

伊方発電所第 2 号機
格納容器じんあい・ガスモニタの不調について

平成 2 5 年 4 月
四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所第2号機 格納容器じんあい・ガスモニタの不調について

2. 事象発生の日時

平成24年11月27日 7時24分（信号発信）

3. 事象発生の設備

2号機 格納容器じんあい・ガスモニタ

4. 事象発生時の運転状況

第23回定期検査中

5. 事象発生の状況

伊方発電所2号機は第23回定期検査中のところ、11月27日7時24分、中央制御室に格納容器じんあい・ガスモニタ^{*1}の不調を示す信号が発信した。

その後、現地盤の確認を実施したところ、格納容器じんあい・ガスモニタ用の真空ポンプ^{*2}が真空度高^{*3} ($-0.04 \pm 0.01 \text{MPa}$)により停止していることを確認した。

このため、真空ポンプの切替等を実施したが、流量低^{*4} ($60 \pm 5 \text{L/min}$)を示す信号により真空ポンプの停止を確認した。

その後、格納容器じんあい・ガスモニタ廻りのサンプリング配管を点検した結果、ドレン排水口等より水の排水(約1200cc)を確認した。排水された水を分析した結果、放射能濃度は十分低いことを確認した。

調査の結果、サンプリング配管周辺の温度低下により配管内の空気が結露し、その結露水がじんあいサンプル内のろ紙に付着して真空ポンプへ空気が流れにくくなった結果、真空ポンプが停止したことを確認した。

サンプリング配管内の空気の結露防止のため、サンプリング配管にヒータを取り付けたことにより、結露の発生が抑制された結果、格納容器じんあい・ガスモニタの運転に支障がないことを確認したことから、平成25年2月8日9時57分、通常状態に復旧した。

なお、伊方発電所2号機の原子炉は停止中であり、今回の調査中における格納容器内の監視については、格納容器内のエアモニタ^{*5}により行った。

本事象によるプラントへの影響および周辺環境への放射能の影響はなかった。

*1 格納容器じんあい・ガスモニタ

：格納容器内での放射性物質の漏えいを検知することを目的に、格納容器内の空気中のじんあい状およびガス状の放射性物質濃度を測定して監視する設備

- * 2 真空ポンプ
：格納容器内の空気を、原子炉補助建家設置の集塵装置（じんあいサンプラ）に引き込んで測定するためのポンプ
- * 3 真空度高
：設備の保護（気密ボックス、真空ポンプ）を目的として設けられている機能
- * 4 流量低
：設備の性能発揮（測定値の妥当性を担保）を目的として設けられている機能
- * 5 格納容器内のエリアモニタ
：格納容器入口エリアモニタ、炉内核計装区域エリアモニタ

6. 事象の時系列

平成24年11月27日

7時24分 「プロセスモニタ故障」信号発信（中央制御室）
「真空度高」信号発信（現地盤）

7時40分～ 真空ポンプの切替等を実施「流量低」信号発信（現地盤）
8時06分頃

9時10分頃 じんあいサンプラ出口側ドレン弁(2-7112)よりドレン水を確認

9時27分頃 じんあいサンプラ内のフィルタ部よりドレン水を確認

平成24年11月27日～ 格納容器じんあい・ガスモニタの調査（再現性試験
平成24年11月30日 等）を実施

平成24年11月30日～ 格納容器じんあい・ガスモニタのサンプリング配管
平成25年 2月 3日 ヒータ施工およびヨウ素トリチウムサンプラ盤内ヒータ施工を実施

平成25年 2月 4日～ 格納容器じんあい・ガスモニタの連続確認運転を実施
平成25年 2月 8日

平成25年 2月 8日 結露の発生が抑制され、格納容器じんあい・ガスモニタの運転に支障がないことを確認し、通常状態に復旧

7. 調査結果

(1) 格納容器じんあい・ガスモニタの現地調査

a. じんあいサンプラの確認

じんあいサンプラ内の弁開閉状態が正常であることを、目視および触手により確認した結果、異常は認められなかった。

真空度高および流量低設定値、制御回路の動作状況、入口電磁弁および真空ポンプの動作状況について確認した結果、異常は認められなかった。

b. ドレン水の確認

サンプリング配管を点検した結果、ドレン排水口等より水の排水(約1200cc)を確認した。その後、約半日間程度の当該事象再現性確認のための運転(平成24年11月29日～11月30日)においてもドレン水が確認された。

