

柏崎刈羽原子力発電所1号機
非常用ディーゼル発電機（B）の
過給機軸固着について
（原因調査状況）

2018年10月29日

1. 事象の概要

- 1-1. 非常用ディーゼル発電機（B）の出力低下と過給機軸固着
- 1-2. 当該D/G出力低下時の時系列
- 1-3. 過給機軸固着確認までの時系列
- 1-4. 運転上の制限を満足している判断について
- 1-5. 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則
第134条第3号への該当判断について
- 1-6. 機器概要

2. 原因調査

- 2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）
- 2-2. 事象の原因調査（過給機軸固着）
- 2-3. 工場調査結果
- 2-4. 破損片等による波及影響調査
- 2-5. 過給機における至近の点検記録
- 2-6. 過去の類似事象の調査
- 2-7. 調査状況まとめ

3. 調査状況と今後の対応

- 3-1. 過給機軸固着と発電機出力低下事象の関連性について
- 3-2. 過給機軸固着の推定メカニズム
- 3-3. 発電機出力低下の推定メカニズム
- 3-4. 調査状況まとめ
- 3-5. 調査スケジュール

1. 事象の概要

1. 事象の概要

- 1-1. 非常用ディーゼル発電機（B）の出力低下と過給機軸固着
- 1-2. 当該D/G出力低下時の時系列
- 1-3. 過給機軸固着確認までの時系列
- 1-4. 運転上の制限を満足している判断について
- 1-5. 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則
第134条第3号への該当判断について
- 1-6. 機器概要

2. 原因調査

- 2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）
- 2-2. 事象の原因調査（過給機軸固着）
- 2-3. 工場調査結果
- 2-4. 破損片等による波及影響調査
- 2-5. 過給機における至近の点検記録
- 2-6. 過去の類似事象の調査
- 2-7. 調査状況まとめ

3. 調査状況と今後の対応

- 3-1. 過給機軸固着と発電機出力低下事象の関連性について
- 3-2. 過給機軸固着の推定メカニズム
- 3-3. 発電機出力低下の推定メカニズム
- 3-4. 調査状況まとめ
- 3-5. 調査スケジュール

1-1. 非常用ディーゼル発電機（B）の出力低下と過給機軸固着

- ✓ 柏崎刈羽原子力発電所1号機は第16回定期検査中（2011年8月6日より開始）。
- ✓ 2018年8月30日14時30分より、非常用ディーゼル発電機（B系）（以下、「当該D/G」という）を、定例試験のために起動し、確認運転を実施。
- ✓ 同日15時16分に異音が発生するとともに、発電機出力が定格出力6.6MWから0MWに低下したため、異常と判断し当該D/Gを手動停止。
- ✓ 当該D/Gの出力低下の要因として考えられる潤滑油系統、燃焼機関係系統、給排気系統、制御系統、冷却水系統、発電機系統の異常の有無について調査を開始。
- ✓ その後の原因調査において、9月6日に過給機ロータハンドターニングによる動作確認にて、1台（全2台）の過給機に軸固着を確認。

1-2. 当該D/G出力低下時の時系列（1 / 2）

【8月30日】

14:30 当該D/G定例試験開始

14:30 当該D/G起動

14:43 当該D/G並列

14:52 当該D/Gハーフロード到達（3.3MW到達）

15:05 当該D/G定格出力6.6MW到達

15:16 中央制御室の主機操作員が異音を確認、同じく現場の補機操作員が異音を確認
現場の研修生が当該D/G上部に灰色のもやを確認
警報発生

「動弁注油タンク油面低」（現場）

「ディーゼル発電機1B異常」（中央制御室）（現場の警報発生を知らせる警報）

当該D/Gエリア自動火災報知盤プレアラーム作動

「光電アナログ注意・光電アナログ蓄積中/回復」（中央制御室）

当該D/G関連中央制御室パラメータ変化

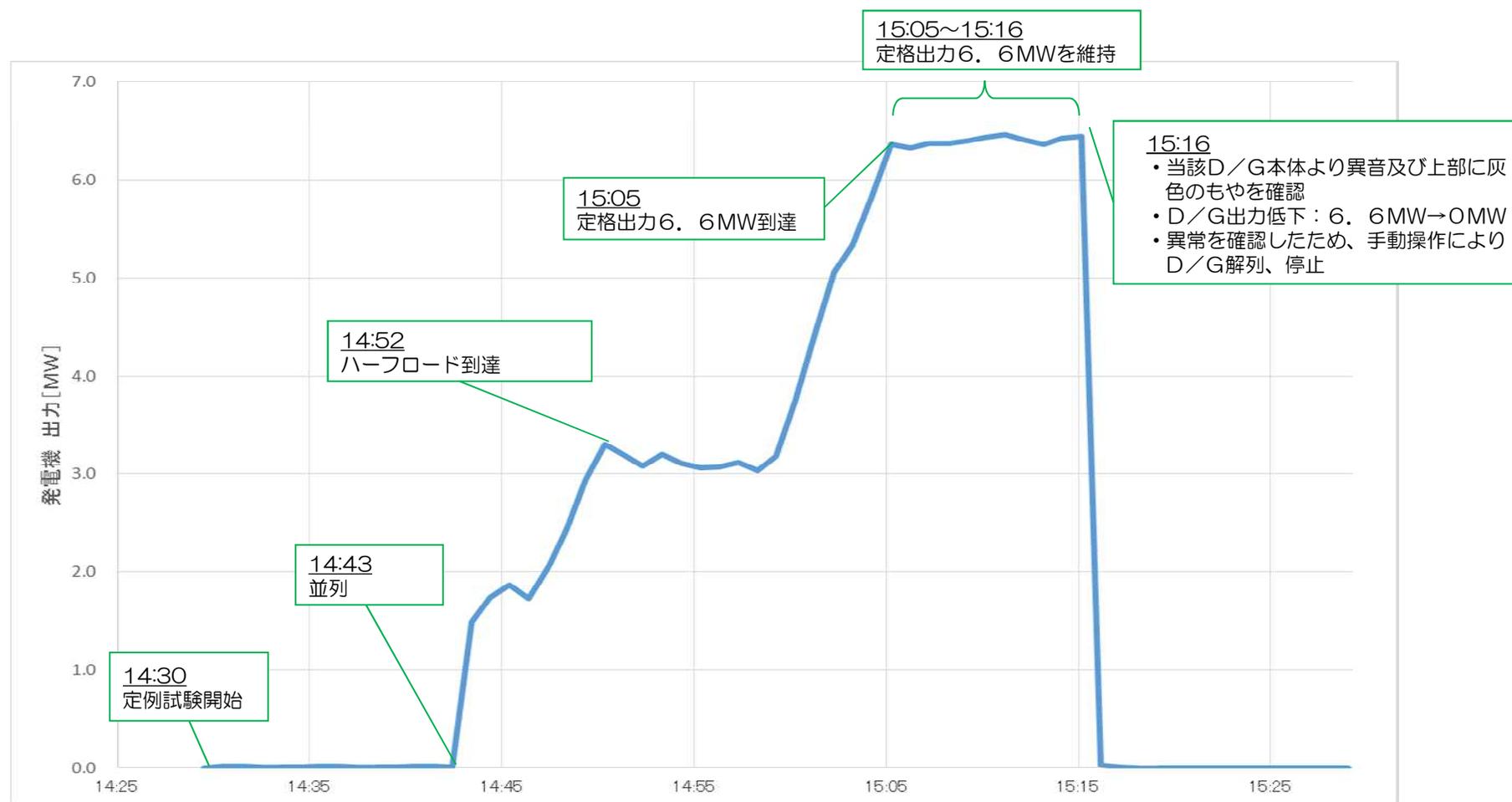
「当該D/G発電機電力：6.6MW→0MW」

15:16 上記の異常を確認したため、主機操作員が中央制御室にて手動操作により
当該D/Gを解列、停止

15:16 当直長が当該D/G不待機宣言

15:40 当該D/G作動除外操作実施

1-2. 当該D/G出力低下時の時系列 (2/2)



※本トレンドは、1分周期の瞬時値データをグラフ化したもの

当該D/G出カトレンド

1-3. 過給機軸固着確認までの時系列

【8月30日】

- ✓ 当該D/Gの出力低下の要因として考えられる潤滑油系統、燃焼機閥系統、給排気系統、制御系統、冷却水系統、発電機系統の異常の有無についての調査検討を開始。

【9月3日】

- ✓ 点検調査のための安全処置実施

【9月4日～5日】

- ✓ 動弁注油タンク、クランク室、過給機ブロワ側潤滑油採取・分析

【9月5日】

- ✓ 各カバー開放による機閥内部外観目視点検実施：異常なし
- ✓ 燃料噴射ラック動作確認、発電機絶縁抵抗・巻線抵抗測定：異常なし

【9月6日】

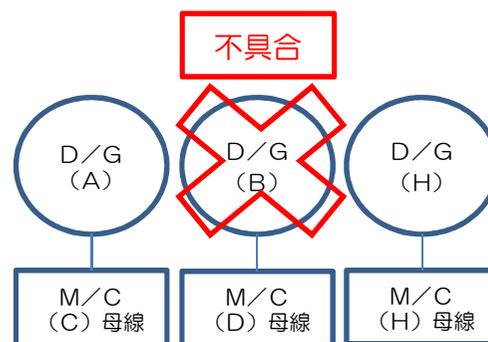
- ✓ 継電器点検、計器点検、発電機目視点検、界磁回路絶縁抵抗・巻線抵抗測定：異常なし
- ✓ 機閥ターニングによる動作確認：異常なし
- ✓ 過給機ロータハンドターニングによる動作確認
 - R側過給機（発電機側から見て右側の過給機）の軸固着を確認。
⇒ 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条第3号判断
 - L側過給機は異常なし。

1-4. 運転上の制限を満足している判断について

- ✓ 本事象発生前は、D/G 3台（A系、B系、H系）が動作可能。
- ✓ 本事象発生時は、他のD/G 2台（A系、H系）が動作可能。



- ✓ 柏崎刈羽原子力発電所原子炉施設保安規定第61条で要求されている運転上の制限※は満足していることを確認。



※柏崎刈羽原子力発電所 原子炉施設保安規定 第61条（非常用ディーゼル発電機その2）抜粋

原子炉の状態が冷温停止及び燃料交換において、非常用ディーゼル発電機（非常用ディーゼル発電機とは、A系、B系及び高圧炉心スプレイ系の非常用ディーゼル発電機をいう。）は表で定める事項を運転上の制限とする。

項目	運転上の制限
交流電源	非常用交流高圧電源母線に接続する非常用ディーゼル発電機を含め2台の非常用発電設備が動作可能であること

1-5. 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則 第134条第3号への該当判断について

8/68

- ✓ 当該D/Gの発電機出力が低下した原因を調査していたところ、9月6日に、当該D/Gの過給機の軸が固着しており、D/Gの機能喪失していることを確認。
- ✓ 当該D/Gの過給機が軸固着に至った要因の詳細調査は、工場への持出しが必要であり、速やかな復旧が困難。
- ✓ 同日13時50分に、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条第3号「発電用原子炉施設の安全を確保するために必要な機能を有していないと認められたとき」に該当するものと判断。
- ✓ なお、本事象による外部への放射能の影響なし。

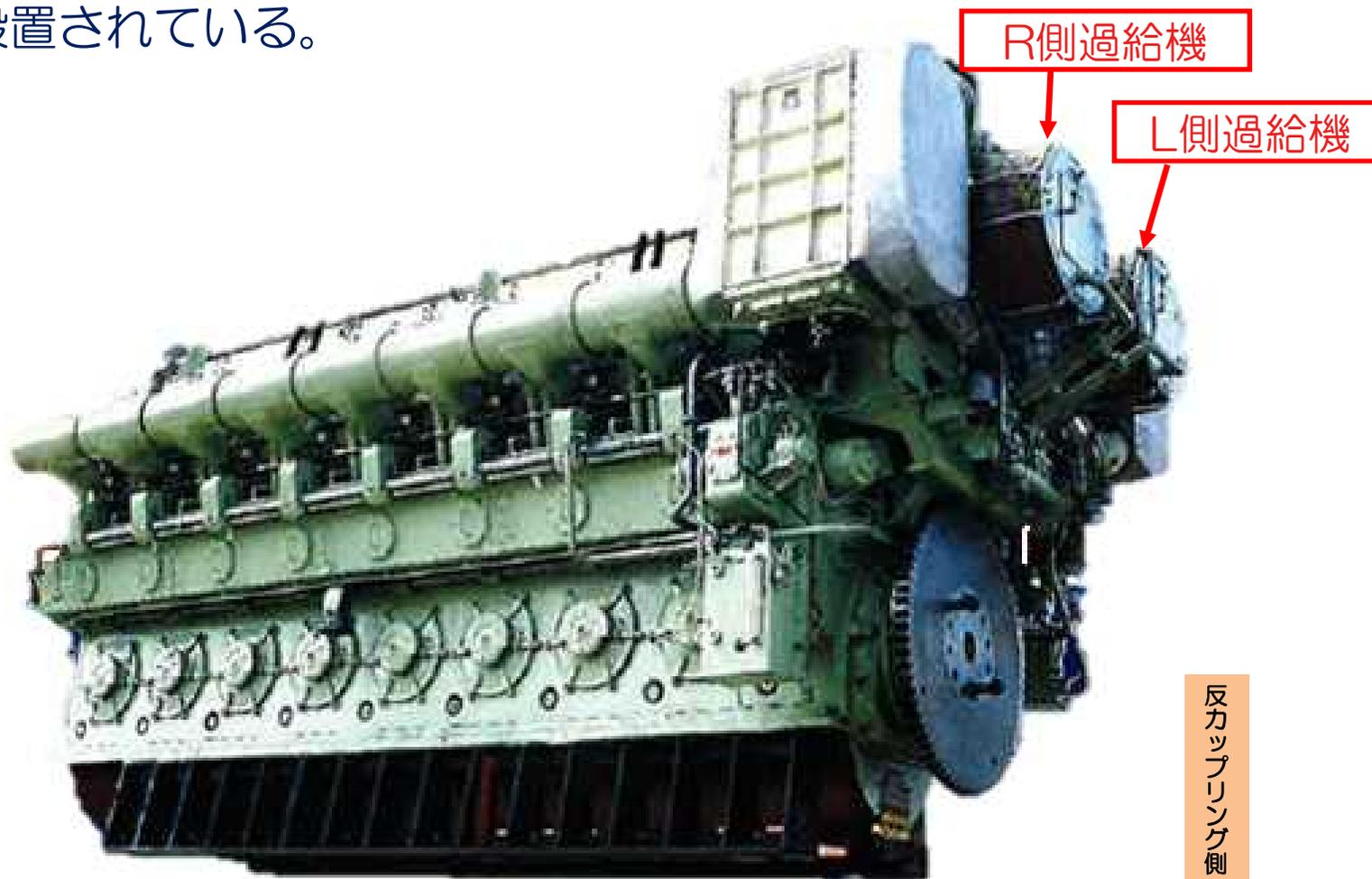
実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条第3号

発電用原子炉設置者が、安全上重要な機器等又は常設重大事故等対処設備（設置許可基準規則第二条第二項第十四号に規定する常設重大事故対処設備をいう。以下同じ。）の点検を行った場合において、当該安全上重要な機器等が技術基準規則第十七条若しくは第十八条に定める基準に適合していないと認められたとき、当該常設重大事故等対処設備が技術基準規則第五十五条若しくは第五十六条に定める基準に適合していないと認められたとき又は発電用原子炉施設の安全を確保するために必要な機能を有していないと認められたとき。

1-6. 機器概要 (1/6) D/G機関外観

過給機についてはD/G上部に
2台設置されている。

カップリング側
(発電機側)



