

循環注水冷却スケジュール (1/2)

分野名	括り	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後1ヶ月の予定		7月		8月				9月			10月	11月	備考
			23	30	6	13	20	27	3	10	17	下	上	中	下	
循環注水冷却	原子炉関連	<p>(実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> 【共通】循環注水冷却中(継続) 【1号】CS系注水ラインの一部PE管化に伴う給水系のみによる注水 事前確認 2017/7/25~8/2 【2号】CS系注水ラインの一部PE管化に伴う給水系のみによる注水 事前確認 2017/8/22~8/29 <p>(予定)</p> <ul style="list-style-type: none"> 【1号】CS系注水ラインの一部PE管化 2017/4/17~2017/10/上旬 【1号】CS系注水ラインの一部PE管化に伴う給水系のみによる注水 切替工事 2017/10/2~10/12 【3号】CS系注水ラインの一部PE管化に伴う給水系のみによる注水 事前確認 2017/9/5~9/12 	<p>【1, 2, 3号】循環注水冷却(滞留水の再利用)</p> <p>【1号】CS系注水ラインの一部PE管化</p> <p>現場作業</p> <p>【1号】CS系注水ラインの一部PE管化に伴う給水系のみによる注水 事前確認 実績反映</p> <p>【2号】CS系注水ラインの一部PE管化に伴う給水系のみによる注水 事前確認 追加 実績反映</p> <p>【3号】CS系注水ラインの一部PE管化に伴う給水系のみによる注水 事前確認 追加 最新工程反映</p> <p>【1号】CS系注水ラインの一部PE管化に伴う給水系のみによる注水 切替工事 最新工程反映</p>	<p>原子炉・格納容器内の崩壊熱評価、温度、水素濃度に応じて、また、作業等に必要な条件に合わせて、原子炉注水流量の調整を実施</p>	<p>略語の意味 CS: 炉心スプレイ CST: 復水貯蔵タンク PCV: 原子炉格納容器 SFP: 使用済燃料プール</p>	<ul style="list-style-type: none"> 1号機CS系注水ラインの一部PE管化に伴う実施計画変更認可申請(2017/3/6) 一部補正申請(2017/5/25) 認可(2017/5/26) 										
		海水腐食及び塩分除去対策	<p>(実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> CST窒素注入による注水溶存酸素低減(継続) ヒドラジン注入中(2013/8/29~) <p>現場作業</p> <p>CST窒素注入による注水溶存酸素低減</p> <p>ヒドラジン注入中</p>													
原子炉格納容器関連	原子炉格納容器関連	<p>(実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> 【1号】サブプレッションチャンバへの窒素封入 - 連続窒素封入へ移行(2013/9/9~)(継続) 	<p>【1, 2, 3号】原子炉圧力容器 原子炉格納容器 窒素封入中</p> <p>【1号】サブプレッションチャンバへの窒素封入</p> <p>検討・設計・現場作業</p>													
		窒素充填														
原子炉格納容器関連	原子炉格納容器関連	<p>(実績)</p> <ul style="list-style-type: none"> 【共通】PCVガス管理システム運転中(継続) <p>(予定)</p> <ul style="list-style-type: none"> 【3号】PCVガス管理システム水素モニタ警報回路改造に伴う水素モニタ(A/B)停止 実施時期調整中 	<p>【1, 2, 3号】継続運転中</p> <p>現場作業</p>												<p>【3号】水素モニタ(A/B)停止 実施時期調整中</p>	

循環注水冷却スケジュール (2/2)

分野 活り	作業内容	これまで1ヶ月の動きと今後1ヶ月の予定	7月		8月				9月				10月	11月	備考		
			23	30	6	13	20	27	3	10	17	下	上	中		下	前
使用済燃料プール関連	使用済燃料プール循環冷却	(実績) ・【共通】循環冷却中(継続) ・【1号】冷却停止試験(熱交換器バイパス運転) 2017/7/17~8/29 (予定) ・【2号】冷却停止試験(二次系通水停止運転) 2017/8/21~9/下旬 【二次系共用設備】冷却停止試験復旧に伴う、二次系停止 2017/9/下旬 ・【2号】高圧変圧器盤修理工事の電源切替に伴うSFP停止 2017/10/5 ・【2号】SFP循環冷却設備電源及び盤リプレースに伴うSFP停止 2017/10/4~10/13 ・【3号】SFP循環冷却設備電源及び盤リプレースに伴うSFP停止 2017/9/11~9/21															
	使用済燃料プールへの注水冷却	(実績) ・【共通】使用済燃料プールへの非常時注水手段としてコンクリートポンプ車等の現場配備(継続)															
	海水腐食及び塩分除去対策(使用済燃料プール薬注&塩分除去)	(実績) ・【共通】プール水質管理中(継続)															

1F-1号機 使用済燃料プール循環冷却設備の 冷却停止試験（熱交換器バイパス運転）の終了 及び実施結果について

2017年8月31日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

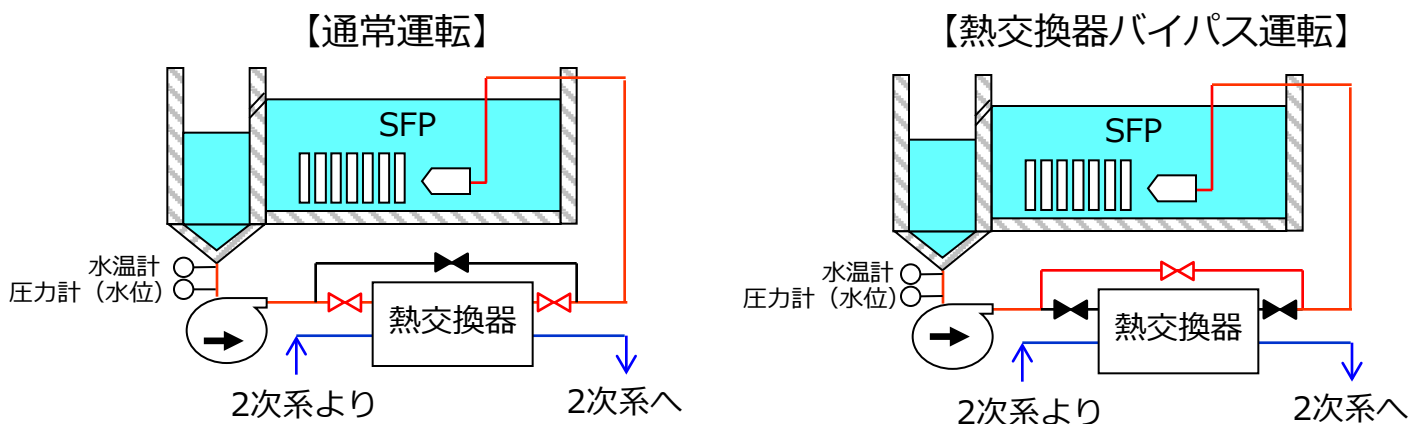
【試験方法】

- ✓ 1号機SFP循環冷却設備一次系は運転状態※とし、**熱交換器バイパス運転**にて冷却停止試験を実施。

※一次系を運転することにより、SFPの水位・水温の監視が可能

【SFP水温評価】

- ✓ 自然放熱を考慮したSFP水温評価(夏季)より平年並みの外気温の場合、**約38℃で安定する**と評価。



【監視項目】

- ✓ SFP水位・水温及び湯気の発生状況

【確認項目】

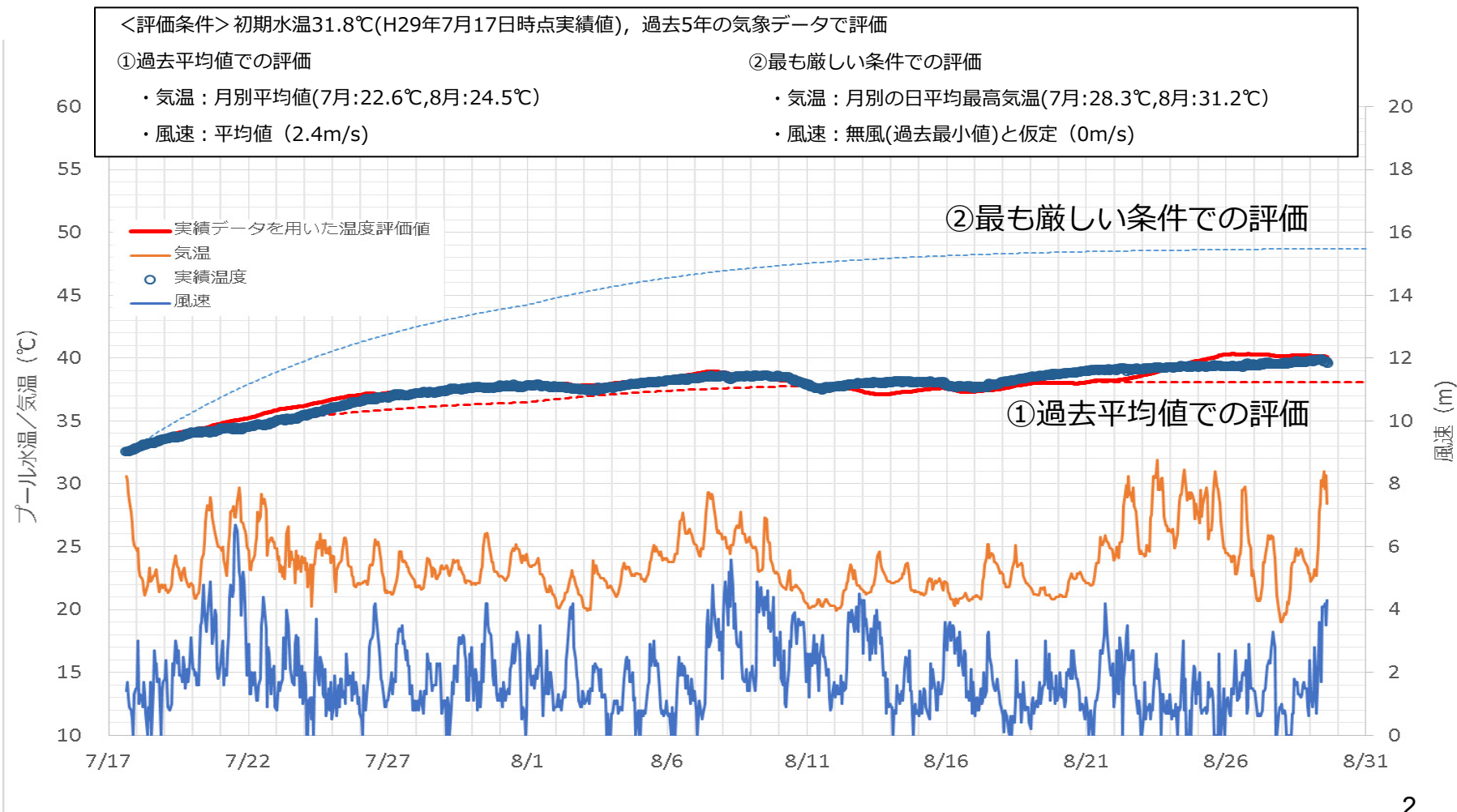
- ✓ 夏季にSFP水温が**運転上の制限温度 (60℃) 未満**で推移することを確認 (SFP温度変化率の確認)
- ✓ 試験時の気象条件を踏まえ、評価精度が妥当であることを検証する