また、平成24年11月27日にフィルタ部で採取されたドレン水について懸濁物の分析を行ったところ、じんあいサンプルに引き込んだ空気中のじんあいであることが確認された。

なお、ドレン排水口等の内面を紙ウエスにて拭き取りしたが、異物等は確認されなかった。

(添付資料-1)

c. ろ紙の確認

じんあいサンプル内の気密ボックスを開放し、ろ紙の状態を確認したところ、ドレン水による汚れが見られ、湿ってシワ状になっていることを確認した。

ろ紙を新品に取替えた後、手動でろ紙送り機構の動作状態を確認したが、ろ紙送り動作に異常は確認されなかった。

(添付資料-2)

d. 事象再現性試験

前項までの調査において、じんあいサンプル内のろ紙部にドレン水によるものと思われる湿りが確認されたことから、ドレン水の付着状態(新品のろ紙を純水で濡らした状態)を模擬し再現性試験を実施した結果、サンプル空気圧力の真空度については通常約-0.02MPaのところ、約-0.04MPaまで上昇し、流量については、通常約90 L/minのところ、約60 L/minまで低下した。いずれも「真空度高」、「流量低」信号の動作側に推移する動きが確認され、「流量低」信号(動作設定値:60±5 L/min)が先に発信した。

なお、当該事象発生時には、まず「真空度高」信号(動作設定値:-0.04±0.01MPa)が発信し、真空ポンプの切替等の後には「流量低」信号が発信している。今回の再現性試験においても、これら両方のパラメータが動作設定値付近まで推移し、どちらが先に動作してもおかしくない状態にあったことから、再現性は確認できた。

(添付資料-3)

(2) ドレン水発生状況の確認

格納容器じんあい・ガスモニタ廻りでの定期的な放射性希ガスのサンプリング*6を行う際に確認されたドレン水発生状況について、サンプリング実施者への聞き取りおよびサンプリングの記録を調査した結果、過去にドレン水の発生は確認されていなかったが、平成24年10月17日に初めてドレン水の発生があったことが確認された。

*6 放射性希ガスのサンプリング

: 格納容器内の空気中放射性物質濃度の把握を目的として、放射性希ガスの測定のために、1週間に1回サンプリングしている。

(3) 格納容器内と原子炉補助建家内の空気の状態調査

2号機の格納容器じんあい・ガスモニタにおいては過去にドレン水の発生を経験していなかったこと、平成24年10月17日に初めてドレン水が確認されたことから、第21回定期点検以降（平成21年6月以降）の運転中と長期停止中を含む格納容器内と原子炉補助建家内の空気の状態傾向について調査した結果、以下のことが確認された。

(添付資料-4)

a. プラント運転中

格納容器内温度の挙動は、毎年6月頃から上昇し、9月上旬頃に約44℃の最高値に達し、その後11月頃にかけて下降している。それ以外の時期はほぼ37～38℃付近で推移している。

格納容器内露点温度^{*7}の挙動は、毎年、同じように上昇・下降が見られる。

露点温度上昇の最高値は、格納容器内温度と同様に9月上旬頃に約27℃、露点温度下降の最低値は2月下旬頃に約18℃となっている。運転中においては、1次冷却材系統などからの大きな発熱があり、格納容器内温度の上昇によって、露点温度も高くなるが、格納容器再循環ユニット^{*8}による冷却・凝縮により、格納容器内露点温度が原子炉補助建家内温度を大きく上回ることはなかった。

原子炉補助建家内温度の挙動は、毎年、同じように上昇・下降が見られる。これは、外気温度の動きに追従する形で推移している。

(添付資料-5)

*7 露点温度

：水蒸気を含む空気を冷却したとき、水蒸気が凝縮し、水になり始める温度をいう。

*8 格納容器再循環ユニット

：格納容器内の機器、配管類からの放散熱を除去して格納容器内の空気を冷却するための装置

b. プラント長期停止中（2号機第23回定期点検中）

格納容器内温度の挙動は、ほぼ一定温度（約40℃）で推移している。これは、長期停止により格納容器内の1次冷却材系統などからの大きな発熱がなく、格納容器内温度制御の範囲内で推移しているからである。