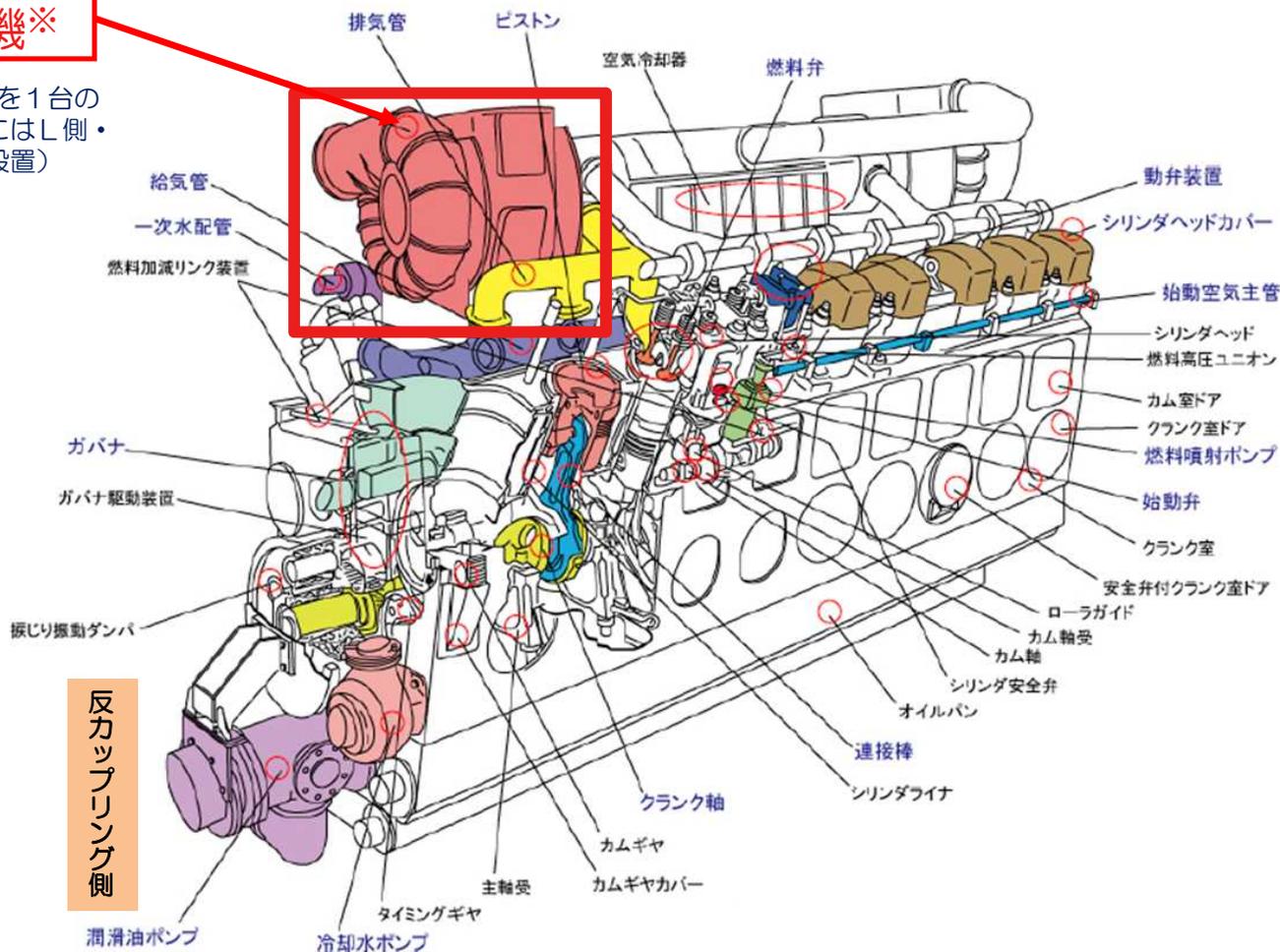
反カップリング側

D/G機関 外観写真

1-6. 機器概要 (2/6) D/G機関 概要図

過給機※

※本図はL側過給機を1台のみを図示（実機にはL側・R側の全2台が設置）



カップリング側 (発電機側)

反カップリング側

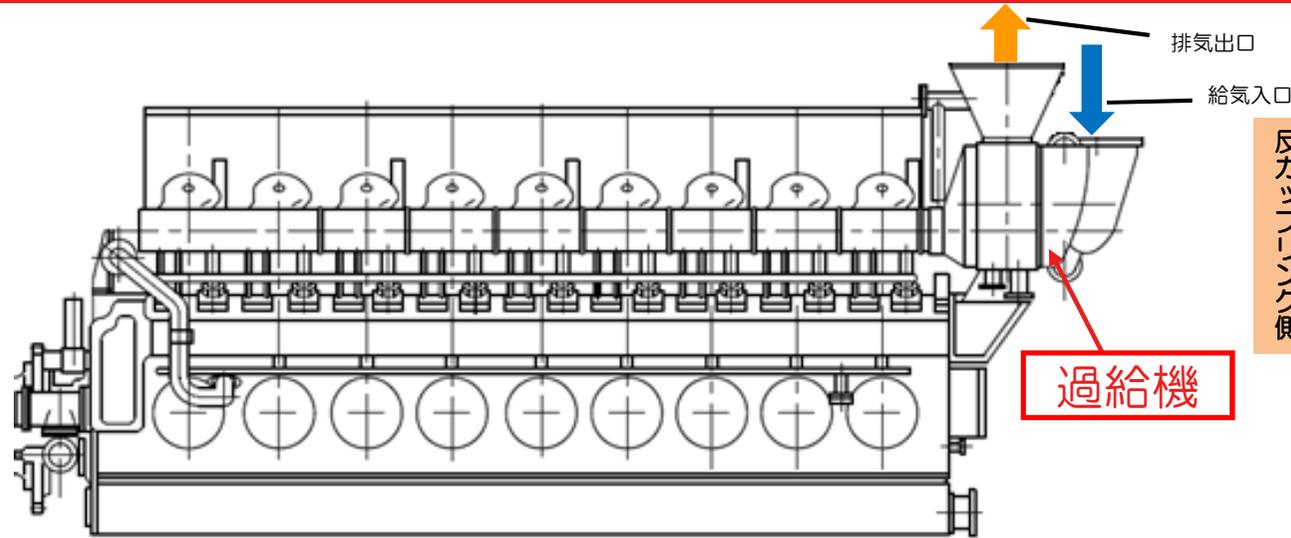
D/G機関 概要図

1-6. 機器概要 (3/6) D/Gの仕様

名称		発電機
種類	—	横軸回転界磁三相交流同期発電機
容量	kVA/個	8250
力率	%	80
電圧	V	6900
相	—	3
周波数	Hz	50
回転数	rpm	500
結線法	—	星形
冷却法	—	空気冷却
個数	—	1
名称		ディーゼル機関
種類	—	4サイクルたて形18気筒ディーゼル機関
出力	PS/個	9450
回転数	rpm	500
個数	—	1
名称		調速装置
種類	—	油圧式
名称		励磁装置
種類	—	静止形自励式
容量	kW/個	45.1
電圧	V	110
個数	—	1

1-6. 機器概要 (4/6) 給排気系の空気の流れ

カップリング側 (発電機側)



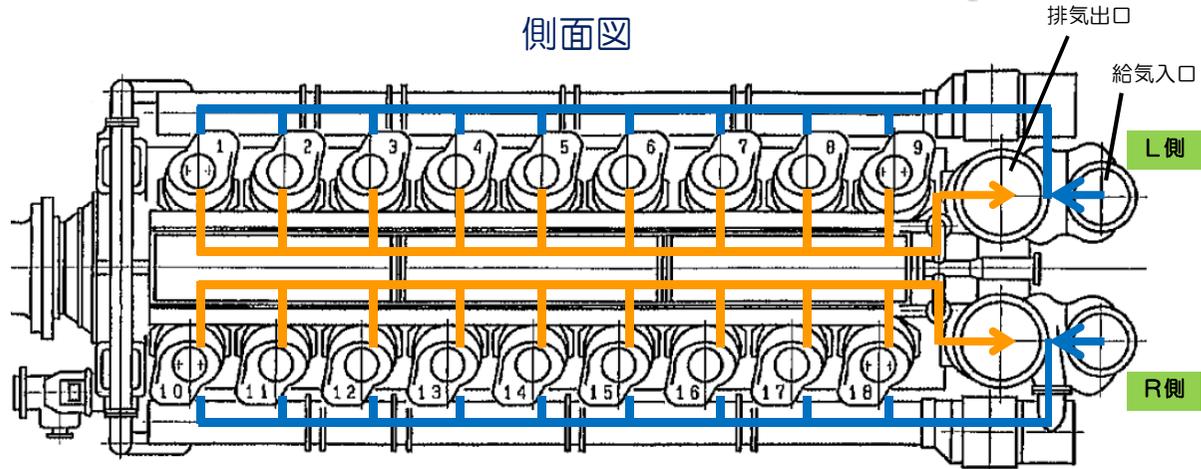
反カップリング側

側面図

凡例



カップリング側 (発電機側)



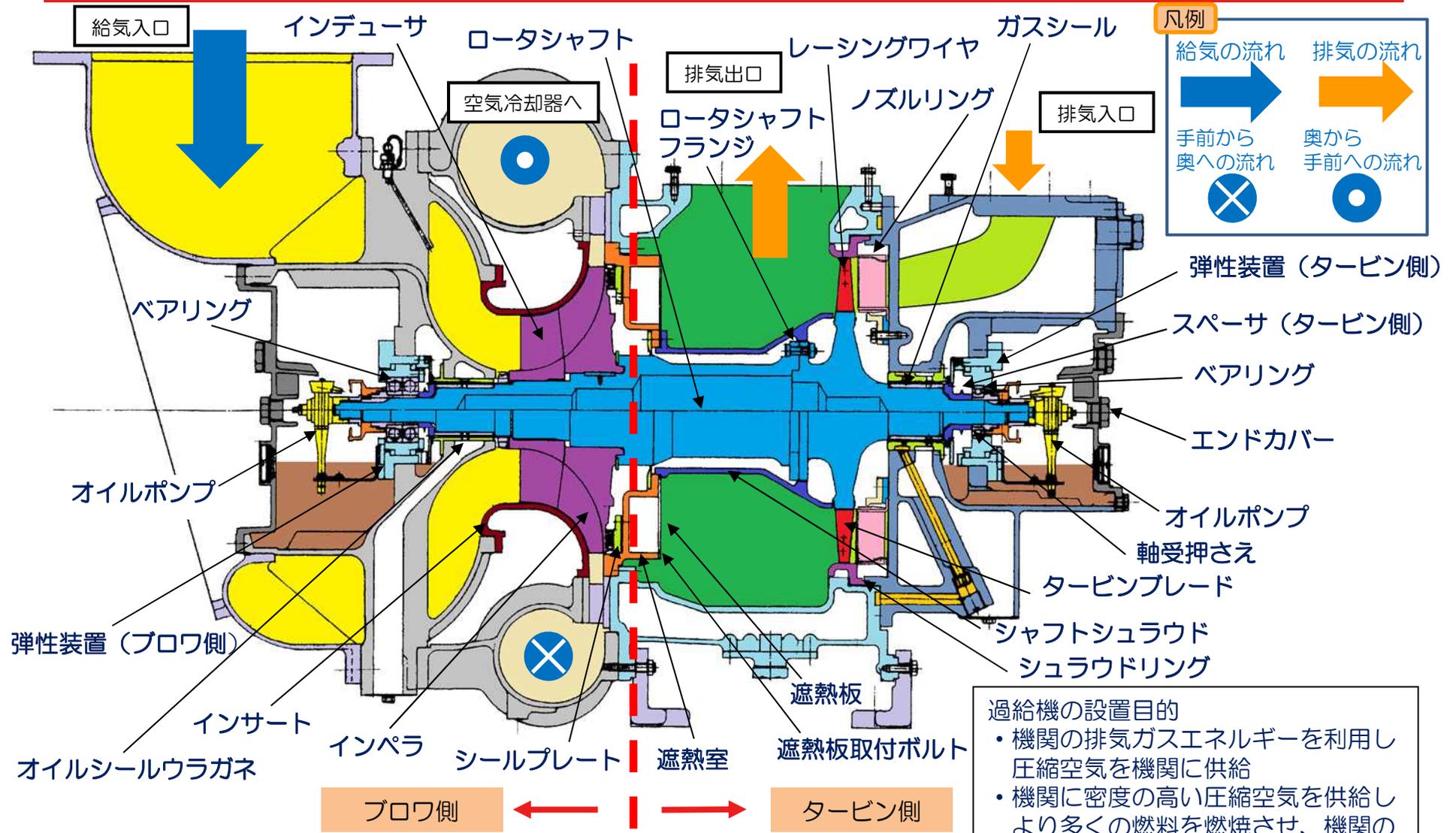
反カップリング側

上面図

本図はD/Gの給排気の流れを示す。
 当該D/G機関は給排気系がD/G機関の左右 (L側・R側)
 及び給気・排気にて分離 (給気分離型) されている。

D/G機関 構造図 (給排気系の空気の流れ)

1-6. 機器概要 (5/6) 過給機 構造図



過給機 構造図

過給機の設置目的

- ・機関の排気ガスエネルギーを利用し圧縮空気を機関に供給
- ・機関に密度の高い圧縮空気を供給しより多くの燃料を燃焼させ、機関の出力を向上させるもの

1-6. 機器概要 (6/6) 過給機の仕様

名 称		過給機
種 類	—	排気タービン式
圧 力	kg/cm ²	2.0 (最大連続回転時)
回転数	r p m	17000 (最大連続回転数)
個 数	—	2
寸法	m	約1×1×2 (高さ×幅×奥行き)
重量	kg	1650

2. 原因調査

1. 事象の概要

- 1-1. 非常用ディーゼル発電機（B）の出力低下と過給機軸固着
- 1-2. 当該D/G出力低下時の時系列
- 1-3. 過給機軸固着確認までの時系列
- 1-4. 運転上の制限を満足している判断について
- 1-5. 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則
第134条第3号への該当判断について
- 1-6. 機器概要

2. 原因調査

- 2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）
- 2-2. 事象の原因調査（過給機軸固着）
- 2-3. 工場調査結果
- 2-4. 破損片等による波及影響調査
- 2-5. 過給機における至近の点検記録
- 2-6. 過去の類似事象の調査
- 2-7. 調査状況まとめ

3. 調査状況と今後の対応

- 3-1. 過給機軸固着と発電機出力低下事象の関連性について
- 3-2. 過給機軸固着の推定メカニズム
- 3-3. 発電機出力低下の推定メカニズム
- 3-4. 調査状況まとめ
- 3-5. 調査スケジュール

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（1 / 20）

- ✓ D/Gの異常については異音及び出力低下が確認されたことから、機械系、電気系など幅広く故障モードを想定し要因分析を実施。

確認事象*	故障モード	要因		ページ番号
異音 発電機 出力低下	潤滑油系統異常	摺動部異常	【要因1】 摺動部抵抗大	P17
		回転部異常	【要因2】 回転部抵抗大	P18
	燃焼機関系統異常	特定シリンダの着火異常	【要因3】 燃料噴射ポンプの異常	P19
			【要因4】 過給機の異常	P20 ~22
	給排気系統異常	特定シリンダの圧力異常	【要因5】 圧縮圧力低下	P23
	制御系統異常	ガバナ異常	【要因6】 設定値異常	P24
			【要因7】 ガバナ動作異常	P25
	冷却水系統異常	制御系異常	【要因8】 温度調整弁の異常	P26
		機械系異常	【要因9】 ポンプの異常	P27
	発電機系統異常	監視系異常	【要因10】 計器単品異常	P28
			【要因11】 PT・CT異常/ヒューズ溶断	P29
		発電機主回路異常	【要因12】 受電遮断器の開放	P30
			【要因13】 主回路での地絡、短絡	P31
			【要因14】 AVR異常	P32
			【要因15】 界磁回路での地絡、短絡	P33
		系統異常	【要因16】 系統動揺	P34
	発電機異常	【要因17】 発電機の異常振動	P35	

※異音と発電機出力低下の他にD/G上部に灰色のもや、動弁注油タンク油面低警報が確認されたが、発電機出力低下とは直接関係ないため、今後推定メカニズムにあわせて整理する。

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（2/20）

【要因1】 摺動部抵抗大

- ✓ 潤滑油系統に異常を生じ、摺動部の抵抗が大きくなると、発電機出力低下の要因となる可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
クランクケースカバー開放による内部点検（目視点検）を実施し、ピストン、ライナーの動きを阻害する異物や著しい摺動傷の無いこと。	異常なし	P 1
カムケースカバー開放による内部点検（目視点検）を実施し、ローラガイドの動きを阻害する異物や著しい摺動傷の無いこと。	異常なし	P 1
シリンダヘッドカバー開放による内部点検（目視点検）を実施し、給排気弁の動きを阻害する異物や摺動傷の無いこと。	異常なし	P 1
潤滑油分析を実施し、潤滑油の性状に異常の無いこと。	異常なし	P 1
ターニングによる機関動作確認により、ピストン、ライナー、クランク軸、軸受、歯車、ローラガイド、給排気弁がスムーズに動作すること。	異常なし	P 1

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（3/20）

【要因2】回転部抵抗大

- ✓ 潤滑油系統に異常を生じ、回転部の抵抗が大きくなると、発電機出力低下の要因となる可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
クランクケースカバー開放による内部点検（目視点検）を実施し、クランク軸の動きを阻害する異物や著しい摺動傷の無いこと。	異常なし	P 2
カムケースカバー開放による内部点検（目視点検）を実施し、カム軸の動きを阻害する異物や著しい摺動傷の無いこと。	異常なし	P 2
シリンダヘッドカバー開放による内部点検（目視点検）を実施し、揺腕軸の動きを阻害する異物や著しい摺動傷の無いこと。	異常なし	P 2
潤滑油分析を実施し、潤滑油の性状に異常の無いこと。	異常なし	P 2
ターニングによる機関動作確認により、クランク軸、軸受、主軸受、カム軸、揺腕軸がスムーズに動作すること。	異常なし	P 2