【期間】

- ✓ 平成29年7月17日～8月29日

2 - 1. 冷却停止試験結果 (SFP温度変化率)

- ◆ SFP水温が予想通り推移しており、運転上の制限温度 (60℃) 未滿 (約39℃) で推移することが確認された。
- ◆ 過去5年間平均の気象実績データを用いて評価したグラフ (過去平均グラフ) と概ね一致している傾向が見られた。
- ◆ また、湯気の発生は確認されなかった。
(試験期間中(7/17~8/29)の気象条件 (1F構内) 平均気温 : 23.7℃, 平均風速 : 1.9m/s)



【本試験の評価結果】

- ◆ **夏季にSFP水温が運転上の制限温度（60℃）未満で推移することを確認（SFP温度変化率の確認）**
→試験開始以降、SFP水温は当初の評価通り推移しており運転上の制限温度（60℃）未満（約39℃）で推移することが確認できた。

- ◆ **評価精度が妥当であることの検証**
 - 【評価式の妥当性】（試験中の気象実績データを使用）
試験中の気象実績データを用いた評価水温と、SFP実水温を比較した結果、試験期間を通じて最大で1℃程度の差であり、評価式の精度は妥当であった。
 - 【評価条件の妥当性】（過去5年間の平均気象実績データを使用）
評価条件として過去5年間の平均気象実績データを用いた評価水温と、SFP実水温を比較した結果、試験期間を通じて最大で+1.8℃の差であり、評価条件は妥当であった。



- ◆現状、使用済燃料の崩壊熱による入熱のみを考慮した評価であるが、**自然放熱を加味した評価の妥当性を確認。**
- ◆放熱計算に使用する気象条件として**過去5年間平均を使用することの妥当性を確認。**

今後、崩壊熱が大きい2号機を代表号機として実施している冷却停止試験結果を踏まえ、SFP冷却設備停止作業時等におけるSFP水温評価手法の見直しを行う。

SFP水温予測式

$$\Delta T \text{ (}^\circ\text{C/h)} = \frac{Q \text{ (kcal/h)} - q}{W \text{ (kg)} \times C \text{ (kcal/}^\circ\text{C/kg)}}$$

Q : 崩壊熱+ポンプジュール熱

W : SFP水量

C : 冷却材の比熱

q : 放熱 ($q_{out1} + q_{out2} + q_{out3}$)

q_{out1} : 水面の放熱 (蒸発)

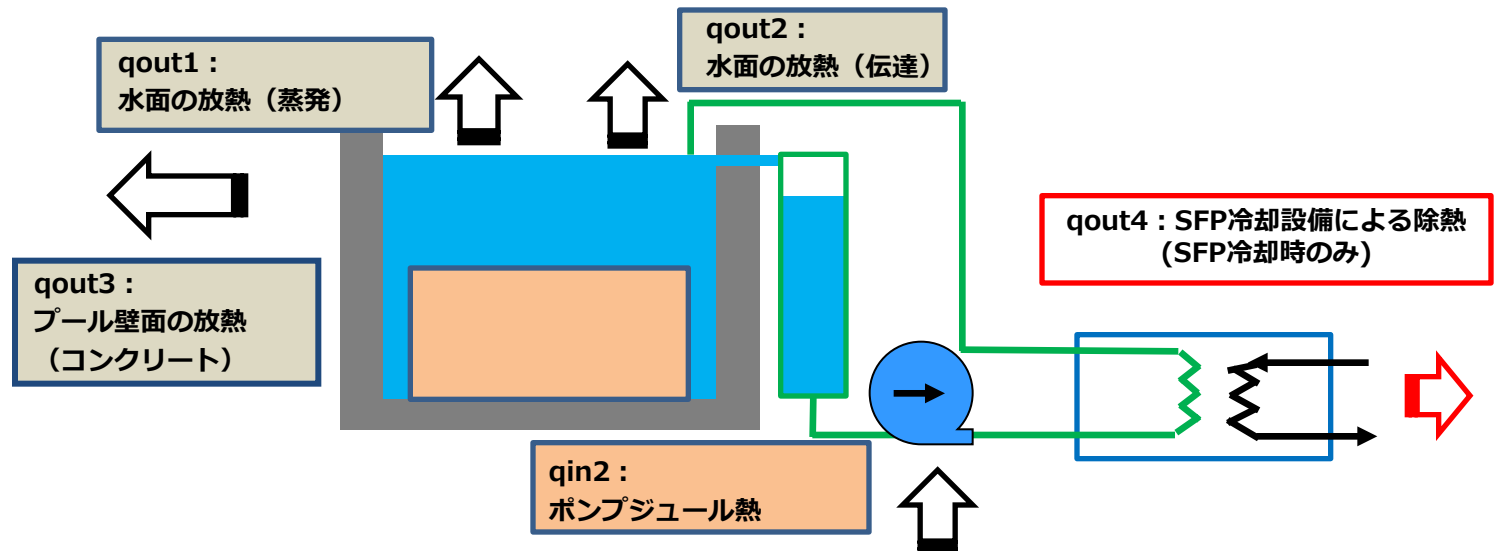
【気温+風速を使用】

q_{out2} : 水面の放熱 (伝熱)

【気温を使用】

q_{out3} : プール壁面の放熱 (コンクリート)

【気温を使用】



1F-2号機 使用済燃料プール循環冷却設備の 冷却停止試験（二次系通水停止運転）について

2017年8月31日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

【背景】

- ▶ 東北太平洋沖地震から6年が経過し、使用済燃料プール（以下、SFPとする。）に保管している**使用済燃料の崩壊熱は減少を継続**している。
使用済燃料の崩壊熱量（2号機）：震災当初 0.620MW → H29.8.1時点 0.166MW
（3号機）：震災当初 0.541MW → H29.8.1時点 0.143MW
- ▶ 平成29年4月及び7月に実施した1号機冷却停止試験（熱交換器バイパス運転）の結果、**SFP水温が安定すること及び、自然放熱を考慮したSFP水温評価式の妥当性が確認された。**【参考1】
⇒自然放熱を考慮したSFP水温評価式の**2号機、3号機への適用性を確認する。**
- ▶ 自然放熱を考慮したSFP水温評価を行った結果、2号機及び3号機のSFP水温は、**運転上の制限温度（65℃）未満で推移する見込み。**



崩壊熱が大きい2号機を代表とし、夏季に冷却停止試験（二次系通水停止運転）を実施。

【目的】

SFP循環冷却停止時の安全性を確認する。[SFP水温上昇率（時間的な余裕）、及びSFP安定水温]

<確認項目>

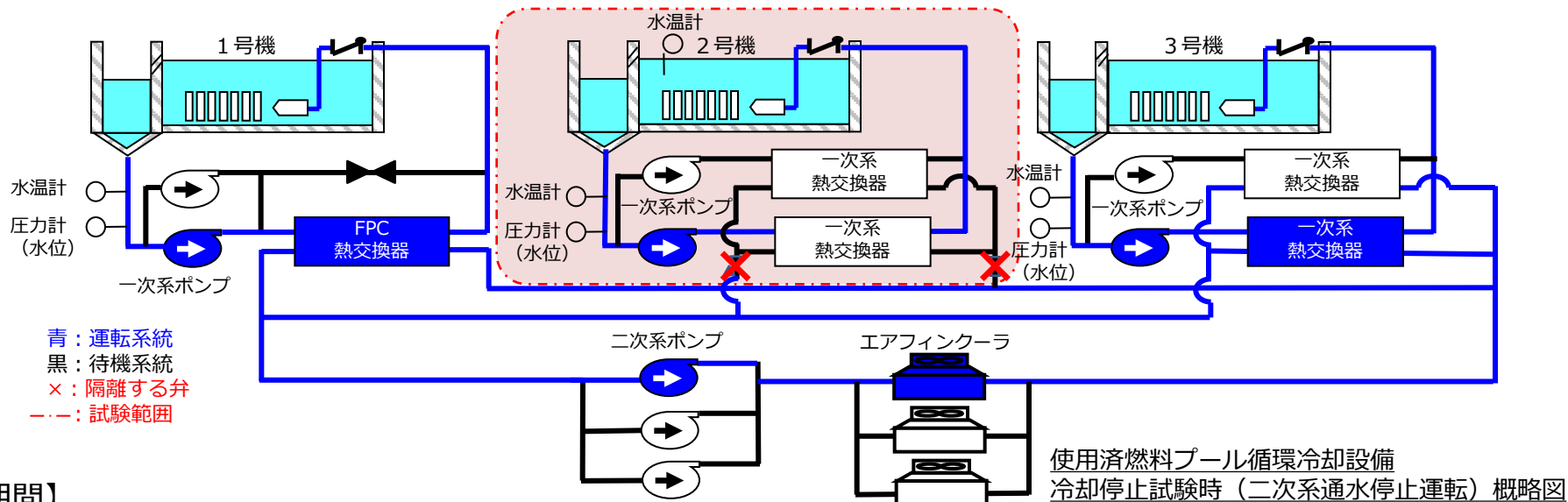
- ◆ **自然冷却でも制限温度に達さないこと。**
（自然冷却でも冷却可能なことを確認。）
- ◆ **崩壊熱が大きい号機でのSFP水温評価式の妥当性。**
（崩壊熱が大きい号機においても、評価上と実機の安定水温に大きな差が生じないことを確認。）