一方、格納容器内露点温度は平成24年4月下旬頃から上昇し、その後は、6月下旬～10月下旬にかけてほぼ一定の増加率で上昇し、最大で10月23日に約32℃に至っていることが確認された。長期停止中においては、1次冷却材系統などからの熱源がない期間が長いことから、格納容器再循環ユニットにおける冷却・凝縮がほとんど期待できず、格納容器内空気はより湿度が高い状態となり、格納容器内露点温度の上昇に至ったと考える。

また、9月下旬以降において、原子炉補助建家内温度に対して、格納容器内露点温度が上回る状況が確認された。

なお、10月24日に格納容器内温度、露点温度ともに下降しているが、これは、平成24年10月23日発生の「2号機 ポーラクレーン点検中の

作業員の体調不良」により、格納容器内温度設定を40℃→37℃に下げたことによるものである。

原子炉補助建家内温度の挙動はプラント運転中とほぼ同様に推移している。

(4) サンプリング配管内結露のメカニズム

サンプリング空気温度に比べてサンプリング配管の周辺温度が低い場合、サンプリング空気は流れに沿って徐々に冷却される。この状況において配管内面温度が、露点温度より低下すると配管内面にサンプリング空気中の水蒸気が凝縮し、結露が発生する。

(5) サンプリング配管等への結露対策状況調査

2号機におけるサンプリング配管等への結露対策の施工状況を調査した結果、以下のことが確認された。

a. サンプリング配管

格納容器内の吸込口～原子炉補助建家内設置のじんあいサンプルまでの供給サンプリング配管長は約33mであり、このうち原子炉補助建家内の約26mの範囲は保温が施されている。

また、じんあいサンプル出口～格納容器内の吐出口までの戻りサンプリング配管長は約32mであり、全長に渡って保温やヒータは施されていない。

b. じんあいサンプル部

じんあいサンプル内には盤内を暖めるためヒータおよび入口ヒータが設けられている。また、気密ボックス内を暖めるためのヒータが設けられている。

c. ガスモニタ部

ガスモニタの検出器廻りにはヒータ(外巻)が設けられている。

d. じんあいサンプルとガスモニタ間

じんあいサンプルからガスモニタ間の配管長は約4mあり、何れも全長に渡ってヒータ(保温含む)が施されている。

上記の(1)から(5)をまとめると、

- ・格納容器じんあい・ガスモニタ設備自体には、異常は認められなかった。
- ・サンプリング配管にはドレン水が確認され、純水を用いた再現性試験において事象の再現が確認された。
- ・ドレン水が初めて確認された時期以降、格納容器内露点温度が原子炉補助建家内温度を大きく上回る状況が見られ、事象の発生時においても状況は継続していた。
- ・サンプリング空気の結露対策として、部分的にサンプリング配管やじんあいサンプルには、保温やヒータが施されていた。

プラント長期停止に伴い、プラント運転中と比較すると、格納容器内空気は湿度が高い状態となり、格納容器内露点温度が上昇した。この状態で、サンプリング配管温度がサンプリング空気の露点温度より低下したことで結露し、結露水を発生させたものと推定された。このことから、サンプリング空気の結露抑制のため

めに、サンプリング配管ヒータおよびヨウ素トリチウムサンプラ盤内ヒータの取り付けを実施した。

(添付資料－6)

(6) ヒータ取り付け後の試運転によるドレン水発生状況の確認

サンプリング配管にヒータを取り付け、試運転を約4日間(平成25年2月4日～2月8日まで)実施しドレン水の発生が無く、格納容器じんあい・ガスモニタの運転に支障がないことを確認した。

(7) 保守状況の調査

格納容器じんあい・ガスモニタについては、日常点検(1週間点検、1ヶ月点検、6ヶ月点検)および定期点検を実施しており、至近では平成24年11月26日の1ヶ月点検で「ポンプ切替・点検」「流量・圧力指示確認」を実施し異常は認められなかった。また、モニタ指示部についても「パルス校正」「チェック線源指示値データ採取」を実施しているが、同様に異常は認められなかった。

