囲で漏電リレーの作動は見られていない。
- ③ コイル周りの温度条件により、流下ノズルとコイルの位置関係が変化することから、流下ノズル下部温度と漏れ電流の関係（図-10 参照）を確認した結果、温度の上昇により漏れ電流が低くなる傾向が見受けられる。

## 2. 5 漏れ電流発生 の 推定原因

原因調査の結果から、流下ノズルとコイルの近接部位で、スパークが発生し、漏れ電流が生じたものと推定する（図-11 参照）。

流下ノズルとコイルの中心は、設計上、2mm のずれまで許容しており、コイル取り付け時（平成 16 年度）において、流下ノズルとコイルが接触していないことは確認したが、位置関係は確認していない。

## 3. 対策

### 3. 1 今回の運転再開に向けた対策

今回の運転再開にあたっては、2. 5 項の推定原因を踏まえ、以下の対策を講じる。また、対応工程を図-12 に示す。

#### （1）漏電リレー設定値の変更及び発電機による電源系統の独立化

流下ノズル加熱装置における漏電リレーの設計上の設定値は 500mA であるが、TVF の給電系統（特高変電所～第 11 受変電設備～動力分電盤～TVF 内各設備）の保護協調をとるため 200mA に設定している。

流下ノズル加熱装置としては 500mA まで漏れ電流を許容できる設計であることから、漏電リレーの設定値を現状の 200mA から 500mA に変更する。漏電リレー作動時の漏れ電流は約 200mA 程度であり、500mA に変更することにより漏電リレー作動による流下停止を低減する。なお、流下ノズル加熱電源系統は冷却水を通したブスバやコイルから構成されており、設計上、500mA までの漏れ電流は考慮されていることから、500mA への変更は安全上問題ない。

本変更にあたっては、保護協調の観点から、流下ノズル加熱装置を既設の TVF の給電系統から切り離し、発電機から給電することを検討している。

流下ノズル加熱装置への発電機からの給電については、安全上の問題が生じないように、作業手順、異常時の対応手順等を整備して実施する。

#### （2）漏れ電流の抑制検討

漏れ電流を抑制するため、2. 4 項の調査結果に基づき、湿度及び電圧に係る対応を検討し、実施可能な対策を講じる。

- ① 湿度を低下させることで、スパーク発生を抑制できることから、固化セル内の温度調整による固化セル内相対湿度の低下を検討する。
- ② 電圧を低下させることで、スパーク発生を抑制できることから、流下ノズル加熱電圧を低くする運転パラメータの設定値変更を検討する。また、流下ノズル加熱装置において、整合用コンデンサの設定を変更することで、流下ノズル加熱用の高周波回路のインピーダンスを調整し、流下ノズル加熱電圧を下げることも検討を行う。

### (3) 運転再開に係る安全性

(1)(2)の対策による運転再開にあたっては、引き続き、リークモニタにより、漏れ電流の発生状況を監視することにより、スパーク発生に係る事象進展の有無を確認する。

事象が進展した場合、漏電リレーの設定値を500mAに変更しても、漏電リレーが作動することが考えられるが、流下ノズルが加熱できなくなり、ガラスが冷えて固まり流下が停止するため、安全上の問題はない。

### 3. 2 次回の運転に向けた対策

固化処理計画において、次回運転は、令和2年度末頃から開始を計画しており、これに向けて対策の検討を行う。

- ① 流下ノズルとコイルとの位置関係を踏まえ、流下ノズルの中心にコイルの中心が合うように、コイルの交換（コイルが組み込まれている結合装置の交換）について検討を行う。
- ② TVFの給電システムの保護協調を維持した状態で、流下ノズル加熱装置の漏電リレーの設定値を500mA（設計上の許容値）まで上げられるようにするため、流下ノズル加熱装置内の変圧器を絶縁タイプに変更し、TVF給電システムと分離することについて検討を行う。