なお、試験後もSFP循環冷却設備の運転は継続する。

2. 試験内容

【試験方法】

- ✓ SFP循環冷却設備一次系は継続運転とし、二次系の通水を停止する。（冷却を停止）



【期間】

- ✓ 平成29年8月21日～9月下旬（確認項目が確認できるまでの期間）

【自然放熱を考慮したSFP水温評価結果】 [次ページ参照]

- ✓ 外気温（夏季）が平年並みの場合、**約53℃で安定する**と評価。

【監視項目】

- ✓ SFP水位・水温（SFP循環冷却設備一次系の計器にて監視）
- ✓ 湯気の発生状況（ウェブカメラにて監視）

【冷却再開の条件】

- ✓ SFP水温が自然放熱を考慮した水温評価において**最も厳しい評価（約56℃）を超える場合**
- ✓ 湯気の発生により、作業に支障を来す場合

3. 自然放熱を考慮した2号機SFP水温評価

- ◆ 平成29年7月の1号機冷却停止試験結果にて検証済みの評価式を用いて評価を実施
- ◆ 平年並みの気温であれば、SFP水温は**約53℃で安定**する見込み

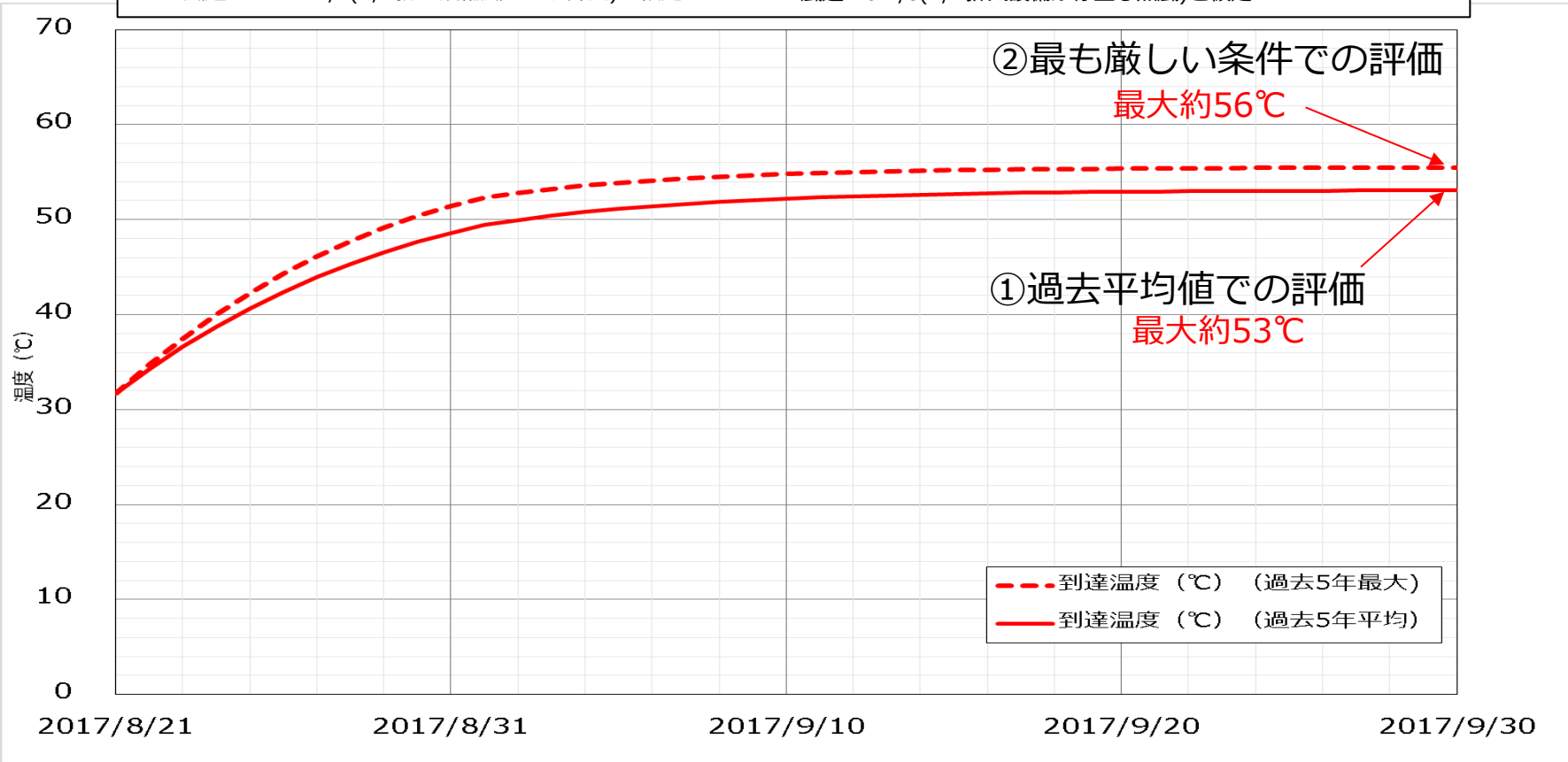
<評価条件> 初期水温31.7℃(H29年7月31日時点実績値), 過去5年の気象データで評価

①過去平均値での評価

- ・気温：月別平均値(8月:24.5℃,9月:21.6℃)
が24時間継続と仮定
- ・風速：0.003m/s(R/B排気設備風量より算出)と仮定

②最も厳しい条件での評価

- ・気温：月別の日平均最高気温(8月:31.2℃,9月:27.4℃)
が24時間継続と仮定
- ・風速：0m/s(R/B排気設備が停止し無風)と仮定



<試験に伴うリスク評価>

- ◆ 湯気の影響について
 - SFP水温が高く**湯気が発生する**が、ウェブカメラにて**原子炉建屋内の湯気発生状況を1日1回監視**
 - 湯気が発生し、原子炉建屋内作業に支障を来した場合、**必要に応じて冷却再開**
- ◆ ダストの影響について
 - SFP表面からの蒸発によるダスト放出量は、原子炉建屋からの気体放射性物質放出量の**管理目標値に比べて十分低い**
4月実績蒸発量より類推した蒸発量100%/hの場合： $4 \times 10E+1$ [Bq/h]
追加的放出量の目標値： $1.0 \times 10E+7$ [Bq/h]
 - 2号機原子炉建屋は、原子炉建屋内排気設備により**常時換気を行い、モニタにてダスト状況を常時監視**

⇒ 仮に、2号機原子炉建屋外に湯気が漏れ出ても、湯気に含まれるダストの影響はない
- ◆ SFP水温の上昇
 - SFP水温が自然放熱を考慮した水温評価において**最も厳しい評価（約56℃）を超える場合には試験を終了**する。これにより、運転上の制限温度65℃に対して十分余裕の有る温度で冷却再開が可能。
 - 最も厳しい評価（SFP水温約56℃で試験終了）でも65℃到達までの時間は**自然放熱を加味しない評価で約75時間有り、予備機切替等の対応が実施可能**。

5. 試験開始後の温度経過

- ◆ 8月21日より冷却停止試験を開始し、SFP水温は運転上の制限温度（65℃）未満で推移している。
- ◆ 過去5年間平均の気象実績データを用いて評価したグラフ（過去平均グラフ）と実績温度に開きが見られるが、評価よりも低い値で推移しており、湯気の発生は確認されていない。
- ◆ 実績温度との開きは、評価条件が保守的であったと推定している。今後データ取得を継続し、評価条件の精度を向上させる。

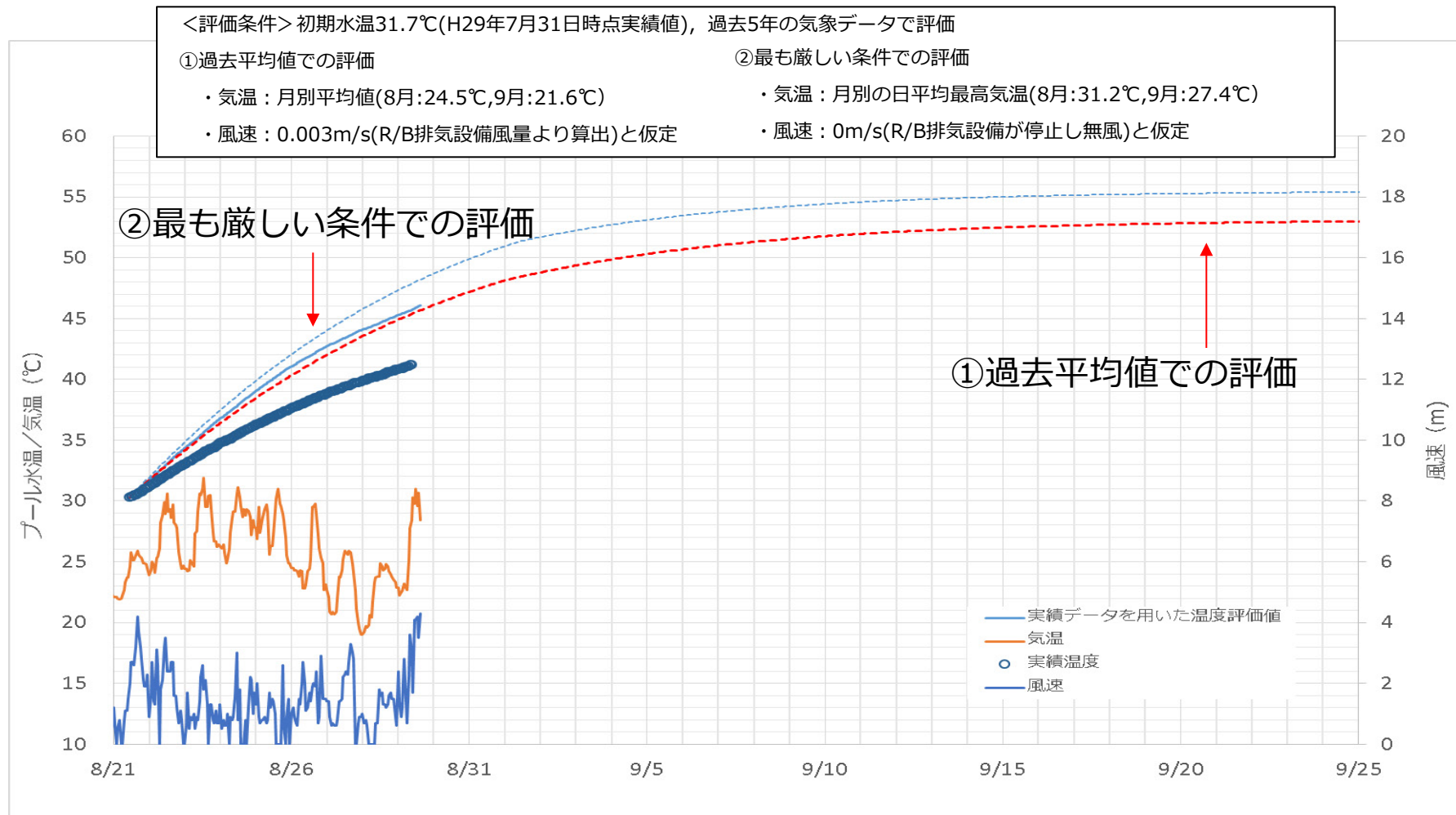
<評価条件> 初期水温31.7℃(H29年7月31日時点実績値), 過去5年の気象データで評価