日常点検、定期点検では、ドレン水確認を実施していないが、ドレン水が確認された期間(平成24年10月17日～11月26日)においてもじんあいサンプラの運転やモニタ指示に影響はなかった。

なお、サンプリング配管等への結露対策は、2号機の建設時(昭和55年)から現行の状態にあることを確認した。

(8) 1, 2, 3号機の結露対策状況調査

各号機における、格納容器じんあい・ガスモニタの結露対策の施工状況を調査した結果、表-1に示すとおり、サンプリング配管(供給側、戻り側)において、施工状況に違いが確認された。

部 位		1号機	2号機	3号機
サンプリング配管	供給側	保温+ヒータ(9m)	保温	保温+ヒータ(14m)
	戻り側	なし	なし	保温+ヒータ(14m)
	モニタ間	保温+ヒータ	保温+ヒータ	保温+ヒータ
じんあいサンプラ	盤内	ヒータ	ヒータ	ヒータ
	気密ボックス	ヒータ	ヒータ	ヒータ
ガスモニタ		ヒータ	ヒータ	ヒータ

表-1 1, 2, 3号機の結露対策施工状況

1号機のサンプリング配管(供給側)にはヒータ(約9m)が施され、配管内の結露抑制が図られている。サンプリング配管(戻り側)は、保温およびヒータは設置されていないが、日常点検(1ヶ月点検:8月～11月の間)でドレン水の有無を確認し、管理された状態にある。

3号機のサンプリング配管(供給・戻り側)にはヒータ(それぞれ約14m)が施され、サンプリング配管内の結露抑制が図られている。

2号機は、サンプリング配管(供給側)には保温のみが施されており、ヒ-

タは設置されていない。また、サンプリング配管（戻り側）には、保温およびヒータは設置されていなかった。

以上のことから、2号機はサンプリング配管（供給側）が保温のみであることから、1，3号機に比べると格納容器内よりも低い原子炉補助建家内温度の影響を受けやすく、結露し易い状況であった。

8. 推定原因

今回の長期間停止中の格納容器内においては、運転中や通常の定期検査中と比べ、熱源（1次冷却材系統など）がない期間が長いことから、格納容器再循環ユニットにおける冷却・凝縮がほとんど期待できず、格納容器内空気はより湿度が高い状態となり、露点温度の上昇に至った。

原子炉補助建家内においては、外気温度の低下に伴い、原子炉補助建家内の空気温度が下がった。このため、原子炉補助建家内に設置している格納容器じんあい・ガスモニタのサンプリング配管温度も低下し、格納容器内空気が流れているサンプリング配管内が露点温度以下となり、結露の発生に至った。これにより、じんあいサンプラ内のろ紙に結露水が付着し、真空ポンプへ空気が流れにくくなった結果、真空度高により真空ポンプが停止したものと推定される。