以上

高周波加熱コイル系統

流下ノズル加熱装置

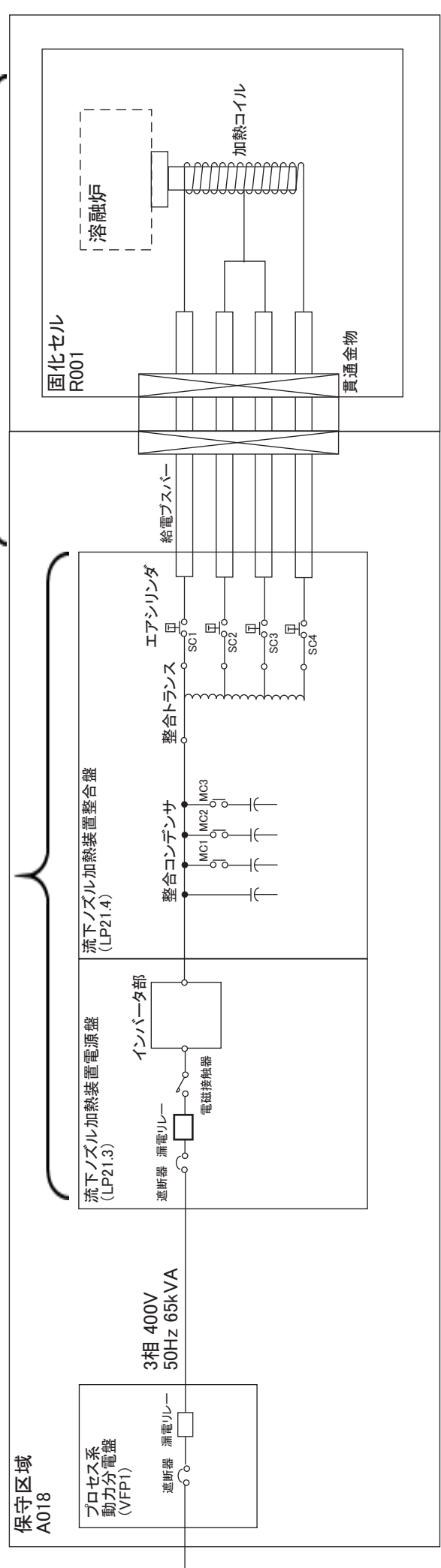


図1 流下ノズル加熱装置系統図

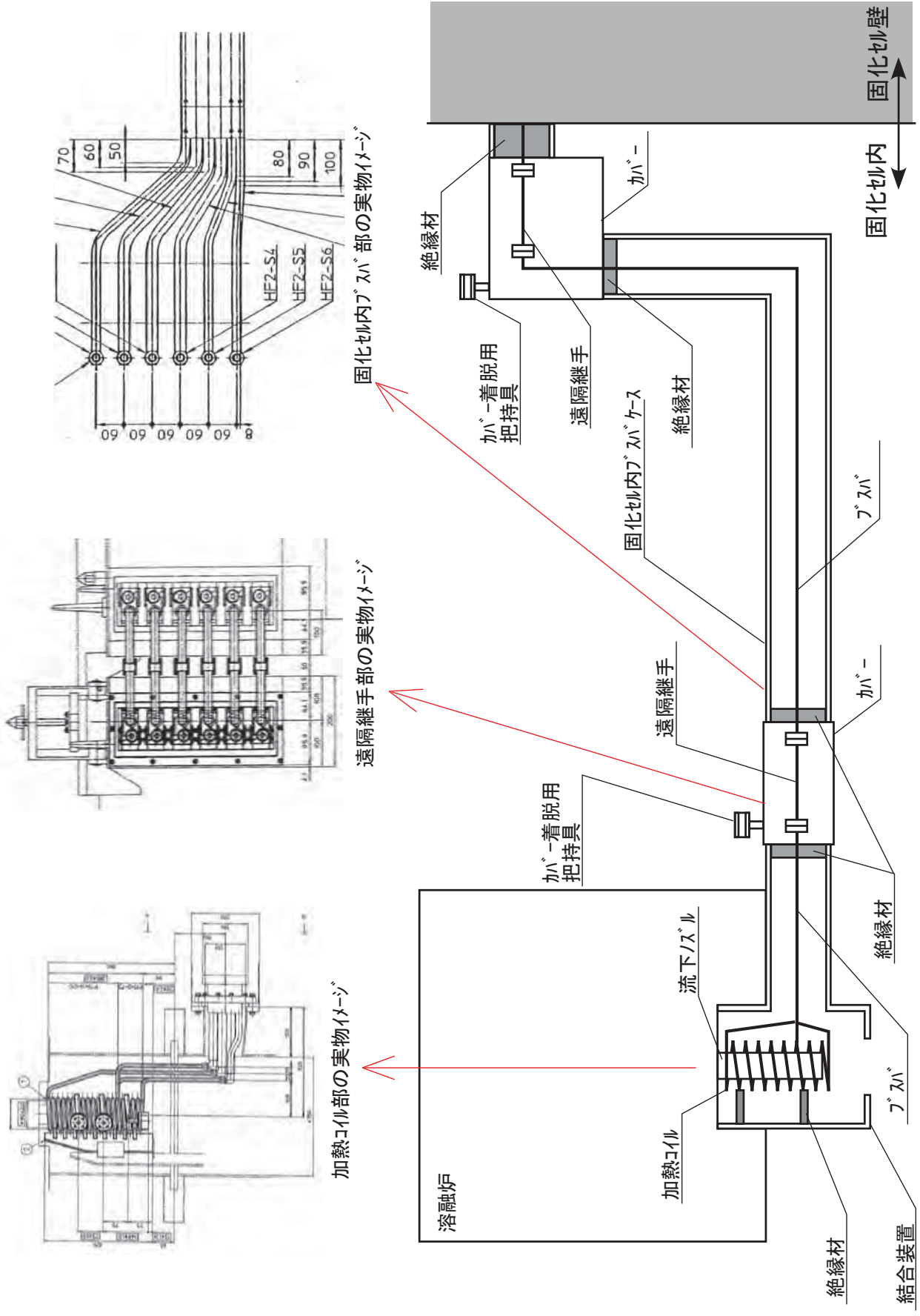
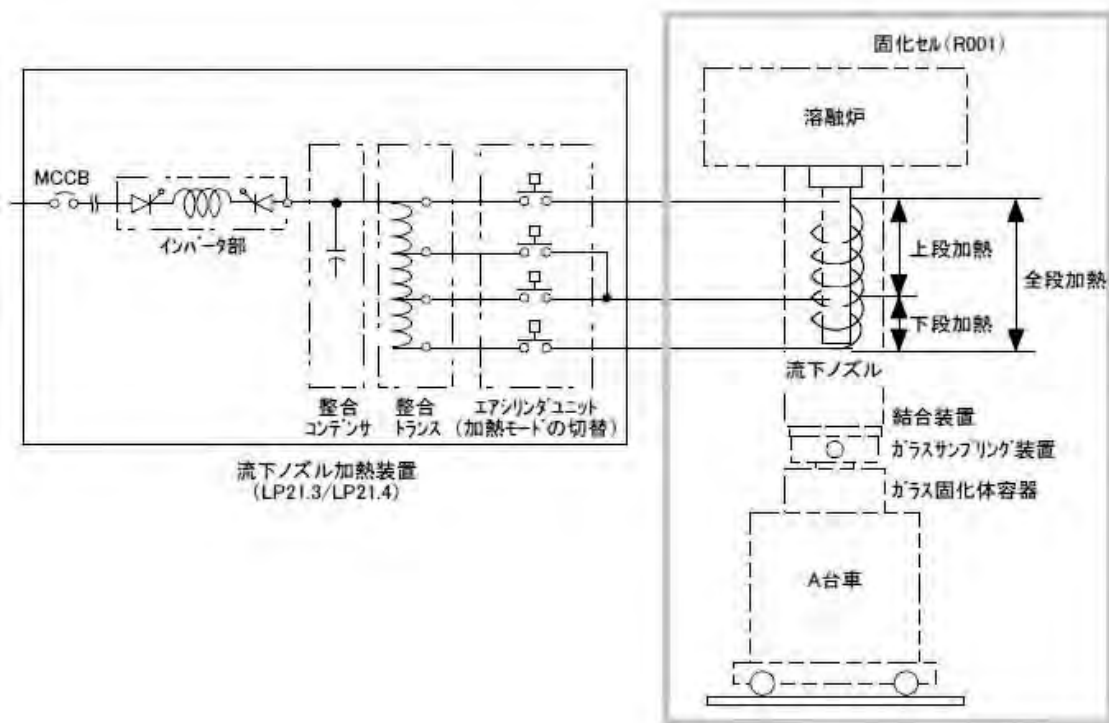
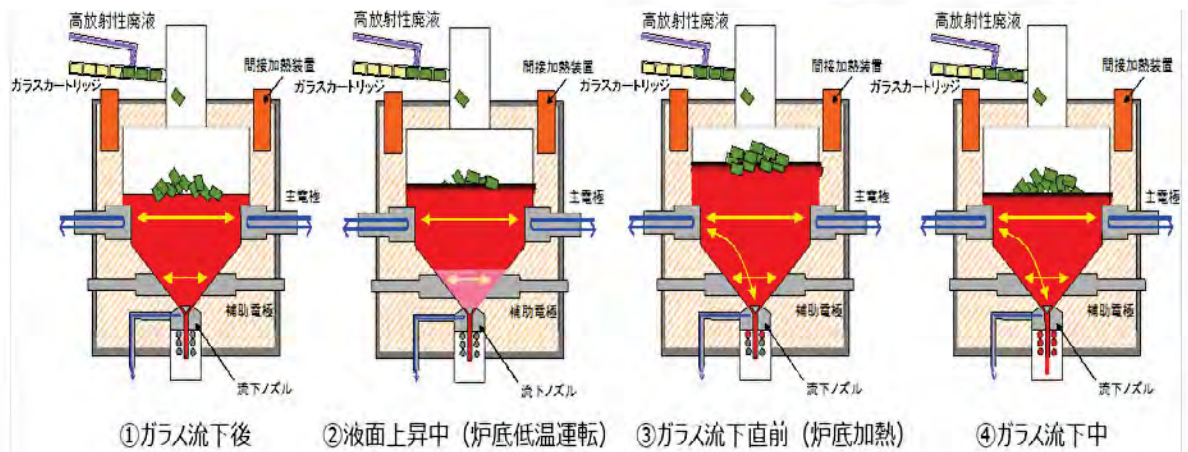


図-2 固化セル内高周波加熱コイル系統



流下ノズル加熱装置 (LP21.3/LP21.4)

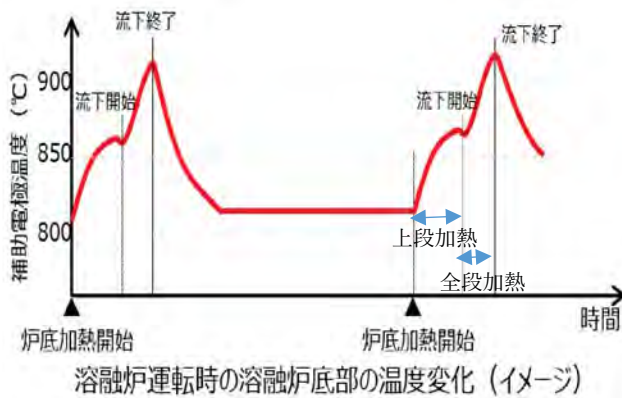


① ガラス流下後

② 液面上昇中 (炉底低温運転)

③ ガラス流下直前 (炉底加熱)

④ ガラス流下中



溶融炉運転時の溶融炉底部の温度変化 (イメージ)

<運転管理及び操作>

- 主電極通電によりガラス温度 $1150^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ に保ち、同時に補助電極間電流を調節することで、炉底部のガラス温度を約 $850^{\circ}\text{C}$ とするために、補助電極温度を約 $820^{\circ}\text{C}$ に管理する。
- 流下は、炉底加熱により炉底部の温度を上げる必要がある。また、流下中は、高温のガラスが炉底部に流れ込み温度が高くなる。
- 流下終了後、速やかに炉底低温状態に移行させるために、主電極-流下ノズル間の通電を止めるとともに、底部電極に冷却空気を流して炉底部の温度を下げる運転操作を行う。

図-3 TVF 溶融炉の運転方法

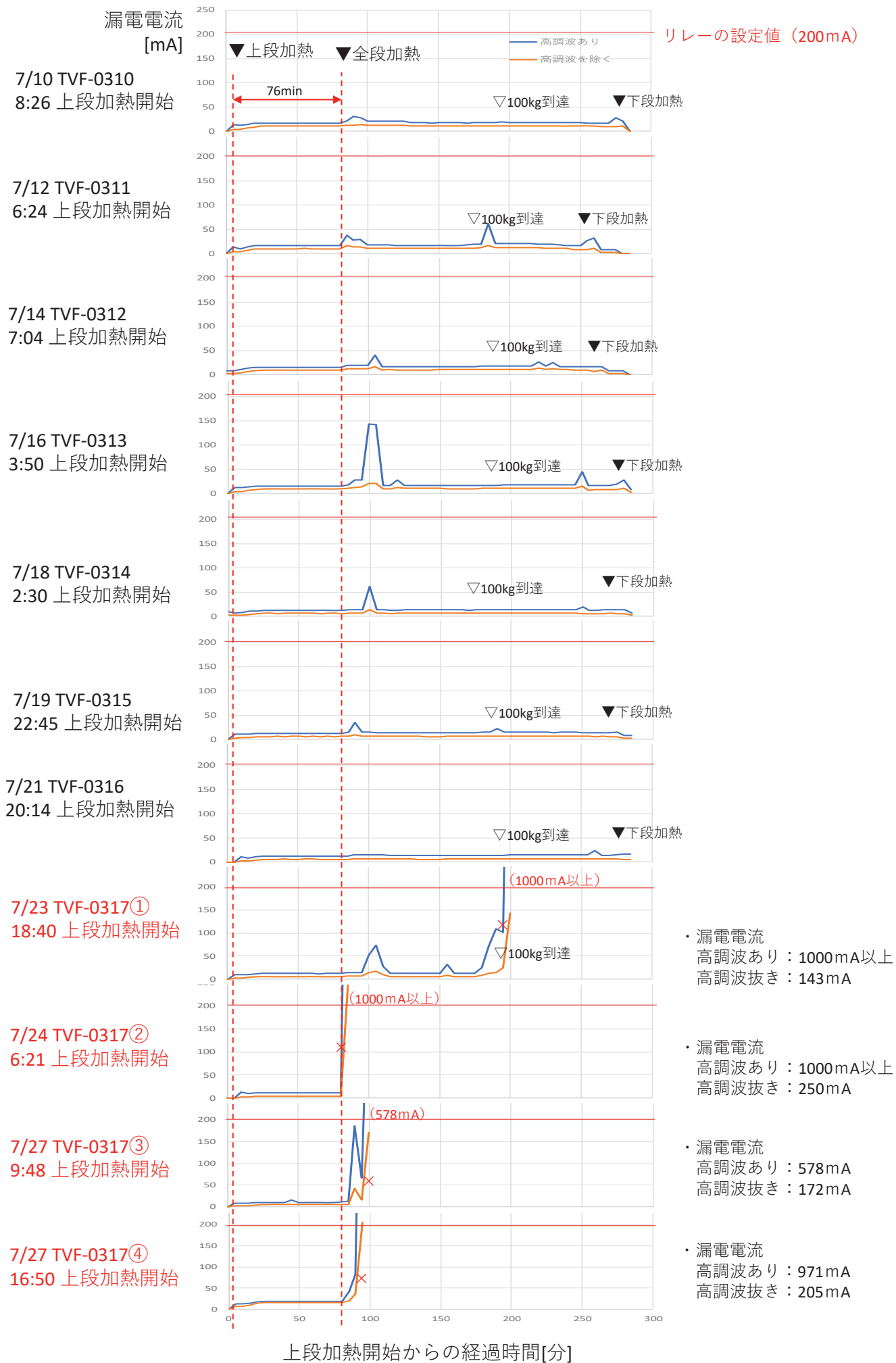
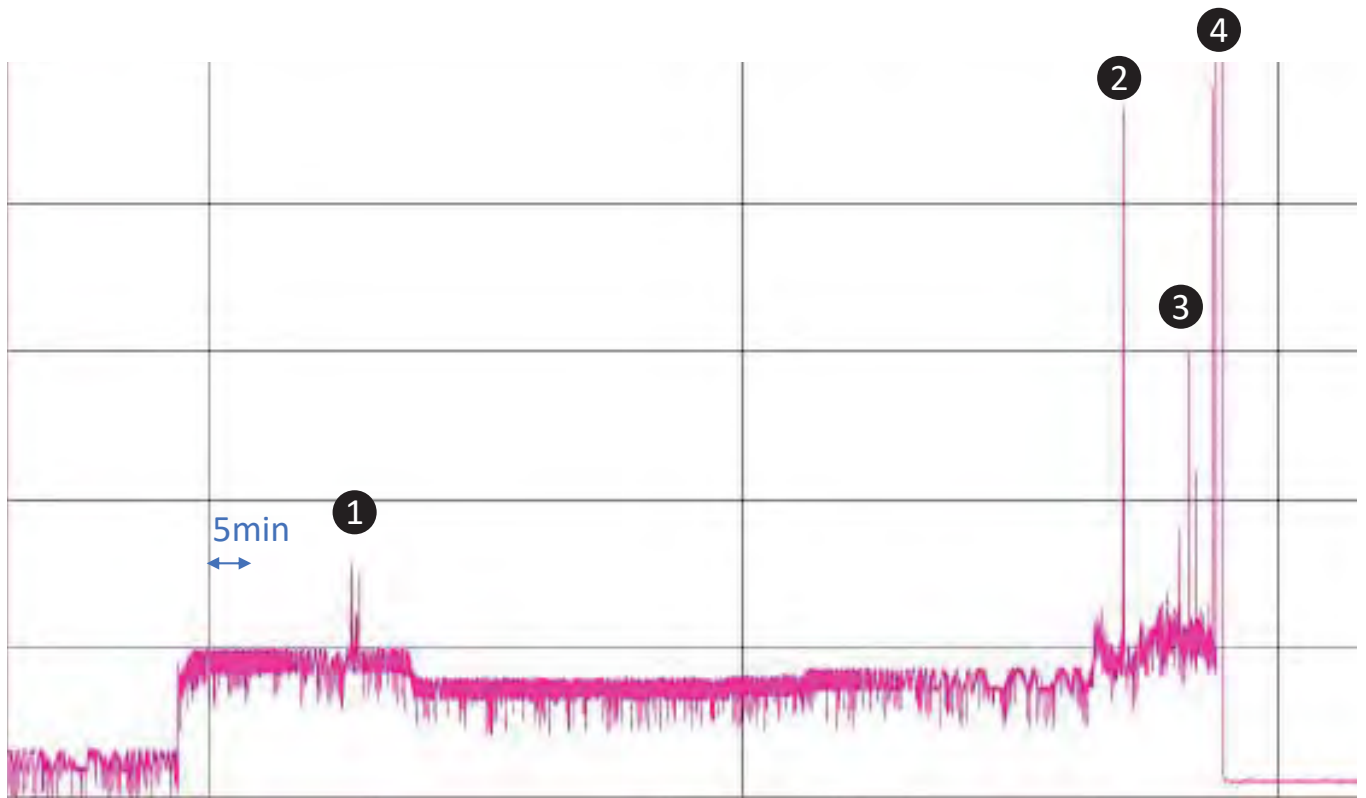