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（4/20）

【要因3】燃料噴射ポンプの異常

- ✓ 燃料噴射ポンプに異常がある場合、燃焼機関系統に異常を生じ、発電機出力低下の要因となる可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
燃料噴射ラックの動作確認（各シリンダ）を実施し、引っ掛かり等の抵抗が無いこと。	異常なし	P3

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（5/20）

【要因4】過給機の異常（1/3）

- ✓ 過給機に異常がある場合、燃焼機関システムに異常を生じ、発電機出力低下の要因となる可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果についてはR側過給機に破損等の異常を確認し、潤滑油についても性状に異常はなかったが、潤滑油内に金属粉が確認。

点検内容及び判定基準	結果	参照 ページ番号
過給機エンドカバー開放による内部点検（目視点検）を実施し、軸受および回転体の動きを阻害する異物や著しい摺動傷の無いこと。	L側異常なし※1	添付資料 P4
	R側異常確認	本資料 P21
過給機ロータのハンドターニングにより、ロータがスムーズに動作すること。	L側異常なし	添付資料 P4
	R側異常確認	本資料 P21
潤滑油分析を実施し、潤滑油の性状の異常の無いこと。	L側異常なし	添付資料 P4
	R側異常なし※2	本資料 P22

※1 後の工場調査においてタービンブレード全周に接触痕、シュラウドリングに接触痕を確認

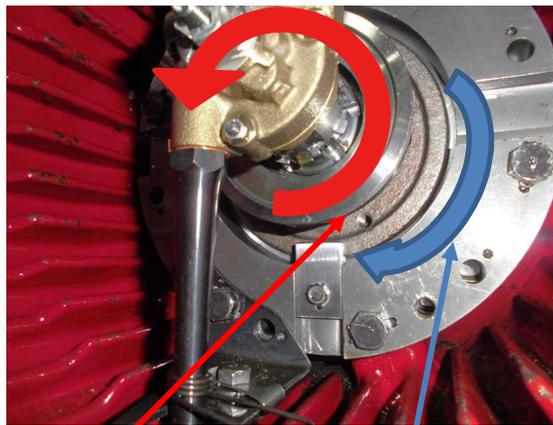
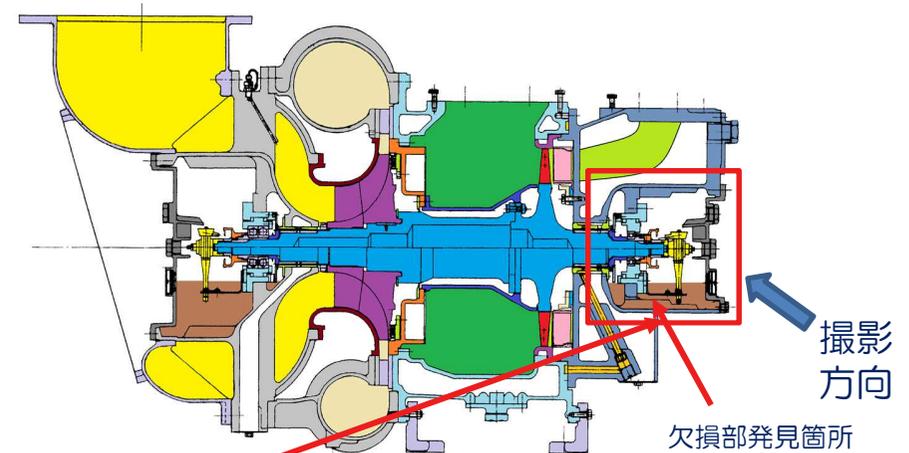
※2 潤滑油の性状については異常はなかったが、潤滑油内に金属粉は確認。

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（6/20）

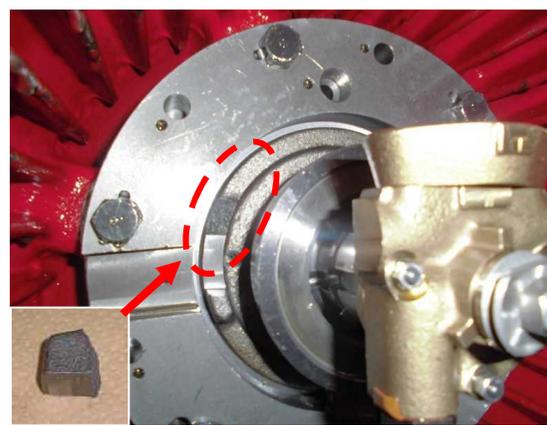
【要因4】過給機の異常（2/3）

対象：軸受押さえ回り止め部

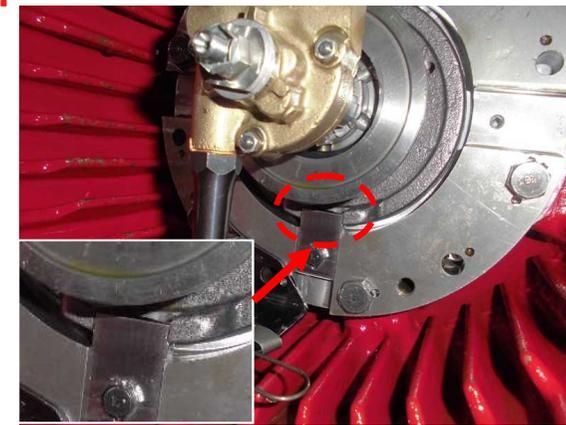
- ✓タービン側エンドカバー開放による内部点検にて軸受押さえ回り止め部に欠損を確認。
- ✓欠損により撮影方向から見て270度反時計周りに回転していることを確認（ロータと反対方向に回転）。
- ✓過給機ロータのハンドターニングにて軸固着を確認。



270度反時計
周りに回転 ロータ回転方向



欠損部



健全部 L側過給機

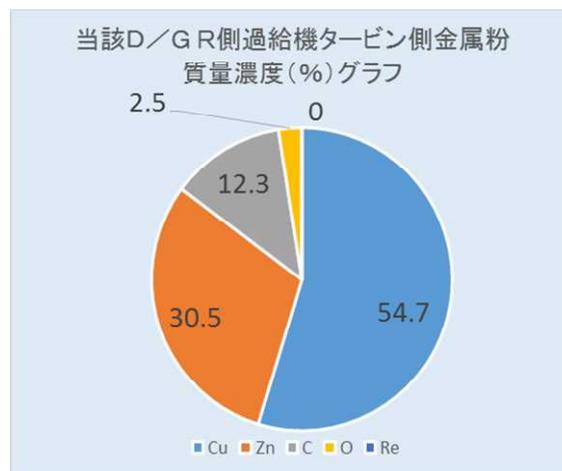
2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（7/20）

【要因4】過給機の異常（金属粉の分析結果）（3/3）

- ✓ 潤滑油への異物混入によるベアリングに損傷がある場合、軸受が損傷し、過給機軸固着の要因となる可能性があるため、分析を実施。
- ✓ 現在検出された金属粉を含有する部材・部品を調査し、発生源を調査中。

分析対象サンプル	測定日	分析方法	分析結果	想定される設備・機器
当該D/G R側過給機タービン側金属粉	2018年9月27日	SEM観察によるEDS	Cu: 54.7% Zn: 30.5% O: 2.5%	ベアリング保持器
当該D/G R側過給機ブロワ側金属粉	2018年9月27日	SEM観察によるEDS	Fe: 89.7% Cr: 1.5%	調査中 (成分から該当する設備なし)

(分析結果補足) 分析結果には他にCが検出されているが、バックグラウンドのため記載せず
(用語の説明) SEM観察：走査電子顕微鏡観察 EDS：エネルギー分散型X線分析



2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（8/20）

【要因5】圧縮圧力低下

- ✓ 圧縮圧力の低下がある場合、給排気系統に異常を生じ、発電機出力低下の要因となる可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
クランクケースカバー開放による内部点検（目視点検）を実施し、ピストン、ライナーに排ガスの漏れ跡が無いこと。	異常なし	P5

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（9/20）

【要因6】設定値異常

- ✓ ガバナの設定値に異常がある場合、制御系統に異常を生じ、発電機出力低下の要因となる可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
ロードリミット値、スピードループ値の確認を行い、誤設定となっていないか確認する。	異常なし	P6

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（10/20）

【要因7】ガバナ動作異常

- ✓ ガバナの動作に異常がある場合、制御系統に異常を生じ、発電機出力低下の要因となる可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
中央制御室の調整スイッチによるインチング操作、連続操作にて動作確認を実施し、追従性に異常の無いこと。	異常なし	P7
作動油を#200メッシュにて濾し、ガバナ動作を阻害する異物が無いこと。	異常なし	P7

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（11 / 20）

【要因8】温度調整弁の異常

- ✓ 定例試験記録より、当該D / G停止までは正常に冷却水が温度制御されており、異常は確認されていないことに加え、冷却水の制御系異常が発電機出力低下の要因となる可能性は低いが、念のため温度調整弁について、分解点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
温度調整弁の分解点検により、エレメントが設定温度範囲にて動作すること、および必要リフト量が確保されていること。	異常なし	P8

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（12/20）

【要因9】ポンプの異常

- ✓ 定例試験記録より、当該D/G停止までは正常に冷却水が温度制御されており、異常は確認されていないことに加え、冷却水の制御系異常が発電機出力低下の要因となる可能性は低いが、念のため冷却水ポンプの動作確認（機関ターニングと同時動作確認）を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
ターニングによる機関動作確認により、冷却水ポンプが機関ターニングと同時動作および異音の無いこと。	異常なし	P9

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（13/20）

【要因10】計器単品異常

- ✓ 中央制御室に設置している電力計に異常がある場合、誤った発電機出力を示す可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
中央制御室に設置している電力計について、電圧及び電流を模擬入力した際の電力指示値の誤差率が、管理値以内であること。	異常なし	P10

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（14/20）

【要因11】PT・CT異常、ヒューズ溶断

- ✓ 中央制御室に設置している電力計、過渡現象記録装置へ信号を出力する回路上で異常がある場合、誤った発電機出力を示す可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
計器用変圧器（PT）、計器用変流器（CT）の目視点検を実施し、変色が無いこと。	異常なし	P11
ヒューズの確認を行い、溶断の無いこと。	異常なし	P11

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（15/20）

【要因12】受電遮断器の開放

- ✓ 受電遮断器の意図しない開放がある場合、発電機出力低下の要因となる可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
運転員への聞き取り及び過渡現象記録装置のトレンドを確認し、受電遮断器の意図しない開放が無いこと。	異常なし	P 1 2
受電遮断器の手動及び電動操作試験を行い、受電遮断器動作に異常の無いこと。	異常なし	P 1 2

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（16/20）

【要因13】主回路での地絡、短絡

- ✓ 主回路上に地絡、短絡が発生した場合、発電機出力低下の要因となる可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
地絡、短絡が発生していないことを確認するため、発電機の絶縁抵抗測定、巻線抵抗測定を行い、絶縁抵抗値は管理値以上、巻線抵抗値は管理値以内であること。	異常なし	P13、14

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（17/20）

【要因14】AVR（自動電圧調整器）異常

- ✓ AVRに異常がある場合、発電機の制御不良により、発電機出力低下の要因となる可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
発電機の実出力電圧を模擬入力し変化させ、検出電流及び界磁制御の実出力電圧が所定の特性範囲内であること。	異常なし	P15

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（18/20）

【要因15】界磁回路での地絡、短絡

- ✓ 界磁回路上に地絡、短絡が発生した場合、発電機出力低下の要因となる可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
地絡、短絡が発生していないことを確認するため、界磁回路の絶縁抵抗測定、巻線抵抗測定を行い、絶縁抵抗値は管理値以上、巻線抵抗値は管理値以内であること。	異常なし	P16

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（19/20）

【要因16】系統動揺

- ✓ 系統動揺が発生している場合、発電機系統に異常を生じ、発電機出力低下の要因となる可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし。

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
過渡現象記録装置のトレンドを確認し、系統電圧、系統周波数に系統動揺が無いこと。	異常なし	P17

2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）（20/20）

【要因17】 発電機の異常振動

- ✓ 発電機に異常振動がある場合、回転部の機械的な異常により、発電機出力低下の要因となる可能性があることから以下の点検を実施。
- ✓ 点検結果については異常なし

点検内容及び判定基準	結果	添付資料 ページ番号
カップリング嵌合部の目視点検を実施し、緩みの無いこと。	異常なし	P18
発電機基礎ボルトの目視点検を実施し、緩みの無いこと。	異常なし	P18
速度検出器の目視点検を行い、歯車と速度検出器の接触が無いこと。	異常なし	P18
ブラシホルダー、コレクターリングの目視点検を実施しブラシホルダーとコレクターリングの接触が無いこと。	異常なし	P18
ターニングによる動作確認を実施し、異音、異常振動の無いこと。	異常なし	P18
軸受部上蓋開放確認を実施し、軸受部に運転上支障となる摩耗・損傷の無いこと。	異常なし	P18
発電機エアギャップの異常による回転子と固定子の接触が無いことを確認するため、主回路および界磁回路の絶縁抵抗測定、巻線抵抗測定を行い、絶縁抵抗値は管理値以上、巻線抵抗値は管理値以内であること。	異常なし	P18、19

2-2. 事象の原因調査（過給機R側軸固着）

- ✓ 過給機の軸固着が確認されたことから、軸固着を起こしうる故障モードについて要因分析を実施。
- ✓ 過給機を工場に搬出し詳細な点検を行い、事象発生の要因とメカニズムを特定する。

確認事象	故障モード	要因		参照 ページ番号
過給機ロータの ハンドターニング 【R側軸固着確認】	回転体の異常	タービンブレードと シュラウドとの接触	タービンブレード異常	P 37
			レーシングワイヤ異常	P 38
		タービンブレードと ノズルリングとの接触	ノズルリングの異常	P 39
			異物飛び込みによるノズル損傷	P 39
		インペラと ケースとの接触	インペラの異常	P 40、41
			異物飛び込みによるインペラ損傷	P 40、41
	軸受の異常	ベアリングの異常	ロータ軸偏心	—
			シール部品の脱落	—
			ベアリング摩耗	P 42
			潤滑油不良	—
		潤滑油の劣化、油量不足	—	
潤滑油への異物混入	—			
構成部品の緩み、異常	部品の脱落	—		

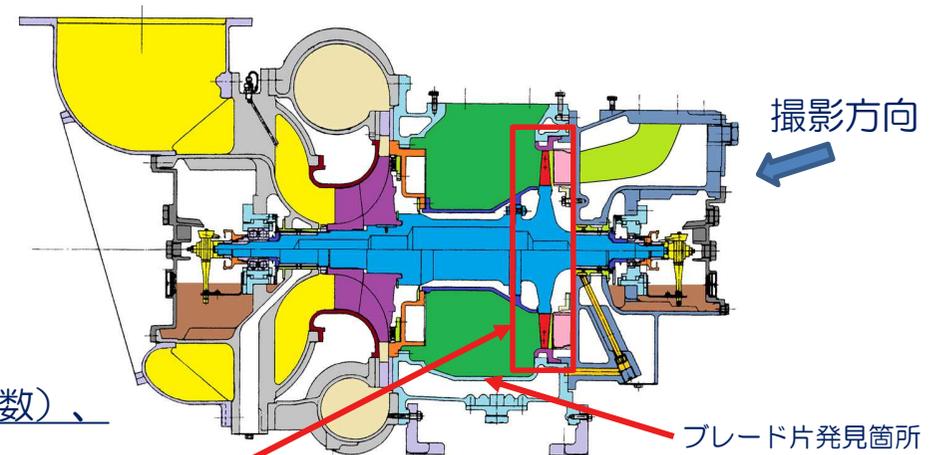
2-3. 工場調査結果 (1 / 19)

対象：タービンブレード

- ✓タービンブレード（0時方向）1枚がファツリー部より折損
- ✓折損部から反時計方向にブレード4枚先端部変曲
- ✓1～5時方向の先端部に接触痕を確認
（回転方向：撮影方向から時計回り）