9. 対 策

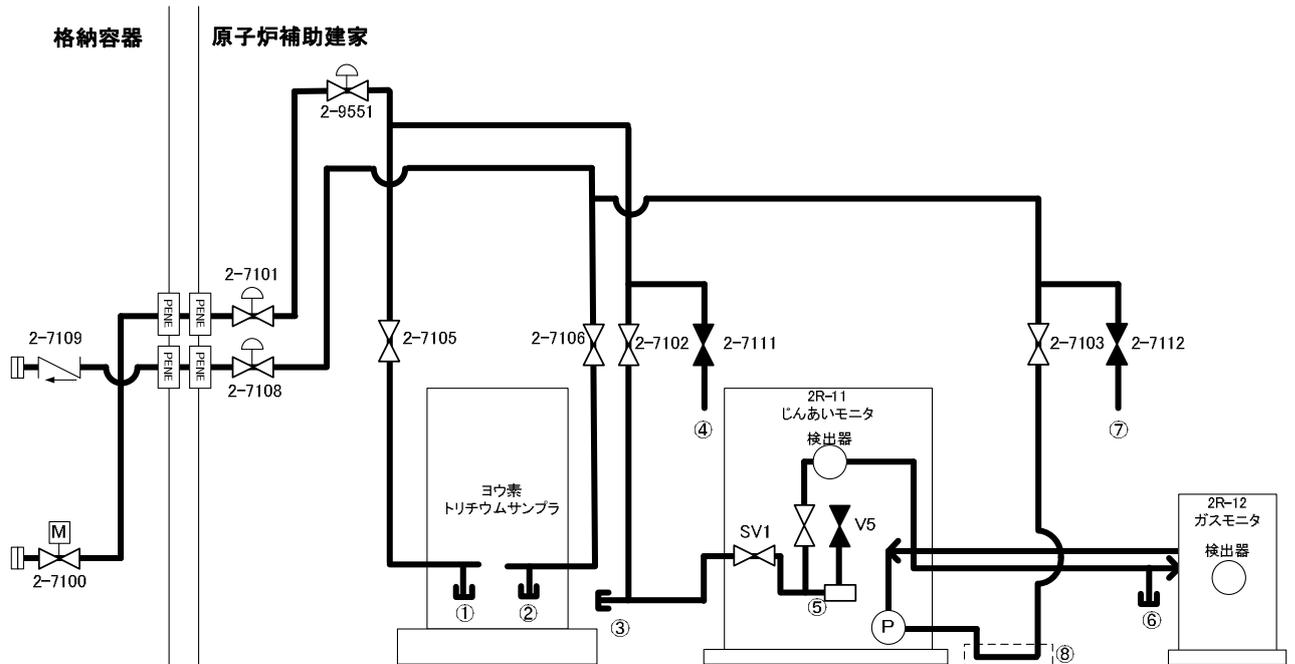
- (1) 格納容器じんあい・ガスモニタ廻りのサンプリング配管（供給・戻り側）にヒータを取り付け、サンプリング配管内の格納容器内空気が露点温度以下に低下することを防ぎ、結露の発生を抑制する処置を実施した。
- (2) 格納容器じんあい・ガスモニタと同じサンプリング配管から分岐された格納容器内空気を用いて測定を行っているヨウ素トリチウムサンプラにおいても、サンプラ盤内にて結露する可能性は否定できないことから、盤内ヒータの取り付けを実施した。
- (3) 格納容器じんあい・ガスモニタ廻りで、定期的に毎週1回実施している放射性希ガスのサンプリングを行う際のドレン水発生状況確認を今後とも継続して実施する。

以 上

添 付 資 料

- 添付資料－1
（1／2） 格納容器じんあい・ガスモニタ廻りのサンプリング配管構成とドレン排水箇所
- （2／2） フィルタ部の採取ドレン水分析結果
- 添付資料－2 ろ紙の状態確認結果
- 添付資料－3 ろ紙を純水で濡らした状態での事象再現性試験
- 添付資料－4 2号機 格納容器内と原子炉補助建家内の空気の状態傾向
- 添付資料－5 2号機 格納容器内の空気の流れ
- 添付資料－6 2号機 格納容器じんあい・ガスモニタ概略系統図

格納容器じんあい・ガスモニタ廻りのサンプリング配管構成とドレン排水箇所



ドレン排水量確認結果

確認箇所	H24年11月27日	H24年11月30日 *1 (11:30)	H24年11月30日 *2 (19:36)	H25年2月5日 *3 (11:20)	H25年2月8日 *3 (9:57)
	測定量 (cc)	測定量 (cc)	測定量 (cc)	測定量 (cc)	測定量 (cc)
①	210	30	—	0	0
②	0	0	—	0	0
③	0	0	0	0	0
④	350	0	0	0	0
⑤	170	40	—	0	0
⑥	0	0	—	0	0
⑦	500	540	—	0	0
⑧	—	—	950	0	0
合計	1,230	610	950	0	0

*1:平成24年11月29日～11月30日のうち、約半日間程度運転した後、ドレン排水確認を実施

*2:平成24年11月30日(19:36)に初めて確認箇所⑧からのドレン排水有無の確認を実施

*3:サブリング配管へのヒータ施工後に実施した、平成25年2月4日からの連続確認運転におけるドレン排水確認結果

フィルタ部の採取ドレン水分析結果

1. ドレン水分析結果

試料ライン水の懸濁物について分析を実施。

項目 試料名	金属(酸化物換算)			強熱残留分※2 (wt%)
	Fe (Fe ₂ O ₃)	Cr (Cr ₂ O ₃)	Ni (NiO)	
	(wt%)			(wt%)
ドレン水 (懸濁物) 【H24.11.28採取】	2.0	<0.5	<0.2	<8

