

伊方発電所第3号機

格納容器再循環ファン3Aの不具合について

平成24年12月
四国電力株式会社

1. 件名
伊方発電所第3号機 格納容器再循環ファン3Aの不具合について

2. 事象発生の日時
平成24年7月13日 10時34分（信号発信）

3. 事象発生の設備
伊方発電所第3号機 格納容器再循環ファン3A

4. 事象発生時の運転状況
第13回定期検査中

5. 事象発生の状況
伊方発電所第3号機は、第13回定期検査中のところ、7月13日10時34分、中央制御室において、運転中の格納容器再循環ファン3A^{*1}の振動が高いことを示す信号が発信した。

このため、格納容器再循環ファン3Bを起動し、10時43分に格納容器再循環ファン3Aを停止した。

その後、振動値を確認するため12時12分に格納容器再循環ファン3Aを再度起動したところ、警報値 7.1 mm/s e c^{*2} を超えなかったが、振動値 5.8 mm/s e c を確認した。

振動上昇の原因調査のため分解点検を実施した結果、ケーシング合わせ面に塗膜のはく離、液状ガスケットおよびボンドの部分的な付着が確認された。このため、ケーシング合わせ面を手入れし、確認運転を実施したところ、振動値が低下し且つ安定した状態となったため、通常状態に復旧した。

なお、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による影響はなかった。

（添付資料－1）

*1 格納容器再循環ファン
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ファン

*2 警報値 7.1 mm/s e c
中央制御室に振動が高いことを示す信号を発信する設定値。格納容器再循環ファンについては、JIS B 0906「機械振動－非回転部分における機械振動の測定と評価－一般的指針」では「大形回転機で、剛基礎上に据え付けられたもの」で「長期間の連続運転は期待できないと考えられる」とされる振動領域の上限値は 11.2 mm/s e c であるが、余裕を見て「中形機械」における同様の振動領域の上限値 7.1 mm/s e c を警報値として採用している。

6. 事象の時系列

7月13日	
10時34分	中央制御室において「換気空調設備振動大」信号発信
10時42分	格納容器再循環ファン3Bを起動
10時43分	格納容器再循環ファン3Aを停止
12時12分	確認運転のため、格納容器再循環ファン3Aを起動
12時30分	格納容器再循環ファン3Aを停止
7月14日～	格納容器再循環ファン3Aの調査を実施
8月6日	
8月6日～	格納容器再循環ファン3Aの連続確認運転を実施
10月4日	
10月4日	
9時50分	振動値が低い値で安定した状態となったため、通常状態に復旧。

7. 調査結果

(1) 運転状況の調査

格納容器再循環ファン3Aにおける3号機第12回定検以降の振動値推移について図1に示す。

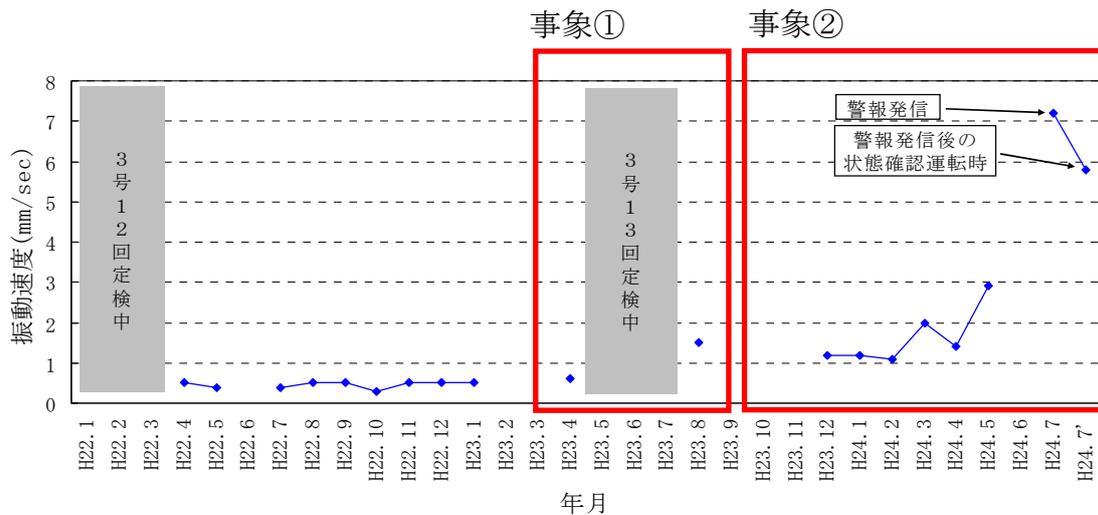


図1 伊方3号機格納容器再循環ファン3A振動値推移（中央制御室指示値）

図1より、警報発信に至るまでに2つの振動値上昇が確認された。

第12回定検以降振動値は約0.5 mm/secで安定して推移していたが、第13回定検後に1.5 mm/secに上昇（以下、事象①という）し、その後振動大警報発信（警報値7.1 mm/sec）に至った（以下、事象②という）ことが分かった。

a. 事象①について

第13回定検後に振動値が約0.5 mm/secから1.5 mm/secに上昇している。これは、第13回定検の当該ファン電動機分解点検（モ

一タ取外・取付、羽根車取外・取付、軸受取替)において、組立誤差による偏心量*³の増加に伴いアンバランス量が増加したため、振動値が上昇したものと推定される。なお、第13回定検時の分解点検、モータ単体試運転、負荷試運転において、問題がなかったことを点検記録により確認した。