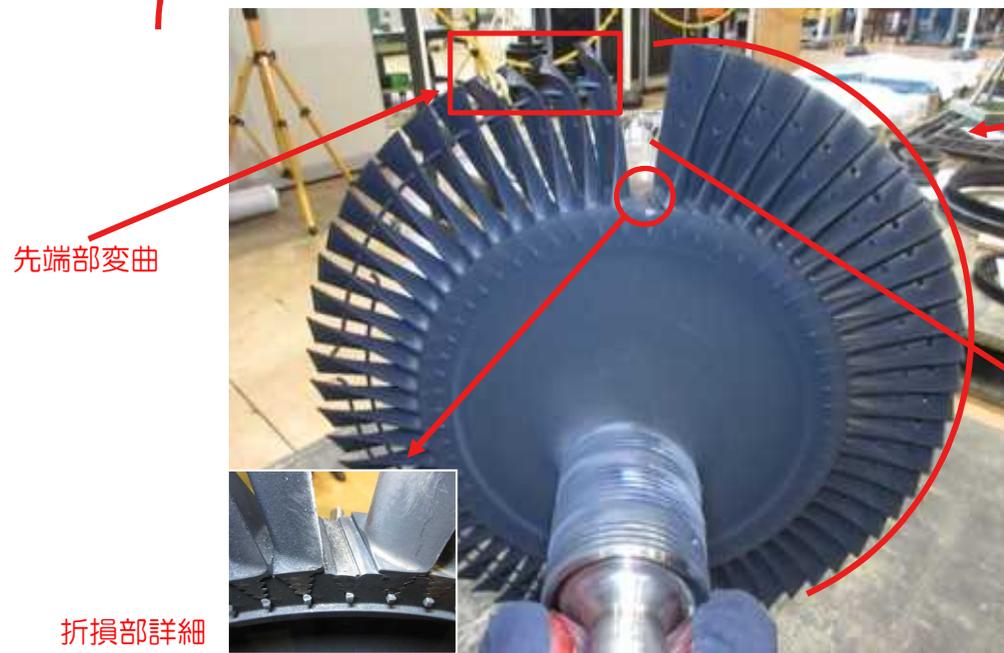
【残りの調査内容】

- タービンブレードの破面分析、浸透探傷検査（全数）、応力解析
- タービンブレードワイヤー孔の外観点検



タービンブレード

回転するロータシャフトディスク外周部に取り付けられるタービンの翼。燃焼ガスのエネルギーを回転エネルギーに変換するための部品。



接触痕



折損したブレード片

TEPCO

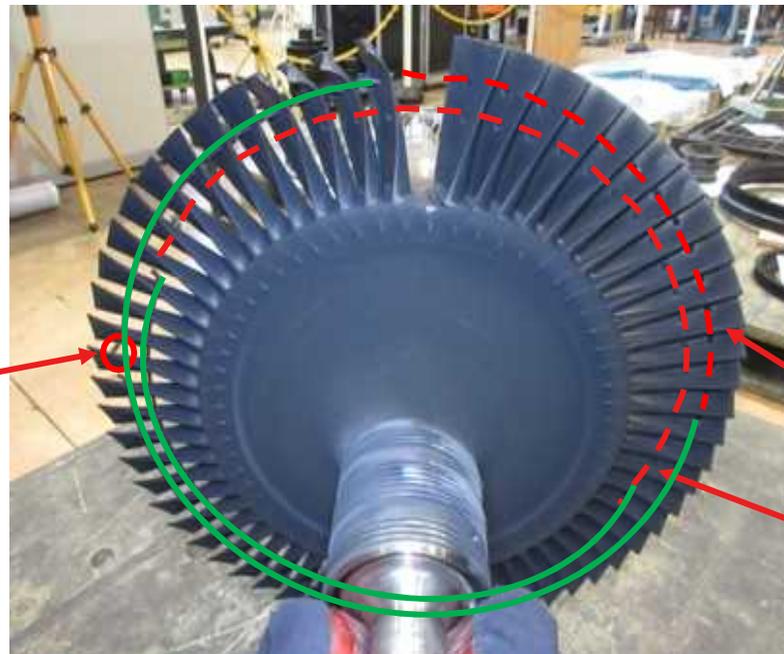
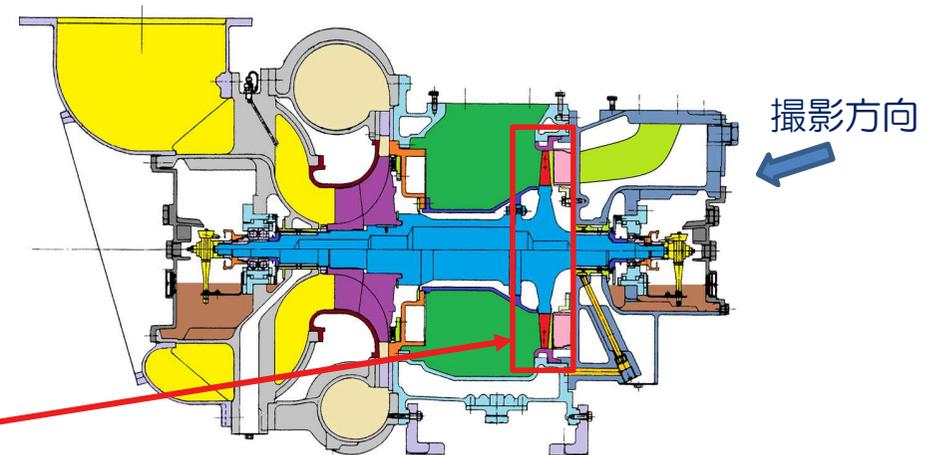
2-3. 工場調査結果 (2/19)

対象：レーシングワイヤ

- ✓ 外周0～3時方向の脱落を確認
(ブレード16/■枚)、9時方向の
止端部折損
- ✓ 内周10～4時方向の脱落を確認
(ブレード30/■枚)
(回転方向：撮影方向から時計回り)

【残りの調査内容】

- レーシングワイヤの破面分析



レーシングワイヤ

タービンブレードの翼振動を低減させるために装着している部品。

レーシングワイヤは内周・外周共に2本のワイヤで一周させている。(計4本)

外周レーシングワイヤ
赤色点線部が脱落、緑色部は残存部位

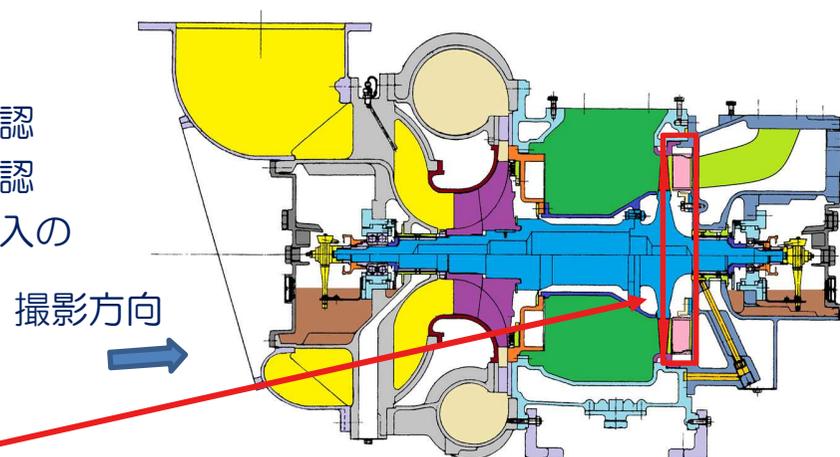
内周レーシングワイヤ
赤色点線部が脱落、緑色部は残存部位

止端部折損

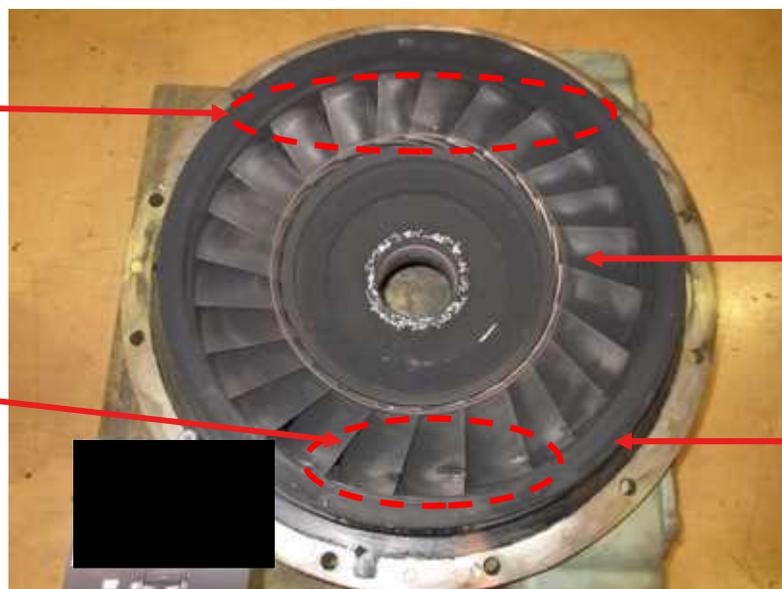
2-3. 工場調査結果 (3/19)

対象：ノズルリング（タービンブレード側）

- ✓ 9時～2時方向に接触痕（小さい傷）を確認
- ✓ 4時～7時方向に接触痕（大きい傷）を確認
- ✓ 排気入口側に接触痕はないことから異物混入の痕跡なし



接触痕（小さい傷）



接触痕（大きい傷）

ノズルリング

タービンブレードの手前で排気ガスの流路を狭めて速度エネルギーを高める部品。このノズルをリング状にしたものをノズルリングという。

ノズルリング

シュラウドリング

2-3. 工場調査結果 (4/19)

対象：インデューサ、インペラ

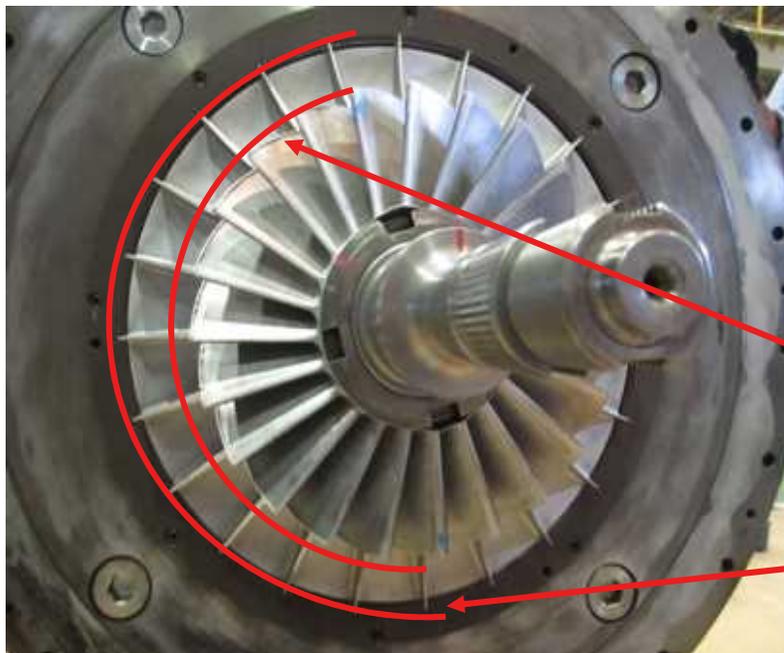
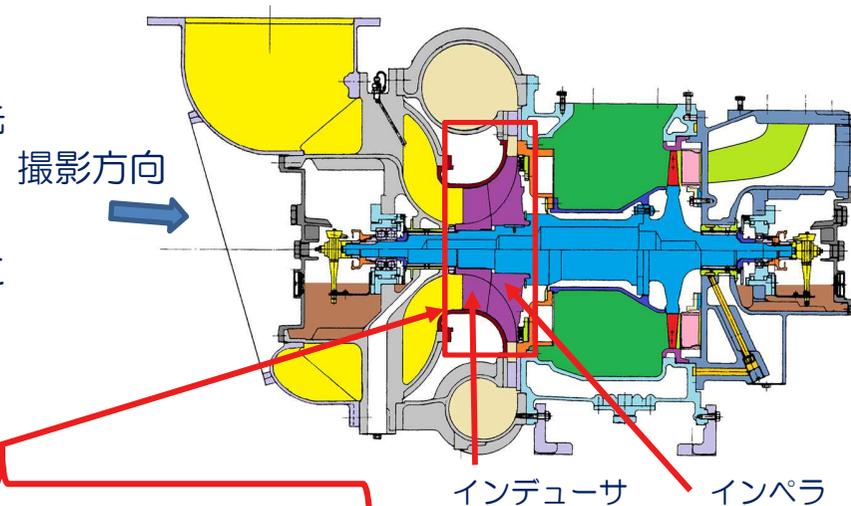
✓ インデューサ先端部、6～11時方向の先端部に接触痕を確認

インデューサ (12 / ■枚)

✓ インペラ先端部6～11時方向の先端部に接触痕を確認

インペラ (11 / ■枚)

(回転方向：撮影方向から反時計回り)



インデューサ

遠心ファンの効率を上げるために軸方向からの流入を遠心方向にスムーズに導く前置羽根。

インペラ

タービンの駆動力で回転し、圧縮空気を内燃機関に供給するための部品。

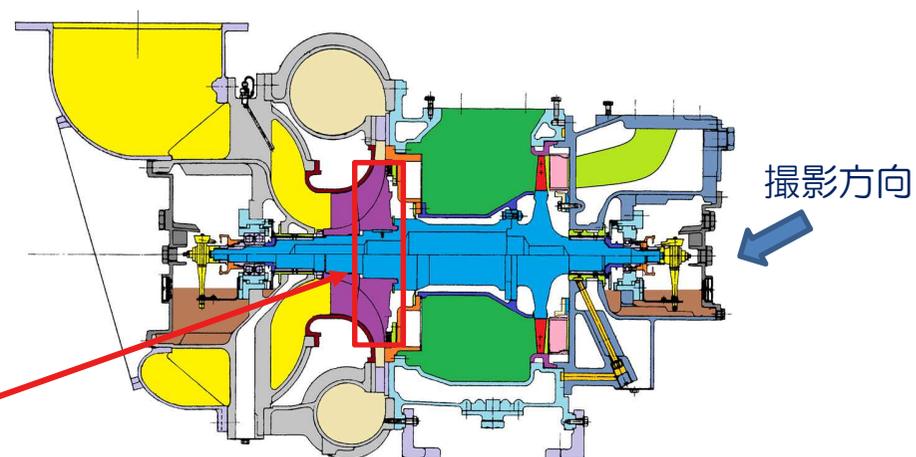
インデューサ接触痕

インペラ接触痕

2-3. 工場調査結果 (5/19)

対象：インペラ

- ✓ インペラ背面に無数の打痕を確認
(回転方向：撮影方向から時計回り)



インペラ

タービンの駆動力で回転し、圧縮空気を内燃機関に供給するための部品。

赤線の円環範囲内に無数の打痕

写真はインペラ背面を撮影

2-3. 工場調査結果 (6/19)

対象：ベアリング（タービン側）

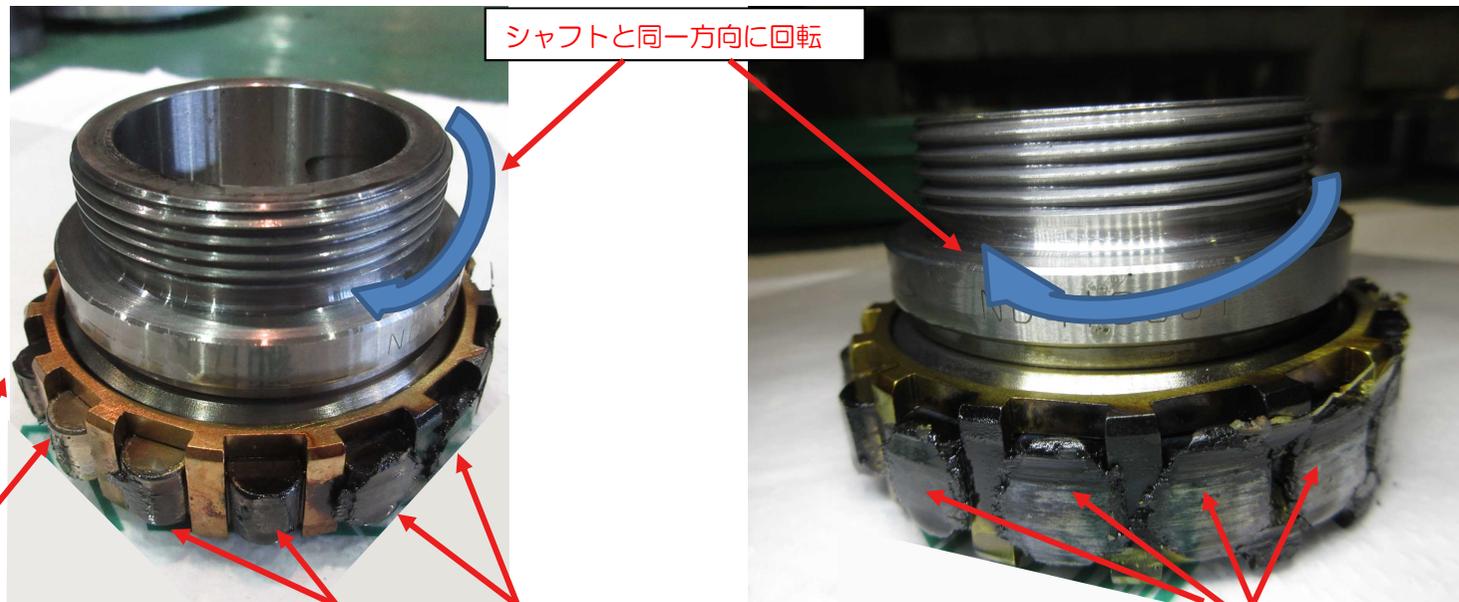
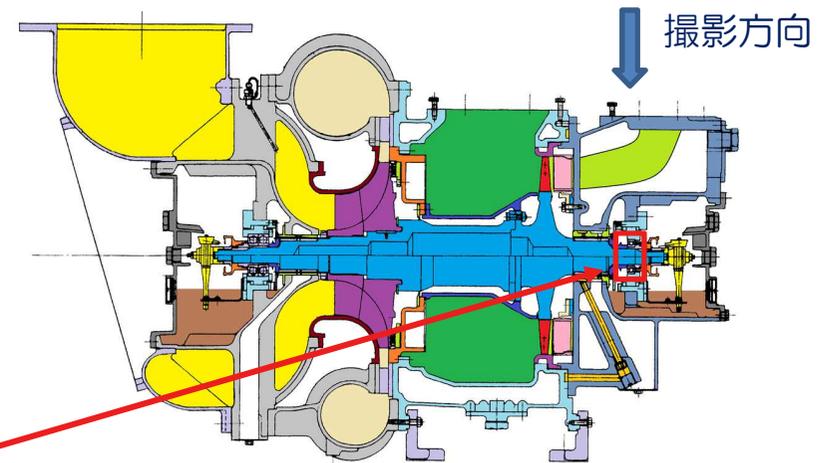
- ✓ ローラベアリング（8/■個）に極端な片減り、潰れと保持器の変形を確認

