

3号機原子炉建屋オペレーティングフロアからの 湯気らしきものの発生について

2013年8月6日

東京電力株式会社

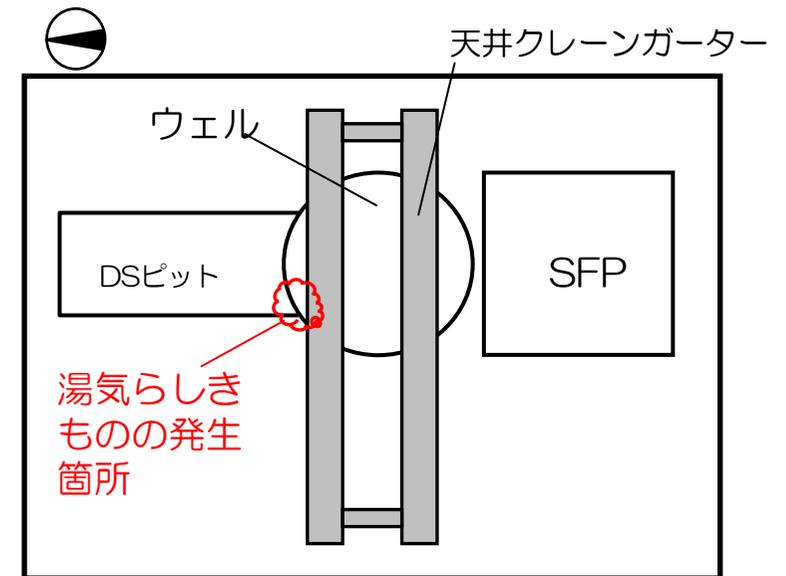


東京電力

1. 事象の概要

- 7/18早朝、3号機原子炉建屋オペレーティングフロア(以下、「オペフロ」という)にて瓦礫撤去作業開始時に湯気らしきもの(以下、「湯気」という)を確認(湯気は7/23、7/24、7/25にも確認)
 - 敷地境界のMPの値に変化無し
 - プラントパラメータに変化無し
 - RPV関連温度
 - PCVガス管理設備パラメータ
 - 原子炉は未臨界を確認
 - 気象状況
 - 7/18: 気温約21°C、湿度約92%
 - 7/23: 気温約20°C、湿度約91%
 - 7/24: 気温約20°C、湿度約91%
 - 7/25: 気温約21°C、湿度約91%
- ※湯気確認当日又は前日に降雨有り

(2013年7月25日現在の状況)



原子炉建屋5階 平面イメージ



湯気らしきものの写真(7/18)

2. 調査内容

- 湯気の発生要因の検証、周辺環境への影響有無を確認する観点から、湯気が確認された箇所周辺を中心に、以下の調査を実施。
 - 温度計測
赤外線サーモグラフィを用いて湯気が確認された箇所を中心に5m～40mで測定。
 - 霧困気線量
ポータブル線量計を用い、湯気が確認された箇所を含むウェル等に対し、高さ1m程度で測定。
 - ダスト測定
ダストサンプリングポンプを用い、湯気が確認された箇所や霧困気線量測定結果が高い箇所等に対して測定。



赤外線サーモカメラ



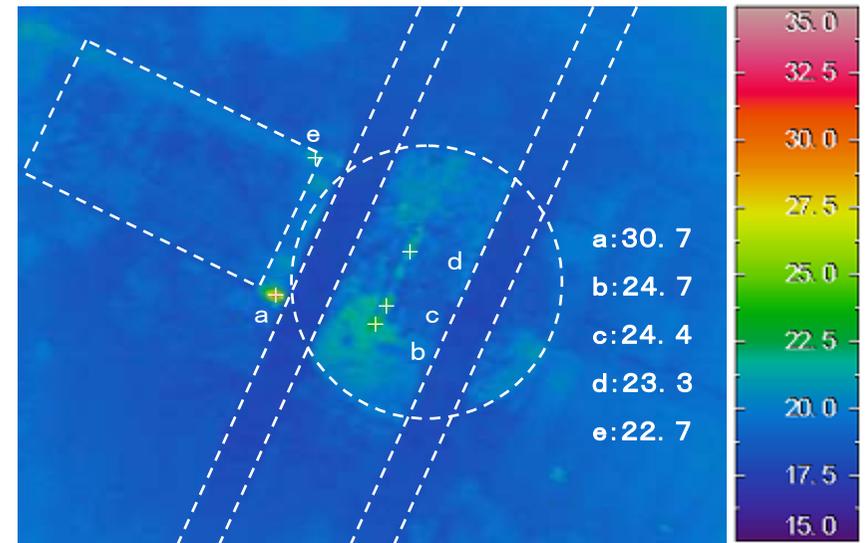
ダストサンプリングポンプ

3. 調査結果(温度・雰囲気線量)

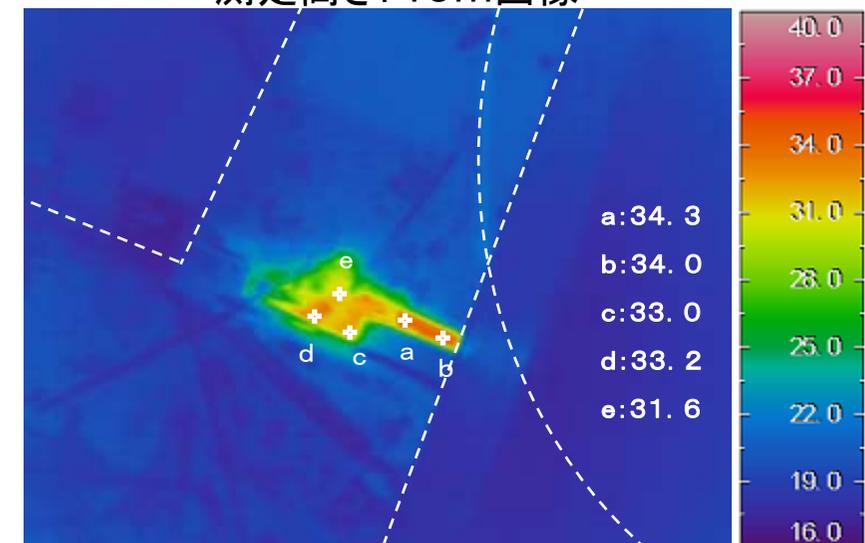
- オペフロ温度計測(赤外線サーモグラフィ)
 - 湯気が出ていた部位: 34.3°C
 - シールドプラグつなぎ目: 24.7°C
- 線量測定
 - 湯気が出ていた部位: 562 (mSv/h)
 - シールドプラグつなぎ目(最大):
2170(mSv/h)



- 湯気が出ていた箇所が最大の温度
- 他にもシールドプラグつなぎ目から若干気体が出ている可能性がある
- オペフロ上の線量はガレキ等の影響をうけるため、湯気による影響をうけているか明確でない



測定高さ: 40m画像



測定高さ: 5m画像

3. 調査結果(ダスト)

■ オペフロ上部ダスト測定 (Bq/cm³) (7月測定)

- Cs-134: $9.3 \times 10^{-6} \sim 1.4 \times 10^{-5}$
- Cs-137: $2.3 \times 10^{-5} \sim 3.3 \times 10^{-5}$
- I-131: ND

■ PCV内ガスのダスト測定 (Bq/cm³) (5月測定)

- Cs-134: 約 1×10^{-6}
- Cs-137: 約 2×10^{-6}



- オペフロ上部ダストのCs-134,137の値はPCV内ガスのダスト測定結果よりも少し高めの値
- オペフロ上部ダスト測定結果は過去の定例測定の範囲内
- 湯気が確認された箇所からのダスト測定結果から、敷地境界に影響を与える放出となっていない

4. 湯気発生時の気象と湯気の発生条件

- 湯気発生時の気象データ
これまでの湯気発生時の気象はほぼ同じ

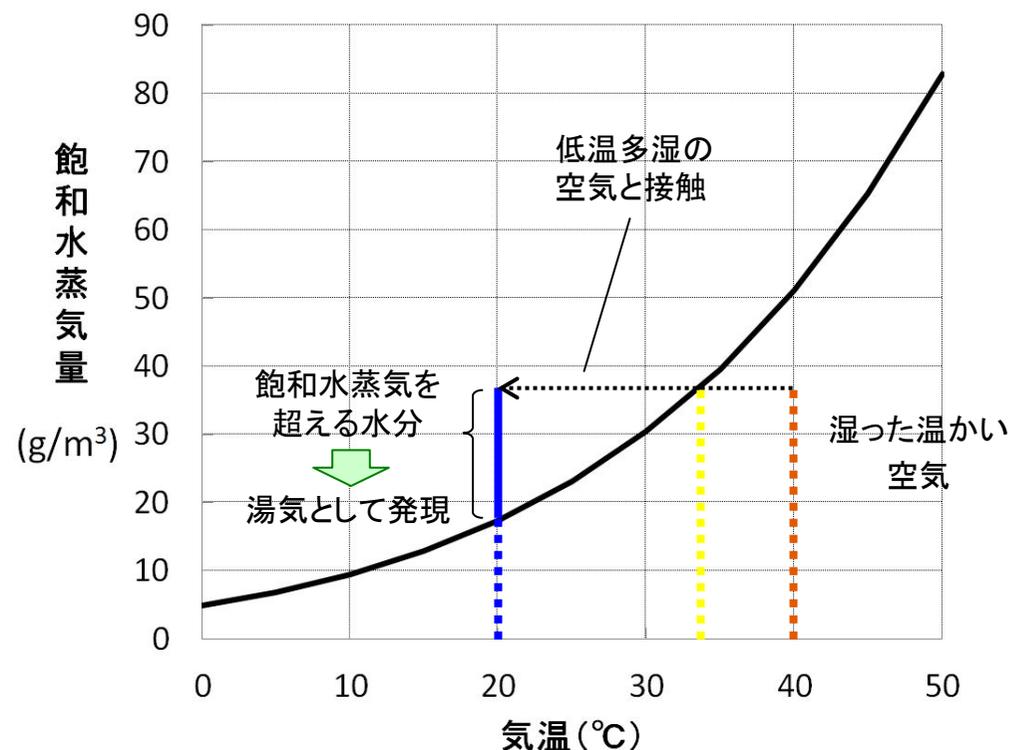
- 低温多湿の夏場
- 前日夜の降雨

	2012年 7月15日	2013年 7月18日	2013年 7月23日	2013年 7月24日	2013年 7月25日
気温(9時)	20.1℃	21.4℃	20.3℃	19.8℃	20.5℃
湿度(9時)	95.2%	92.3%	91.2%	91.2%	91.1%
降雨量 (19時～8時)	0mm	23mm	17.5mm	2.5mm	1.0mm