また、このときの振動値 1.5 mm/sec は注意値 2.8 mm/sec *⁴に対して十分低い値であり問題がないことから、バランス調整は実施していない。

*3 偏心量

回転中心と重心位置の距離のこと。少量ではあるが、偏心量の変化(増加あるいは減少)は組立誤差により必ず発生する。

*4 注意値 2.8 mm/sec

振動値の上昇傾向を把握するための管理値。格納容器再循環ファンについては、JIS B 0906「機械振動—非回転部分における機械振動の測定と評価—一般的指針」では「大形回転機で、剛基礎上に据え付けられたもの」で「一般に何の制限もなく長期運転が可能であると考えられる」とされる振動領域の上限値は 4.5 mm/sec であるが、余裕を見て「中形機械」における同様の振動領域の上限値 2.8 mm/sec を注意値として採用している。

b. 事象②について

図1より、第13回定検後しばらくは振動値約 1.2 mm/sec で推移していたが、H24年3月頃より上昇し始め、H24年7月に振動大警報値 7.1 mm/sec に至った。

振動大警報発信後の確認運転において振動成分を分析したところ、送風機の回転数に同期した成分(以下、N成分*⁵という)が主成分であった。N成分振動の主な振動原因はアンバランスである。

*5 N成分

1回転当りを1周期として1回発生する振動。すなわち回転体の回転数に同期した振動成分のことをいう。

N成分振動上昇については、以下の2通りの原因が考えられる。

- ・「アンバランス量の増加」に伴うN成分振動の上昇
- ・「振動を増幅させる要因」に伴うN成分振動の上昇

「アンバランス量の増加」は「構成部品の脱落・破損」「異物付着」「軸曲がり」「軸クラック」「組立誤差に伴う偏心量の増加」にて発生する。また、「振動を増幅させる要因」には「緩み」「ガタ」がある。

(2) 現地調査

振動大警報発信(事象②)に至った原因について、当該ファン設備の調査を実施した。その結果を以下に示す。

a. 計装設備について

【振動検出器】

- ・振動計点検の結果、異常は認められなかった。

b. 電気設備について

【電動機】

- ・電動機単体試運転の結果、異音、異臭、振動値の異常は認められなかった。
- ・潤滑油分析の結果、潤滑油の性状に異常は認められなかった。

c. 機械設備について

【送風機本体】

- ・送風機分解点検の結果、羽根車、主軸等の回転体構成部品に損傷、接触、脱落、緩み、異物付着、塗膜はく離は認められなかった。また、羽根車嵌め合い部のガタ、軸曲がり、各部ボルトの緩みは認められなかった。

【ケーシング】

- ・ケーシング各部の締付ボルトをトルク管理値にて確認締めを行った結果、緩みは認められなかった。なお、ケーシング合わせ面締付ボルトは第1 2回定検よりトルク管理（19 kg・m）している。
- ・電動機支持金物を点検した結果、不均一な取付状態は認められなかった。
- ・ケーシング合わせ面に塗膜はく離、部分的なボンドおよび液状ガスケットの付着があり、不均一な密着状態であることが認められた。なお、液状ガスケットについては不乾性であり、硬化もなく液状ガスケット自体に劣化は認められなかった。

(添付資料-2)

以上の調査結果をまとめると、

- ・電気、計装設備については、異常は認められなかった。
- ・機械装置設備については、前述のような「アンバランス量の増加」となる異常は認められなかった。また、「振動を増幅させる要因」については、唯一「ケーシング合わせ面の不均一な密着状態」が認められた。

この「ケーシング合わせ面の不均一な密着状態」が、N成分振動を増幅していたと推定される。

調査によりケーシング合わせ面に唯一異常が確認されたことから、合わせ面の手入れ（塗膜、部分的なボンド、液状ガスケットの除去）を実施し、メタルタッチとすることで密着性を向上させた。合わせ面については、密着性を向上していることからシール材（液状ガスケット）を除去した状態でも問題ない。

また、ケーシング合わせ面手入れ実施後に水平度を確認した結果、水平度は据付当時の管理値（2 mm/m）に対して、最大1 mm/m程度であり、問題ないことを確認した。

なお、ケーシング合わせ面締付ボルトについては、通常トルク管理値19 k

g・mのところ、念のため30kg・mにて復旧した。当該ボルト部の部材強度については十分余裕があることを確認している。

(添付資料－3)

(3) 保守状況の調査

今回の振動大に至った経緯を確認するため、過去の保守状況について調査を実施した。

- ・当該ファンの過去の振動データについて確認したところ、第1回定検のケーシング合わせ面開放以降より、管理値(104 μ mp-p)以内ではあるが不安定な状態であった。また、補修履歴を調査したところ、3A号機のケーシング合わせ面については、第1回定検にてシールを液状ガスケットからゴムパッキンに変更したが、振動値が上昇したため、第2回定検にゴムパッキンを取り外した。その際、当時はケーシング合わせ面の状態が振動に影響するという認識が無かったため、ケーシング合わせ面の手入れを十分に実施せず、塗膜はく離、部分的なボンドおよび液状ガスケットの付着がある状態でも問題ないと判断して台板を復旧していた。また、3B～3Dの振動データについては、第1回定検より低い値で安定していた。