図-4 リークモニタによる各運転での漏れ電流の比較(19-1CP) (1/4)





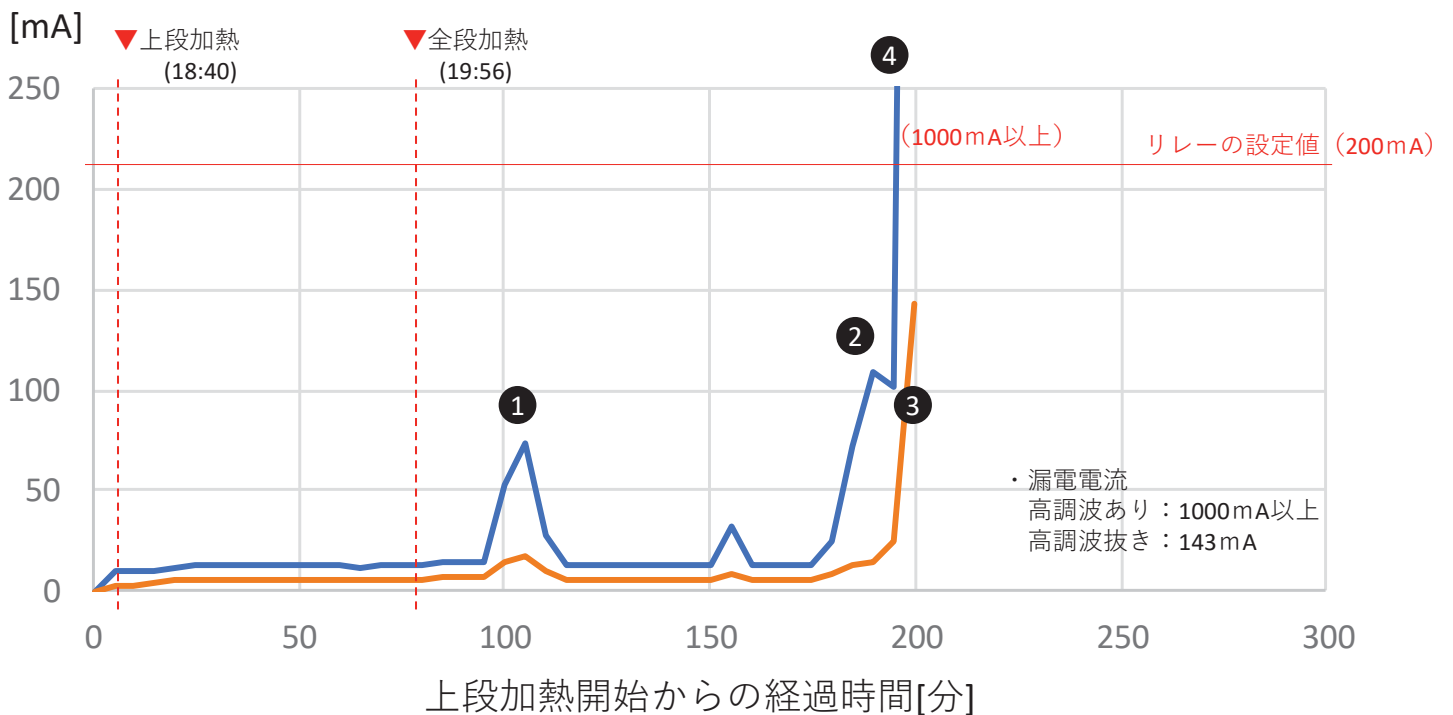
リークモニタ（参考値）

『漏電ピークのグラフについて』

- (1) 下記データは、5分間の漏電の最大値を記録し作成したものであり、断続的な山型のピークとして検出していない。
- (2) 漏電は上記に示すとおり短時間のピークとなっている。

【①～④を参照のこと】

漏電電流



漏電ピークのグラフ比較（TVF-0317①）

図-4 リークモニタによる各運転での漏れ電流の比較(19-1CP) (2/4)

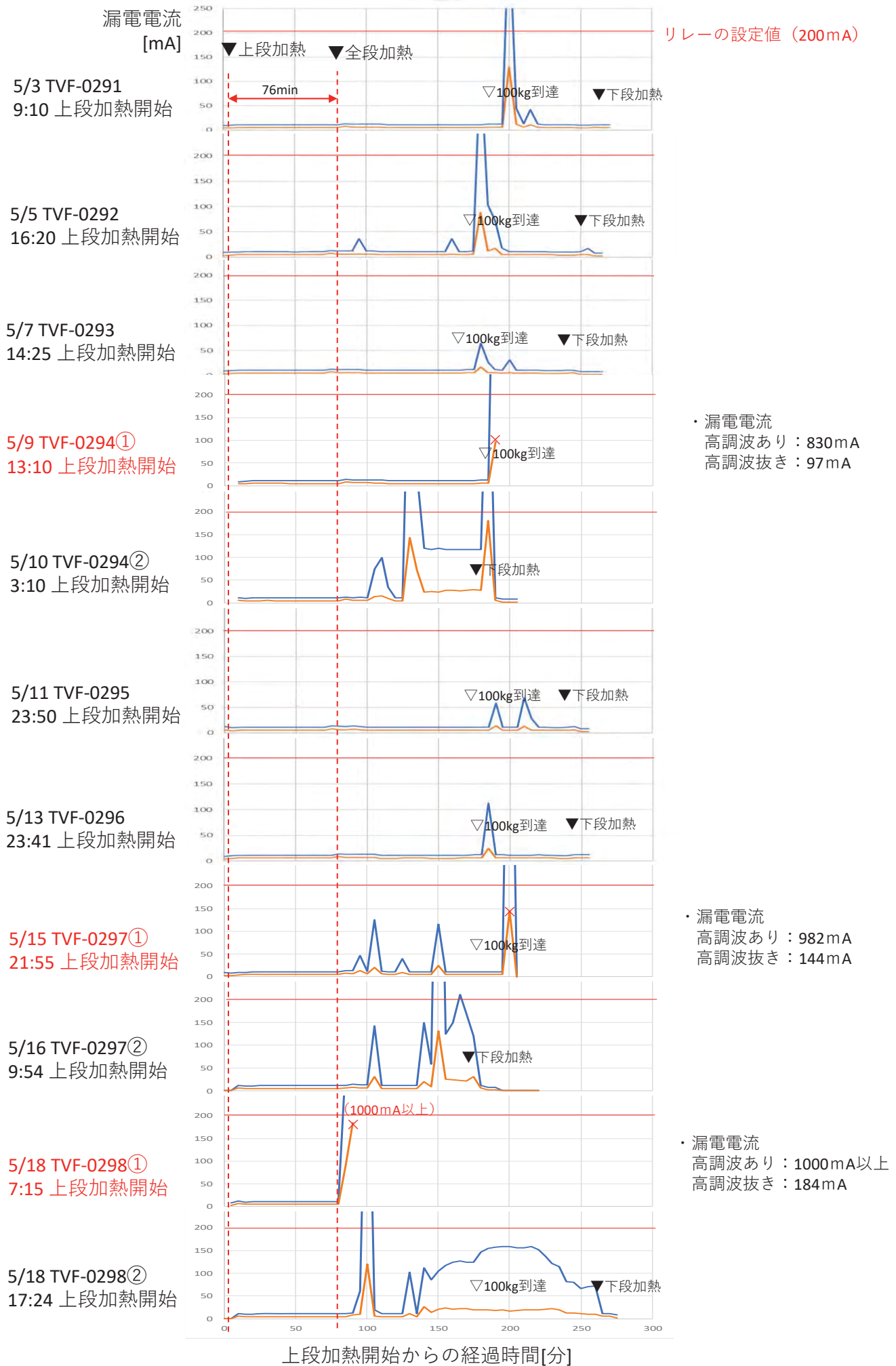


図-4 リークモニタによる各運転での漏れ電流の比較(参考:17-1CP)(3/4)