(2013年7月25日現在)

■ 湯気の発生条件

- 湿った温かい空気が低温多湿の空気と接触し、露点温度以下となる
- 飽和水蒸気を超える水分が粒子となり、湯気(霧)として可視化される



5. 湯気発生 の 推定メカニズム

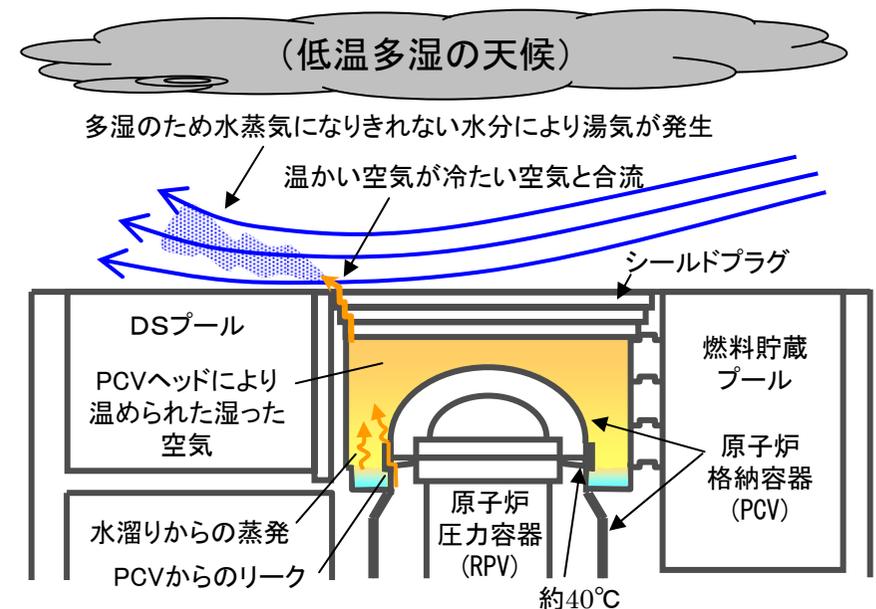
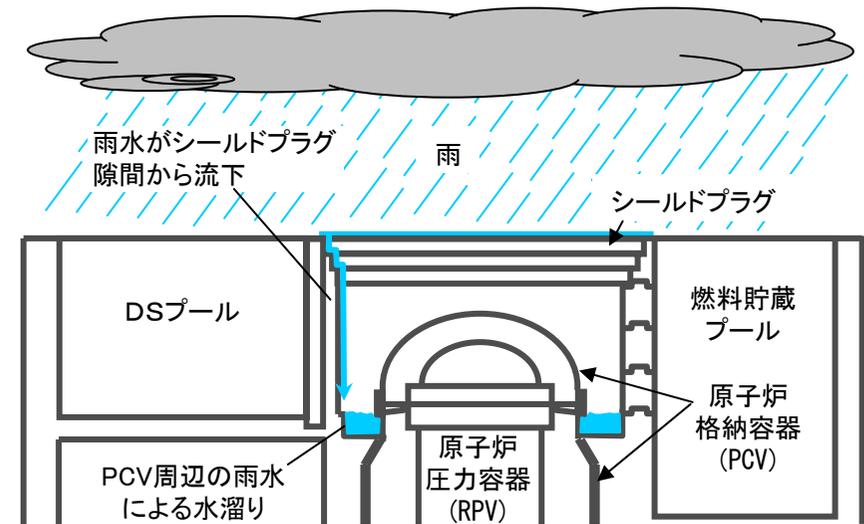
■ 湯気の発生源

- ① 炉内又はPCV内のデブリ燃料状態変化による蒸気の発生
- ② PCVヘッド周辺の水分の蒸発や、PCVのリークにより持ち込まれた湿分がシールドプラグ下部に滞留し、シールドプラグの隙間からオペフロに放出
- ③ シールドプラグ隙間のPCVから放出された放射性物質による発熱

➡ 湯気発生源は②が最も可能性が高い

■ 湯気発生 の メカニズム

- シールドプラグ下部に滞留していた湿った空気が、PCVのリークによる押し出し等でシールドプラグの隙間からオペフロ上に放出される
- 放出された空気が、低温、多湿(約20℃, 約92%)であったオペフロ上の外気と接触し、露点温度以下となる
- 飽和蒸気を超える水分が粒子となり、湯気(霧)として可視化される



6. PCVからのリークの可能性とその影響

■PCVからのリークの可能性とその影響

- 窒素封入量(16m³/h)とPCVガス管理設備の正味抽気量(約13m³/h)の差分(約3m³/h)の窒素や蒸気がPCVのいずれかからリーク
- 湯気がPCVからのリーク蒸気による場合, PCVガス管理設備の粒子除去フィルタ前のガスのダスト濃度(Cs-134/137で10⁻⁶Bq/cm³オーダー)と同等
- 一方, 湯気発生箇所近傍のダスト濃度はCs-134/137で10⁻⁴~10⁻⁵Bq/cm³オーダーであり、PCVからのリーク蒸気が湯気の一部であっても環境に与える影響は湯気全体に対して非常に小さい
- 湯気の確認後もダスト測定結果や原子炉関連温度・圧力, PCVガス管理設備等のデータに変化がないこと等から有意な放出とはなっていない
- なお, 定期的に行っている敷地各所の線量・ダスト測定による評価結果から, 当該の湯気自体も環境に与える影響は敷地全体に対して小さい

7. 今後の対応について

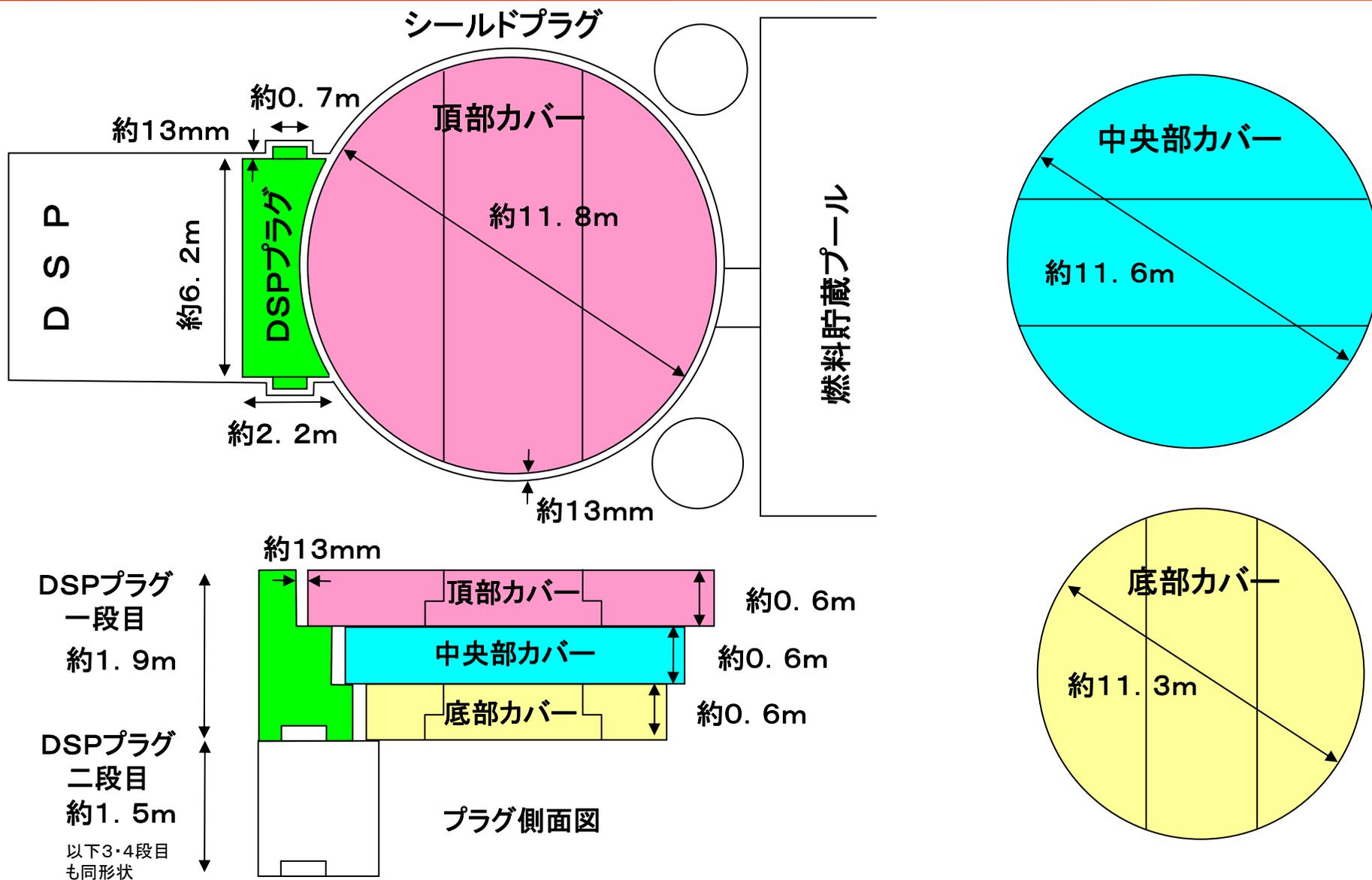
■ 継続的なメカニズムの検証

- 現時点で採取しうるデータ等を測定し、測定結果を踏まえたメカニズムの評価を行っているものの、オペフロ上に存在する瓦礫等により測定内容も限定的。
- 今後、瓦礫の撤去等を含む線量低減を実施した上で、温度、線量測定等を行い、評価の妥当性を検証していく。