(添付資料－4)

- ・第12回定検時において、3A号機点検内容が電動機の潤滑油入替のみであったにもかかわらず、振動値が注意値(2.8mm/sec)付近まで上昇したため、バランス調整を実施した。バランス調整後、振動値は第13回定検まで約0.5mm/secで安定していた。また、3A号機については第12回定検でのみバランス調整を実施しており、他の号機についてはバランス調整を行った実績はない。
- ・格納容器再循環ファンは設置場所の違いにより、当初3A、3B号機については電動機を横方向に取り出すために、ケーシング合わせ面を開放していたが、第3回定検にて、分解点検時に電動機を下フロアへ下ろせるよう出口ダンパの改造を行ったため、ケーシング合わせ面を開放せずに分解点検できる構造となった。この改造実施以降ケーシング合わせ面は開放していない。また、3C、3Dについては当初から電動機を下方向に取り出せるため、ケーシング合わせ面は開放した実績はなく、3Bについては、第2回定検で開放しているが、第1回定検後の3A振動結果を踏まえてケーシング合わせ面は現状のまま復旧した。

(添付資料－5)

(4) 確認運転による振動状況調査

ケーシング合わせ面を手入れし、密着性を向上させた状態で確認運転を実施したところ、振動値が5.8mm/secから1.5mm/secに低下し、振動値低下後の振動成分を分析した結果、主成分はN成分であり、バランス調整を実施していないにもかかわらずN成分振動が低下したことを確認した。

また、起動停止を伴う連続確認運転を約2ヶ月間(H24年8月6日からH24年10月4日まで)実施し、振動値が約1.2mm/secで安定して推移していることを確認した。

(5) 調査結果のまとめ

上記調査の結果を以下にまとめる。

- ・当該ファンの振動値については、第1回定検より不安定な状態であった。また、3B～3Dについては低い値で安定していた。
- ・ケーシング合わせ面については、当該ファンのみ過去にゴムパッキンを採用し取外しを行っていた。また、3B～3Dについては、液状ガスケットから変更したことがない。
- ・当該ファンの設備に「アンバランス量の増加」となるような異常は認められなかった。また、「振動を増幅させる要因」においては、唯一「ケーシング合わせ面の不均一な密着状態」のみが認められた。なお、各部ボルトの締付状態に異常は認められなかった。
- ・第2回定検時にケーシング合わせ面の手入れを十分に実施せず、塗膜はく離、部分的なボンドおよび液状ガスケットの付着がある状態で復旧したことにより、「ケーシング合わせ面が不均一な密着状態」となり、事象①における振動値上昇がさらに不均一な密着状態に進展したと推定される。
- ・当該ファンケーシング合わせ面を手入れし、密着性を向上させた後に確認運転を実施したところ、振動値が5.8 mm/secから1.5 mm/secに低下した。

8. 推定原因

第2回定検時にケーシング合わせ面の手入れを十分に実施せず、塗膜はく離、部分的なボンドおよび液状ガスケットの付着がある状態で復旧したことにより、合わせ面は不均一な密着状態となり振動上昇の要因が潜在していた。そのため第2回定検以降、振動値は不安定な状態となっていた。その後、第13回定検組立時に偏心量の増加に伴う振動値上昇（事象①）により、合わせ面の不均一な密着状態がさらに進展し、その合わせ面の状態が「振動を増幅させる要因」となり、H24年3月頃よりN成分振動を徐々に増幅させ、7月において振動大警報発信に至った（事象②）ものと推定される。

また、ケーシング合わせ面の密着性向上により振動値が低下したこと、およびバランス調整を実施していないにもかかわらず振動値が低下したことからも、本事象の原因は「振動を増幅させる要因」となった「ケーシング合わせ面の不均一な密着状態」によるものと推定される。

(添付資料-6)

9. 対策

- (1) ケーシングと台板の合わせ面の手入れを実施し、合わせ面を復旧した。
- (2) 今後ケーシング合わせ面の不均一な密着状態による振動値上昇の発生を防止するために、合わせ面開放時には合わせ面の状態確認および手入れを実施する。また、分解点検後において振動解析により振動値測定および周波数分析を実施し、振動値が注意値以下であること、ならびに振動の主成分を把握し、異常の無いことを確認する。
以上を踏まえ、格納容器再循環ファン点検時に使用する標準作業要領書に、上記の内容を記載するように変更した。

- (3) 今回の事象を踏まえ、異常を早期発見するために、保守パトロールで実施している格納容器再循環ファンの振動値（中央制御室指示値）データ採取頻度を月1回から週1回へ変更し、監視強化を図った。