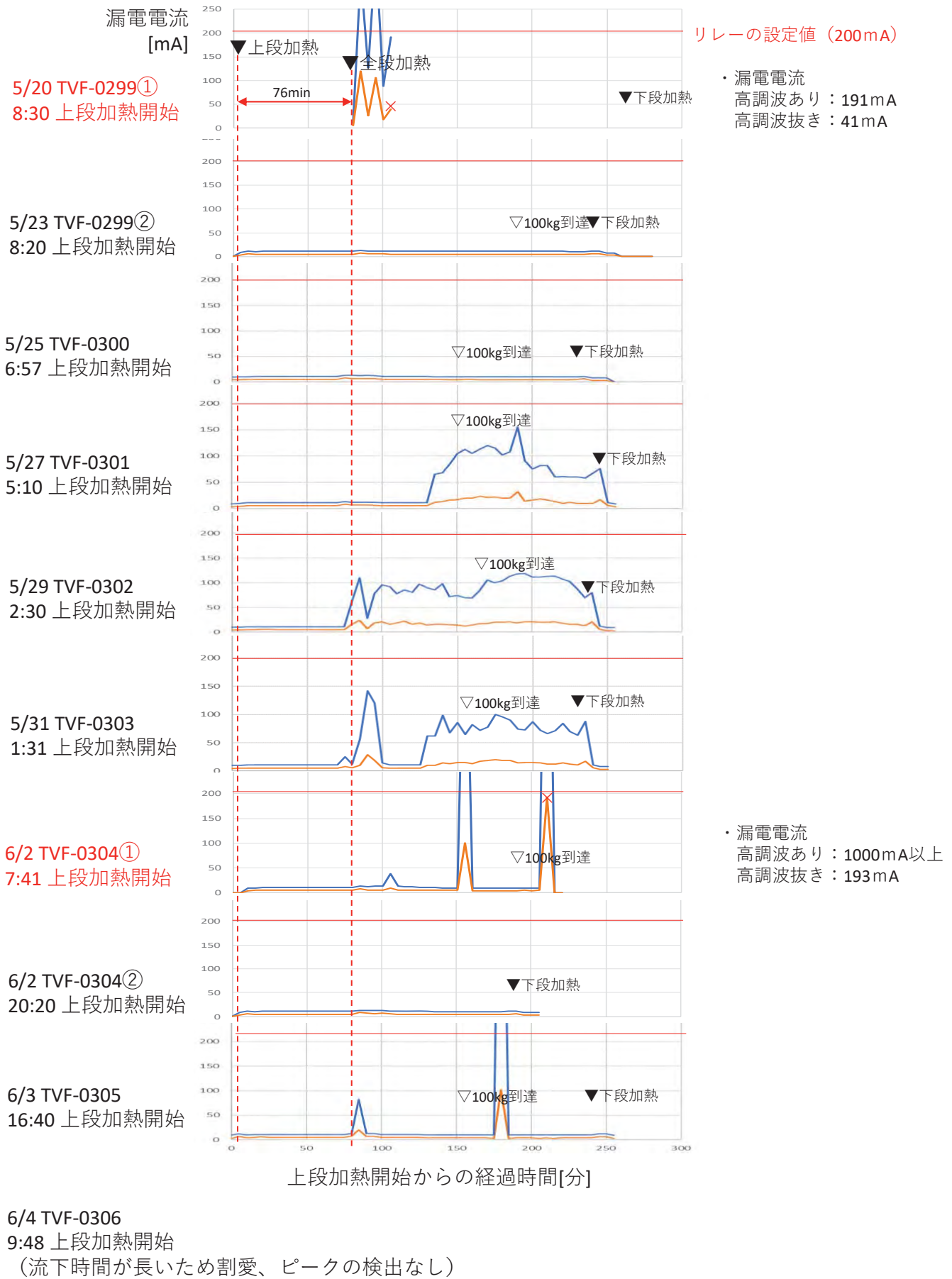
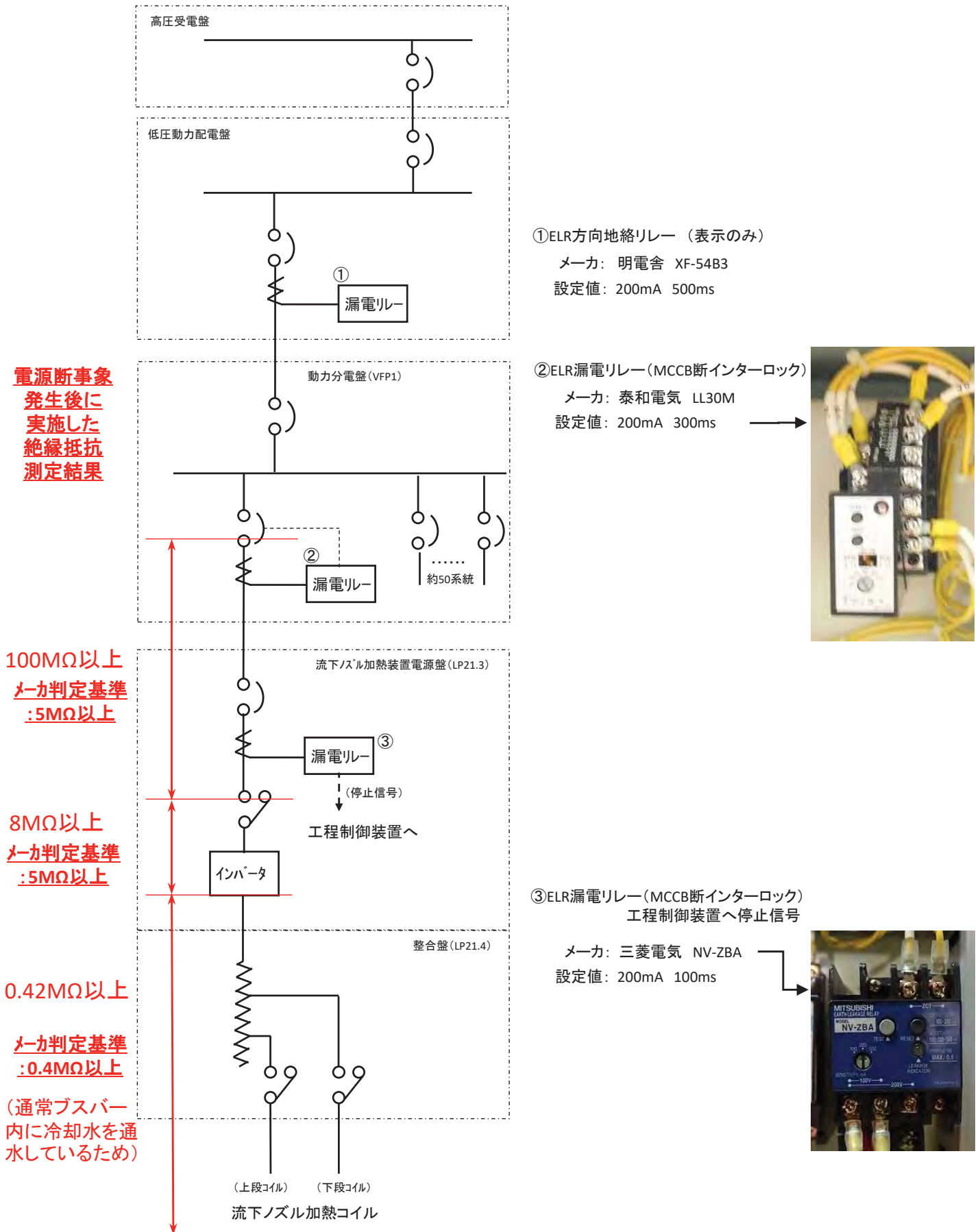


図-4 リークモニタによる各運転での漏れ電流の比較(参考:17-1CP)(4/4)



漏電リレー作動後の健全性確認における絶縁抵抗測定の結果、メーカー判定基準値の5MΩ以上であり給電システムの絶縁性能に異常はなかった。

図-5 流下ノズル加熱装置電源系統と絶縁抵抗測定結果

赤字:セル外ダクト開放可能部  
(点検箇所)