■ 再び湯気の発生が確認された場合の対応

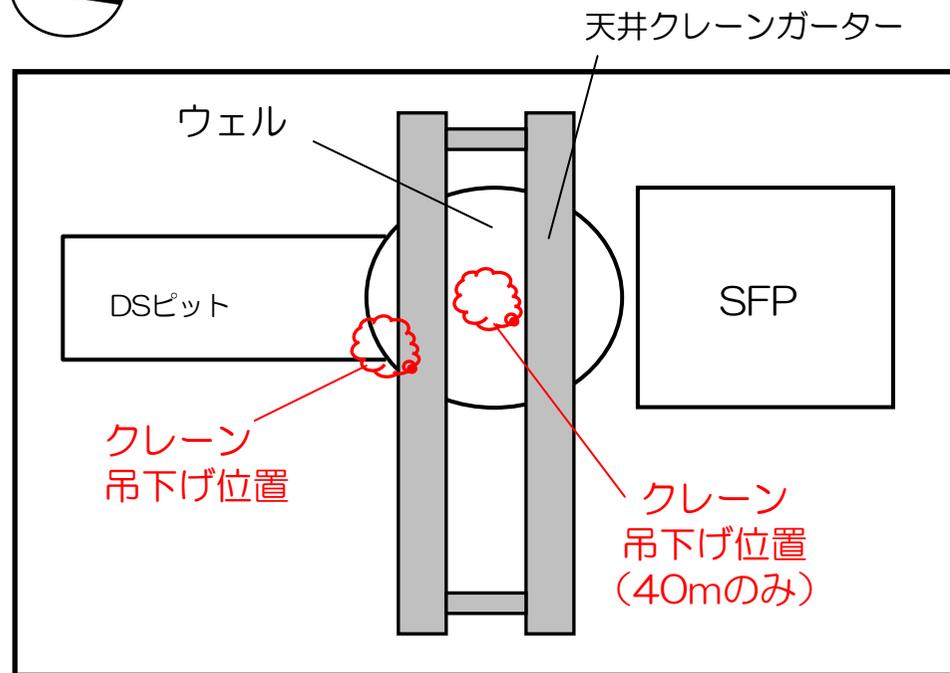
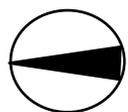
- 瓦礫の撤去等の作業に伴い再び湯気の発生が確認された場合、以下のプラントパラメータを確認し、プラント状態の未臨界およびその他異常のないことを確認するとともに、その結果について第25条に基づく通報を関係各所に行うものとする。
 - ◆ 原子炉関連温度・圧力
 - ◆ PCV雰囲気温度
 - ◆ PCVガス管理設備関連パラメータ(ダスト濃度、希ガス濃度、水素濃度等)
 - ◆ モニタリングポスト 等

(参考-1-①) シールドプラグ、DSPプラグ寸法

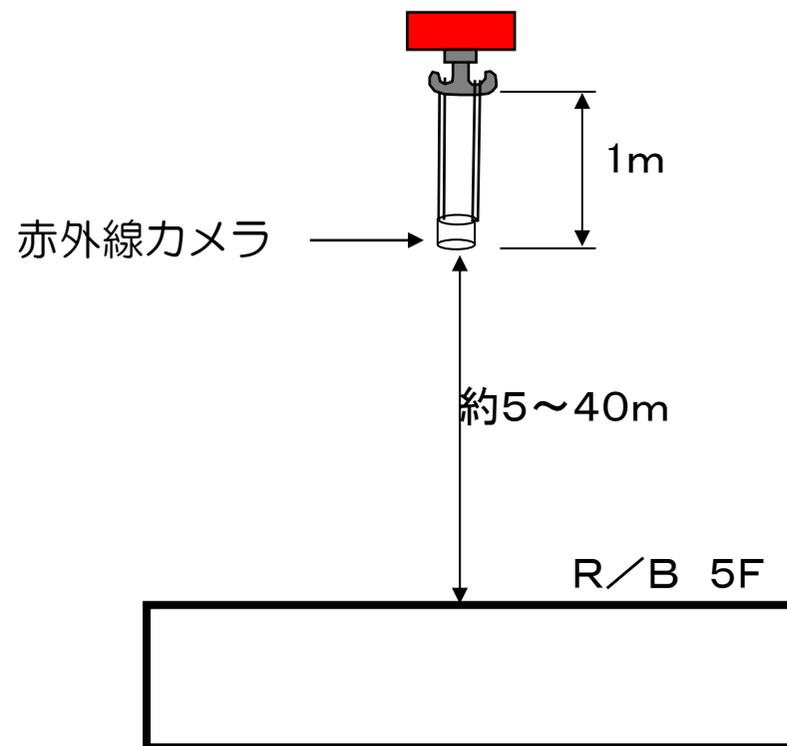


(参考-2-①) 1F-3 R/B上部 赤外線サーモグラフィ測定

11



原子炉建屋5階 平面イメージ



測定日時:平成25年7月24日 4:40~6:04

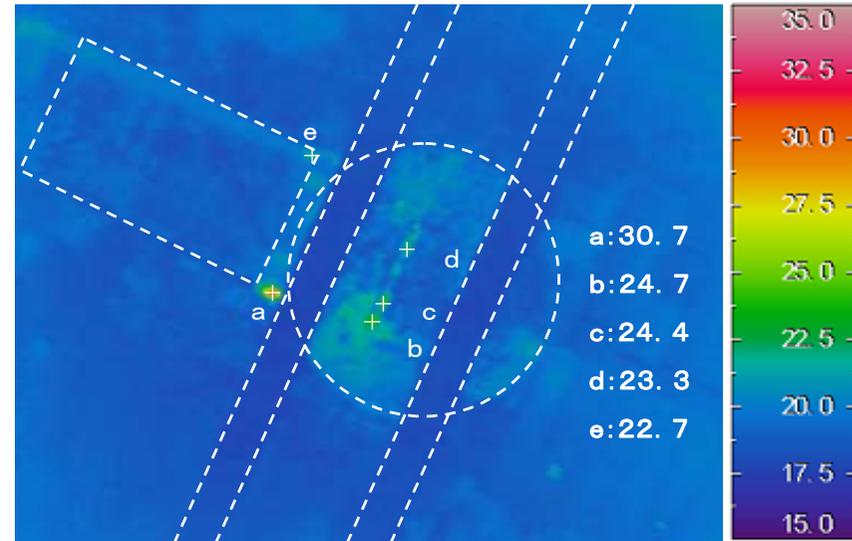
気象状況(5時30分時点):気温18.6°C、湿度91.1%、風速1.3m/s、風向西南西

測定高さ:R/Bオペフロ上 5~40m

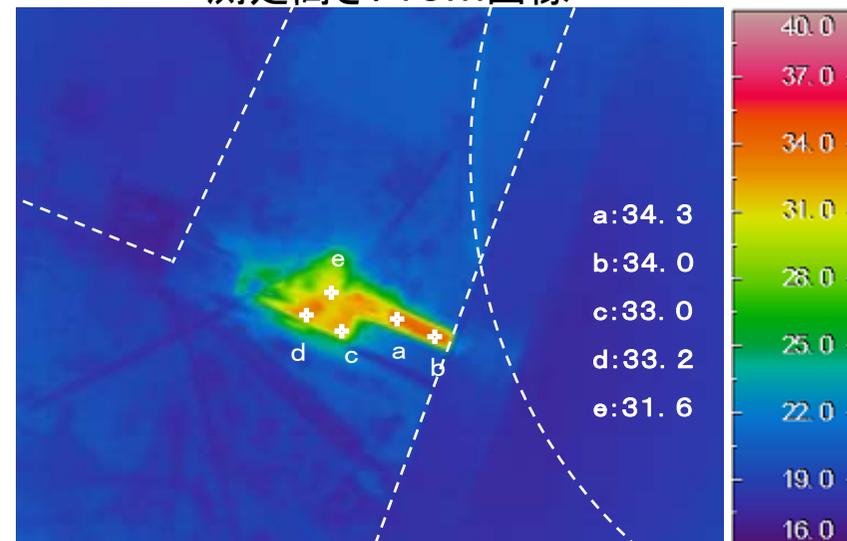
測定方法:

- ・連続自動撮影状態にした赤外線カメラ1台を原子炉建屋上部へクレーンにて吊り下げ位置へ移動し、測定高さを変えながら撮影。
- ・撮影後、赤外線カメラを回収し、データ確認を実施。