※2 : 600°Cで加熱後に残留した量

<考察>

懸濁物の大部分は加熱により揮発(減量)する水であったが、僅かに鉄が検出された。このことから、ろ紙に付着していた物はサンプルに取り込まれた空气中(格納容器内)のじんあいであると考えられる。

2. ドレン水放射能測定結果

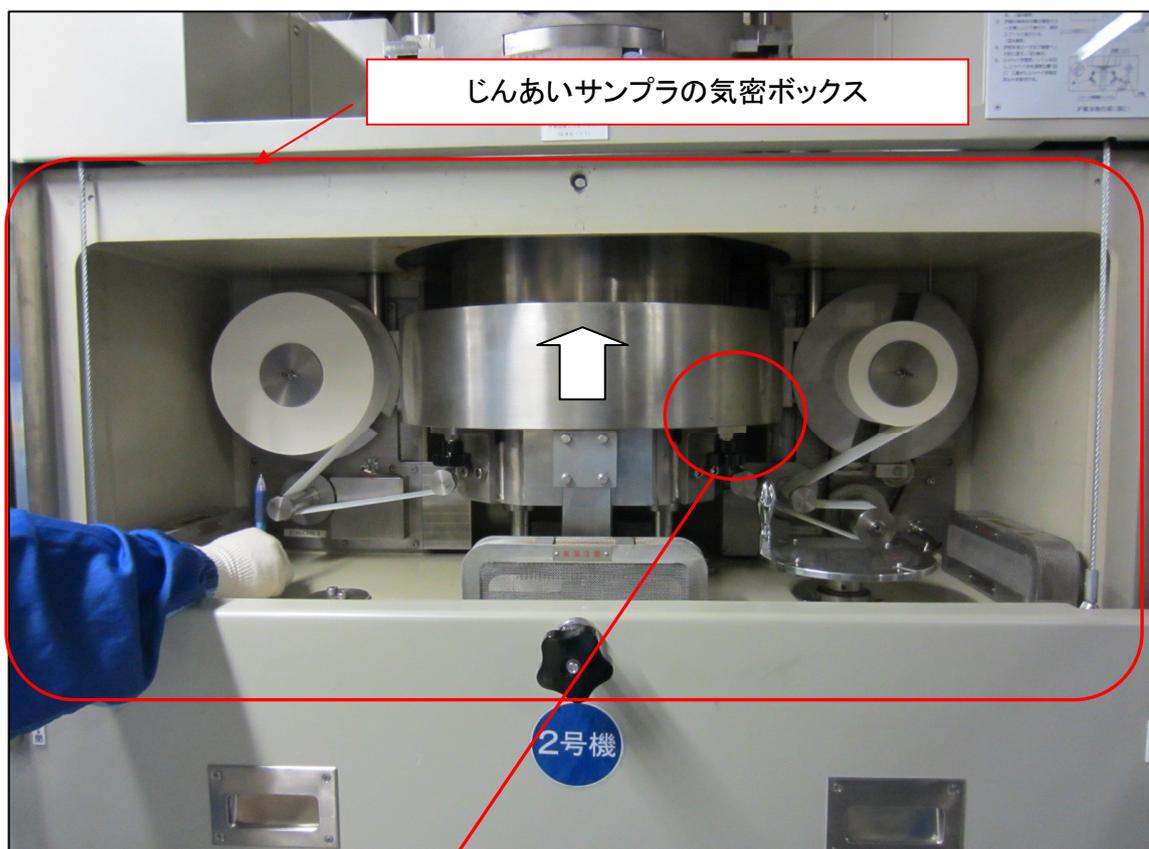
採取日時 : 平成24年11月27日 10:45
 測定日時 : 平成24年11月27日 10:55~12:02
 測定結果 : Co-60 : 2.6×10^{-2} Bq/cm³
 Co-58 : $<7.2 \times 10^{-3}$ Bq/cm³