加熱コイル



⑥

⑤

A018 →

セル壁

← R001

①

LP21.4  
整合盤

②

③

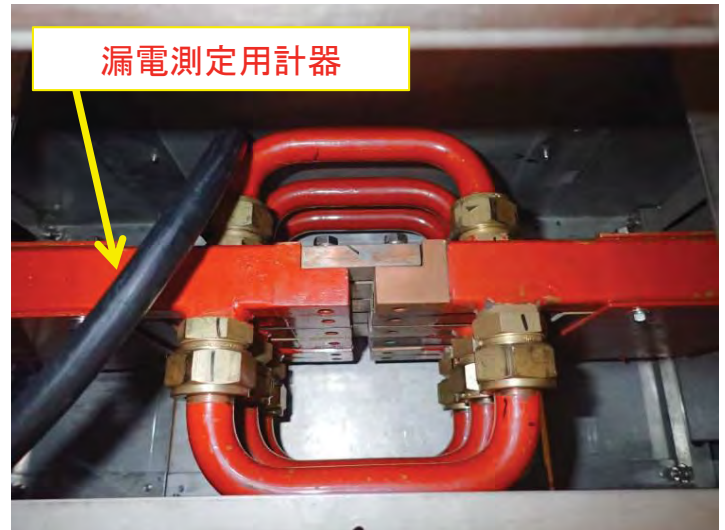
④

外観目視結果  
・水漏れ箇所なし  
・変形異物なし  
点検箇所:①~④

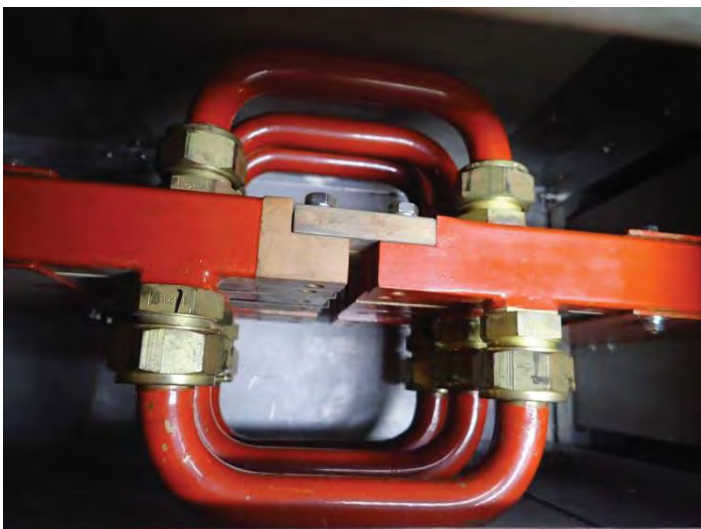
図1 LP21.4-加熱コイルダクトルート俯瞰図



点検箇所①



点検箇所②



点検箇所③



点検箇所④

図-6 固化セル外ブスバの外観目視点検

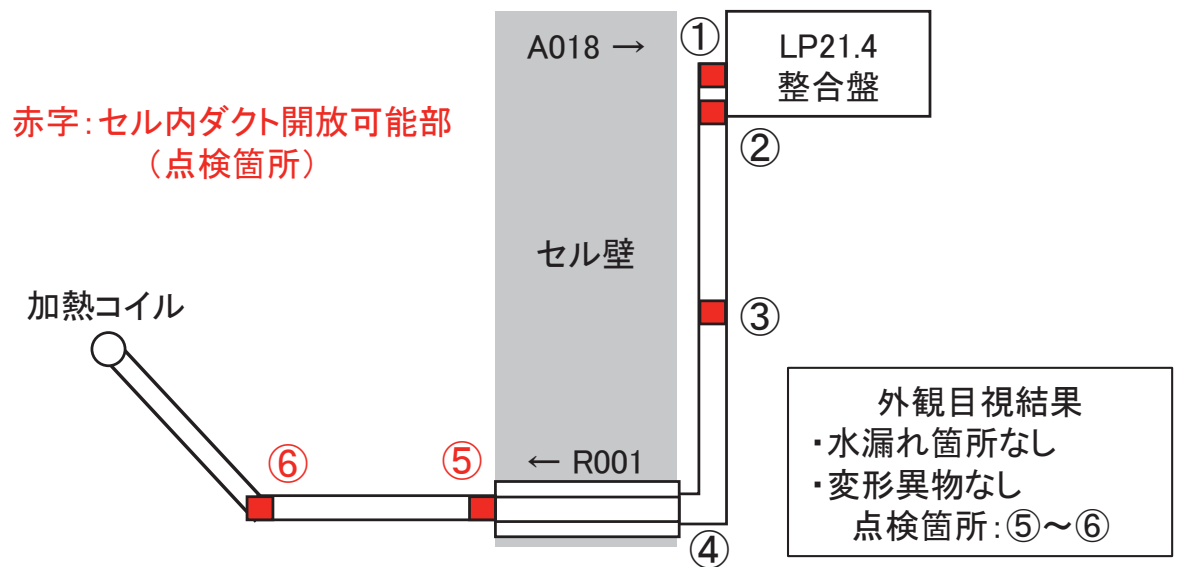
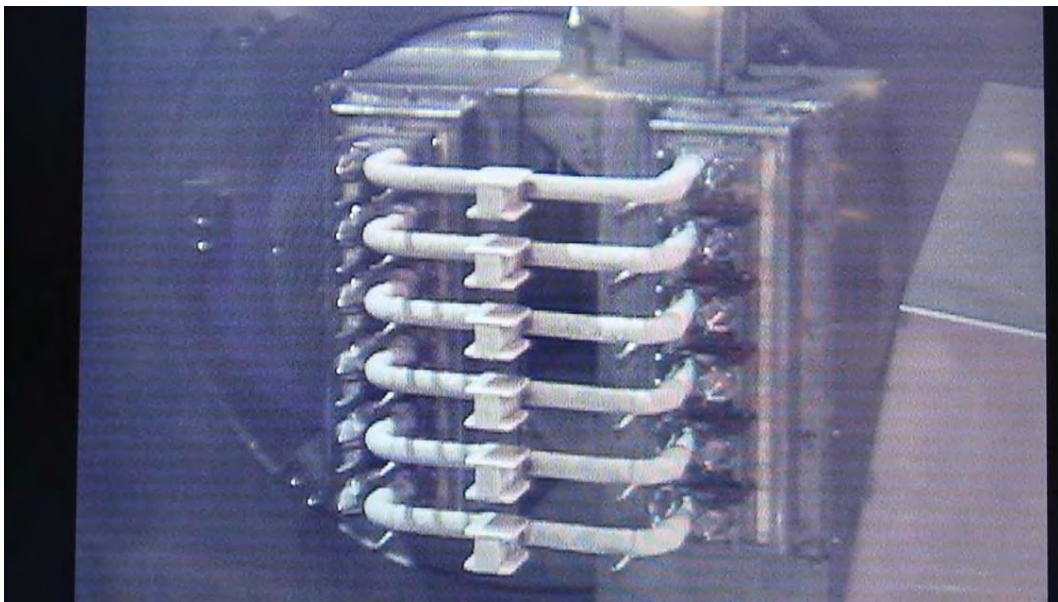