(参考-2-②) 1F-3 R/B上部 赤外線サーモグラフィ測定



測定高さ: 40m画像



測定高さ: 5m画像

所見

◎湯気らしきものが出ていた部位については、

測定高さ40m値で30.7℃

測定高さ 5m値で34.3℃

であった。

◎シールドプラグのつなぎ目付近の最大値は、測定高さ40m値で24.7℃であった。

シールドプラグ中心付近のつなぎ目に24℃前後の線上の温度分布が出ている

(参考-2-④) 1F-3 R/B上部 赤外線サーモグラフィ測定

【参考】

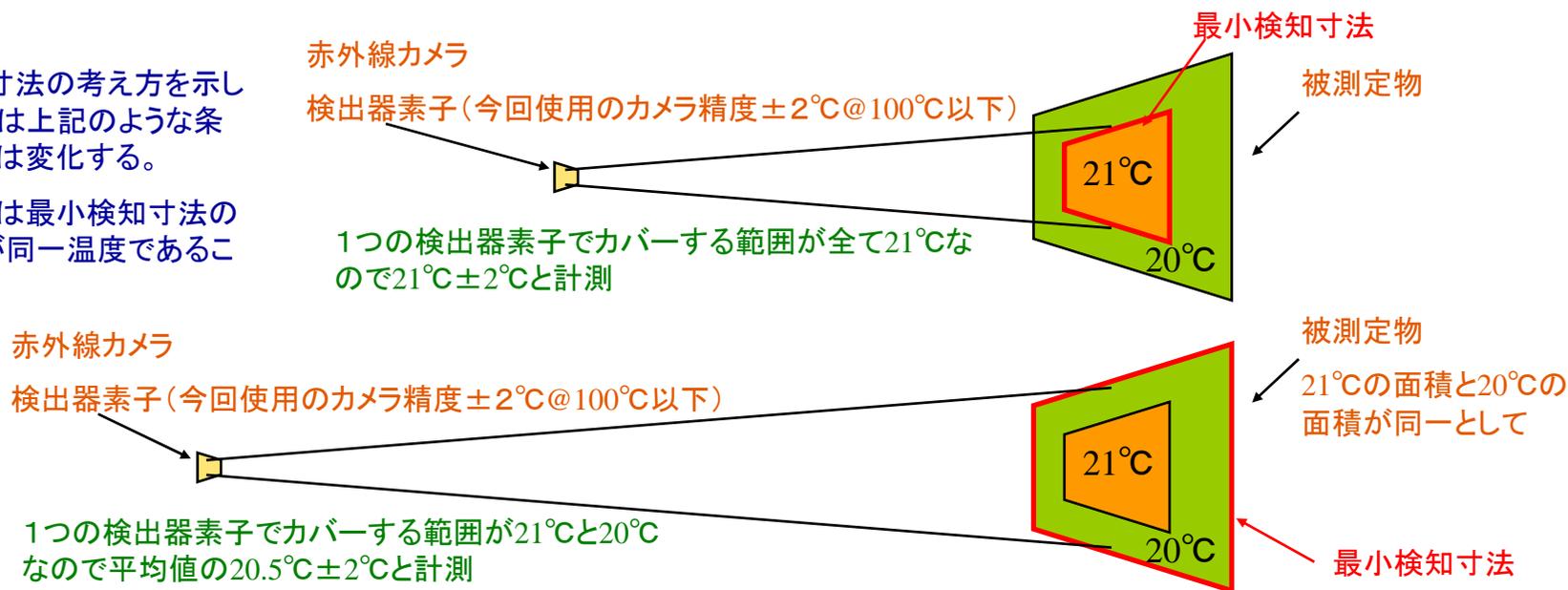
◎赤外線サーモグラフィには以下のような特性がある。

- ・蒸気については濃密度でなければ蒸気自体の温度は表示されない
- ・構造物については表面温度を計測する(内部温度は測定不可)
- ・同一温度の物でも、その放射率・反射率の違いにより測定値に違いがでる
- ・放射率・反射率は被測定物の材質・色・表面の粗さ・測定角度などにより変化する
- ・同一箇所の測定結果でも被測定物までの距離により最小検知寸法の相違で異なる値となる場合がある。

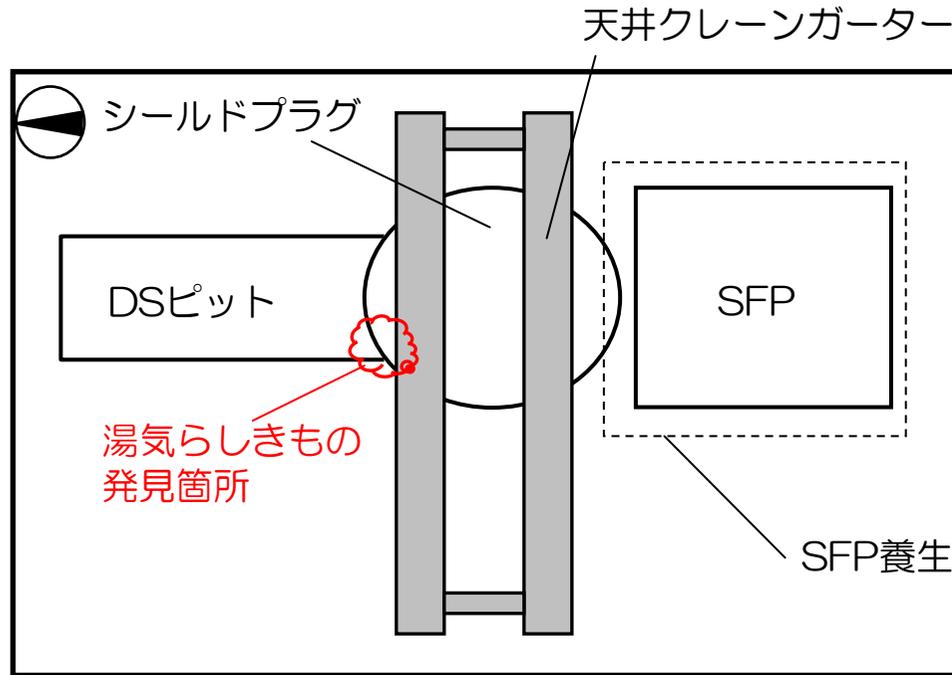
最小検知寸法内の温度にむらがあると表示温度は平均値が表示される(下図参照)