①過去平均値での評価

- ・気温：月別平均値(8月:24.5℃,9月:21.6℃)
- ・風速：0.003m/s(R/B排気設備風量より算出)と仮定

②最も厳しい条件での評価

- ・気温：月別の日平均最高気温(8月:31.2℃,9月:27.4℃)
- ・風速：0m/s(R/B排気設備が停止し無風)と仮定



評価水温と実績温度の開きが保守的であったと推定している要因は以下の通り。

- ◆ 一次系配管表面からの放熱が大きい可能性がある。
- ◆ 風速を0.003m/sと排気設備風量より算出しているが、風速が大きい可能性がある。
- ◆ 建屋内であるため、外気温の変動による影響が少ない可能性がある。

SFP水温予測式

$$\Delta T \text{ (}^\circ\text{C/h)} = \frac{Q - q \text{ (kcal/h)}}{W \text{ (kg)} \times C \text{ (kcal/}^\circ\text{C/kg)}}$$

Q : 入熱 (Q_{in1} + Q_{in2})

Q_{in1} : 崩壊熱 Q_{in2} : ポンプジュール熱 【ポンプ運転中】

W : SFP水量

C : 冷却材の比熱

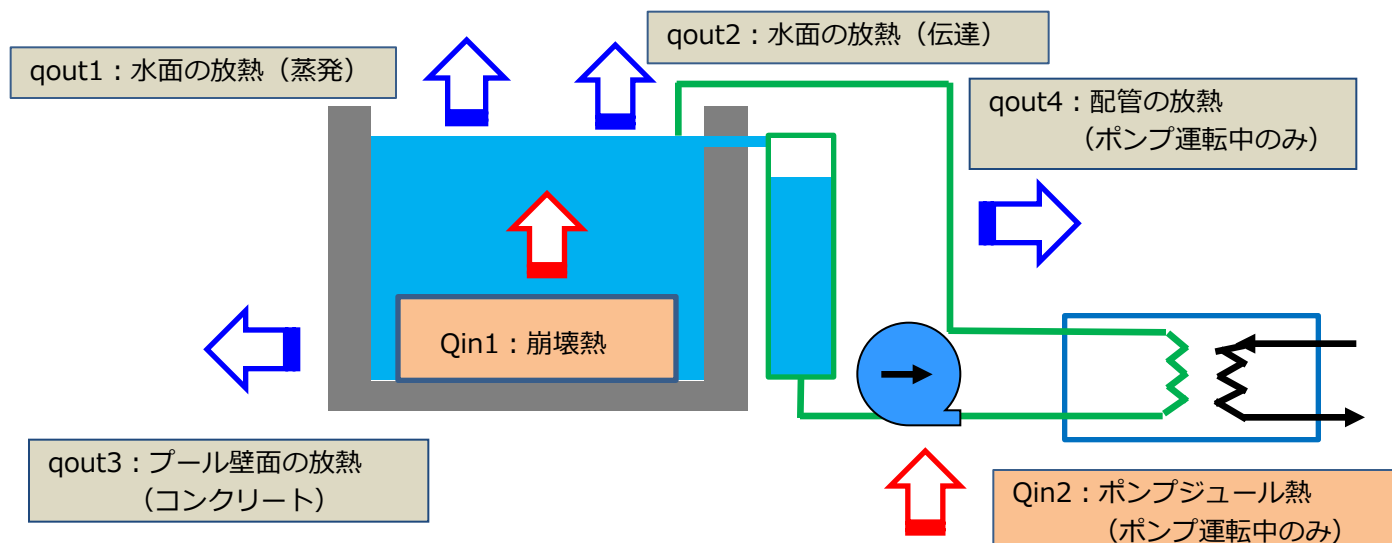
q : 放熱 (q_{out1} + q_{out2} + q_{out3} + q_{out4})