図1 LP21.4-バスバ間ダクトルート俯瞰図



点検箇所⑤



点検箇所⑥

図-7 固化セル内バスバの外観目視点検 14



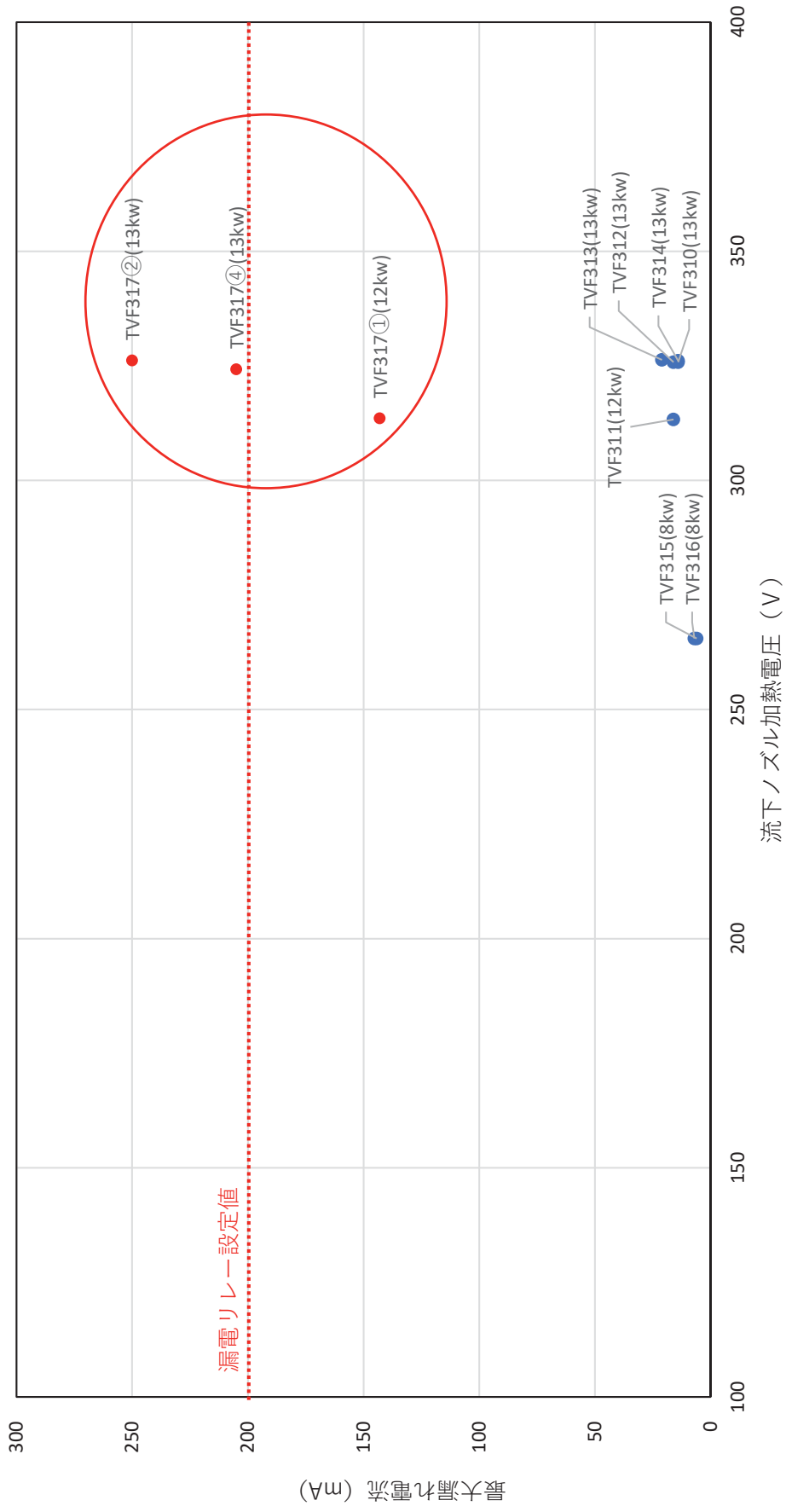


図-9 19-1キャンペーン最大漏れ電流と流下ノズル加熱電圧の関係



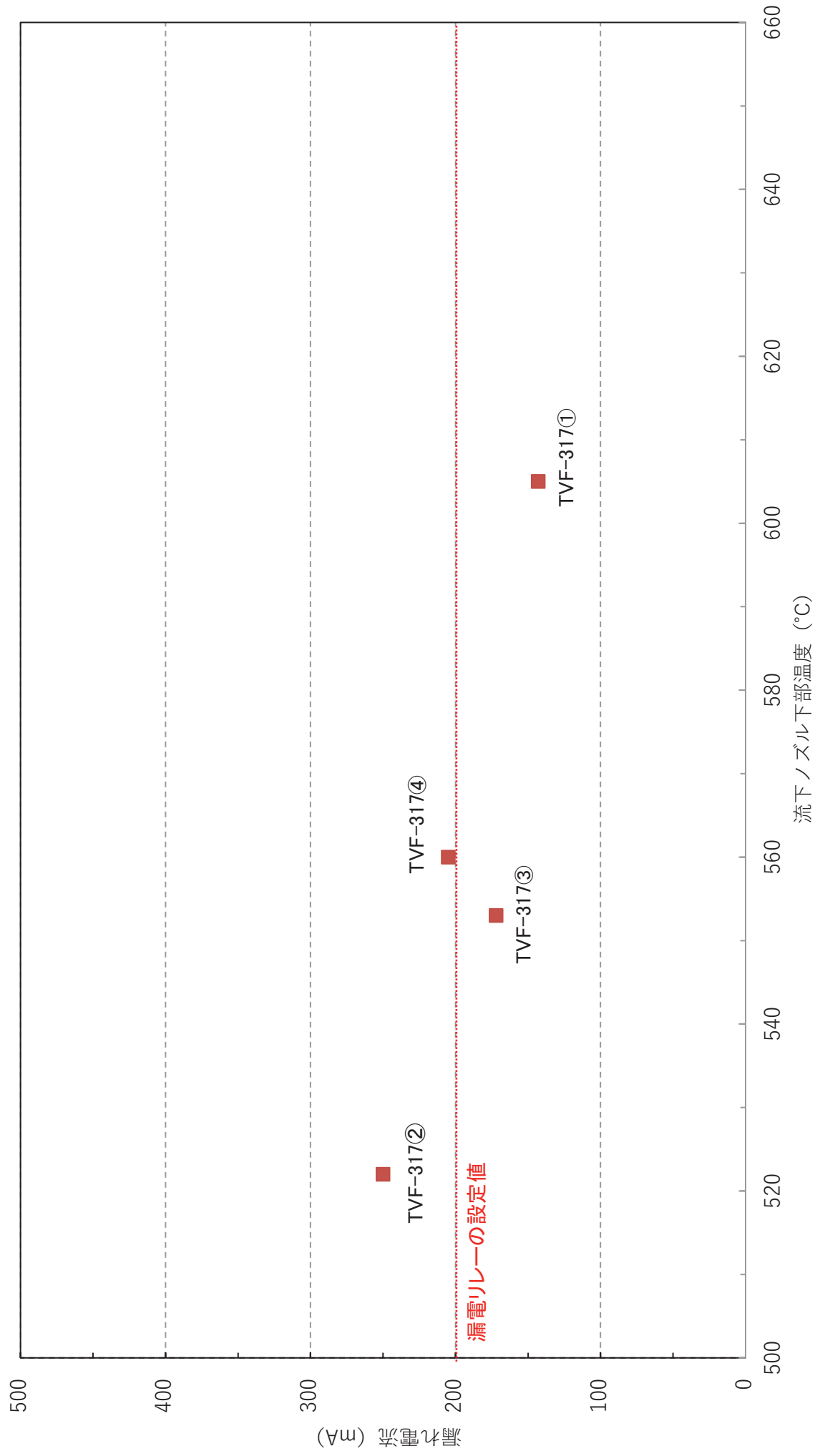
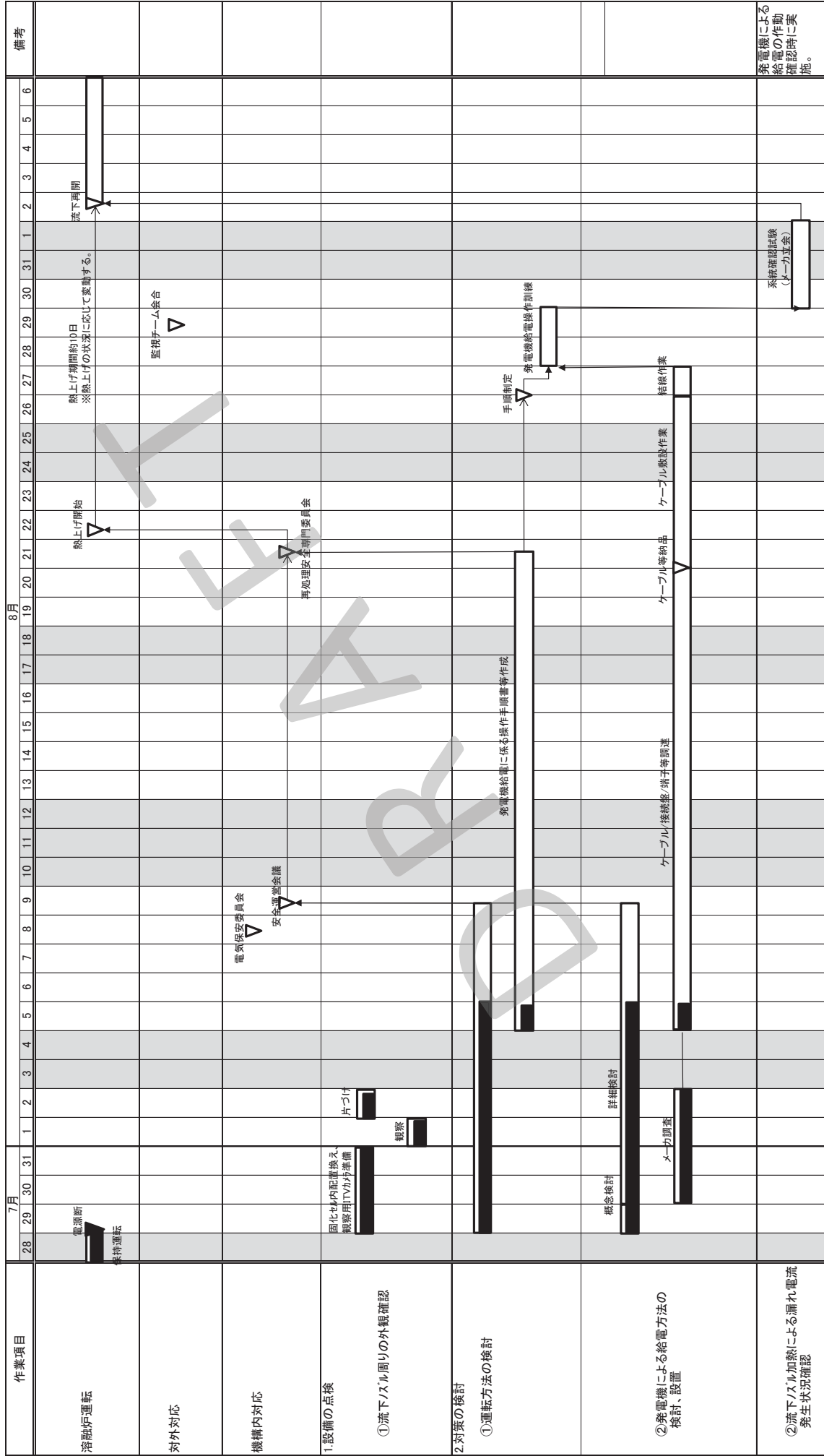


図-10 流下停止時の流下ノズル下部温度と漏れ電流の関係



図-12 ガラス固化技術開発施設(TVF)の運転の一時中断後の対応工程(案)



## 溶融炉流下ノズル周りの観察結果

令和元年 8 月 5 日  
ガラス固化処理課

## 1. 観察の観点

固化セル内における流下ノズル加熱コイルの給電系は多くの部分がダクト内に収められている。ダクト内のうちブスバの接続部（貫通プラグ部及び結合装置部）のみ、カバーが BSM による遠隔操作にて容易に取り外せるようになっており、遠隔継手が収納されている。この部分については、事象発生後、7 月 25 日にダクトカバーを取外して内部を確認し、絶縁材に割れ、変形、変色等の異常が無いことを確認した。

その他、外観観察が可能な部位は、結合装置内に設置された加熱コイル本体の観察となる。

加熱コイルと流下ノズルや結合装置内の金属部との間にスパークが生じるような位置関係のずれや異物がないかという観点で、溶融炉ノズル周りの外観確認を行った。

## 2. 方法

溶融炉ノズル周りの外観観察を行うため、ITV カメラを A 台車上に上向きに搭載したのち、A 台車を前進操作して ITV カメラを A 台車上に溶融炉ノズルの真下に移動する。

ITV カメラを A 台車上に搭載するに当たっては、固化セル内に既存の置台を搭載し、その上に ITV カメラを置くことで ITV カメラのパン/チルトを作動することが可能。