※左図は最小検知寸法の考え方を示しているもので実際には上記のような条件によっても測定値は変化する。

また、正確な測定には最小検知寸法の3倍の寸法の面積が同一温度であることが望ましい



(参考-3-①) 3号機オペフロシールドプラグ近傍線量調査結果 15



原子炉建屋5階 平面イメージ

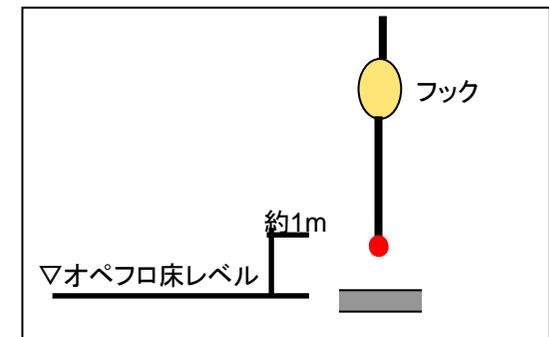


ウエルカバー周辺状況

測定箇所：オペフロ床面から約1 mの高さを測定
1箇所あたりの測定時間：約30秒間

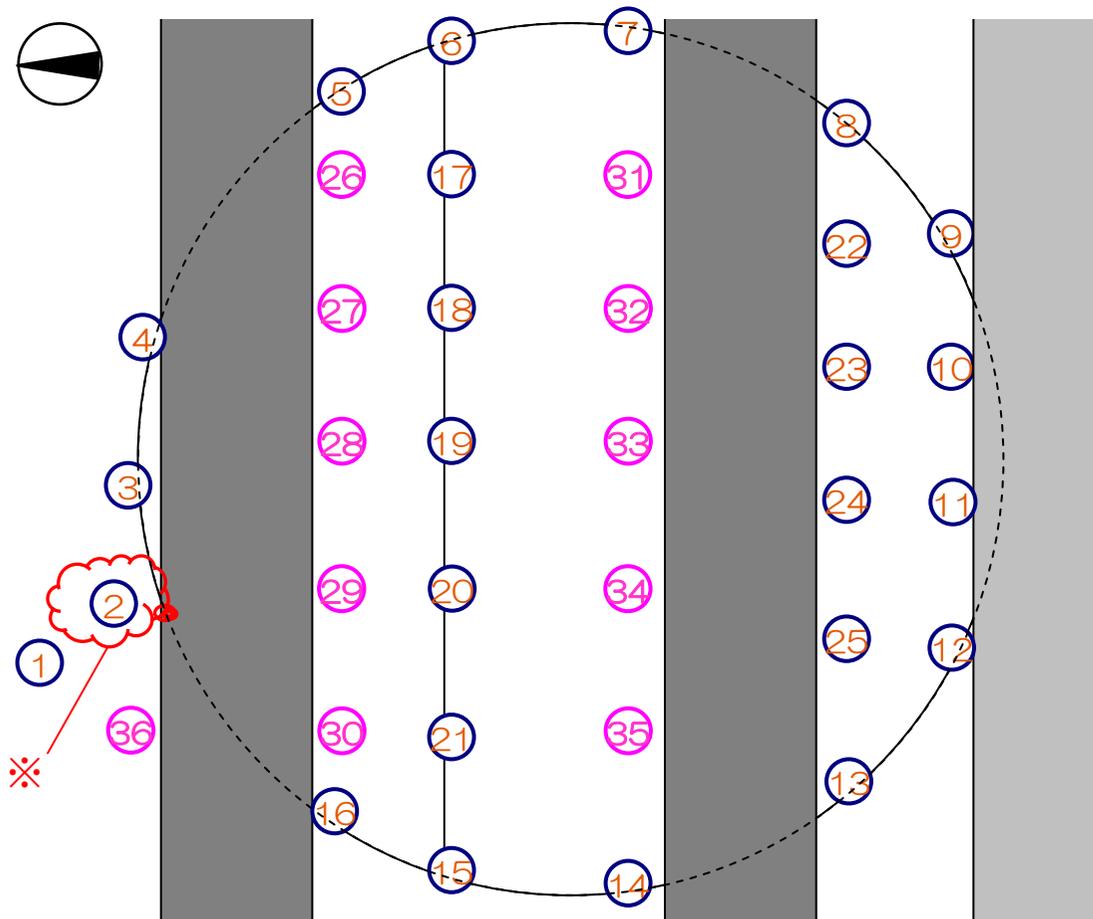
測定方法：

- ・遠隔操作式大型クレーンにて線量計を測定箇所へ移動。
- ・雰囲気線量測定後、線量計を回収し、データ確認を実施。



(参考-3-②) 3号機オペフロシールドプラグ近傍線量調査結果 16

◆シールドプラグ周辺の雰囲気線量測定位置



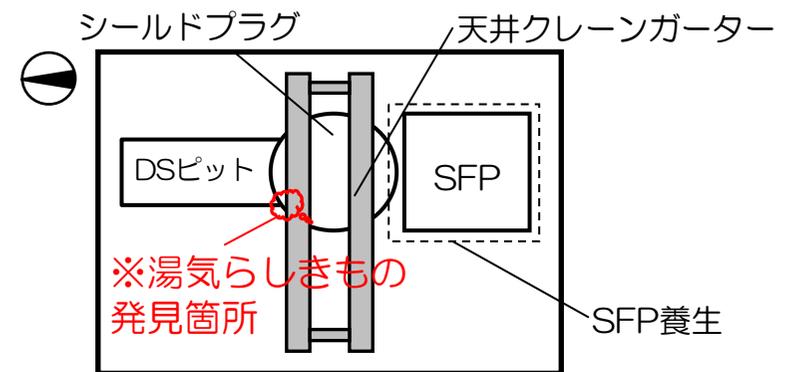
○ 7月23日 測定箇所

○ 7月24日 測定箇所

◆雰囲気線量測定結果

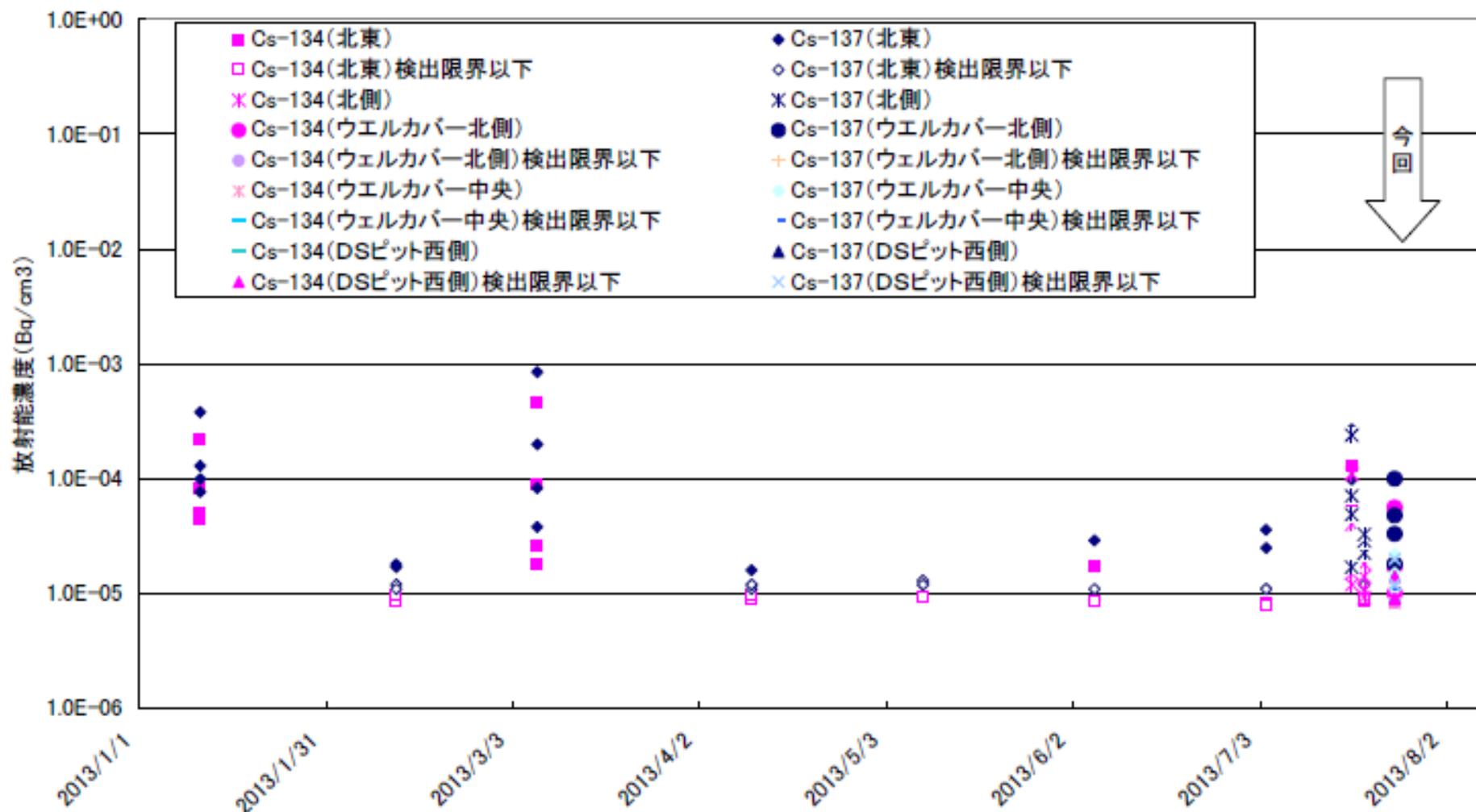
雰囲気線量 (mSv/h)							
1	398	11	1040	21	1100	31	1380
※⇒ 2	562	12	1090	22	534	32	1770
3	413	13	382	23	287	33	1690
4	679	14	731	24	925	34	1320
5	685	15	301	25	774	35	1110
6	528	16	657	26	633	36	787
7	445	17	824	27	1630		
8	137	18	1590	28	1860		
9	352	19	2170	29	1520		
10	522	20	1330	30	963		