q_{out1} : 水面の放熱 (蒸発) 【気温 + 風速を使用】

q_{out2} : 水面の放熱 (伝熱) 【気温を使用】

q_{out3} : プール壁面の放熱 (コンクリート) 【気温を使用】

q_{out4} : 配管の放熱 【ポンプ運転中】



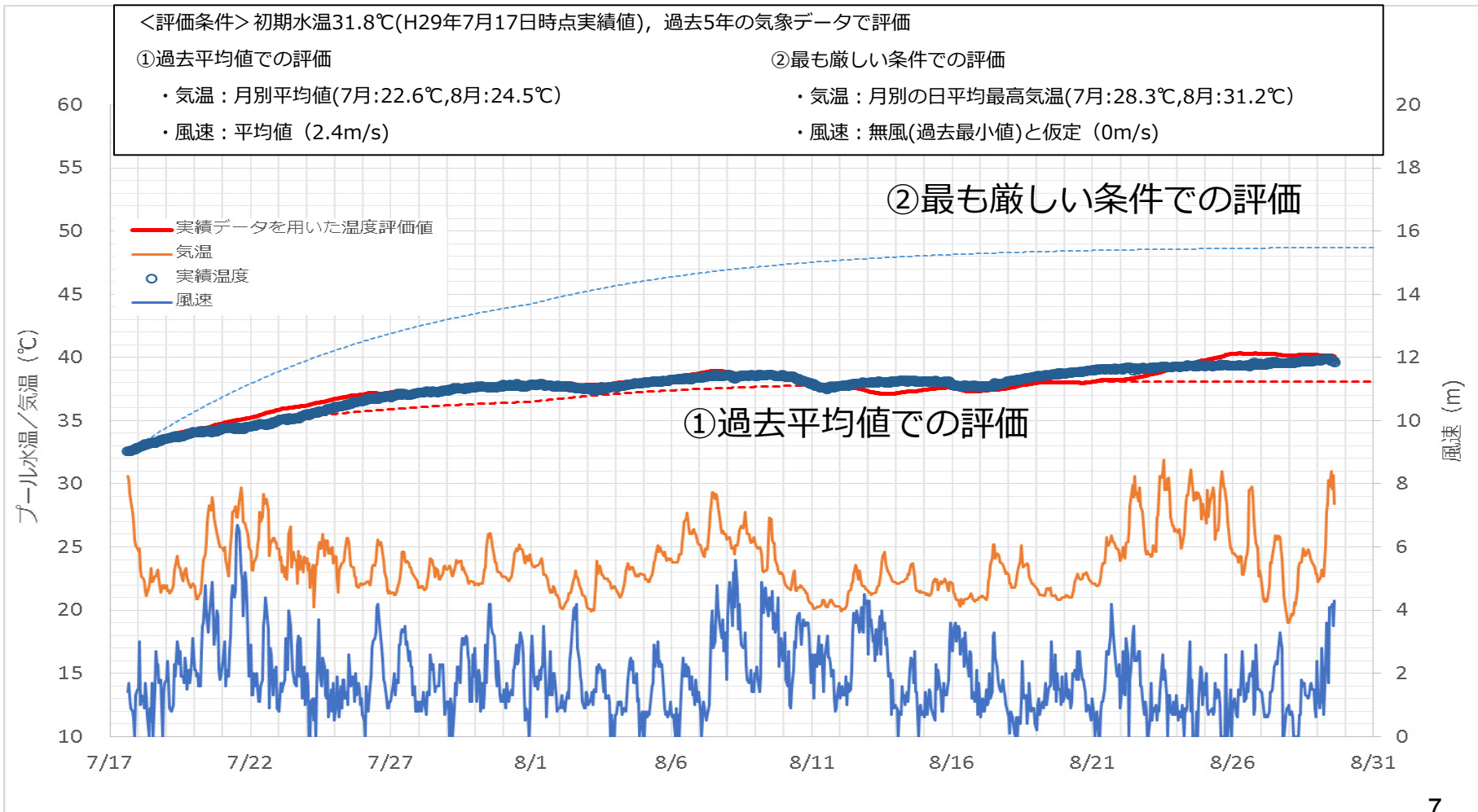
← 1号機及び2号機の評価では加味していない。

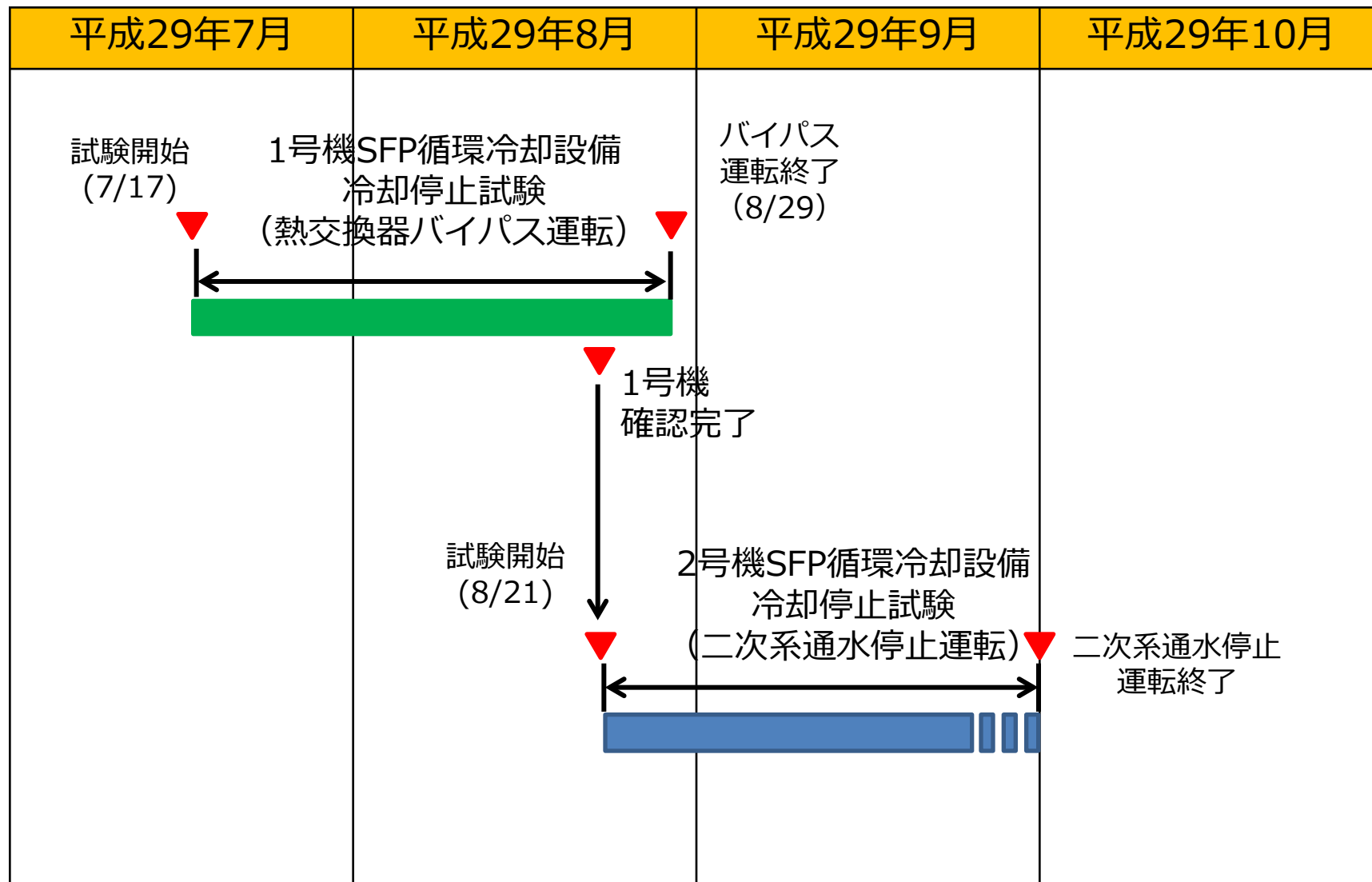
【1号機との相違点】
一次系を構成する配管長が違うため、影響が大きかったと推定。

【参考】
配管長の概略長さ
1号機 : 約50m
2号機 : 約400m

【参考2】 1号機冷却停止試験実績（平成29年7月）

- ◆ SFP水温が予想通り推移しており、運転上の制限温度（60℃）未満で推移することが確認された。
- ◆ 過去5年間平均の気象実績データを用いて評価したグラフ（過去平均グラフ）と概ね一致している傾向が見られた。
- ◆ また、湯気の発生は確認されなかった。
（試験期間中(7/17~8/29)の気象条件（1F構内）平均気温：23.7℃,平均風速：1.9m/s）





1, 2号機 原子炉注水ラインのP E管化工事に伴う FDW系単独注水の影響確認試験の実施状況について

2017年8月31日

TEPCO

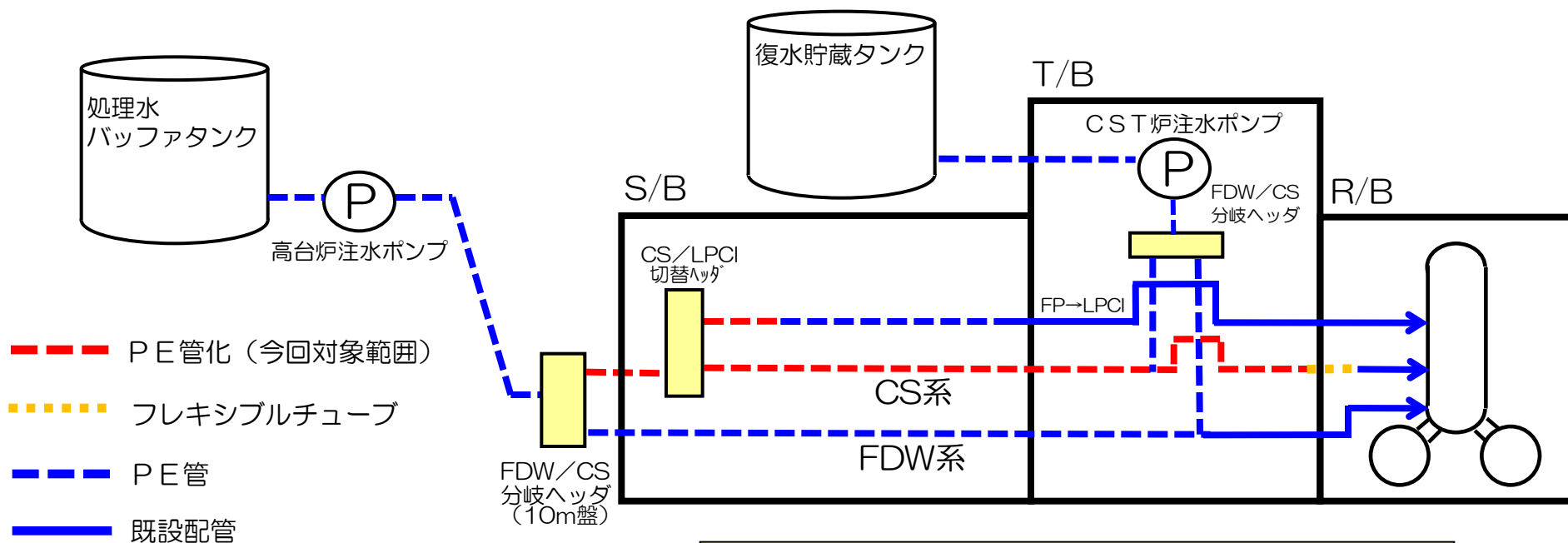
東京電力ホールディングス株式会社

1. 概要

1～3号機の原子炉注水設備において、信頼性向上のため、炉心スプレイ系（CS系）ラインのSUSフレキシブルチューブをポリエチレン管（PE管）に順次取り替える工事を計画中。

PE管への取替工事の際、原子炉注水を給水系（FDW系）のみで実施すること、また、現在の注水量3m³/hにおけるFDW系の単独注水実績がないことから、工事前にFDW系の単独注水試験を行い、原子炉の冷却状態に対する影響を確認する。

1号機は7月25日～8月2日に、2号機は8月22日～8月29日に試験を実施しており、その内容について報告する。



PE管化対象範囲イメージ図（例：2号機）

- R/B : 原子炉建屋
- T/B : タービン建屋
- S/B : サービス建屋
- CS : 炉心スプレイ系
- FDW : 給水系
- LPCI : 低圧炉心注入ライン
- FP : 消火系

2. 1号機における試験の概要

■ 操作実績

<FDW系単独注水への切り替え>

- ・ 操作日 : 平成29年7月25日(火)
- ・ FDW系 : 1.5 → 3.0 [m³/h]
- ・ CS系 : 1.5 → 0.0 [m³/h]
- ・ 総流量 : 3.0 → 3.0 [m³/h]

<FDW系およびCS系による注水への切り替え>

- ・ 操作日 : 平成29年8月2日(水)
- ・ FDW系 : 3.0 → 1.5 [m³/h]
- ・ CS系 : 0.0 → 1.5 [m³/h]
- ・ 総流量 : 3.0 → 3.0 [m³/h]

試験期間 : 約 1 週間

■ 試験結果

試験期間において、監視パラメータとしていた、原子炉圧力容器底部温度、格納容器温度、格納容器ガス管理設備ダストモニタのいずれの指示値にも、「FDW系単独注水に切り替えたこと」に伴う有意な変化はなく、原子炉の冷却状態に異常がないことを確認できた。