(参考 : Co-60の検出限界値 : 1.1×10^{-2} Bq/cm³)

<考察>

ドレン水の測定の結果、ごく微量の放射性物質が検出された。これらは定期点検時等にサンプリング配管に付着した微量の放射性物質によるものと考えられる。

ろ紙の状態確認結果



じんあいサンプラの気密ボックス



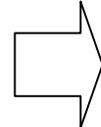
上部遮蔽体を↑方向に上昇させてろ紙が見れるようにした状態

ろ紙が汚れ、湿ってシワ状となっていることを確認

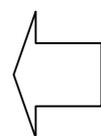


ろ紙を純水で濡らした状態での事象再現性試験

通常状態の指示



ろ紙を純水で濡らして、
ドレン水の付着を模擬

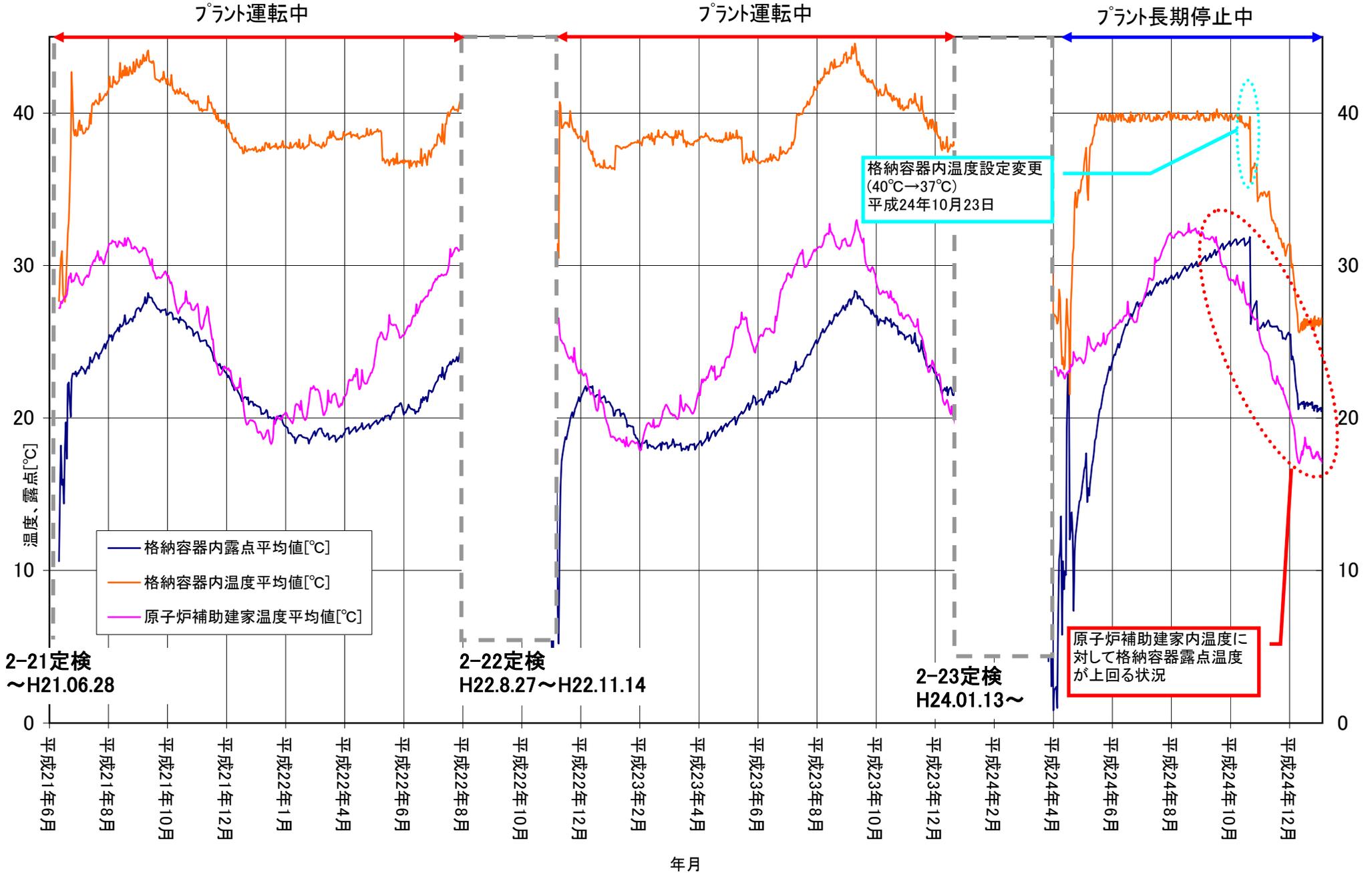


再現性試験時の