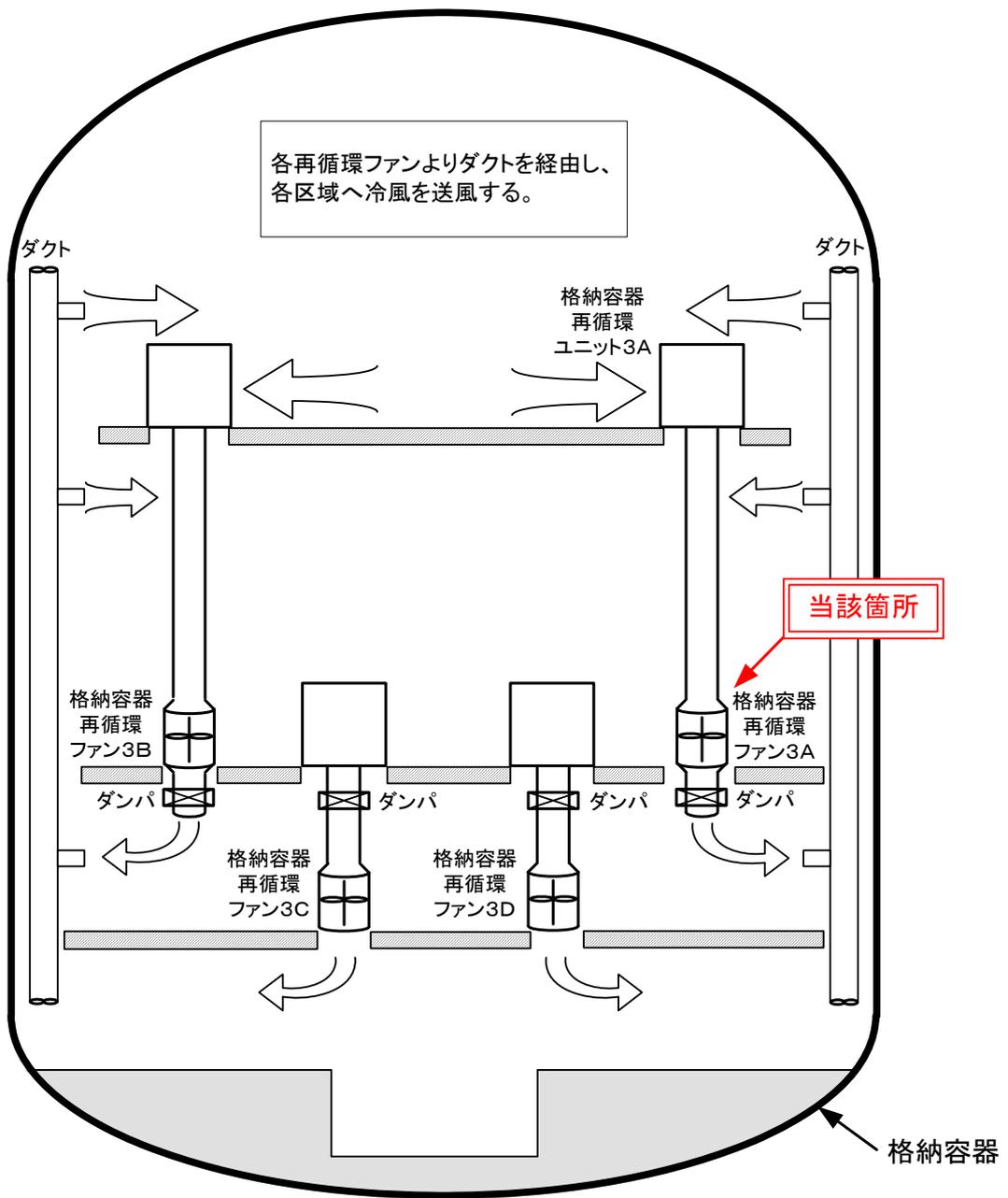
以 上

添 付 資 料

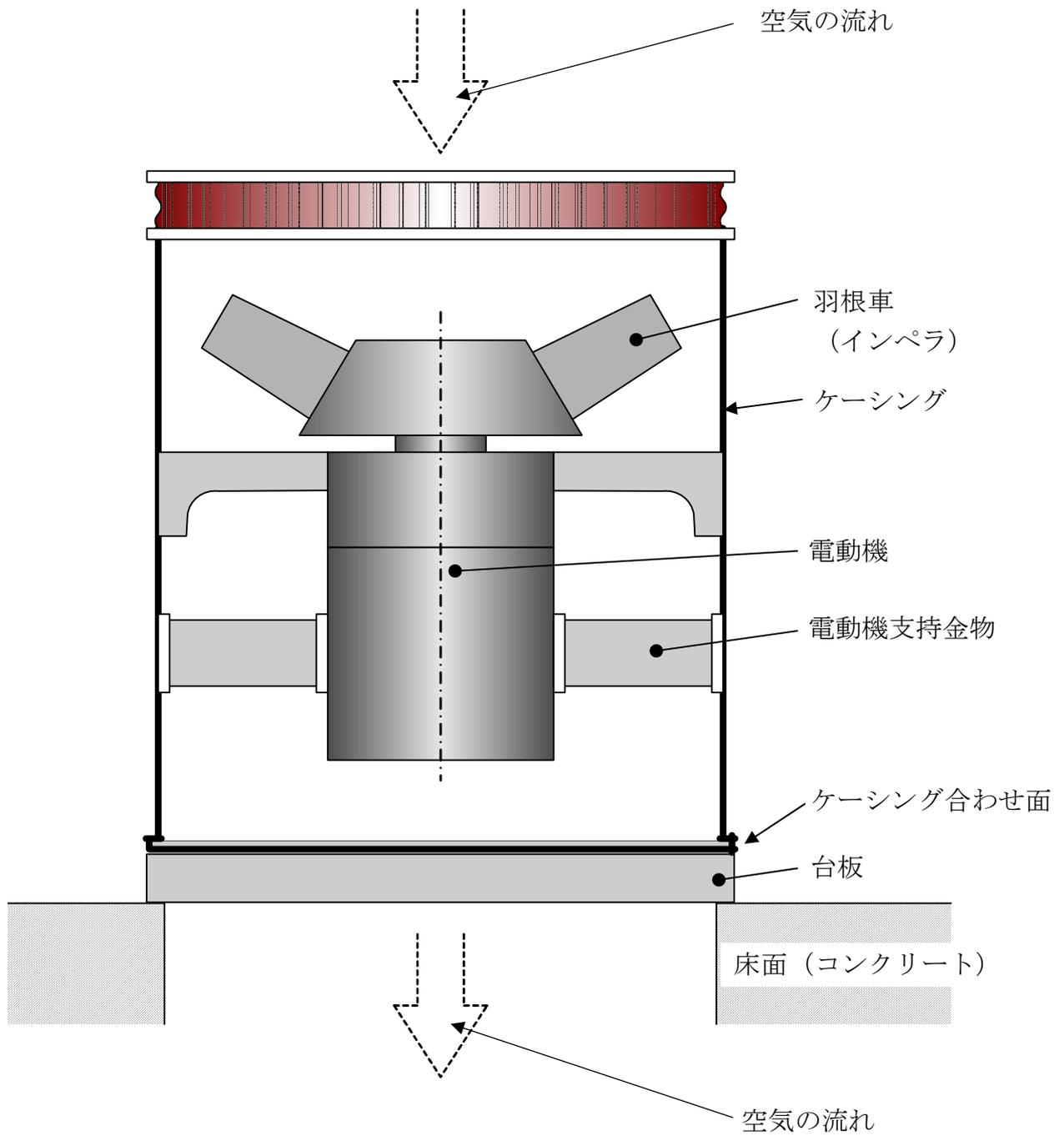
- 添付資料－ 1 伊方 3 号機 格納容器再循環空調設備概略図
- 添付資料－ 2 格納容器再循環ファン 3 A ケーシング合わせ面（手入れ前）
- 添付資料－ 3 格納容器再循環ファン 3 A ケーシング合わせ面（手入れ後）
- 添付資料－ 4 3 号機格納容器再循環ファン振動データ
- 添付資料－ 5 格納容器再循環ファン点検時電動機移動要領図