なお、試験後から8月8日(火)まで、FDW系およびCS系による元の注水形態に戻したことに対する、原子炉の冷却状態への影響を確認し、異常がないことを確認した。

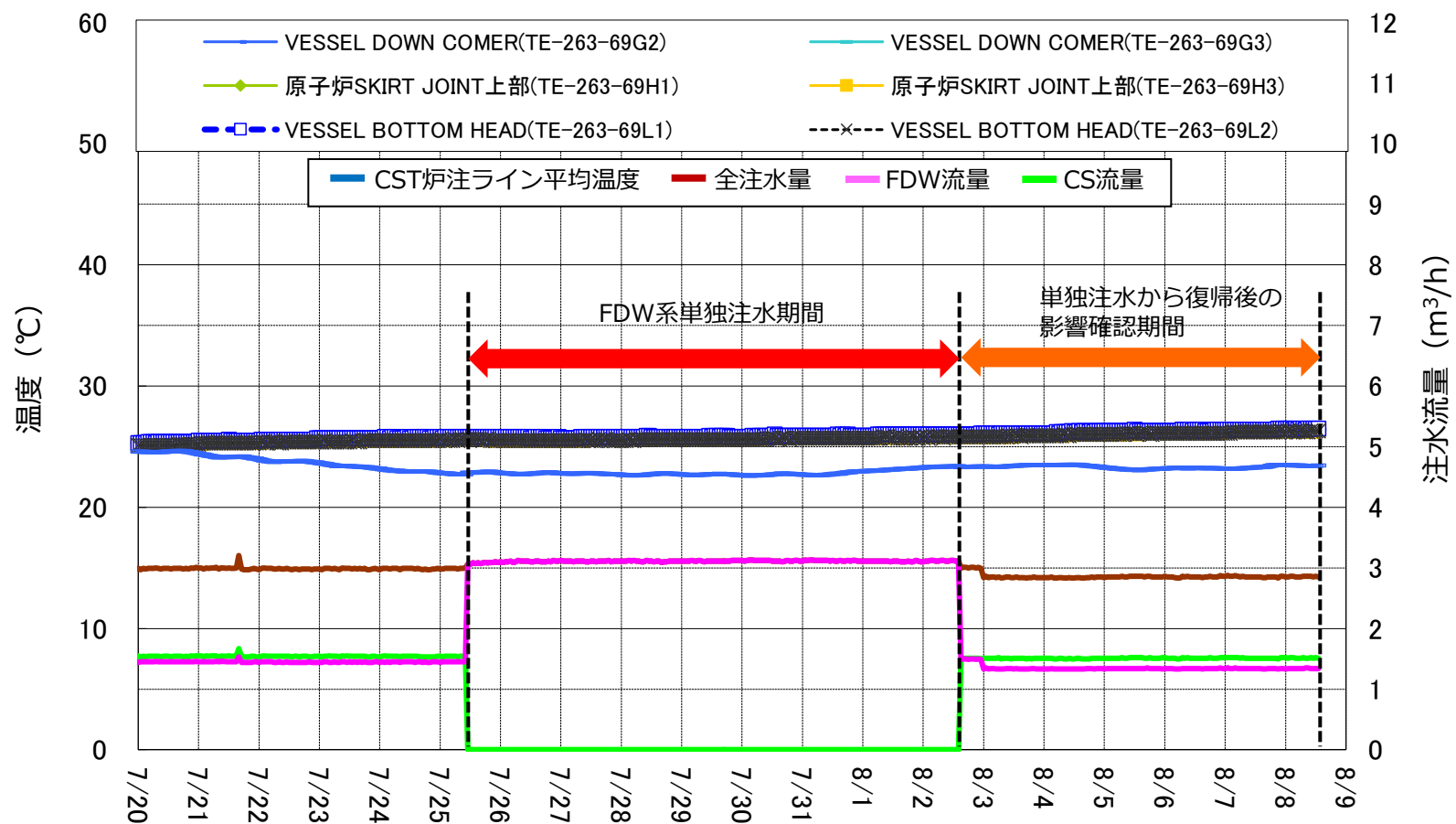
したがって、CS系のPE管化工事に際しては、FDW系から3.0m³/hの注水を実施することで対応する。

3. 1号機における監視パラメータの推移 (1/3)

■ 監視パラメータ

※ 試験期間中10℃以上の温度上昇がみられた場合、FDW系注水量の増加を実施

監視パラメータ	判断基準
原子炉圧力容器底部温度	65℃以下および試験前からの温度上昇が10℃※未満
原子炉への注水量	必要な注水量が確保されていること

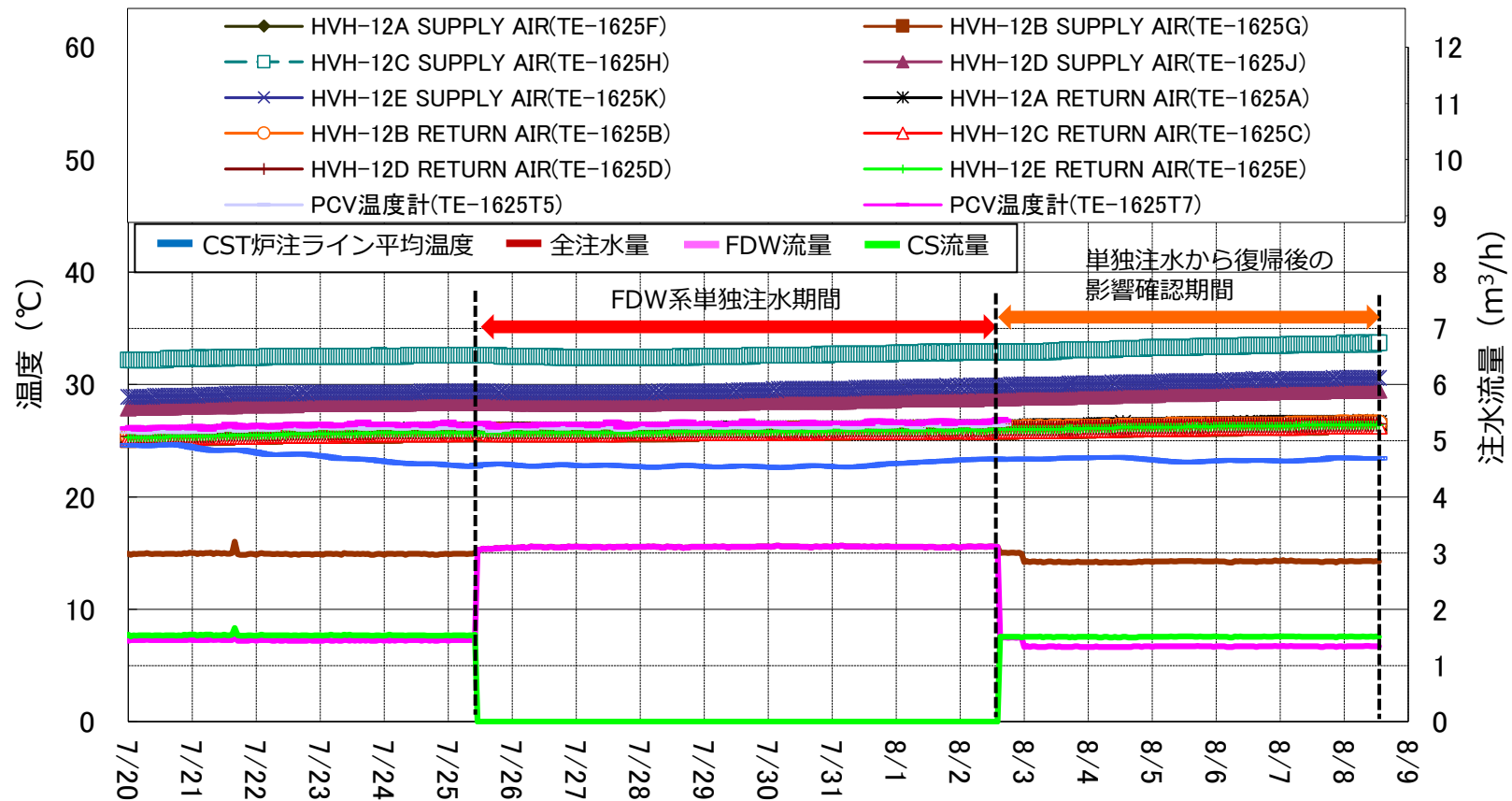


3. 1号機における監視パラメータの推移 (2/3)

■ 監視パラメータ

※ 試験期間中10℃以上の温度上昇がみられた場合、FDW系注水量の増加を実施

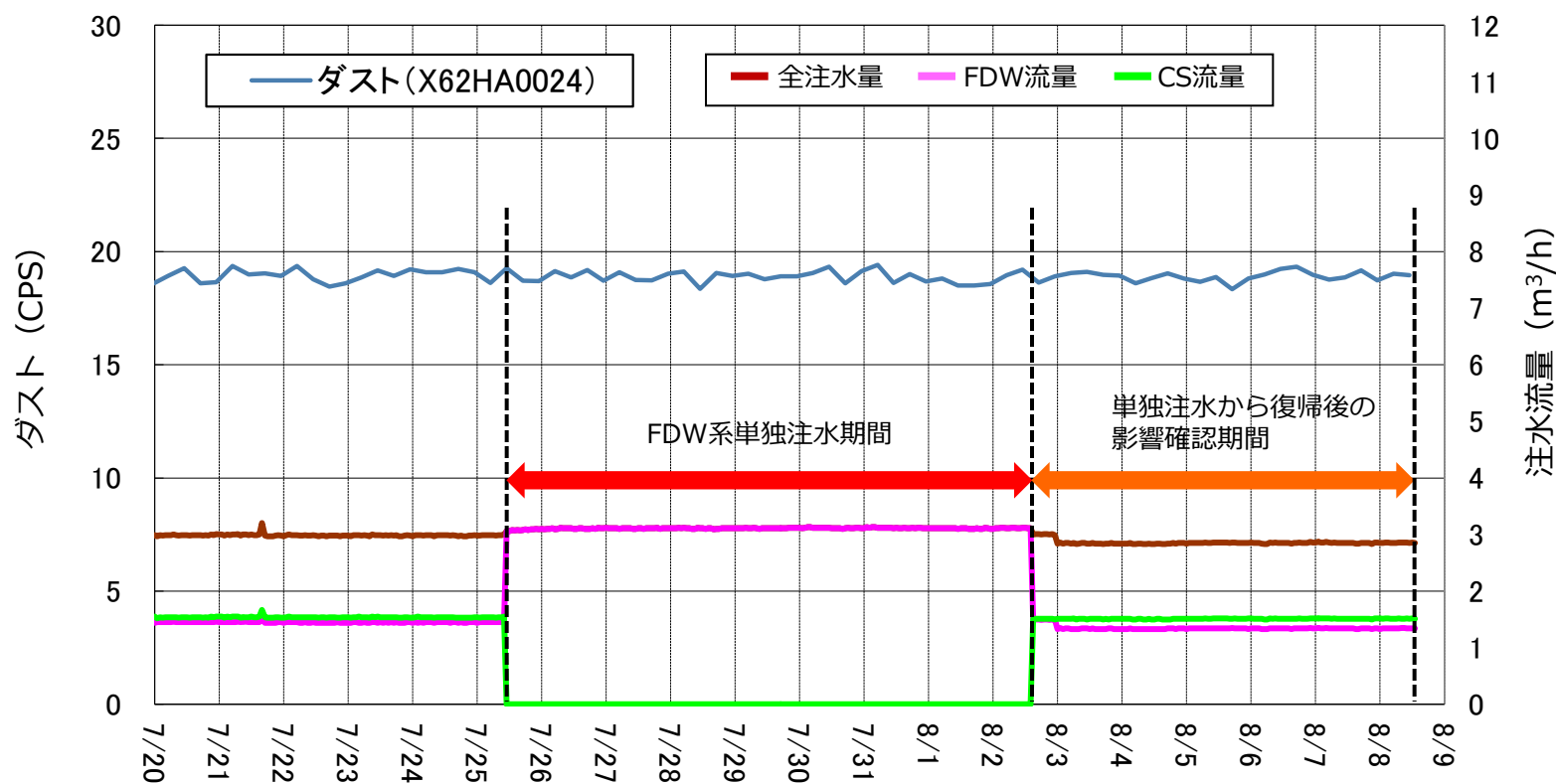
監視パラメータ	判断基準
格納容器内温度	65℃以下および試験前からの温度上昇が10℃※未満
原子炉への注水量	必要な注水量が確保されていること