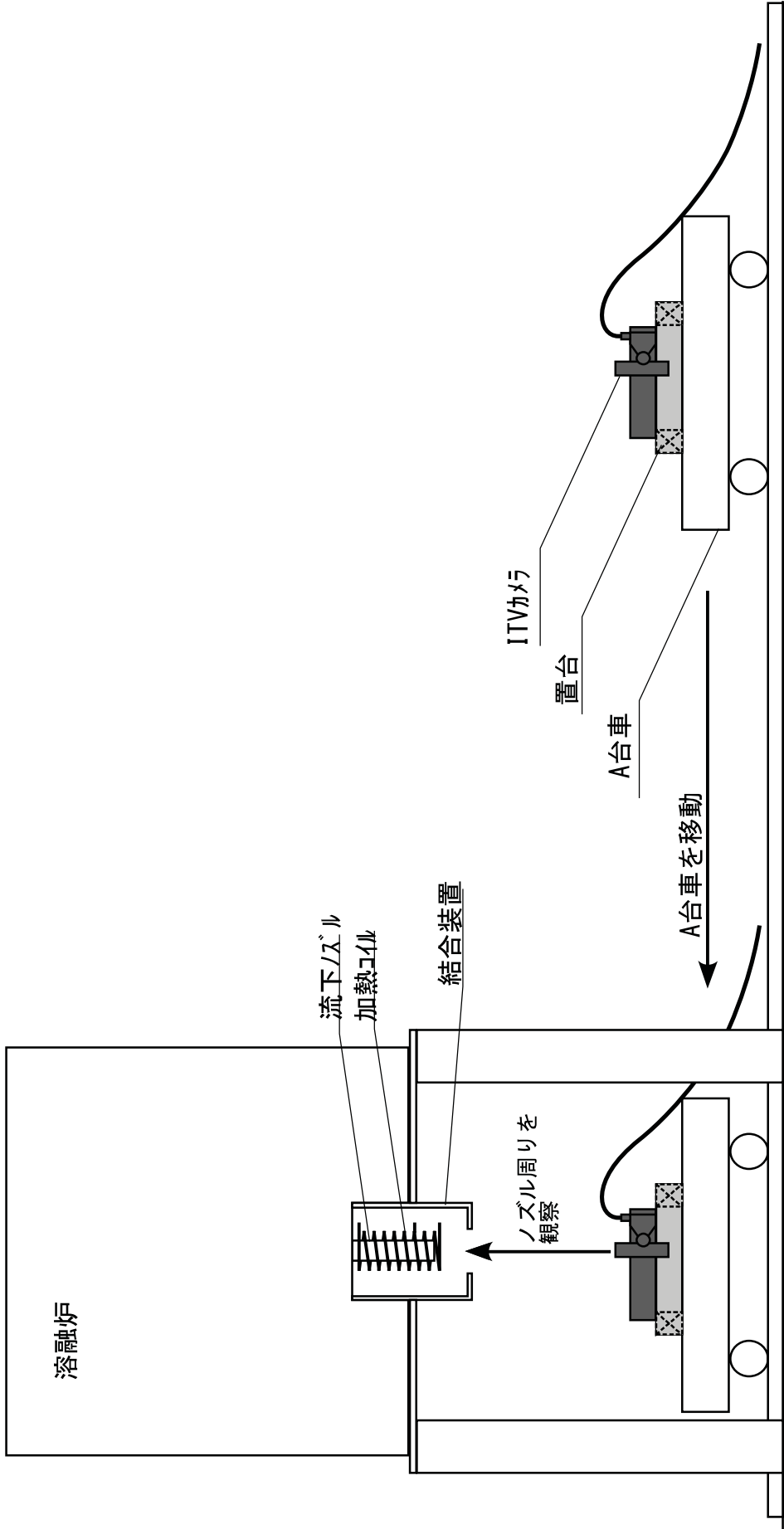
ITV カメラにてノズル周りの加熱コイルの外観を確認し、ノズルや結合装置内の金属部との間にスパークが生じるような位置関係のずれや異物がないかを確認した。（次ページ参照）

## 3. 観察結果

観察を令和元年 8 月 1 日に実施した。

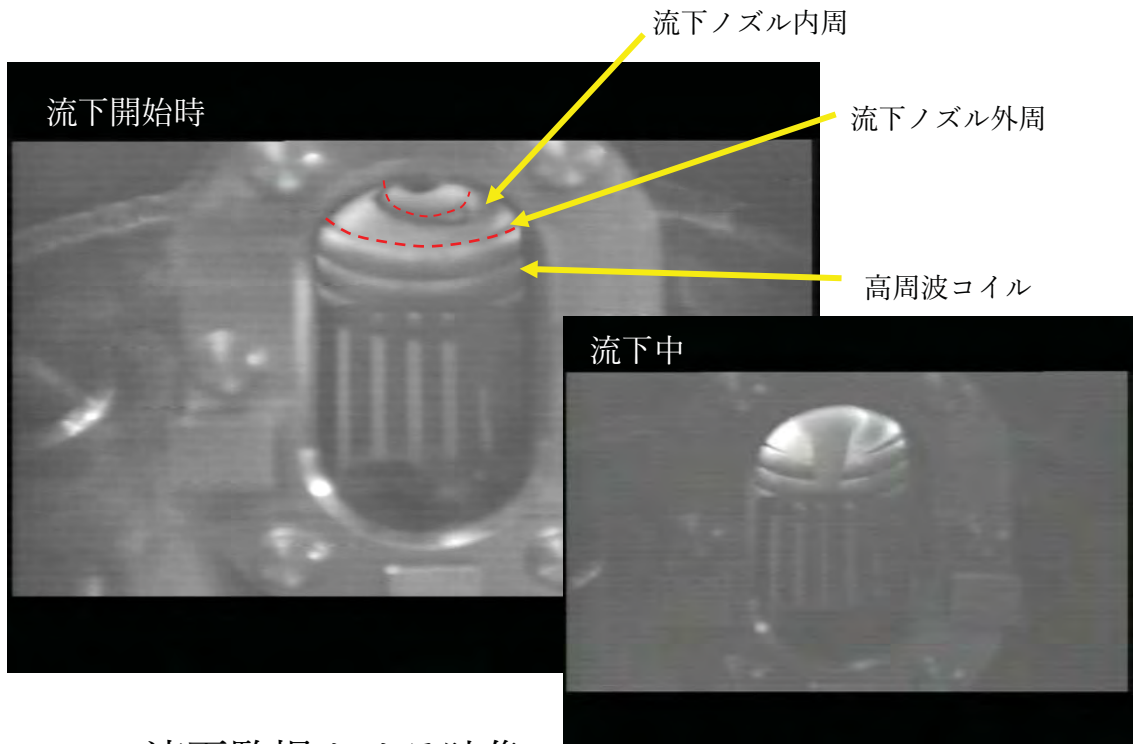
高周波コイルと流下ノズル下端部は設計上 10mm のクリアランスで設置することとなっているが、現時点で高周波コイルと流下ノズルの中心位置がずれており、最小のクリアランスは約 3mm 程度となっている。