- 添付資料－ 6 格納容器再循環ファン 3 A 振動上昇想定図

伊方3号機 格納容器再循環空調設備概略図

1. 系統構成概略図



2. 格納容器再循環ファン概略構造図



格納容器再循環ファン3 Aケーシング合わせ面（手入れ前）

1. ケーシング合わせ面（台板側）



2. ケーシング合わせ面（ケーシング側）



格納容器再循環ファン3 Aケーシング合わせ面（手入れ後）

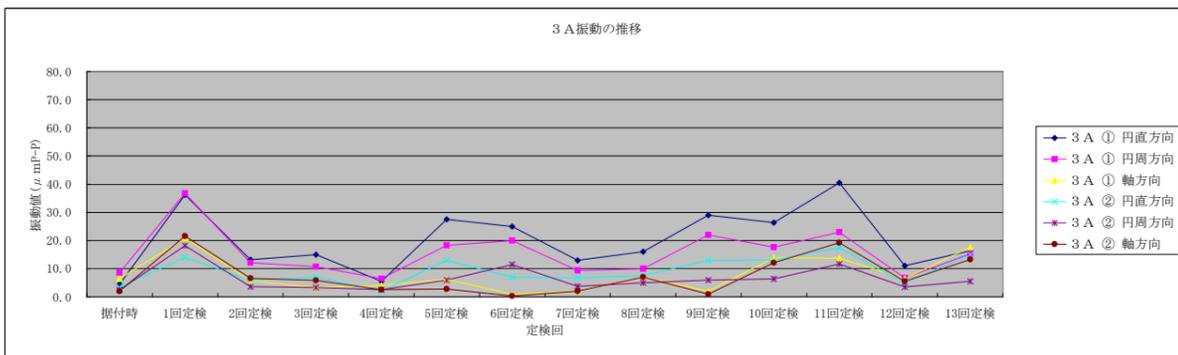
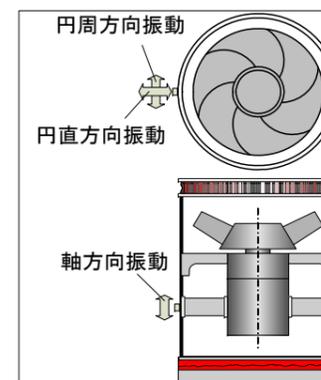
1. ケーシング合わせ面（台板側）