◆オペフロ鳥瞰図

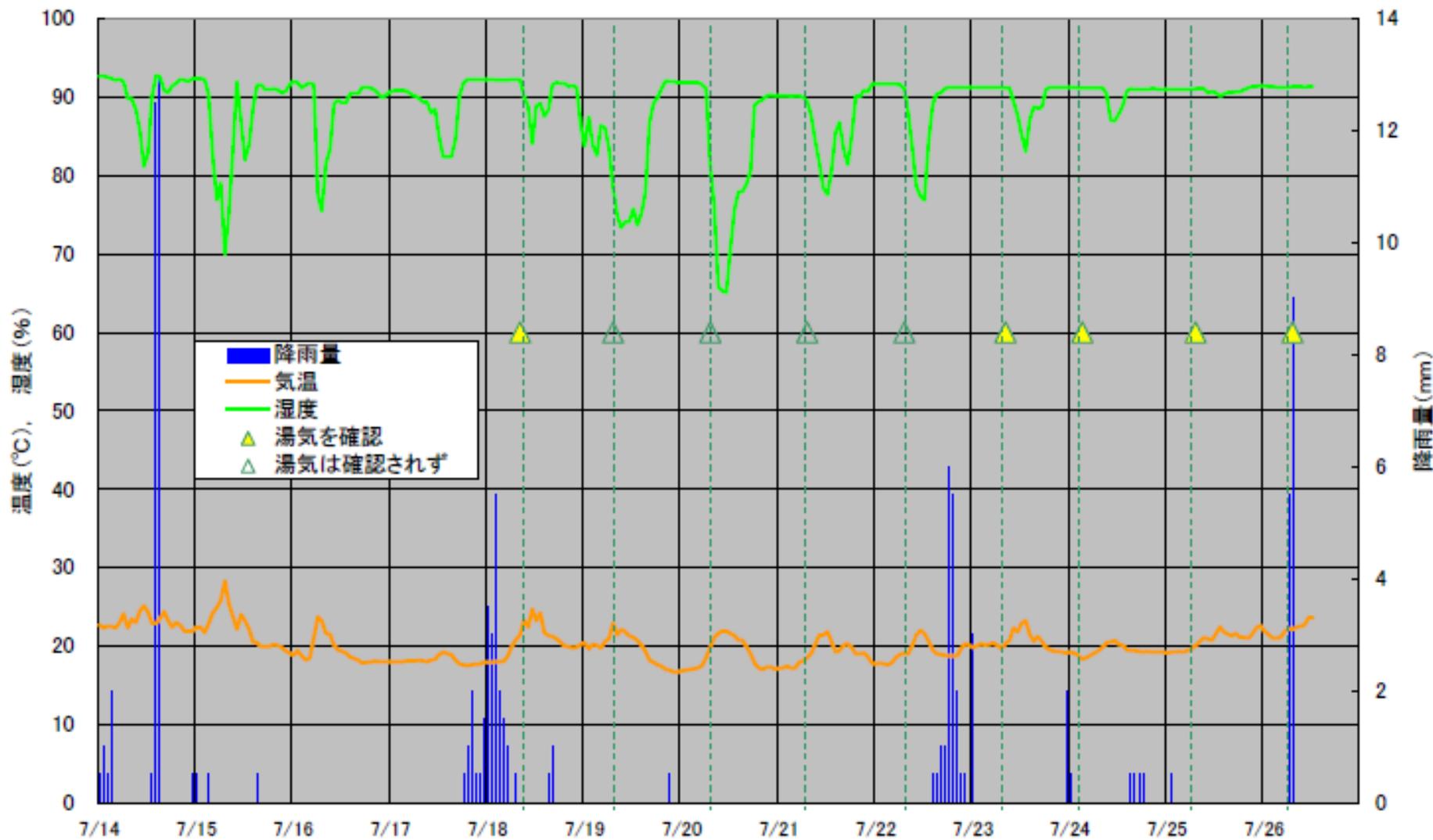


(参考-4-①) 3号機 ダスト測定結果

3号機原子炉上部 ダスト測定結果



(参考-5-①) 気象データ



2013年7月の気温・湿度・降水量

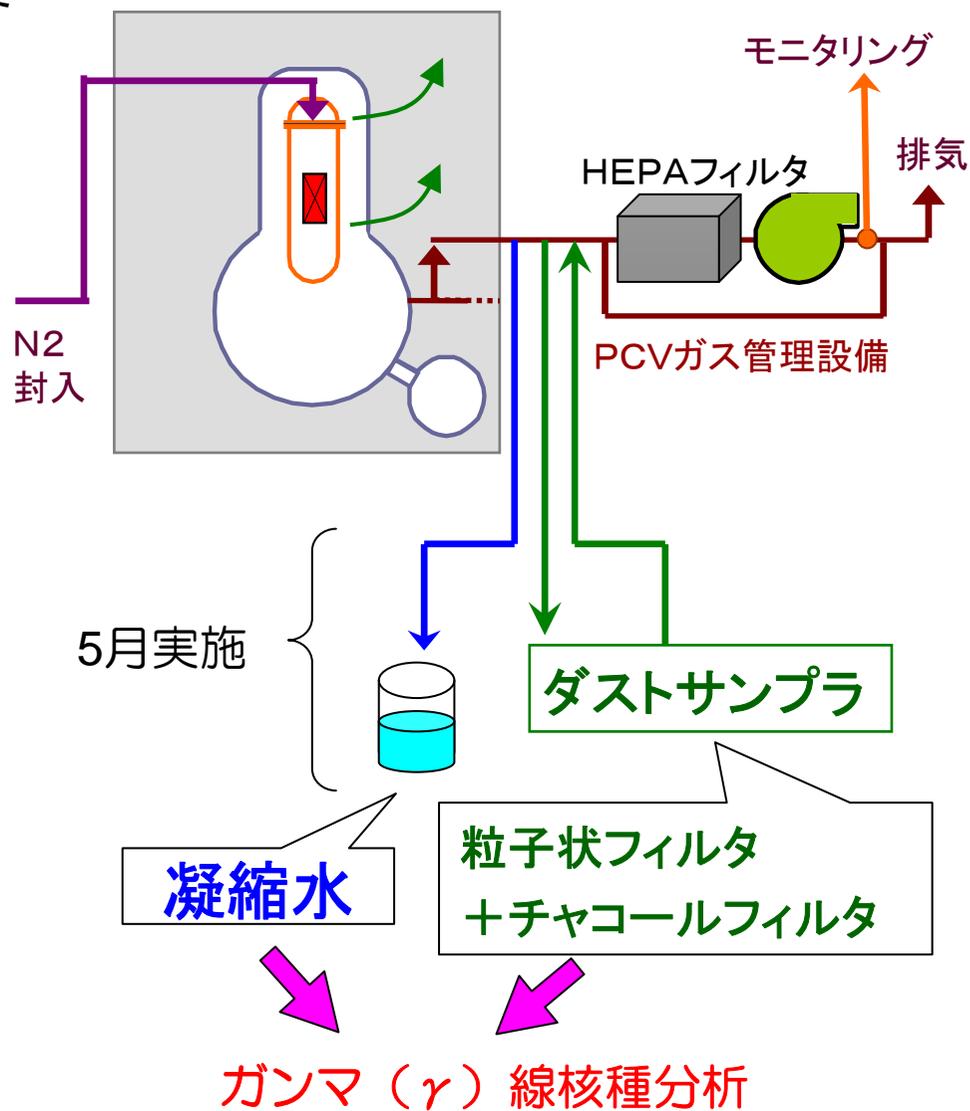
(参考-6-①)PCVガス管理設備データ測定結果

■ 粒子状フィルタ・チャコールフィルタの放射能濃度 (Cs)分析結果 (単位: Bq/cm³)

核種	粒子状	チャコール
	(5月14日)	
Cs-134	1.2E-6	ND (<1.1E-6)
Cs-137	2.0E-6	ND (<9.4E-7)
(5月15日)		
Cs-134	ND (<1.1E-6)	1.0E-6
Cs-137	1.9E-6	2.1E-6

■ 凝縮水中の放射能濃度 (Cs)分析結果 (単位: Bq/cm³)

核種	ドレン水
	3号(5月14日)
Cs-134	3.1E+1
Cs-137	6.1E+1
3号(5月15日)	
Cs-134	1.7E+1
Cs-137	3.2E+1



5月実施

凝縮水

ダストサンプラ

粒子状フィルタ
+チャコールフィルタ

ガンマ (γ) 線核種分析

(参考-6-②) PCVからのアウトリーク量について

- PCVから大気へのアウトリーク量※は、 $3\text{Nm}^3/\text{hr}$ 程度と評価
- $3\text{Nm}^3/\text{h}$ 程度のガスに含まれる蒸気が凝縮した場合の凝縮量は 100g/h ($40^\circ\text{C} \rightarrow 20^\circ\text{C}$ の場合) 程度

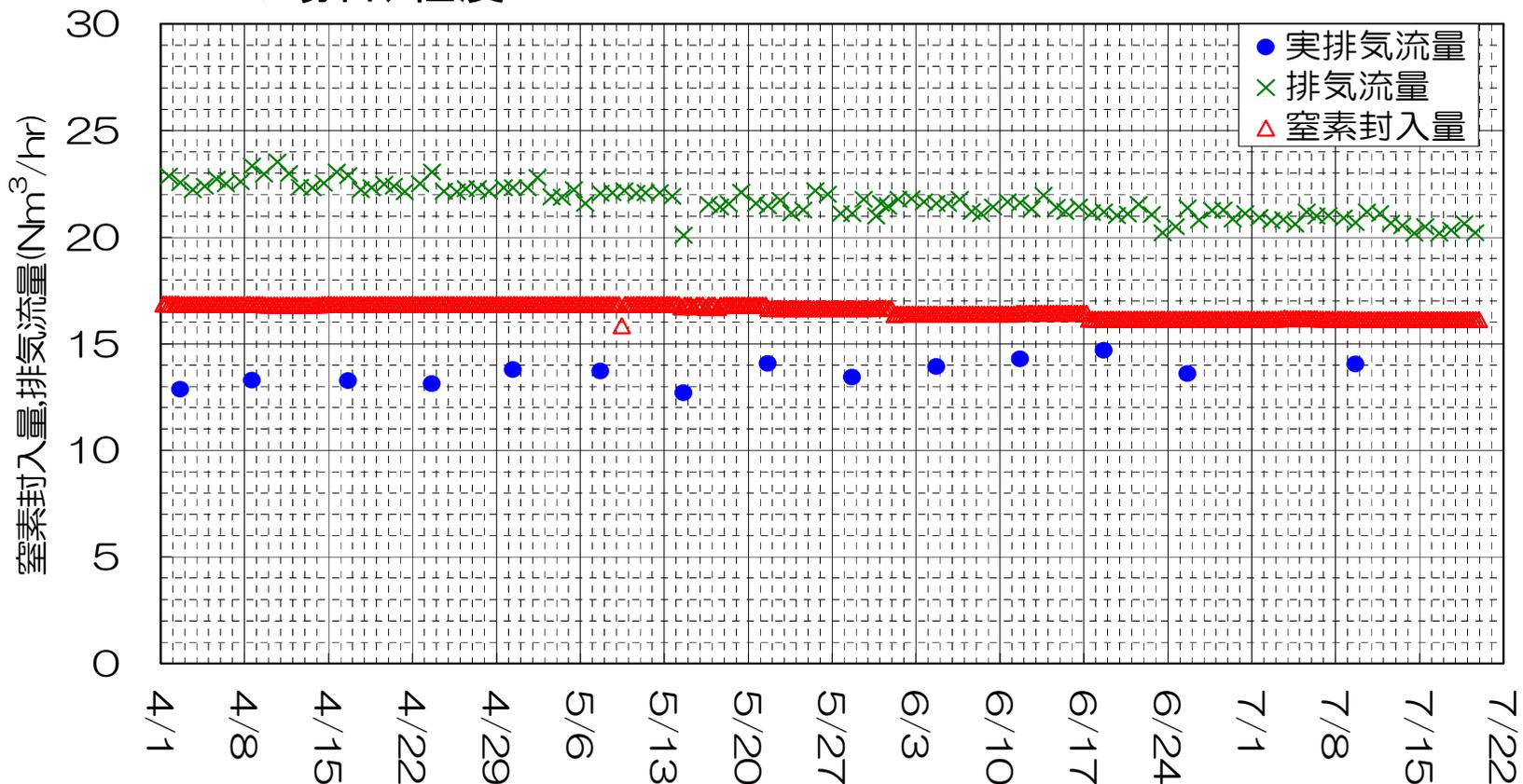
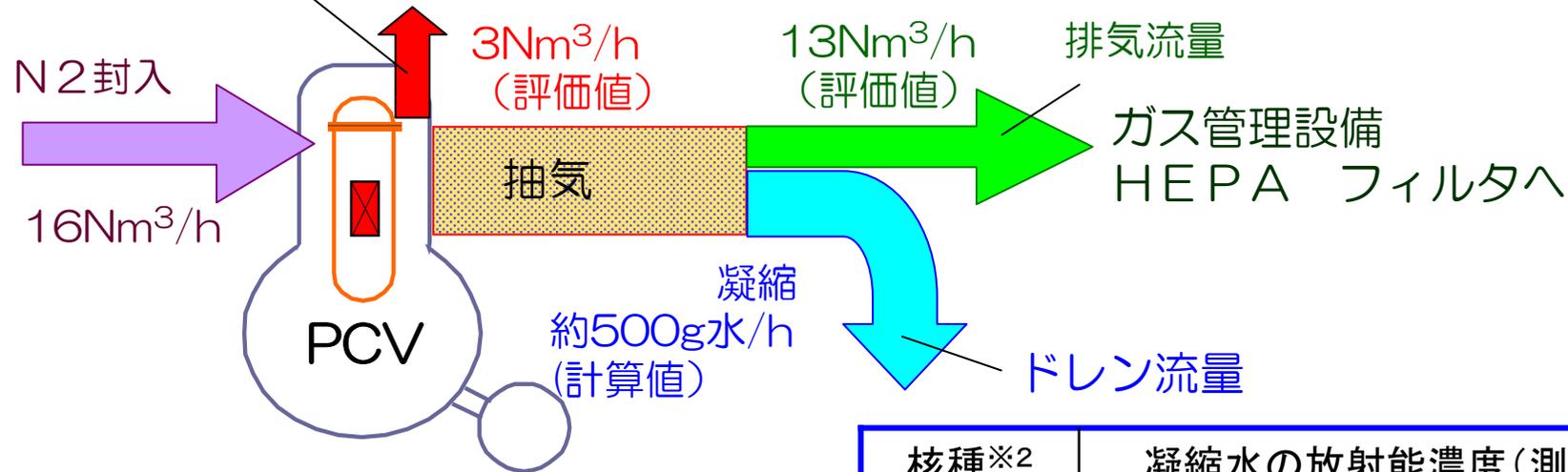