【残りの調査内容】

- 損傷状態の観察、部品寸法異常の有無

ベアリング

軌道輪（内輪と外輪）、転動体（玉又はころ）及び保持器から構成され、回転や往復運動する相手部品に接して荷重を受け、軸などを支持して円滑な運動をさせる部品。



正常箇所

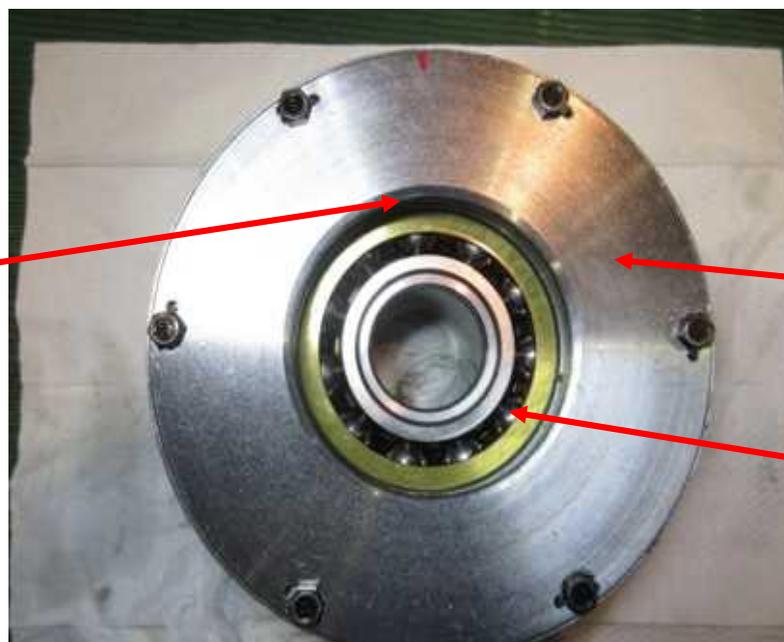
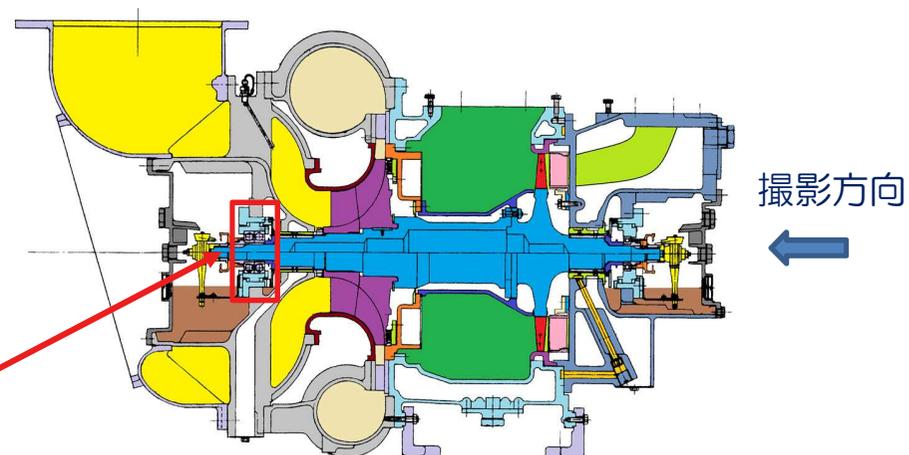
片減り・潰れ

潰れ

2-3. 工場調査結果 (7/19)

対象：弾性装置（ブロウ側）

✓ オイルシールプレートに接触摩耗痕を確認



弾性装置

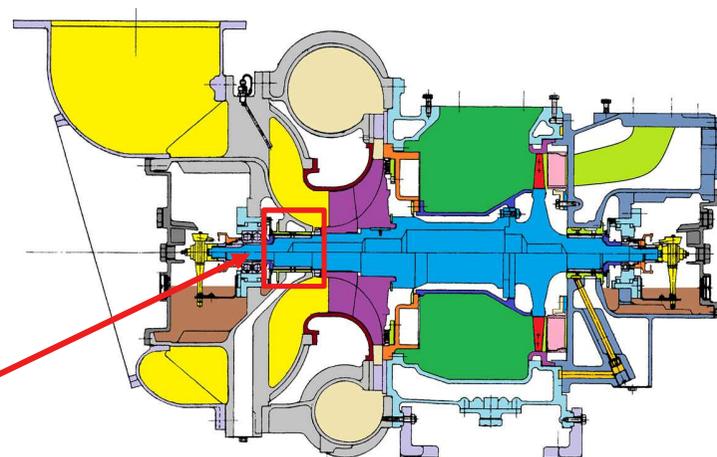
ロータ軸の防振のため、軸受外環の外側を支持する装置。ベアリング及びオイルシールプレート等の複数の部品から構成される。

2-3. 工場調査結果 (8/19)

対象：オイルシールウラガネ

- ✓ オイルシールウラガネ内側に割れを確認
(0、3、6、9時方向に割れを確認)

撮影方向
→



割れ

オイルシールウラガネ

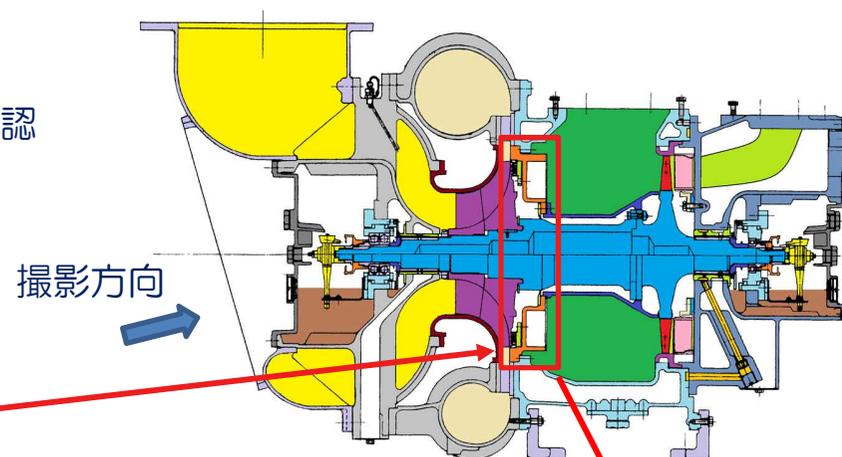
潤滑油がフロア側へ流入するのを防ぐための部品。

写真は空洞部から撮影

2-3. 工場調査結果 (9/19)

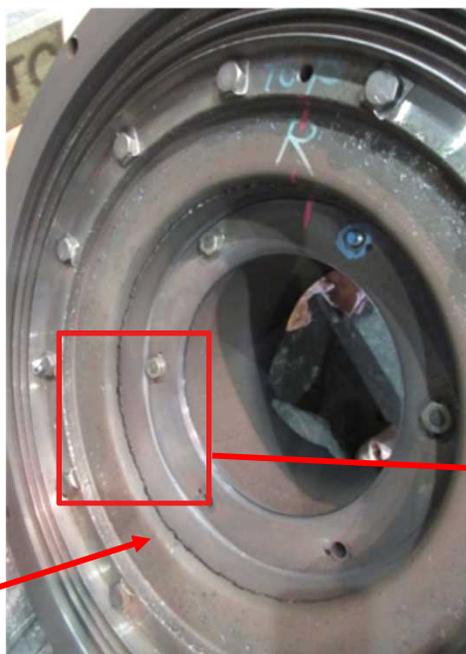
対象：遮熱室

✓ 内側全周に割れ、表面に無数の接触痕を確認



遮熱室

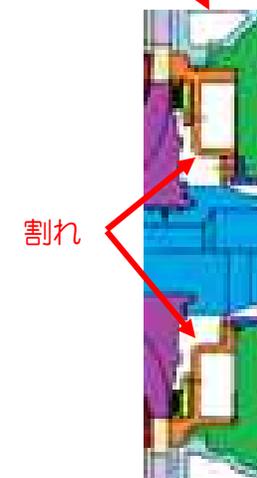
タービン側とフロア側のために設置し、シリンダからの排気ガスの排熱が伝達しないよう空洞を設けて遮熱している。



全周に割れ



拡大写真



割れ

拡大図

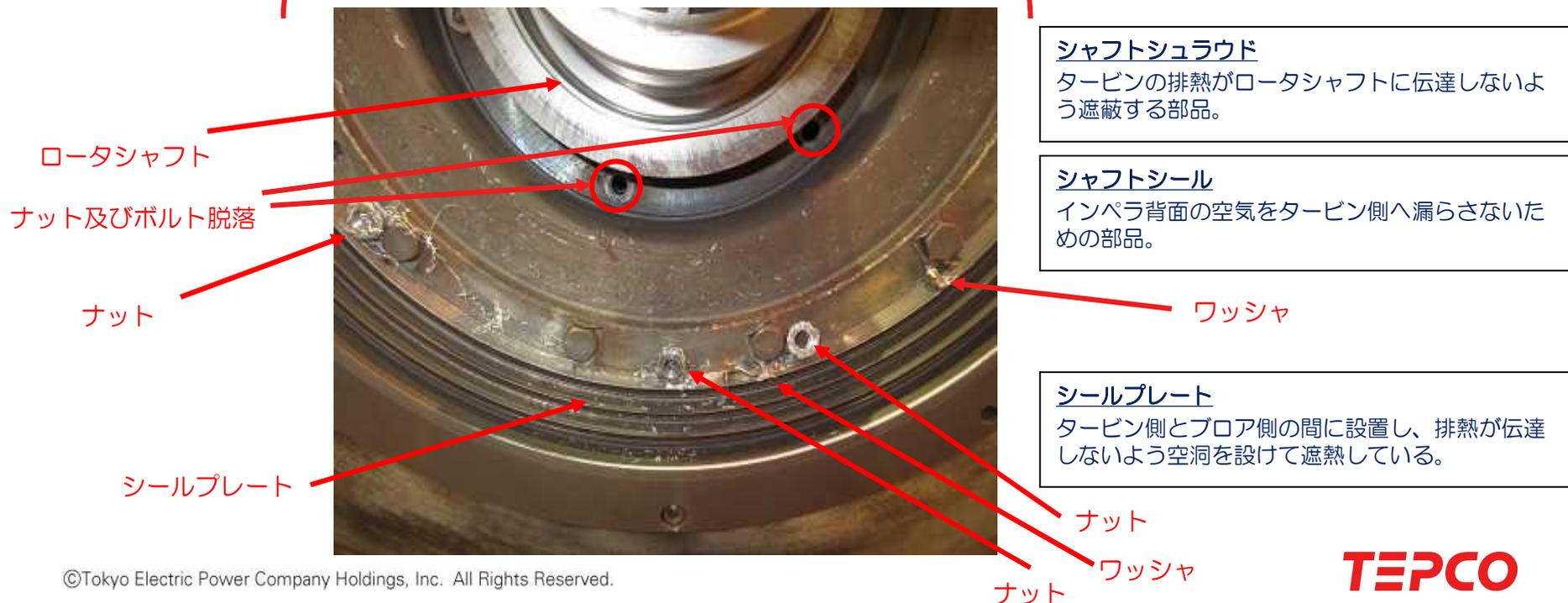
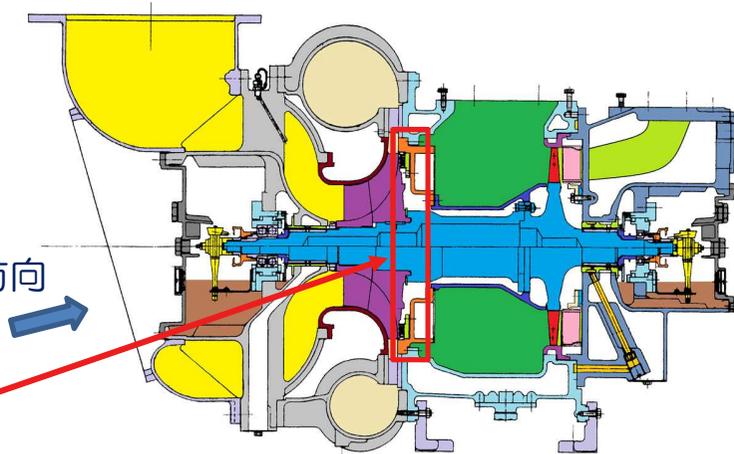
TEPCO

2-3. 工場調査結果 (10/19)

対象：シャフトシュラウド・シャフトシール固定用ナット、ワッシャ

- ✓ シャフトシュラウド・シャフトシール固定用ナット、ワッシャの脱落を確認 (3/■個)
- ✓ シャフトシュラウド・シャフトシール固定用ボルトの脱落を確認 (2/■個)
- ✓ 金属くずを確認

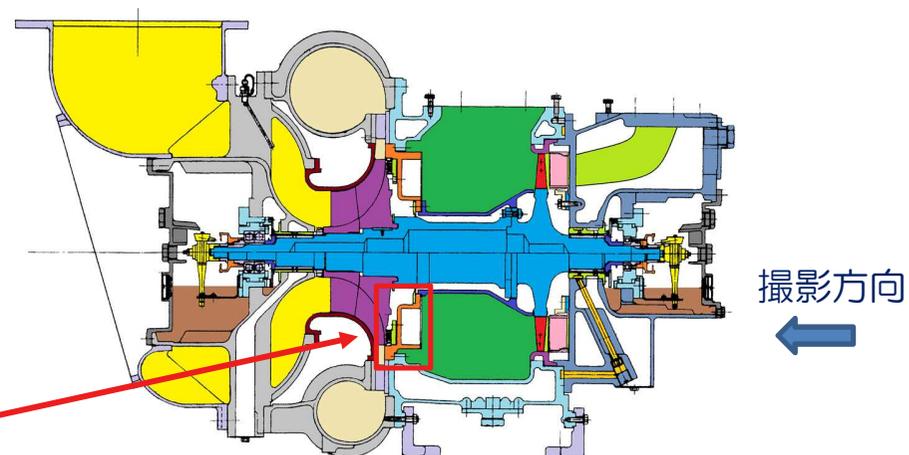
撮影方向



2-3. 工場調査結果 (11/19)

対象：遮熱板取付ボルト

✓ 遮熱板取付ボルト (7/■本) に緩みを確認



シャフトシュラウド

ボルト緩み

遮熱版

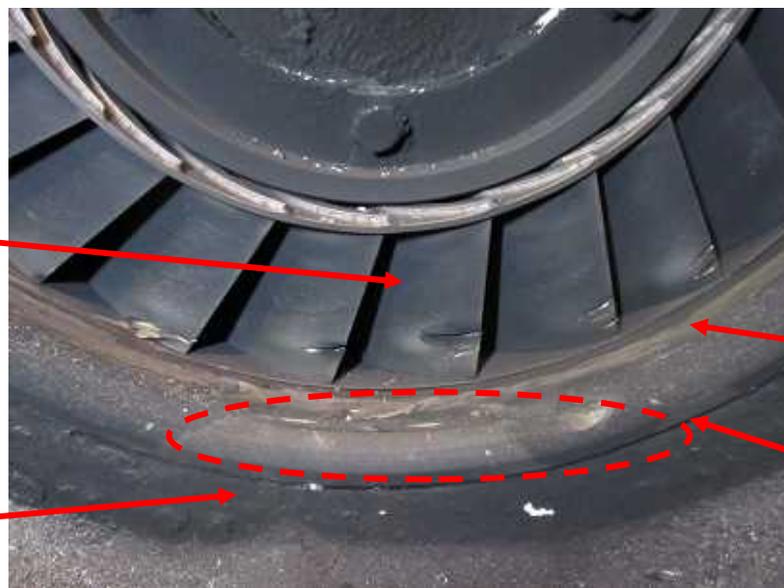
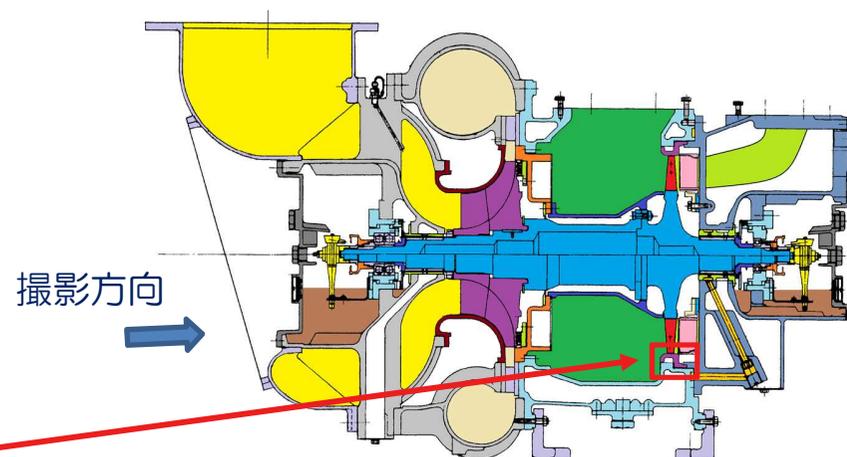
タービン側とフロア側の間に設置し、排熱が伝達しないよう空洞を設けて遮熱している。