指示



サンプルガス圧力、流量とも
に動作設定値側に推移し、ど
ちらが動作してもおかしくない
状態となった。

2号機 格納容器内と原子炉補助建家内の空気の状態傾向



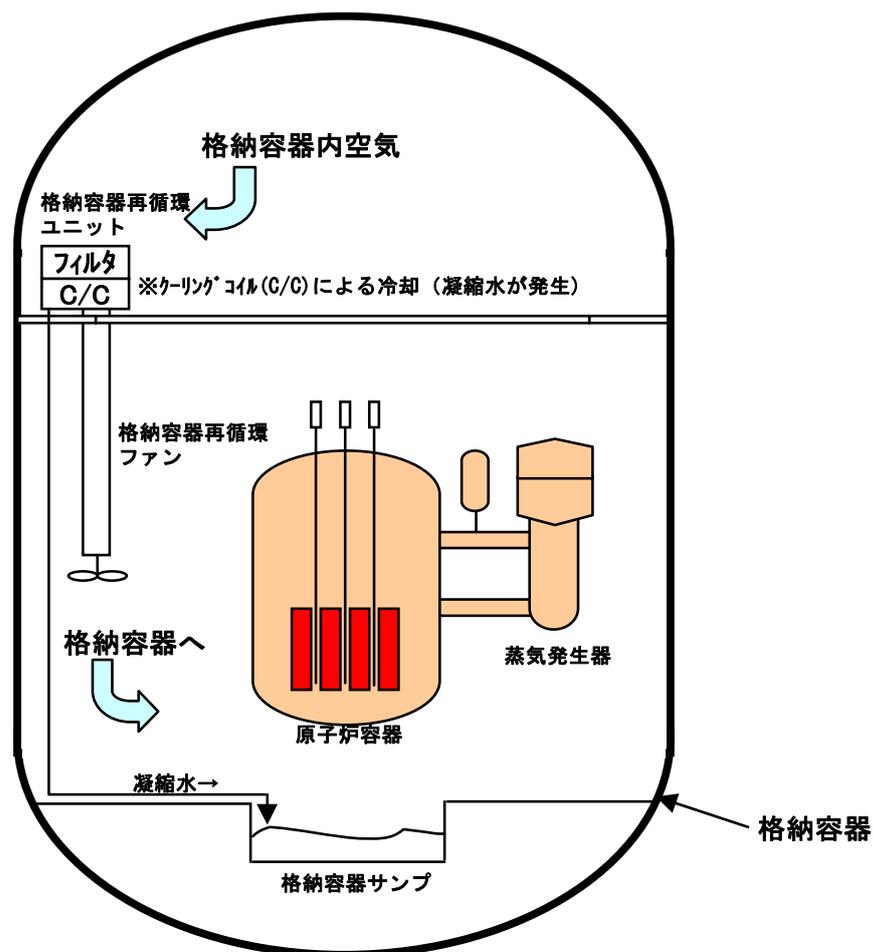
2号機 格納容器内の空気の流れ

1. プラント運転中

- ・1次冷却材系統からの熱源(原子炉容器、蒸気発生器等)により、格納容器内の空気湿度は高くなるが、格納容器再循環ユニットのクーリングコイルによる冷却・凝縮が促進されることで、格納容器内空気は露点温度以下となる。

2. プラント長期停止中

- ・1次冷却材系統からの熱源がほとんどないことにより、格納容器再循環ユニットのクーリングコイルによる冷却・凝縮がほとんどないため、格納容器内空気は湿度が高い状態となる。



2号機 格納容器じんあい・ガスモニタ概略系統図