3. 1号機における監視パラメータの推移 (3/3)

■ 監視パラメータ

監視パラメータ	判断基準
格納容器ガス管理設備ダストモニタ	有意な上昇が継続しないこと



2. 2号機における試験の概要

■ 操作実績

<FDW系単独注水への切り替え>

- ・ 操作日 : 平成29年8月22日(火)
- ・ FDW系 : 1.5 → 3.0 [m³/h]
- ・ CS系 : 1.5 → 0.0 [m³/h]
- ・ 総流量 : 3.0 → 3.0 [m³/h]

<FDW系およびCS系による注水への切り替え>

- ・ 操作日 : 平成29年8月29日(火)
- ・ FDW系 : 3.0 → 1.5 [m³/h]
- ・ CS系 : 0.0 → 1.5 [m³/h]
- ・ 総流量 : 3.0 → 3.0 [m³/h]

試験期間 : 約 1 週間

■ 試験結果

試験期間において、監視パラメータとしていた原子炉圧力容器底部温度のうち、TE-2-3-69Rの温度が約2.8℃上昇したものの、注水温度も約1.8℃上昇していること、2014年2月にFDW系による単独注水した際にも同様の温度挙動が確認できていることから、今回の温度上昇は想定範囲内である。

加えて、その他の監視パラメータである格納容器温度、格納容器ガス管理設備ダストモニタの指示値に「FDW系単独注水に切り替えたこと」に伴う有意な変化はなく、原子炉の冷却状態に異常はないものと考えている。

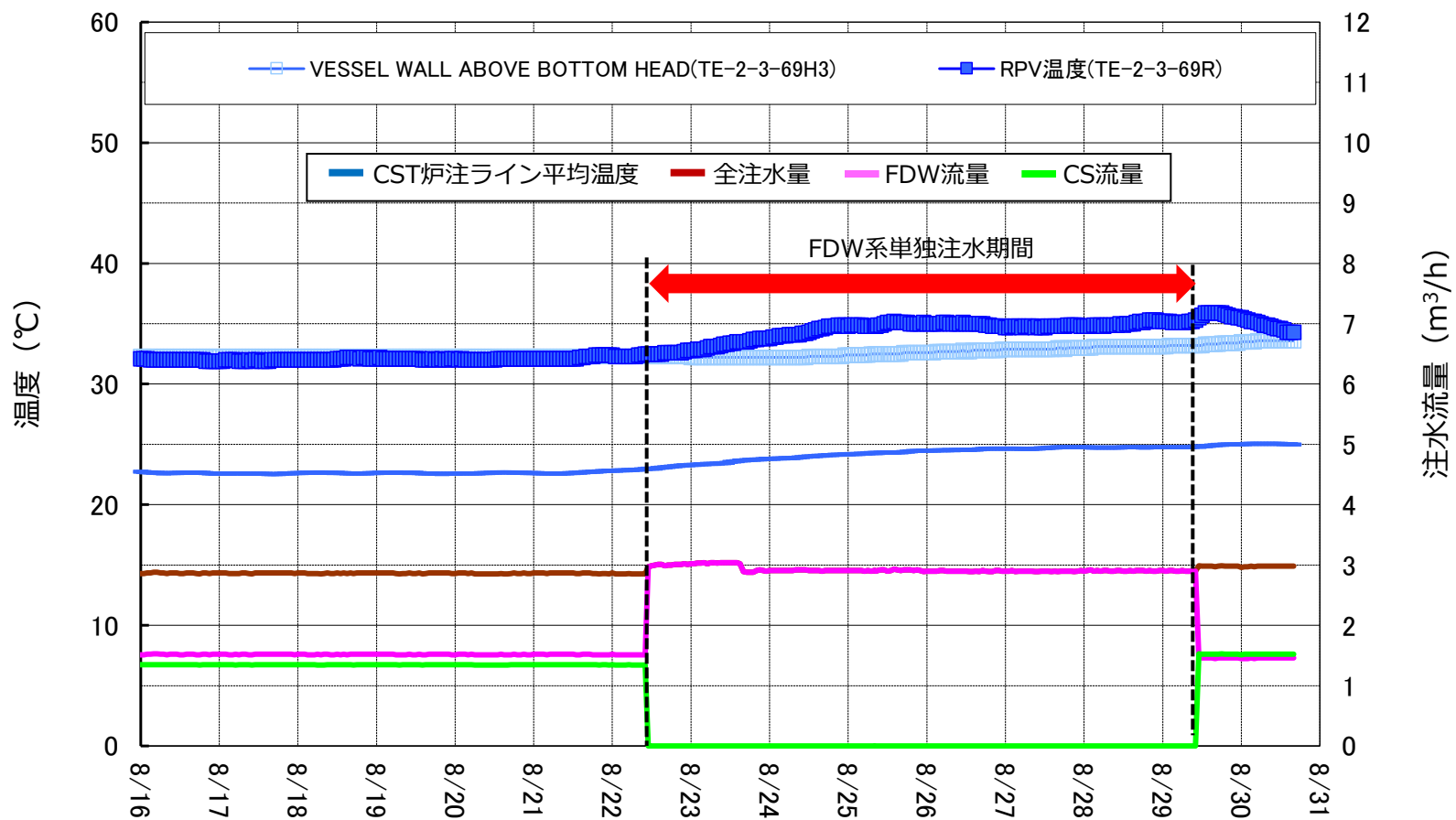
なお、試験後から9月4日(月)まで、FDW系およびCS系による元の注水形態に戻したことに對する、原子炉の冷却状態への影響を確認する予定。

3. 監視パラメータの推移 (1/3)

■ 監視パラメータ

※ 試験期間中10℃以上の温度上昇がみられた場合、FDW系注水量の増加を実施

監視パラメータ	判断基準
原子炉圧力容器底部温度	6.5℃以下および試験前からの温度上昇が10℃※未滿
原子炉への注水量	必要な注水量が確保されていること

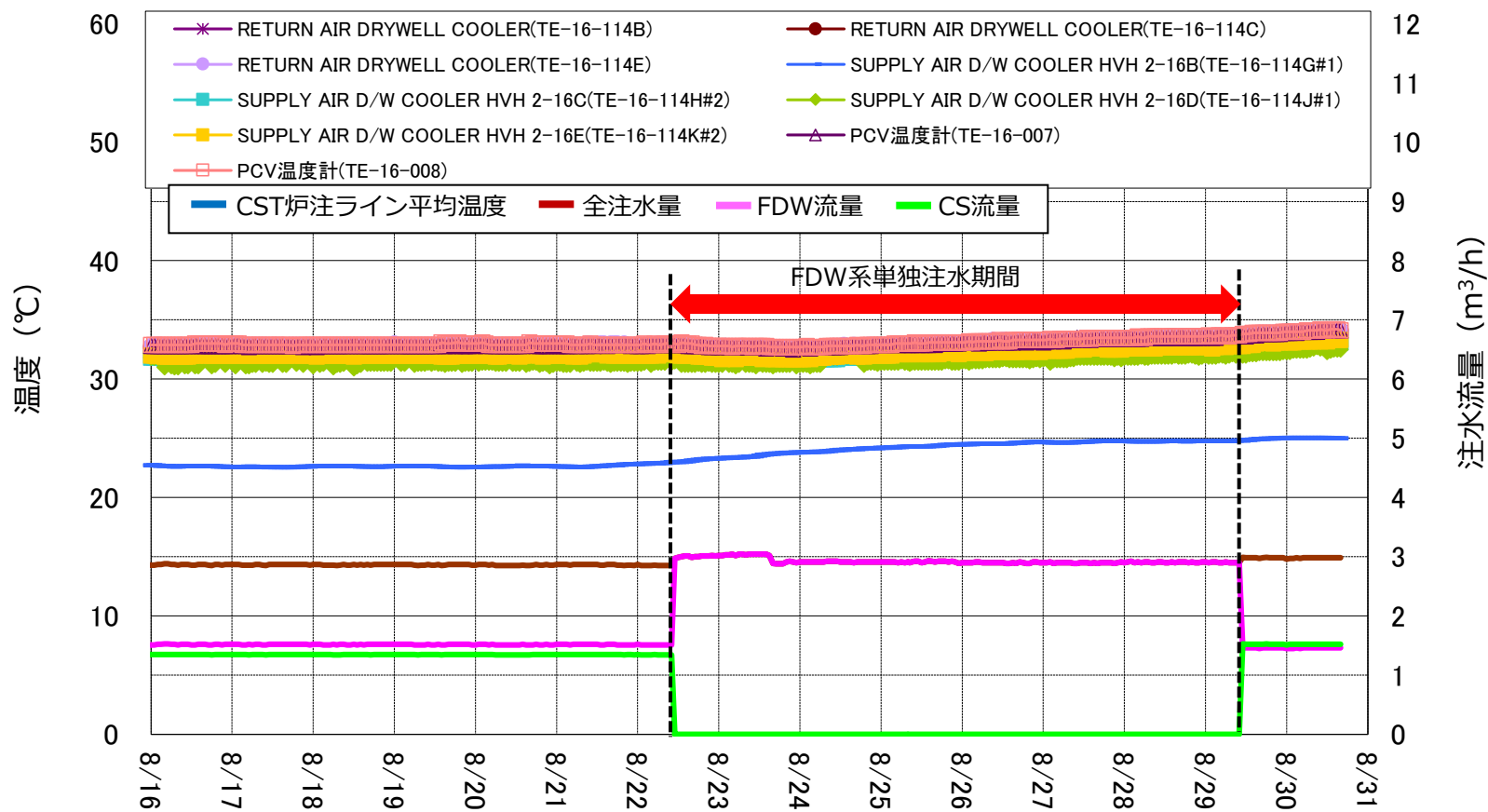


3. 監視パラメータの推移 (2/3)