遮熱板

2-3. 工場調査結果 (12/19)

対象：シュラウドリング

- ✓ 内径部全周に接触痕を確認
- ✓ 6時方向に打痕を確認



シュラウドリング

タービンブレードの外周を取り囲む円環状の部品で、タービンブレードを通る排気ガスの流路を形成する。

シュラウドリング

ノズルリング

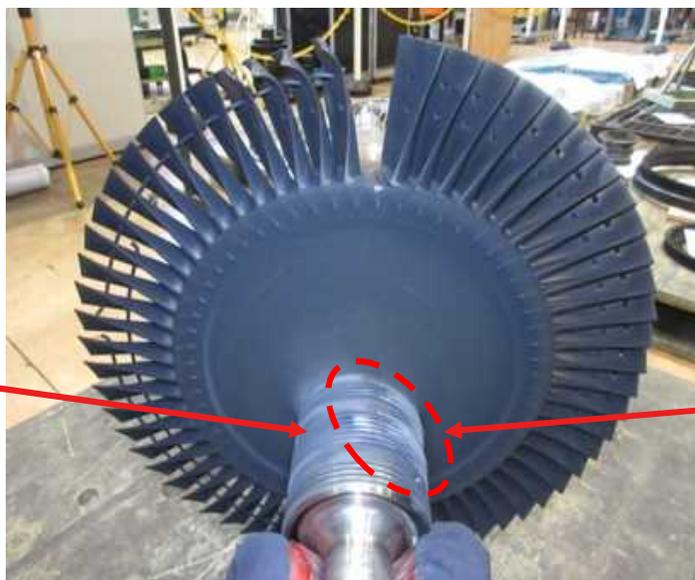
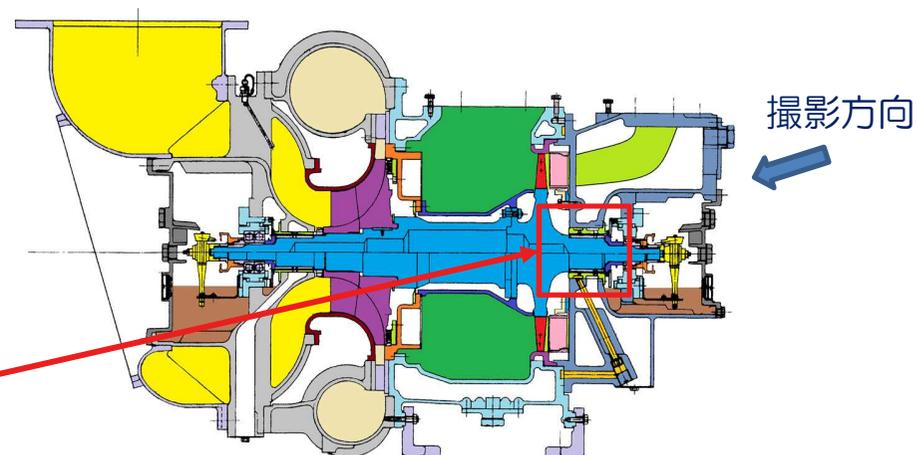
接触痕

打痕

2-3. 工場調査結果 (13/19)

対象：ガスシール

- ✓ 外周部1～5時方向に接触痕（変形）を確認
（回転方向：撮影方向から時計回り）



ガスシール

排気ガスがベアリングケース内へ流入するのを防ぐための部品。

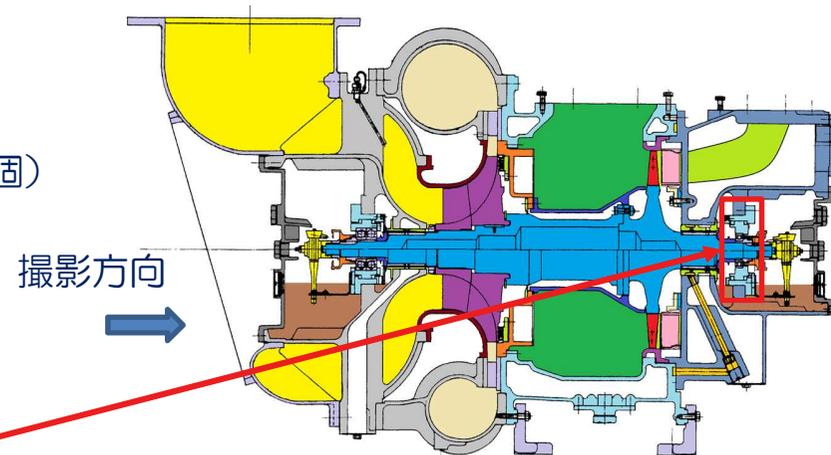
ガスシール

接触痕

2-3. 工場調査結果 (14/19)

対象：弾性装置（タービン側）

- ✓ オイルシールプレートに接触摩耗痕を確認
- ✓ オイルシールプレート取付ボルト（6/■個）に緩みを確認
- ✓ ローラベアリング外輪嵌め合い部の全周に隙間を確認

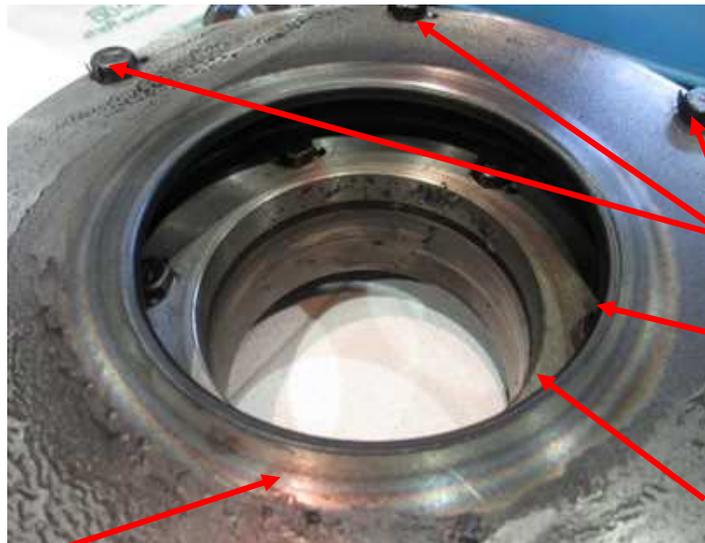


弾性装置

ロータ軸の防振のため、軸受外環の外側を支持する装置。ベアリング及びオイルシールプレート等の複数の部品から構成される。

オイルシールプレート

潤滑油がタービン側やプロア側への流入するのを防ぐための部品。

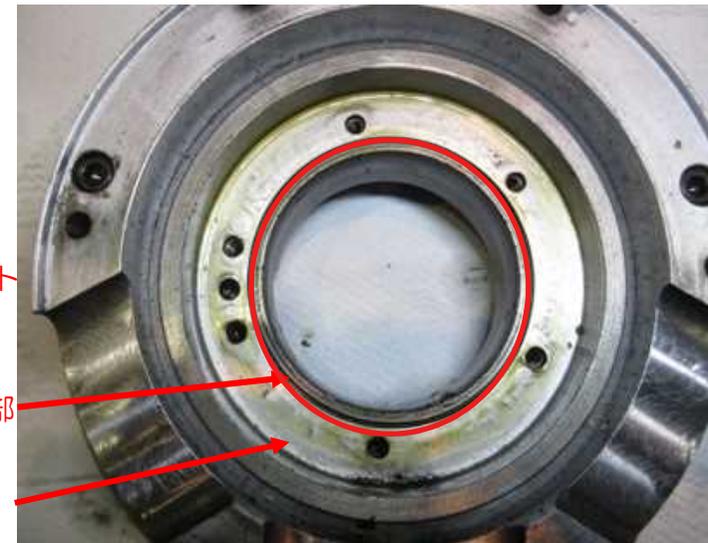


取付ボルト

摩耗痕

嵌め合い部

弾性装置

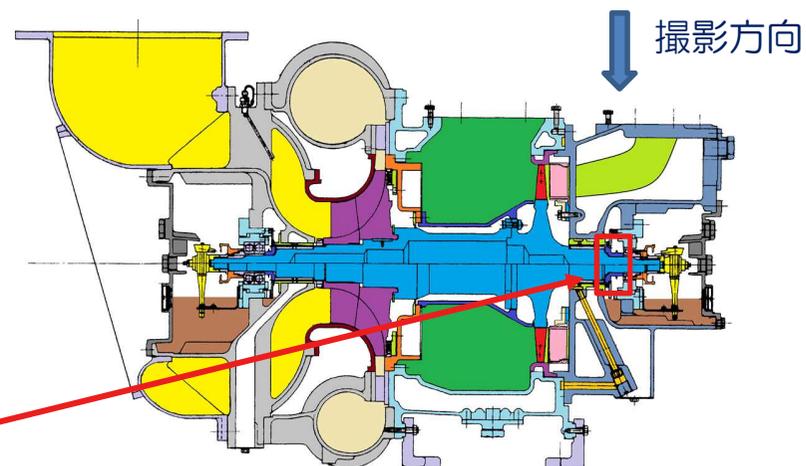


オイルシールプレート

2-3. 工場調査結果 (15/19)

対象：スパーサ（タービン側）

- ✓ 外周部がテンパーカラー（酸化皮膜）に変色、
2～6時方向に摩耗痕を確認



スパーサ（タービン側）

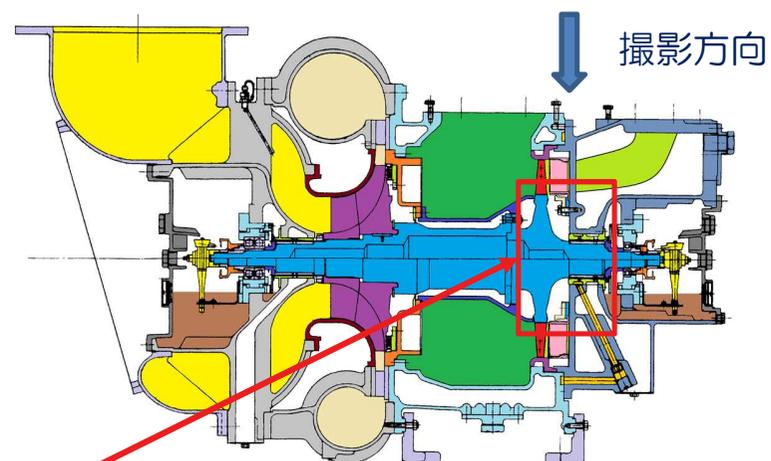
タービン側軸受とロータシャフトの間に固定する部品。

摩耗痕

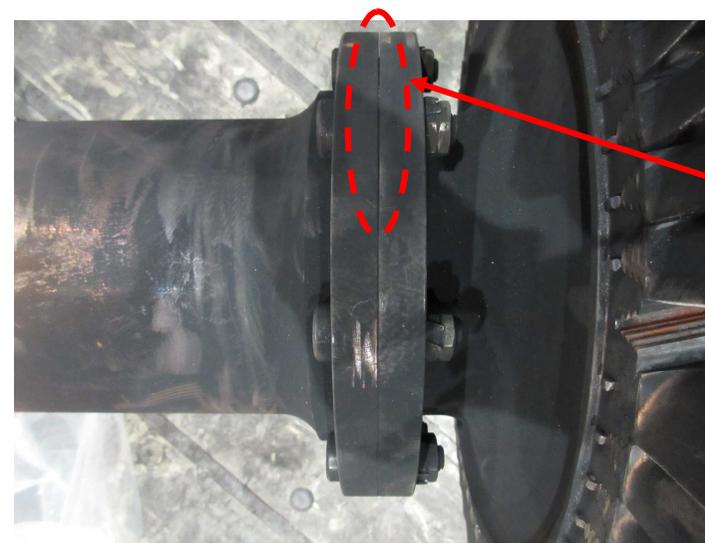
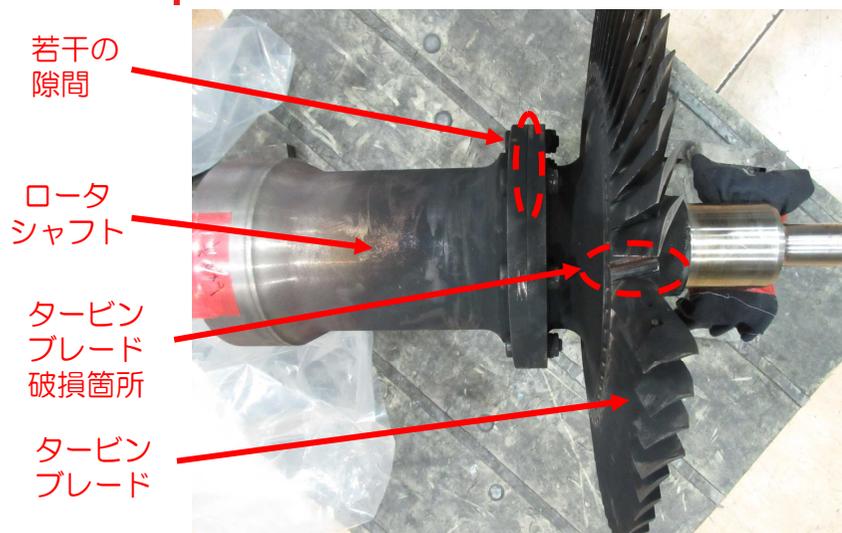
2-3. 工場調査結果 (16/19)

対象：ロータシャフト

- ✓ロータシャフトフランジ部に0～6時方向に最大0.5mm程度の隙間を確認（ボルトに緩みなし）



ロータシャフト
タービンブレードとインペラを結合する回転軸。

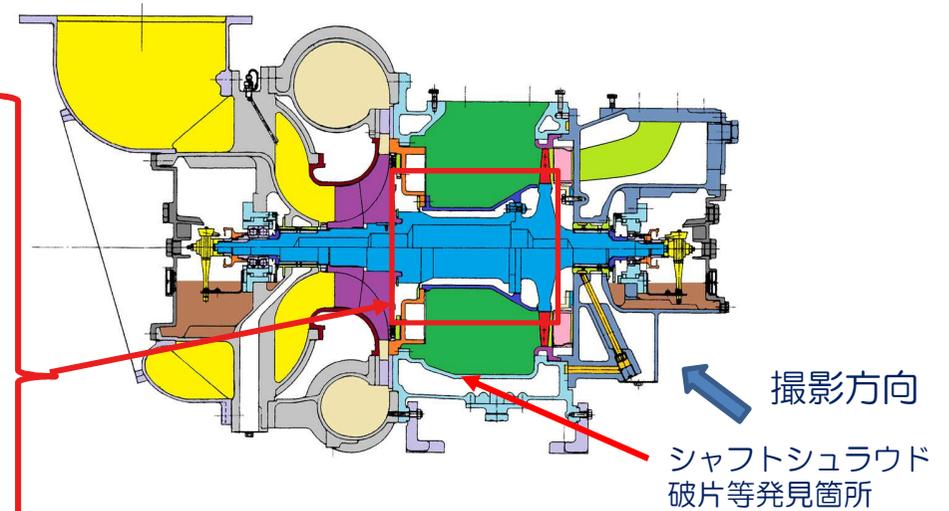
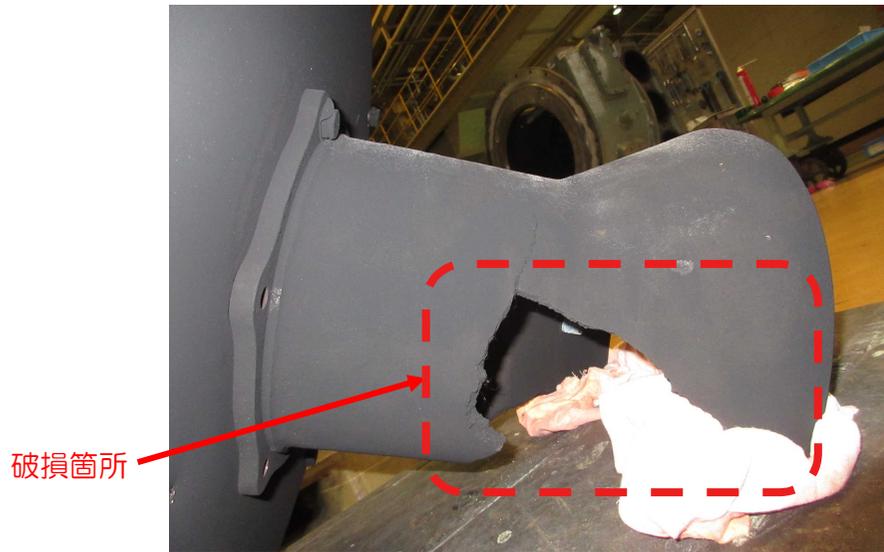