図 3号機 窒素封入量と排気流量の推移

※：窒素封入量からPCVガス管理設備の実排気流量（大気のインリーク分を除いた排気流量）

(参考-6-③)PCVから大気への直接アウトリークによる放出量 21

アウトリーク量



核種	蒸気凝縮後の放射能濃度(測定値※1)
Cs-134	約 2×10^{-6} Bq/cm ³
Cs-137	約 4×10^{-6} Bq/cm ³

核種※2	凝縮水の放射能濃度(測定値※1)
Cs-134	約30Bq/g
Cs-137	約60Bq/g

※1：2013年5月の実績

※2：今回のメカニズムも踏まえ、当該試料についてトリチウムも計測予定

(参考-7-①) 湯気発生 の 推定メカニズム補足

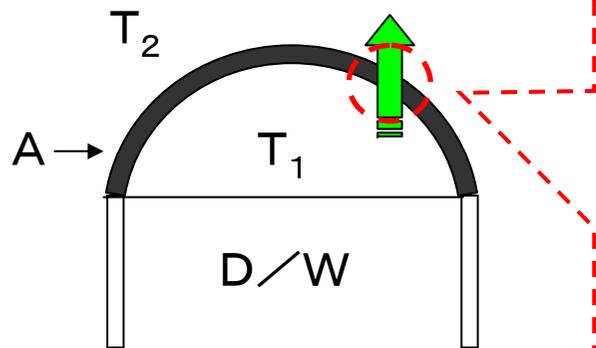
- シールドプラグ下部における水蒸気発生源の特定は困難であるが、湯気発見の直前に、降雨を経験していることから、以下の要因が複合し、湯気の原因となる蒸気を含んだ気体を、オペフロに放出したと推定
 - シールドプラグ下部に流れ落ちた雨水がPCVトップヘッド周辺部に溜り、PCVトップヘッドからの放熱により温められ、PCVトップヘッド下部の気体に蒸気を供給した可能性
 - PCVトップヘッド等から水蒸気を含んだ気体がリークし、PCVトップヘッド下部の気体をオペフロに押し出した可能性
 - 降雨後の湿度が高いときにオペフロ上にもやが発生していることから、シールドプラグのスキマに雨水が入り込み、気体の流れを遮り、シールドプラグ下部の気体が、若干大きめのスキマから集中して押し出された可能性
 - ◆ 前日等に降雨が無く湿度が高い時には、オペフロ上にもやが発生していない。

(参考-7-②) 3号機オペフロにおける熱源について

- 7月18日時点の崩壊熱は, 0.227(MWt)
 - 炉心の全ウラン・プルトニウム重量は, 約95t(設置変更許可申請書)
 - 全ウラン・プルトニウム重量1t当たりの崩壊熱は, 約2kW/tとなる。
→多量のデブリがオペレーションフロア上に存在していることは想定困難なことから, オペレーションフロアにデブリが存在し, そのデブリが水を加熱したにより, 蒸気が発生している可能性はない。
- 7月18日時点の3号機のインベントリは, 2.5×10^{18} Bq
 - Cs134: 1.4×10^{17} Bq Cs137: 2.2×10^{17} Bq (崩壊熱:0.05(MWt)程度)
 - Cs134: 3.3×10^5 Sv/hr Cs137: 2.0×10^5 Sv/hr(点線源から1mにおける実効線量率を計算)
→表面線量が2Sv/hr程度であり, 5オーダー小さく, 熱量は大きく見積もっても, 数W程度と計算されることから, 水を十分に加熱させる程のセシウム等の放射能インベントリが存在していないと評価している。
- PCVトップヘッドからの放熱量は, 2(kW)程度と計算
 - PCVトップヘッド内部の温度を42°C, 原子炉ウェル内のガスを40°Cとした場合。

- デブリ及びセシウム等の放射性物質がオペフロ上に存在したとしても, 十分な量の水を蒸発される可能性は非常に小さい
- PCVから漏えいした40°C程度の蒸気でない場合, PCVトップヘッドからの放熱(数kW)によって, 原子炉ウェル内の水が温められたと考えるのが妥当

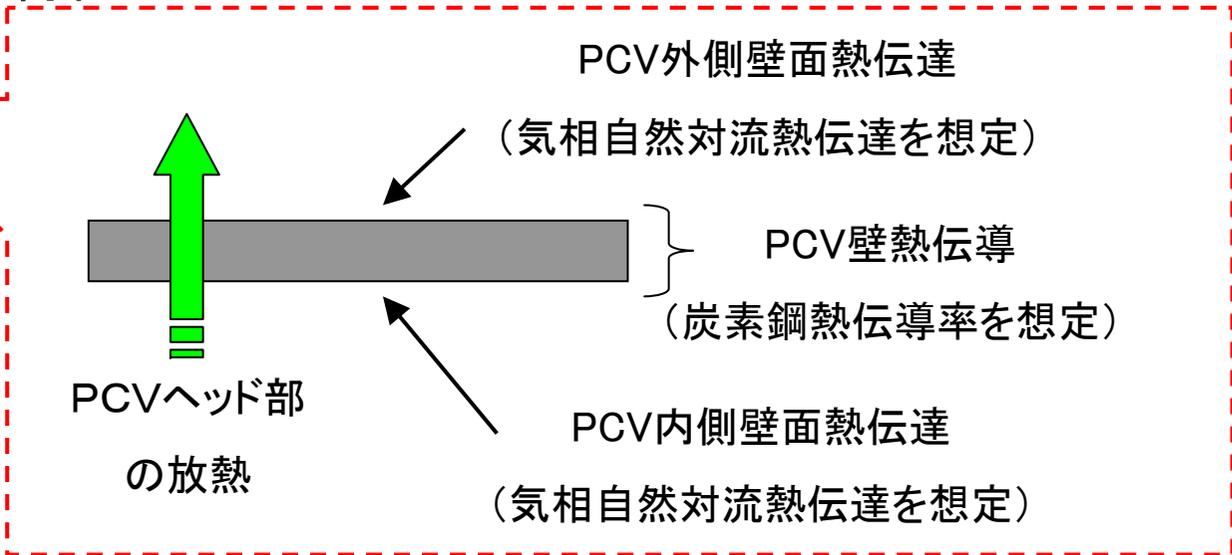
■ D/Wヘッド部の熱伝達特性



D/Wヘッド部の

総括熱伝達率 h_p W/m²/K

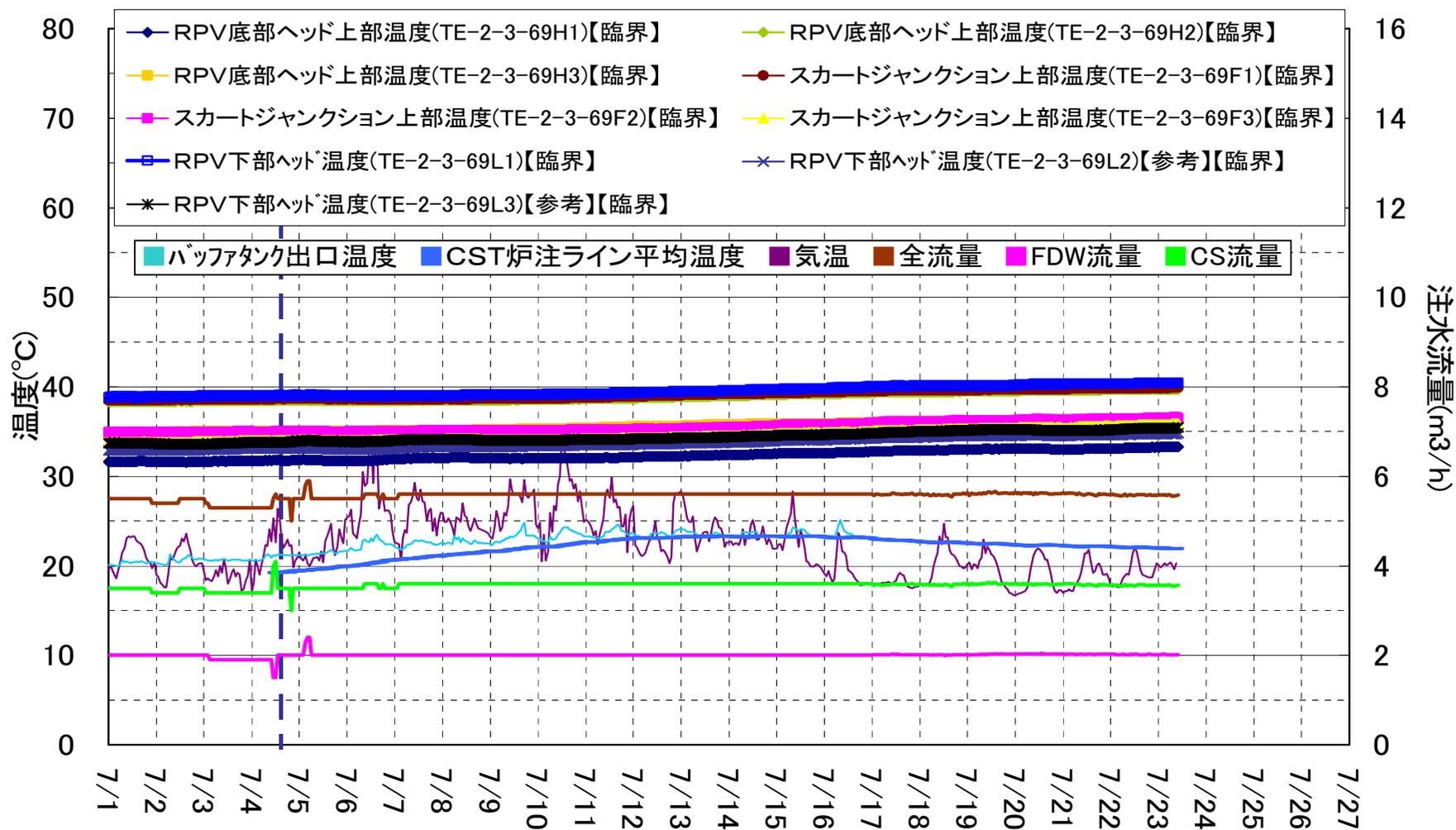
(T1: D/W内温度, T2: 外気温度
A: ヘッド部表面積)