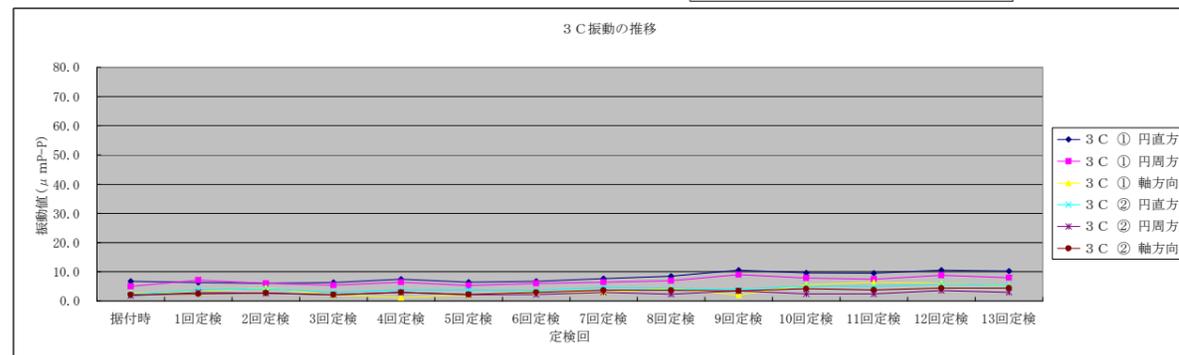
2. ケーシング合わせ面（ケーシング側）



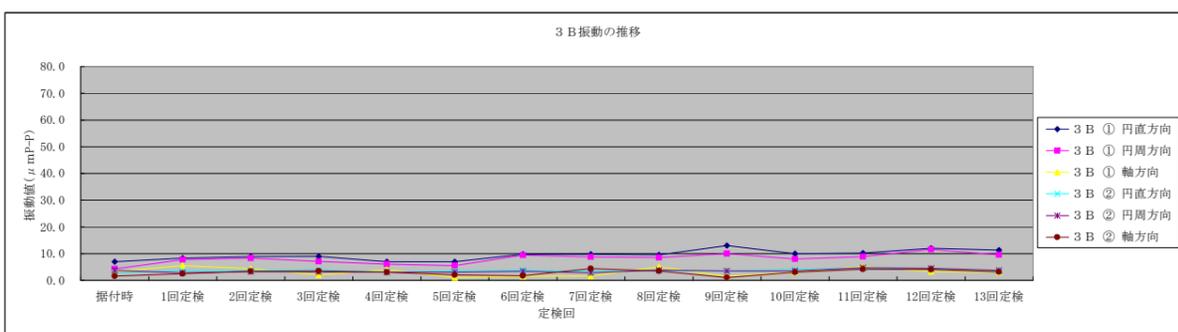
3号機 格納容器再循環ファン振動データ



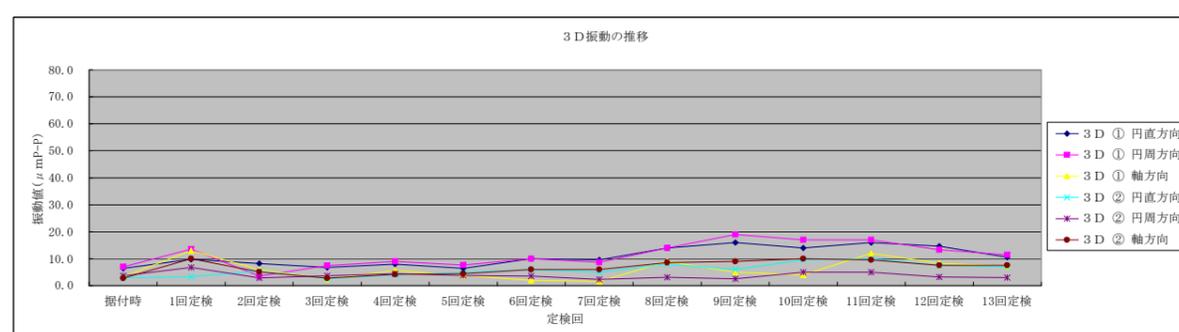
機器名称	測定方向	据付時	1回定検	2回定検	3回定検	4回定検	5回定検	6回定検	7回定検	8回定検	9回定検	10回定検	11回定検	12回定検	13回定検	
3A	①	円直方向	4.5	36.2	13.2	15.0	5.5	27.5	25.0	13.0	16.0	29.0	26.3	40.5	11.0	16.4
		円周方向	8.6	36.8	12.1	10.7	6.5	18.3	20.0	9.4	10.0	22.0	17.6	22.9	6.7	15.3
		軸方向	6.5	20.8	5.7	3.3	4.0	6.3	1.0	2.0	7.0	2.0	13.9	13.7	6.5	17.6
	②	円直方向	3.5	14.0	6.0	7.0	2.0	13.0	7.0	6.8	7.5	13.0	13.1	17.4	5.0	15.0
		円周方向	2.4	18.2	3.6	3.3	2.5	6.0	11.5	3.7	5.0	6.0	6.4	11.7	3.5	5.5
		軸方向	2.0	21.6	6.6	5.8	2.5	2.8	0.3	2.0	7.0	1.0	12.1	19.2	5.5	13.3



機器名称	測定方向	据付時	1回定検	2回定検	3回定検	4回定検	5回定検	6回定検	7回定検	8回定検	9回定検	10回定検	11回定検	12回定検	13回定検	
3C	①	円直方向	6.8	6.4	6.0	6.3	7.5	6.5	6.8	7.7	8.5	10.5	9.6	9.5	10.6	10.2
		円周方向	5.0	7.2	6.0	5.4	6.5	5.3	6.0	6.5	7.0	9.0	7.9	7.5	8.8	8.0
		軸方向	2.6	3.2	4.5	2.0	1.2	2.0	3.2	3.0	4.3	2.0	5.5	6.5	6.0	5.3
	②	円直方向	2.3	3.8	4.2	3.0	3.8	3.8	3.6	4.6	4.3	4.0	5.1	5.0	5.8	5.4
		円周方向	1.8	3.0	2.7	2.2	3.0	2.2	2.3	3.0	2.4	3.5	2.5	2.5	3.6	3.0
		軸方向	2.2	2.5	2.8	2.2	3.0	2.3	3.0	3.7	3.7	3.5	4.2	3.8	4.4	4.4