左図の拡大図

2-3. 工場調査結果 (17/19)

対象：シャフトシュラウド

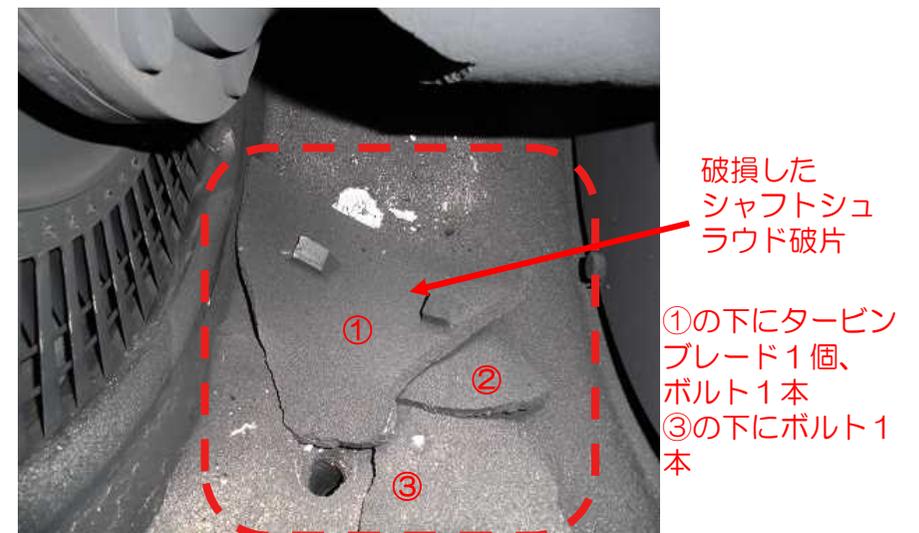
✓ シャフトシュラウド下部の破損を確認



シャフトシュラウド
タービンの排熱がロータシャフトに伝達しないよう
遮蔽する部品。



上図の別角度

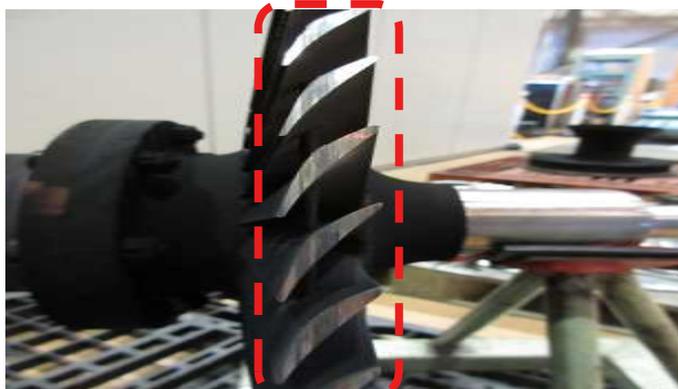


(ケーシング内初回確認時写真)

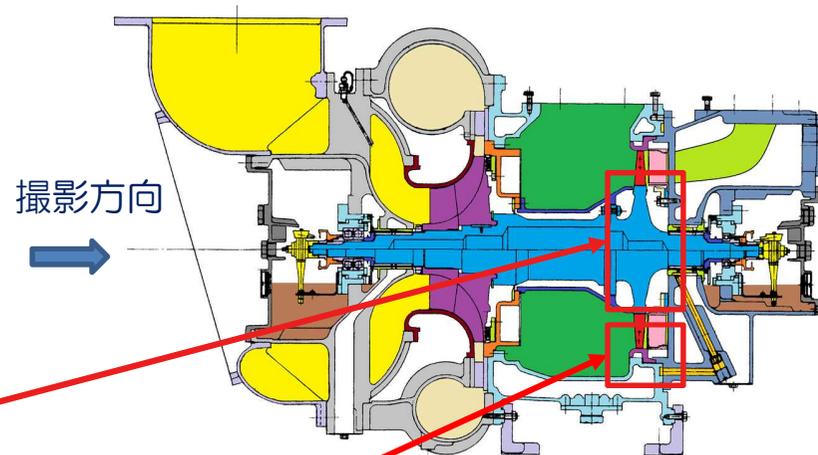
2-3. 工場調査結果 (18/19)

対象：L側過給機破損箇所

- ✓タービンブレード全周に接触痕を確認
- ✓シュラウドリング6時方向に接触痕を確認
(回転方向：撮影方向から反時計回り)

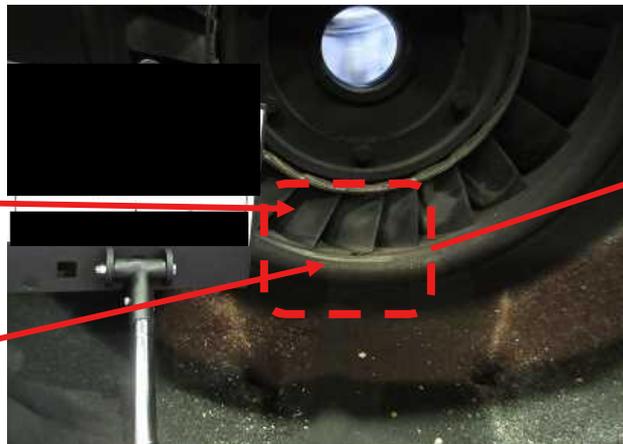


タービンブレード全周に接触痕



タービンブレード

回転するロータシャフトディスク外周部に取り付けられるタービンの翼。燃烧ガスのエネルギーを回転エネルギーに変換するための部品。



ノズル
リング

シュラウド
リング



シュラウドリング

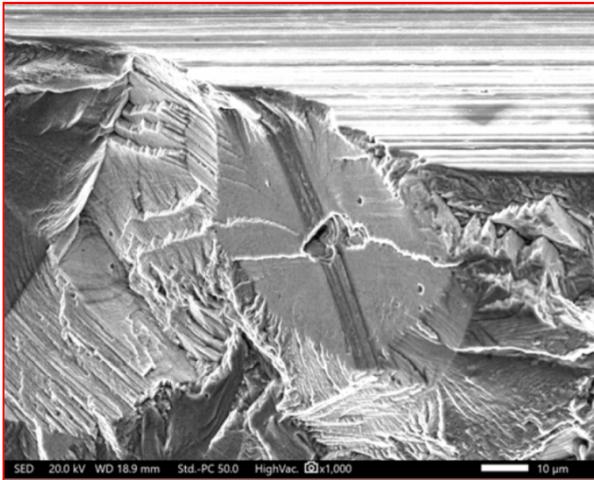
タービンブレードの外周を取り囲む円環状の部品で、タービンブレードを通る排気ガスの流路を形成する。

シュラウドリング
接触痕

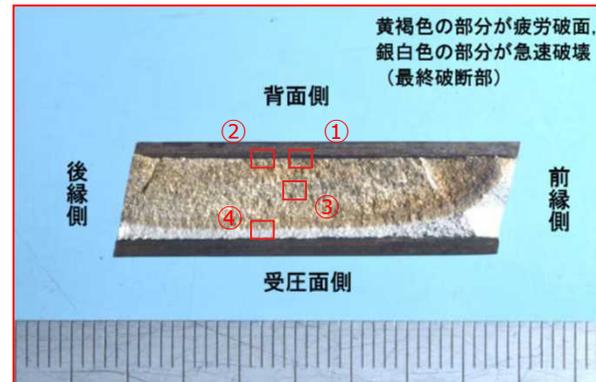
工場調査においてL側過給機にも異常が確認されているが、発電機出力低下のメカニズム調査と並行して、異常の原因を確認中。(その他については現時点で異常なし)

2-3. 工場調査結果（破面観察状況）（19/19）

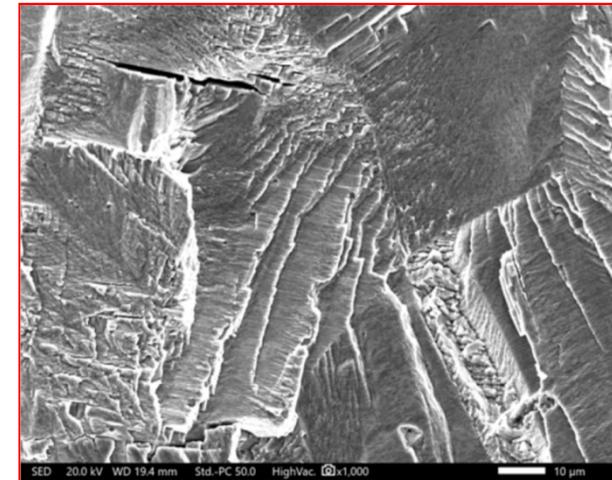
- ✓ファツリー部の谷部における中央付近に起点部を観察。
- ✓ファツリー部の破断面に疲労破壊時に形成されるストライエーション状の模様、最終破断面と思われる箇所に延性破壊時に形成されるディンプル模様を観察。



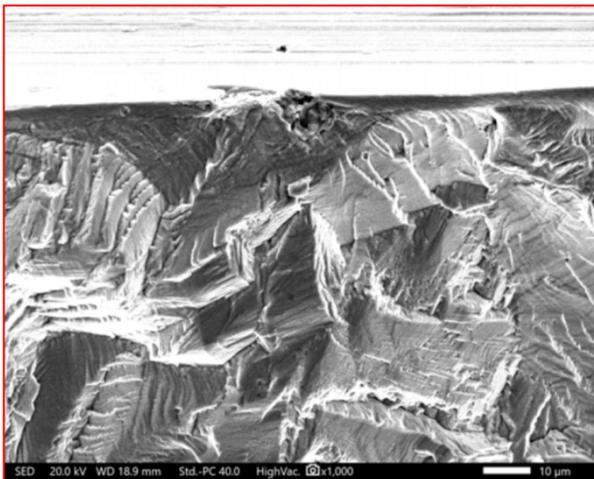
①起点部



折損ブレードファツリー部破面外観



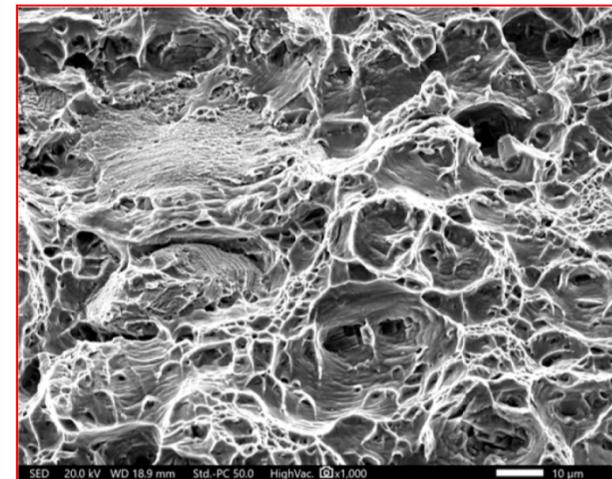
③ストライエーション状の模様を観察



②起点部



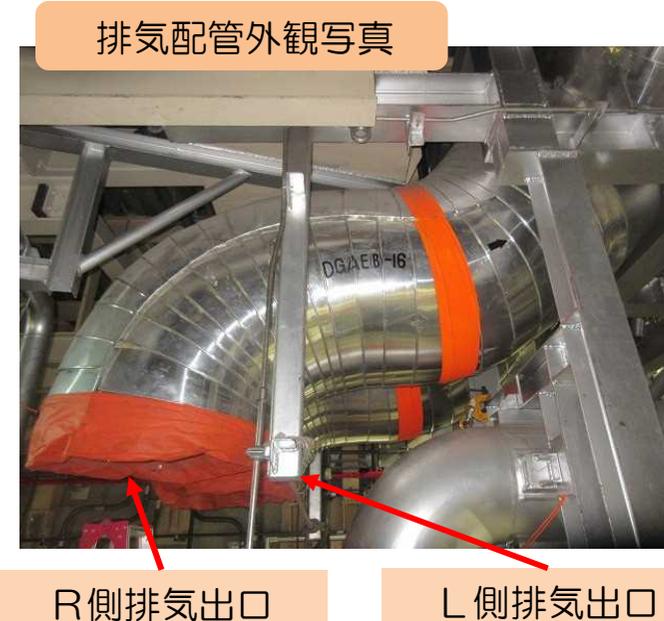
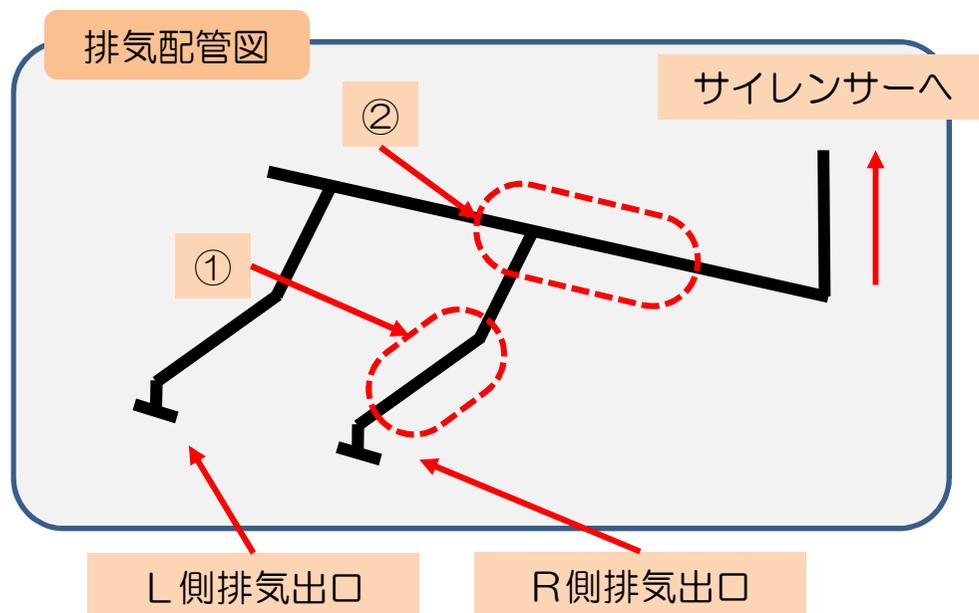
折損ブレードファツリー部外観



④ディンプル模様を観察

2-4. 破損片等による波及影響調査（1 / 2）

- ✓ 過給機を分解した結果、いくつかの部品が破損していることから、過給機の排気管内部の調査を実施したところ、破損片を発見。



発見箇所	発見された破損片等
①	レーシングワイヤ止端部、シャフトシール・シャフトシュラウド固定用ワッシャ
②	レーシングワイヤ、タービンブレード

2-4. 破損片等による波及影響調査（2/2）

- ✓ 空気冷却器を開放した結果、R側空気冷却器内部に過給機から発生したと考えられる金属片を発見。
- ✓ 破損片が機関内部に混入した可能性が考えられることから、今後、R側過給機ブロワからD/G機関のシリンダまでの経路を確認する。
- ✓ その他、D/G機関のシリンダ出口（排気管）からR側、L側の過給機タービン入口までの経路も確認する。

R側空気冷却器開放



R側空気冷却器

L側空気冷却器

内部に金属片を確認

2-5. 過給機における至近の点検記録

- ✓ 点検実績：2005年7月
- ✓ 点検周期：1回／5サイクル（現在の特別な保全計画では運転時間360時間毎）

点検項目（本格点検）

1. 分解
 - (1) 過給機内の油の抜き取りを行う。
 - (2) 過給機の分解を行う。
2. 点検、手入
 - (1) 分解部品の清掃、点検を行う。
 - (2) 各部品の目視点検、PT検査を行い、異常のないことを確認する。
 - (3) 各部の計測を行い、許容値以下であることを確認する。
3. 組立
 - (1) 過給機の組立を行う。
 - (2) 過給機内に油を注入する。
 - (3) 過給機の締め付け状態の確認を行う。
4. 試運転
 - (1) 下記について、D/G試運転に合わせて実施する。
 - a. 給気圧力、振動、回転数等が許容値以下であることを確認する。
 - b. 各部における異音の有無、漏えい等、異常のないことを確認する。