■ 監視パラメータ

※ 試験期間中10℃以上の温度上昇がみられた場合、FDW系注水量の増加を実施

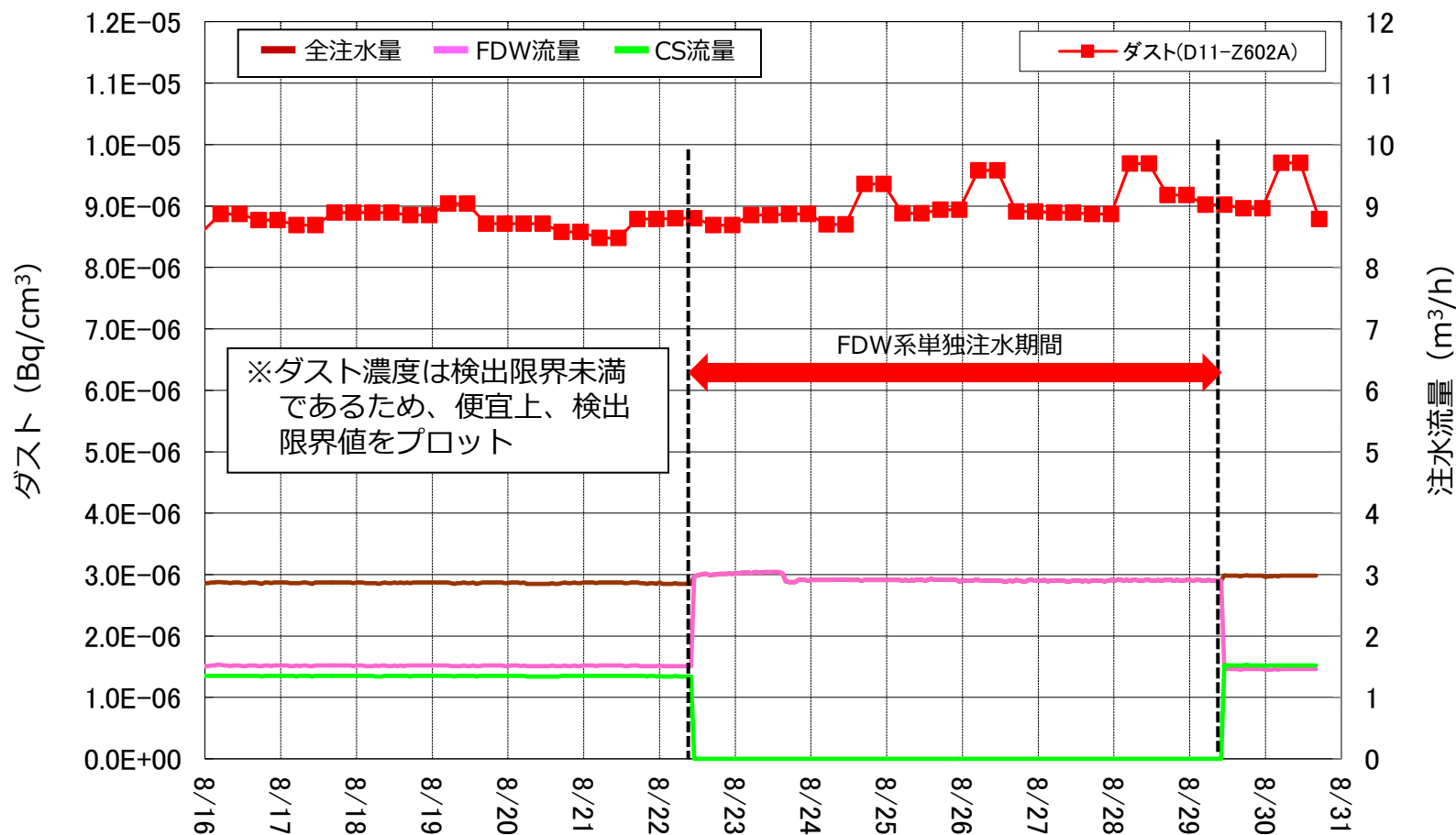
監視パラメータ	判断基準
格納容器内温度	65℃以下および試験前からの温度上昇が10℃※未満
原子炉への注水量	必要な注水量が確保されていること



3. 監視パラメータの推移 (3/3)

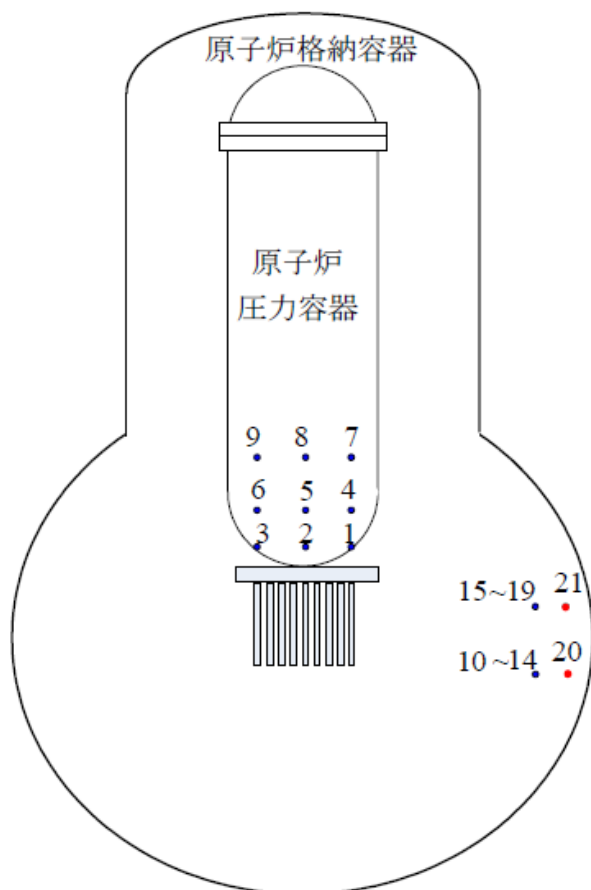
■ 監視パラメータ

監視パラメータ	判断基準
格納容器ガス管理設備ダストモニタ	有意な上昇が継続しないこと



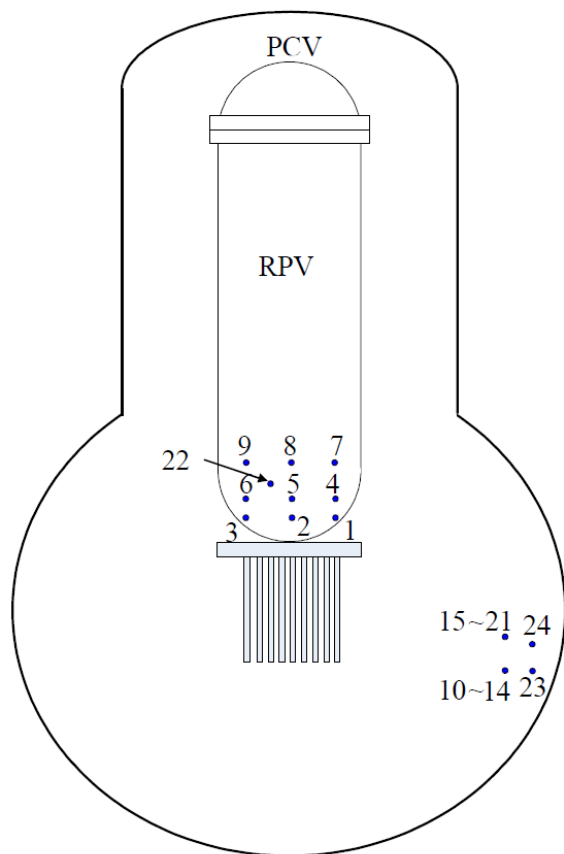
(参考) 温度測定点 (1号機)

(*)平成29年5月12日現在



No	計器名	保安規定の監視対象計器(*)
1	vessel bottom head(TE-263-69L1)	○
2	vessel bottom head(TE-263-69L2)	○
3	vessel bottom head(TE-263-69L3)	—
4	原子炉 skirt joint 上部(TE-263-69H1)	○
5	原子炉 skirt joint 上部(TE-263-69H2)	—
6	原子炉 skirt joint 上部(TE-263-69H3)	○
7	vessel down commer(TE-263-69G1)	—
8	vessel down commer(TE-263-69G2)	○
9	vessel down commer(TE-263-69G3)	○
10	HVH-12A return air(TE-1625A)	○
11	HVH-12B return air(TE-1625B)	○
12	HVH-12C return air(TE-1625C)	○
13	HVH-12D return air(TE-1625D)	○
14	HVH-12E return air(TE-1625E)	○
15	HVH-12A supply air(TE-1625F)	○
16	HVH-12B supply air(TE-1625G)	○
17	HVH-12C supply air(TE-1625H)	○
18	HVH-12D supply air(TE-1625J)	○
19	HVH-12E supply air(TE-1625K)	○
20	PCV 温度(TE-1625T5)	○
21	PCV 温度(TE-1625T7)	○

(参考) 温度測定点 (2号機)



(*)平成 28 年 1 月 27 日現在

No	計器名	保安規定の監視対象計器(*)
1	vessel bottom head (TE-2-3-69L1)	—
2	vessel bottom head (TE-2-3-69L2)	—
3	vessel bottom head (TE-2-3-69L3)	—
4	vessel bottom above skirt jct (TE-2-3-69F1)	—
5	vessel bottom above skirt jct (TE-2-3-69F2)	—
6	vessel bottom above skirt jct (TE-2-3-69F3)	—
7	vessel wall above bottom head (TE-2-3-69H1)	—
8	vessel wall above bottom head (TE-2-3-69H2)	—
9	vessel wall above bottom head (TE-2-3-69H3)	○
10	return air drywell cooler (TE-16-114A)	—
11	return air drywell cooler (TE-16-114B)	○
12	return air drywell cooler (TE-16-114C)	○
13	return air drywell cooler (TE-16-114D)	—
14	return air drywell cooler (TE-16-114E)	○
15	supply air D/W cooler(TE-16-114F#1)	—
16	supply air D/W cooler(TE-16-114G#1)	○
17	supply air D/W cooler(TE-16-114H#2)	○
18	supply air D/W cooler(TE-16-114J#1)	○
19	supply air D/W cooler(TE-16-114K#2)	○
20	PCV 温度(TE-16-114W#1)	撤去済
21	PCV 温度(TE-16-114W#2)	撤去済
22	RPV 温度(TE-2-3-69R)	○
23	PCV 温度(TE-16-007)	○
24	PCV 温度(TE-16-008)	○