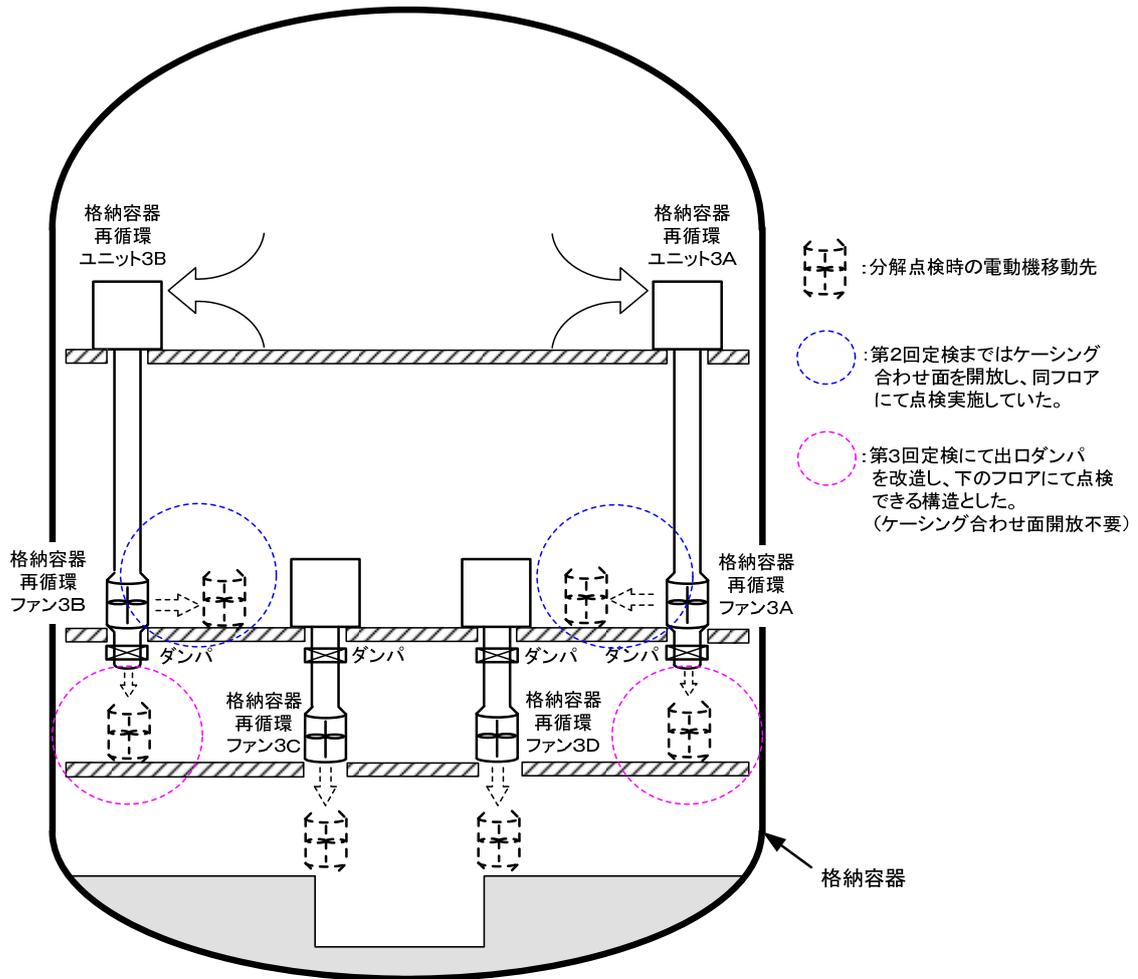


機器名称	測定方向	据付時	1回定検	2回定検	3回定検	4回定検	5回定検	6回定検	7回定検	8回定検	9回定検	10回定検	11回定検	12回定検	13回定検	
3B	①	円直方向	6.9	8.3	8.8	9.0	7.0	7.0	9.7	9.7	9.5	13.0	10.0	10.2	12.0	11.3
		円周方向	4.3	7.7	8.3	7.1	6.0	5.5	9.4	8.7	8.5	10.0	8.0	8.8	11.5	9.5
		軸方向	3.2	5.5	4.4	2.0	4.0	1.0	1.5	1.6	5.0	1.5	3.0	5.2	3.2	3.0
	②	円直方向	2.8	3.6	3.6	3.9	3.0	3.5	3.8	3.3	3.6	3.5	4.0	4.6	4.3	3.4
		円周方向	3.7	2.8	3.3	3.1	3.0	3.0	3.4	2.8	3.8	3.5	3.5	4.7	4.5	3.7
		軸方向	1.6	2.5	3.4	3.5	3.0	2.0	1.7	4.4	3.5	1.0	3.0	4.1	4.0	3.1