なお、日常のパトロール及び月1回の定例試験では過給機の外観確認を実施している。

2-6. 過去の類似事象の調査

✓ NUC1Aなどの公開情報からD/G過給機の損傷事例を調査

プラント	異常発生日 (発見日)	損傷状況	原因	水平展開要否
北海道電力 泊3号機	2009.8.19	<ul style="list-style-type: none"> タービンブレード破損 (強制破断の様相が見られた) ノズル押え板固定ボルト緩み など 	製造組立て時 の施工不良	済み (点検組立て時 のトルク管理)
関西電力 美浜1号機	2013.2.5	<ul style="list-style-type: none"> タービンブレード破損 (強制破断の様相が見られた) ブロアインペラ固定ボルトの緩み など 	点検組立て時 の施工不良	不要 (構造が異なる ため)
JAEA 東海再処理施設	2018.8.4	<ul style="list-style-type: none"> タービンブレード外周部の摩耗 軸受損傷 油溜まり部に多量の金属粉が発生 など 	原因究明中	原因究明待ち

現在までの調査結果から、今回の事象ではタービンブレードファツリ一部の疲労折損が確認されており、今回の事象が上記他プラント事象の再発である可能性は低い。

2-7. 調査状況まとめ

- ✓ 折損したタービンプレードについては「疲労破壊」を示す破面模様を確認（疲労破壊の原因については引き続き調査を進める）。
- ✓ 同タービンプレードと直接に接するレーシングワイヤの破断については今後破面観察を行い、疲労破壊の可能性等について調査する。
- ✓ タービンプレード及びレーシングワイヤー以外の部位については、部品の接触痕、打痕および脱落を確認しており、従属的な事象である推定。
- ✓ タービンプレードの疲労破壊は、ある一定の時間経過が必要な事象であること、及び他の部位の損傷は従属的な事象であることから、R側過給機軸固着の起因事象は、「タービンプレードの折損」または「レーシングワイヤーの破断」のいずれかと推定。

上記より、R側過給機軸固着の原因は、「タービンプレードの折損」ないし「レーシングワイヤの破断」によるものと推定。

3. 調査状況と今後の対応

1. 事象の概要

- 1-1. 非常用ディーゼル発電機（B）の出力低下と過給機軸固着
- 1-2. 当該D/G出力低下時の時系列
- 1-3. 過給機軸固着確認までの時系列
- 1-4. 運転上の制限を満足している判断について
- 1-5. 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則
第134条第3号への該当判断について
- 1-6. 機器概要

2. 原因調査

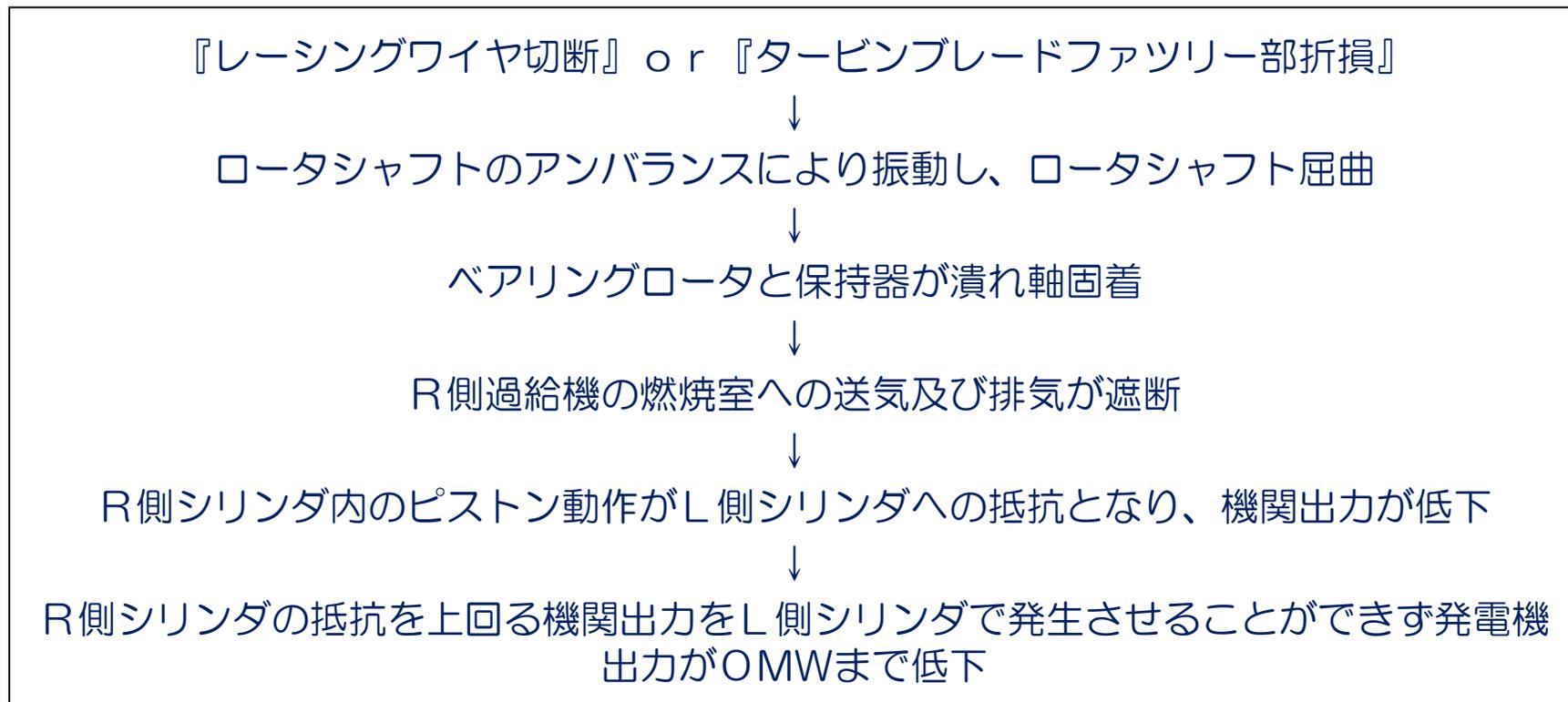
- 2-1. 事象の原因調査（発電機出力低下）
- 2-2. 事象の原因調査（過給機軸固着）
- 2-3. 工場調査結果
- 2-4. 破損片等による波及影響調査
- 2-5. 過給機における至近の点検記録
- 2-6. 過去の類似事象の調査
- 2-7. 調査状況まとめ

3. 調査状況と今後の対応

- 3-1. 過給機軸固着と発電機出力低下事象の関連性について
- 3-2. 過給機軸固着の推定メカニズム
- 3-3. 発電機出力低下の推定メカニズム
- 3-4. 調査状況まとめ
- 3-5. 調査スケジュール

3-1. 過給機軸固着と発電機出力低下事象の関連性について

- ✓ 前章までの原因調査からD/Gの出力低下事象を整理すると、過給機の『レーシングワイヤ切断』又は『タービンブレードファツリー部折損』が事象の起因と推定。
- ✓ 以上の起因から、発電機出力低下に至る事象を以下のように整理。



- ✓ 上記の事象全体の流れについては、先行的に発生した過給機軸固着のメカニズムと従属的に発生した発電機出力低下のメカニズムに分け、それぞれ個別に事象を整理し調査を行う。

3-2. 過給機軸固着の推定メカニズム（1 / 3）

順序	発生事象（推定）	参照スライド
①	何らかの原因で0時方向の『レーシングワイヤ切断』	P 38
②	レーシングワイヤ切断により、0時方向のタービンブレードの振動が上昇し、ファツリー部に応力が集中	P 37
③	0時方向のタービンブレード1枚ファツリー部の疲労限度超過から割れ、破面が拡大し延性破壊により折損（破面の起点部付近に疲労模様、最終点付近に延性模様を確認）	P 37
④	折損したタービンブレードはレーシングワイヤを外周方向に引き出しながら、6時方向で隣接するタービンブレードとシュラウドリングの間に入り込み、同時にノズルリングとも接触（破断したタービンブレード角部に擦れ痕を多数確認）	P 37、39
⑤	接触によりタービンブレードが分割、破断片はタービン排気流に乗って排気管へ移動。比較的大きい根元部はケーシング内に落下	P 37、54、56
⑥	タービンブレードは遠心力とともにレーシングワイヤを引き出し、抜け出たワイヤは排気管へ移動（タービンブレードのレーシングワイヤ孔周辺に痕跡あり）	P 37、56
⑦	ロータシャフトはアンバランスにより振動が増加しラジアル方向の変位増加	—

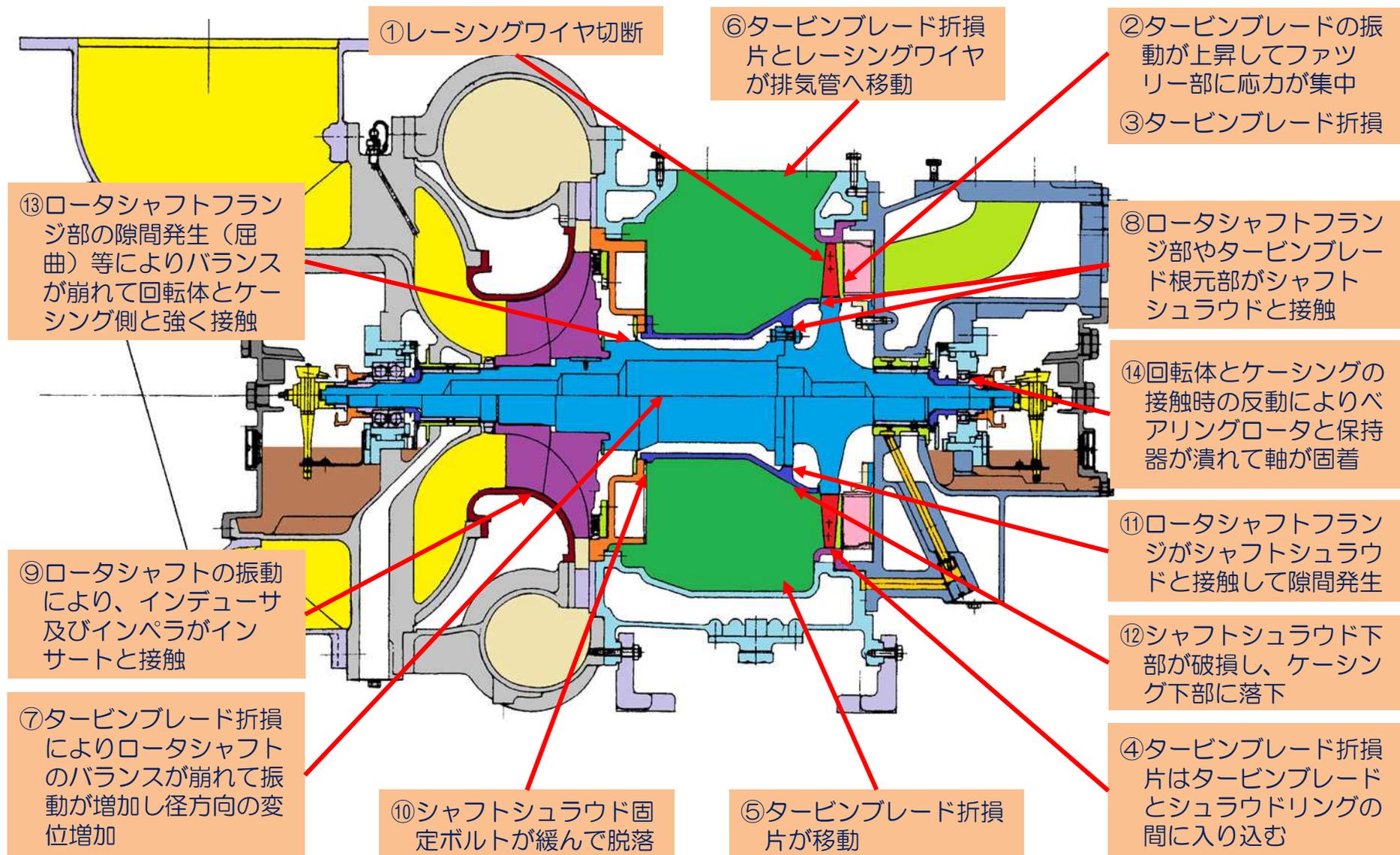
起因事象は『①レーシングワイヤ切断』もしくは『③タービンブレードファツリー部折損』と考えられるが、現在は未だ特定できていない状況。

3-2. 過給機軸固着の推定メカニズム（2/3）

順序	発生事象（推定）	参照スライド
⑧	ロータシャフトフランジやタービンブレード根元部がシャフトシュラウドと摺動接触	P54
⑨	ロータシャフトのアンバランスによりインデューサとインペラがインサート内面に接触し表面を研削	P40
⑩	シャフトシュラウド固定ボルト2本、ナット3個が緩み脱落	P46
⑪	ロータシャフトフランジがシャフトシュラウドと摺動接触し、ロータシャフトフランジ部に若干の隙間が発生	P53
⑫	シャフトシュラウド下部は、シャフトシュラウド自身の振動またはロータシャフトとの接触により破損し、ケーシング内に破損部が脱落 (タービン排気ケーシング内の初回確認時、タービンブレード片と脱落ボルトの上にシャフトシュラウド破片が覆い被さっていた事からも推定される)	P54
⑬	ロータシャフト屈曲、アンバランス等の要因により軸が振れまわり、回転体とケーシング側が強く接触 【接触箇所については、現在調査中】	—
⑭	キックバック現象によりシャフトが3時方向に急負荷しベアリングロータと保持器を潰し、完全軸固着 同時にタービン側弾性装置（軸受押さえ廻り止め部）が逆回転方向に回転し、軸受押さえ廻り止め部の爪を折損させ270°回転 【キックバック現象の妥当性については、現在評価中】	P21、42

⑧⑨⑩については今後のメカニズム調査において順序が入れ替わる可能性がある。

3-2. 過給機軸固着の推定メカニズム (3/3)



3-3. 発電機出力低下の推定メカニズム

順序	発生事象（推定）	参照スライド
①	ロータ軸固着によりR側過給機は機関への送気機能を失った。	—
②	過給機のR側とL側は、給気と排気ラインが各々分離しており、L側への送気及び機関の運転は継続されていた。一方、R側は燃焼室への送気及び排気がほぼ遮断され、R側シリンダは不完全燃焼から未燃焼状態となった。R側シリンダ内のピストン動作がL側シリンダへの抵抗となり、機関回転速度を低下させるように働く。	P12
③	系統連携した機関の回転速度は変化せず、手動ガバナ操作であったため、ガバナは機関への燃料供給量を変化することなく機関出力は急激に低下する。	—
④	機関出力が低下傾向状態ではR側シリンダの抵抗を上回る機関出力をL側シリンダで発生させることができず、発電機出力がゼロkW近傍まで急激に低下した。	—
⑤	運転員が直ちに解列操作を行ったことにより無負荷状態となり、その後はガバナ動作により回転速度設定値で運転が継続された。	—

工場調査においてL側過給機にも異常が確認されているが、発電機出力低下のメカニズム調査と並行して、異常の原因を確認中。

3-4. 今後の対応

- ✓ これまでの調査においては、過給機（R側及びL側）を除くD/G機関や発電機側に異常は確認されておらず、「発電機出力低下」に至る原因は、現時点では「R側過給機の軸固着」と推定している。
- ✓ なお、D/G機関については、R側過給機の破損片等の波及影響やL側過給機の破損の原因調査の観点から、給排気系やD/G機関シリンダ等の調査を進める。
- ✓ 「R側過給機の軸固着」に至る原因は、これまでの調査より、「タービンブレード付け根部の疲労破損」または「レーシングワイヤーの破断」のいずれかと推定し、その他部位の破損については従属的な事象と整理しているが、引き続きレーシングワイヤーの破断面調査等を進め、原因やメカニズムを特定する。
- ✓ 現時点で原因の特定には至っていないが、R側過給機の残存するタービンブレードの浸透探傷検査等を進め、疲労破損の原因や水平展開検討に係る調査を進める。以上の方針に基づき残る調査を進め、本事象の原因及び再発防止対策、水平展開事項を取りまとめ、12月中旬を目処に報告する予定。

3-5. 調査スケジュール

区分	観点	2018年				
		8月	9月	10月	11月	12月
全体工程		8/30 事象発生	9/6 法令報告 9/12 10日報提出	10/3 原因調査状況報告	10/29 公開発表	中旬 報告書提出
調査	潤滑油系統点検		機関内部点検、潤滑油分析			
	給排気系統点検		ピストンリング気密確認			
	制御系系統点検			ガバナ作動油確認、動作確認		
	冷却水系統点検		冷却水ポンプ動作確認		温度調整弁分解点検	
	発電機系統点検		監視系、発電機主回路、発電機機械系点検			
	燃焼機関系統点検		燃料ラック動作確認、潤滑油分析			
	過給機点検		過給機点検 損傷部の詳細調査	過給機付属機器取外	過給機取外、タービン翼点検 過給機工場点検 ベアリング詳細調査 過給機軸固着の要因検討	
原因と再発防止対策・水平展開検討		発生メカニズムの特定・追加点検項目検討			再発防止対策・水平展開検討	
報告書とりまとめ			原因調査状況報告とりまとめ			報告書とりまとめ

本工程については、現状の見込みを表しており、進捗により適宜見直しを行う。

TEPCO