$$D/Wヘッド部の放熱量 : Q = A \times h_p \times (T_1 - T_2)$$

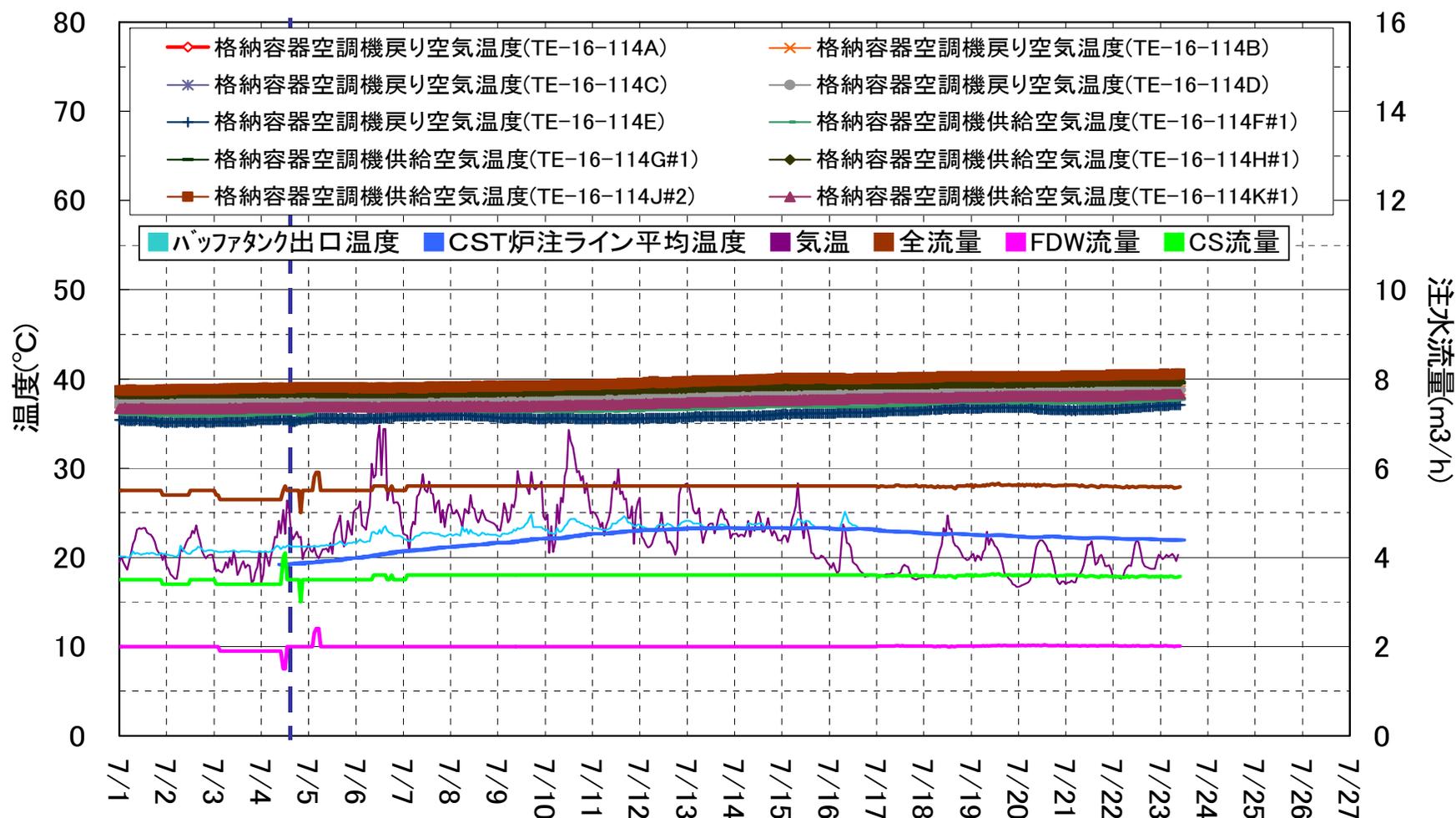
- T1を約42℃, T2を約40℃ ($\Delta T=2^\circ\text{C}$) とすれば, ヘッド部からの放熱量Qは約2kWとなる。
- 原子炉ウェル上に降った2tの水 (7/18の前日の雨量23mm) の温度は, 原子炉ウェル内部にて, PCVヘッド部からの熱伝達により1日程度で, 20→40℃に上昇することが可能になる。

(参考-8-①) RPV底部温度



- 有意な温度変動はなく、安定して推移している。
 - 熱源の除熱不足を示すような温度上昇はない
 - 不自然な温度低下はなく、注水による除熱量が減った(除熱できなくなった熱源がある)とは考えにくい

(参考-8-②) PCV温度(HVH温度)

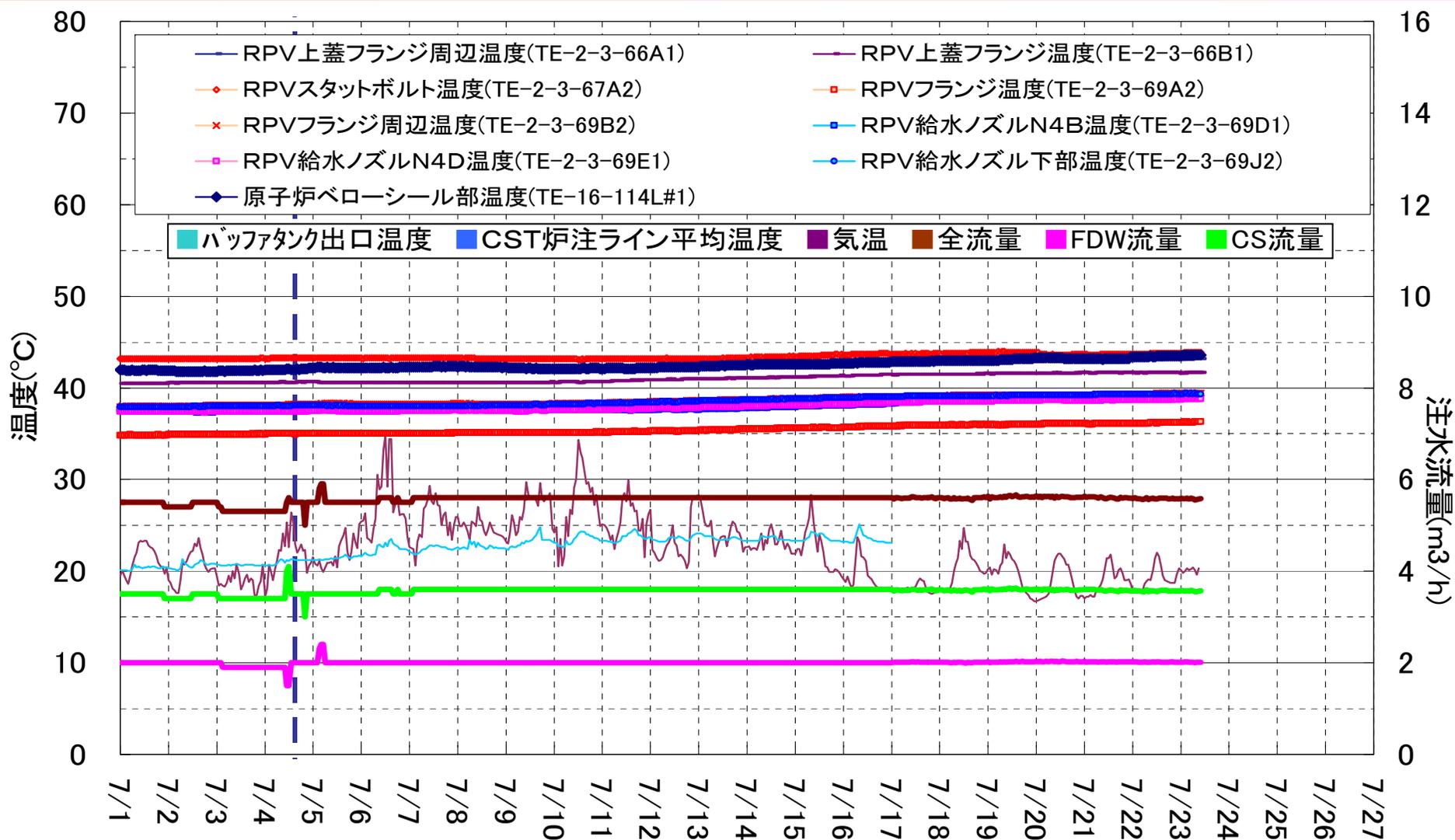


■ 有意な温度変動はなく、安定して推移している。

- 熱源の除熱不足を示すような温度上昇はない

- 不自然な温度低下はなく、注水による除熱量が減った(除熱できなくなった熱源がある)とは考えにくい

(参考-8-③) RPV上部温度



■ 有意な温度変動はなく、安定して推移している。

■希ガスモニタ(括弧内は検出限界値)

(単位Bq/cm³)

	Xe-135	Xe133	Kr-85
A系	ND (3.2×10^{-1})	ND (2.1×10^0)	ND (6.6×10^1)
B系	ND (3.3×10^{-1})	ND (2.0×10^0)	ND (6.5×10^1)

■ダスト濃度

- 検出限界未満(検出限界:約 2.8×10^{-5} Bq/cm³)

■ガス管理設備排気温度

- 24.8°C
- :有意な温度上昇なし