以上

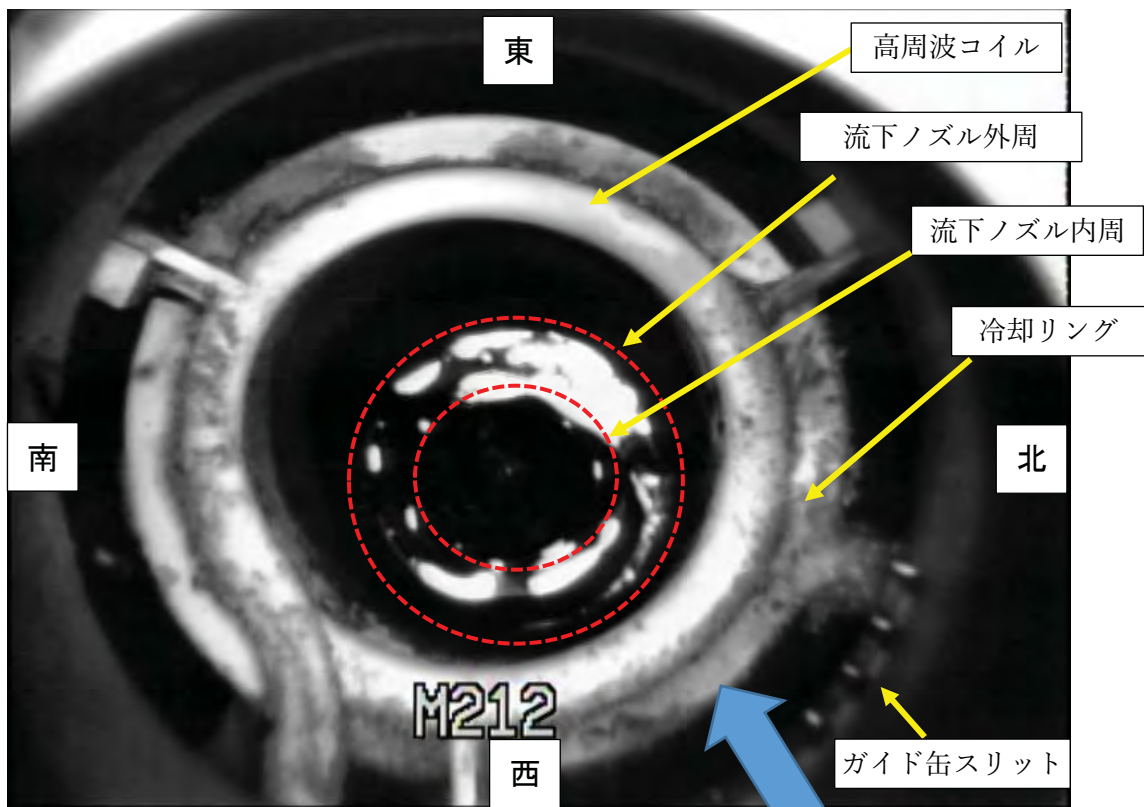


溶融炉ノズル周りの観察方法

# ITV カメラによる観察結果



流下監視カメラ映像



流下監視カメラ映像位置

溶融炉下部からの映像（令和元年 8 月 1 日撮影）

# 参考資料.流下ノズル周りの目視点検記録(17-1CP後)

日付：平成29年7月25日、26日

分類	点検の観点	点検方法	判定基準	判定	備考
①コイルと流下ノズルの接触による漏電	1. 流下ノズルに亀裂が生じ、そこから漏れたガラスを介してコイルと流下ノズルが接触	ITVカメラをキャニスタ搬送台車に設置し、流下ノズル直下より観察する。(結合装置が設置された状態で観察する)	コイルと流下ノズルの間に流下ガラスなどの付着物が無いこと	有	添付写真1参照
	2. コイルと流下ノズルが接触		コイルと流下ノズルが接触していないこと	有	
	3. 高温の流下ガラスが同時にコイルと流下ノズルの両方に接触		コイルと流下ノズルの間に流下ガラスなどの付着物が無いこと	有	
	4. コイルと流下ノズル間に挟まった流下ガラスの破片を介して接触		コイルとガラスガイド管の間に付着物が無いこと	有	
	5. 高温の流下ガラスが同時にコイルと結合装置の両方に接触		プスバーカバーにプスバーに接するほどの大きな変形が無いこと	有	
②コイルと結合装置の接触による漏電	6. プスバーカバーが変形しプスバーとプスバーカバーが接触	ITVカメラにてプスバーカバーの外観を観察する。	プスバーにプスバーカバーが導通するほどの大きな変形が無いこと	有	添付写真2参照
	7. プスバーが変形しプスバーとプスバーカバーが接触		プスバーにプスバーカバーに接するほどの大きな変形が無いこと	有	
	8. プスバーとプスバーカバー間に導電性の異物が付着		プスバーとプスバーカバーが導通する付着物が無いこと	有	
	9. プスバーから水が漏れプスバーとプスバーカバーが接触		プスバー周辺に水漏れの痕跡(しみや変色等)が無いこと	有	
③プスバーとプスバーカバーの接触による漏電	10. サポート部の絶縁部材の絶縁劣化	TRU継手部のプスバーカバーを取り外し、ITVカメラにて観察する。(プスバーの変形、水漏れ、異物等の確認はもっても発生する可能性の高いTRU継手部のみで実施する。)	サポート部の絶縁部材に変色やスパーク痕等が無いこと	有	添付写真3参照
	11. サポート部が変形しプスバーとプスバーカバーが接触		サポート部にプスバーとプスバーカバーが接触するような大きな変形が無いこと	有	
	12. サポート部プスバーから水が漏れプスバーとプスバーカバーが接触		サポート部に水漏れの痕跡(しみや変色等)が無いこと	有	
	13. サポート部に導電性の異物が付着		サポート部とプスバーカバーが導通する付着物が無いこと	有	

# 添付写真1 ITVカメラによる結合装置内観察結果

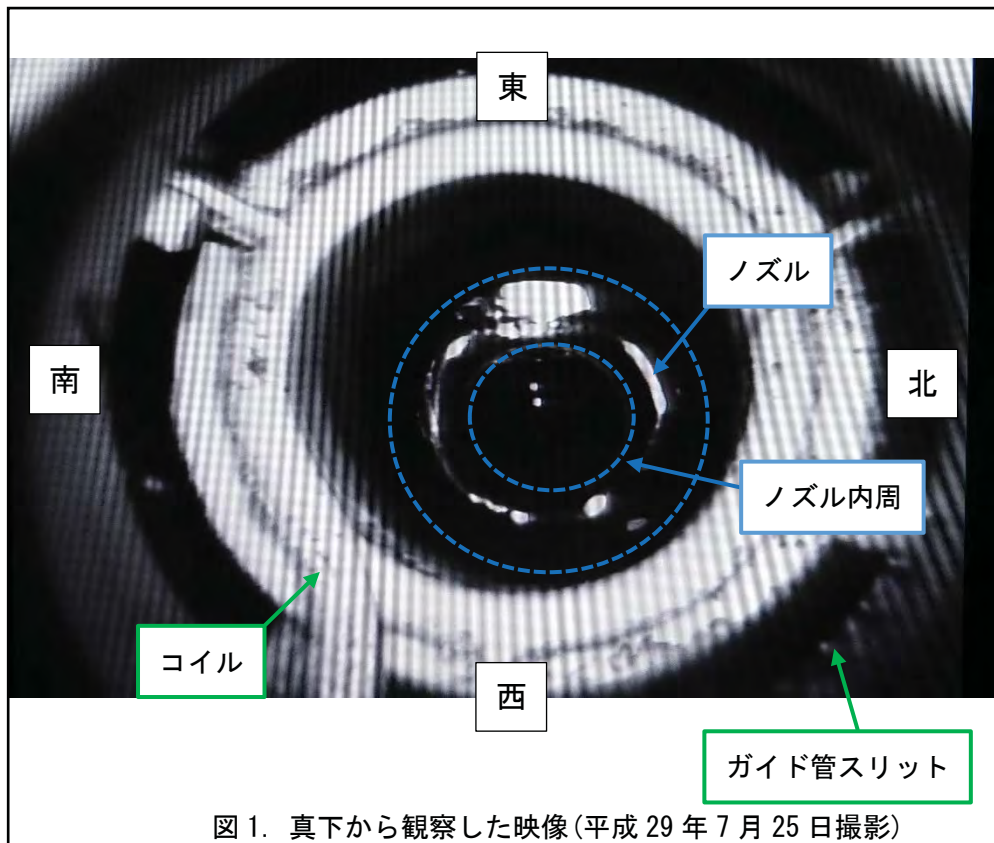
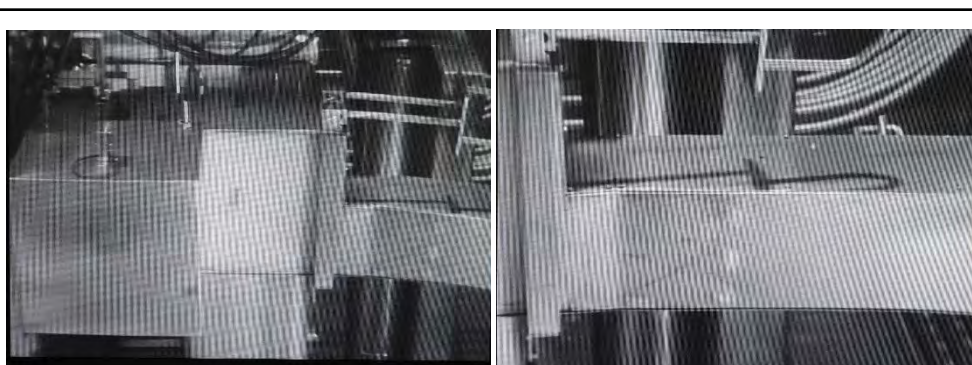


図1. 真下から観察した映像(平成29年7月25日撮影)



## 添付写真2 セル内ブスバー及びカバー 観察結果



結合装置側ブスバーカバー



貫通プラグ側ブスバーカバー

図1. ブスバーカバー（平成29年7月26日撮影）



図2. ブスバー結合装置接続部（平成29年7月26日撮影）

### 添付写真3 セル内ブスバーサポート部 観察結果

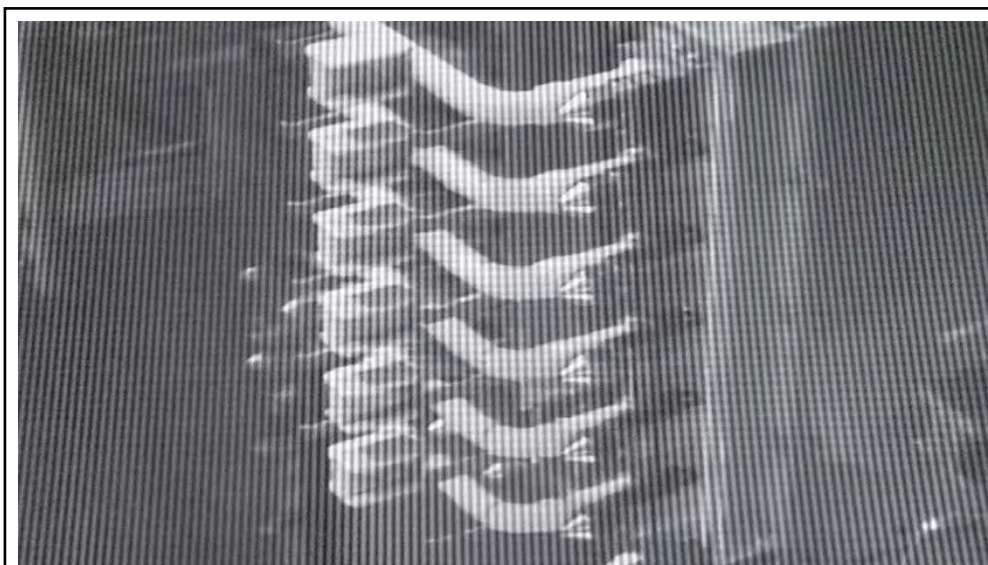


図1. 貫通プラグ側サポート部（平成29年7月26日撮影）

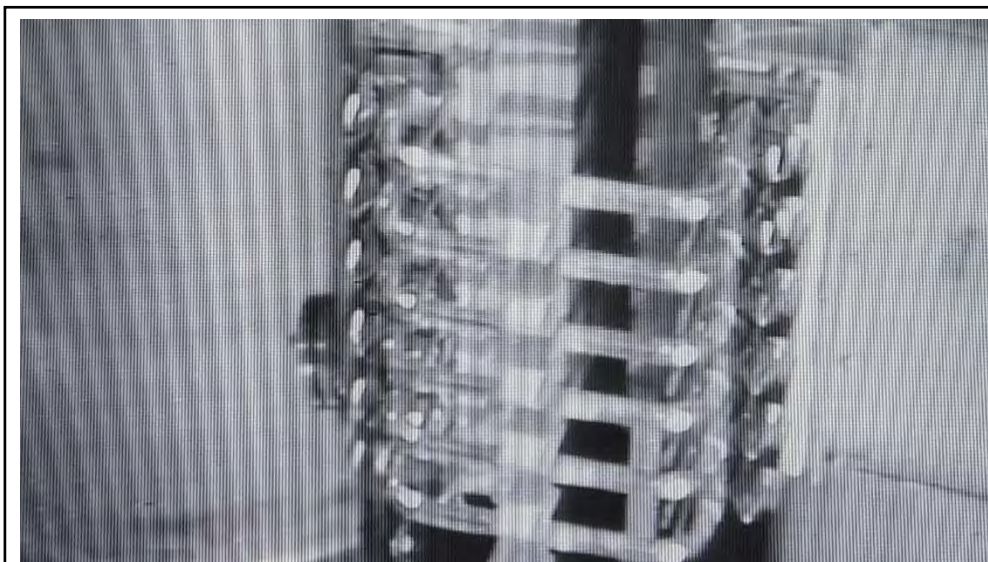


図2. 結合装置側サポート部（平成29年7月26日撮影）