機器名称	測定方向	据付時	1回定検	2回定検	3回定検	4回定検	5回定検	6回定検	7回定検	8回定検	9回定検	10回定検	11回定検	12回定検	13回定検	
3D	①	円直方向	6.4	9.8	8.2	6.8	8.0	6.4	10.0	9.5	14.0	16.0	14.0	16.0	14.6	10.5
		円周方向	7.0	13.5	3.6	7.4	9.0	7.7	10.0	8.7	14.0	19.0	17.0	17.0	13.3	11.4
		軸方向	3.3	13.0	6.0	2.4	5.7	3.8	2.0	1.5	9.0	5.0	4.0	12.0	8.3	7.2
	②	円直方向	2.9	3.3	5.4	2.5	4.0	4.9	6.0	5.0	8.0	6.0	9.5	10.0	7.5	7.0
		円周方向	3.7	6.8	2.9	3.7	4.4	3.8	3.5	2.3	3.1	2.5	5.0	5.0	3.2	3.0
		軸方向	2.8	10.0	5.1	2.8	4.2	4.4	6.0	6.0	8.5	9.0	10.0	9.5	7.5	7.5

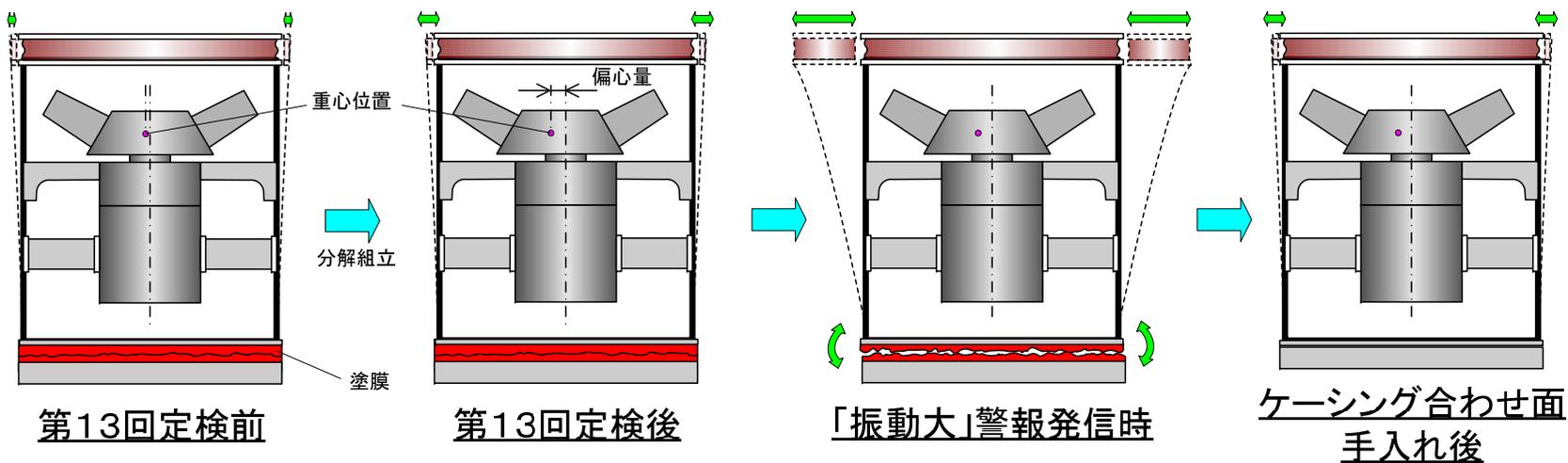
格納容器再循環ファン点検時電動機移動要領図



格納容器再循環ファンケーシング合わせ面開放状況について

	第1回定検	第2回定検	第3回定検
格納容器再循環ファン3A	ファン、電動機：分解点検 ・ケーシング合わせ面開放 ・ゴムパッキン挿入	振動値増加を確認 ・ケーシング合わせ面開放 ・ゴムパッキン取外	ファン、電動機：分解点検 ・出口ダンパ改造実施 ・ケーシング合わせ面開放なし
格納容器再循環ファン3B	分解点検の実績なし	ファン、電動機：分解点検 ・ケーシング合わせ面開放 ・液状ガスケットのまま復旧	分解点検の実績なし
格納容器再循環ファン3C	ファン、電動機：分解点検 ・ケーシング合わせ面開放なし	分解点検の実績なし	ファン、電動機：分解点検 ・ケーシング合わせ面開放なし
格納容器再循環ファン3D	分解点検の実績なし	ファン、電動機：分解点検 ・ケーシング合わせ面開放なし	分解点検の実績なし

格納容器再循環ファン3A 振動上昇想定図



第13回定検前

第12回定検におけるバランス調整実施以降、振動値は低い値で安定していた。
また、ケーシング合わせ面の不均一な密着状態は第2回定検以降より潜在していた。
(振動値: 約0.5mm/s)

第13回定検後

第13回定検分解点検時の組立誤差により偏心量が増加し振動値が上昇した。このときバランス調整未実施。

(振動値: 1.5mm/s)

「振動大」警報発信時

ケーシング合わせ面の不均一な密着状態が更に促進され、振動が増幅し「振動大」となった。

(振動値: 7.1mm/s)

ケーシング合わせ面手入れ後

ケーシング合わせ面の手入れ(メタルタッチ)を行い、振動の増幅要因を取り除いた。

(振動値: 1.2mm/s)

