

伊方発電所第 3 号機
エタノールアミン排水処理装置の
電解槽供給ポンプの不具合について

令和 4 年 1 0 月

四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所第3号機 エタノールアミン排水処理装置の電解槽供給ポンプの不具合について

2. 事象発生の日時

令和4年6月13日 11時10分

3. 事象発生の設備

3号機 エタノールアミン排水処理装置 電解槽供給ポンプB

4. 事象発生時の運転状況

3号機 通常運転中（電気出力923MW）

5. 事象発生の状況

伊方発電所3号機は通常運転中のところ、6月13日11時10分、エタノールアミン^{※1}排水処理装置^{※2}の電解槽^{※3}供給ポンプ^{※4}Bを点検中に、構成部品が破損していることを保修員が確認した。

その後、破損した部品を含むポンプ主要部品の取り替えを行い、ポンプの試運転を実施し問題がなかったことから、6月22日16時11分に通常状態に復帰した。

なお、本事象によるプラントへの影響および環境への放射能の影響はなかった。
(添付資料-1, 2)

※1 エタノールアミン

配管の腐食抑制のための水質調整用薬品で、2次系冷却水（放射性物質を含まない）に注入している。

※2 エタノールアミン排水処理装置

2次系冷却水（放射性物質を含まない）を浄化する復水脱塩装置^{※5}からの排水中に含まれるエタノールアミンなどを処理する装置。

※3 電解槽

排水を電気分解し、次亜塩素酸ソーダを発生させ、排水中のエタノールアミンなどと反応させて分解するための槽。

※4 電解槽供給ポンプ

エタノールアミンを電気分解するために、エタノールアミンが含まれる排水を電解槽に供給するためのポンプ。

※5 復水脱塩装置

2次系冷却水に含まれるイオン状の不純物をイオン交換樹脂により取り除き、浄化する装置。

6. 事象の時系列

6月13日

9時20分 電解槽供給ポンプBの分解点検開始

11時10分 電解槽供給ポンプBの構成部品の破損を確認

6月21日

9時30分 電解槽供給ポンプBの組立て開始

11時00分 電解槽供給ポンプBの組立て完了

6月22日

14時10分 電解槽供給ポンプBを起動（試運転開始）

15時38分 電解槽供給ポンプBの運転に異常のないことを確認（試運転終了）

16時11分 通常状態に復旧

7. 調査結果

電解槽供給ポンプBの構成部品の破損について、以下の調査を実施した。

(1) 現地調査

ポンプ分解後、構成部品について外観目視点検にて調査を実施した。

(添付資料-3)

a. スピンドル

割れが発生し、折損していた。折損位置はスピンドルの中央部付近であり、割れ箇所以外に有意な傷、摩耗等はなかった。

b. インペラユニット

ベアリングに著しい摩耗が発生していた。リアリングに割れが発生し、インペラユニットから外れていた。マグネットキャンの外面に周方向の傷があった。インペラおよびマウスリングには有意な傷、摩耗等はなかった。

c. フロントケーシング

吸込側の案内羽根およびスピンドル支持部の損傷が認められた。それ以外に有意な傷、摩耗等はなかった。

d. リアケーシング（リアスラスト含む）

内面に周方向の傷が認められた。インペラユニットのマグネットキャン外面との擦れによるものと考えられる。リアスラストおよびリアスラスト挿入部に摩耗が認められた。

e. リアケーシングカバー

外面に周方向の傷および摩耗が認められた。駆動マグネット内面との擦れによるものと考えられる。

f. 駆動マグネット

内面に周方向の傷が認められた。リアケーシングカバー外面との擦れによるものと考えられる。

(2) メーカー調査結果

ポンプ製作メーカーにて調査を実施した結果、エタノールアミンを含む排水を電解処理した際に発生する次亜塩素酸ソーダが、排水とともに系統内で接液しているベアリング（材質：高密度カーボン）を腐食させ、摩耗速度を速めたことにより構成部品の破損を引き起こしたと推定された。構成部品の破損の詳細な経緯（推定）は以下の通りである。

（添付資料－４）

- ① ベアリング（材質：高密度カーボン）が次亜塩素酸ソーダを含む排水に常時接液することで、腐食しやすい環境（※）となり、その状態で系統内の排水の循環運転を繰り返すことでベアリングの摩耗速度が加速
- ② ベアリングの摩耗が進展（著しい摩耗）し、破損
- ③ ベアリングの破損により、摺動部材であるスピンドルに負荷が加わり破損
- ④ インペラユニットの回転軸が不安定になることで、インペラユニットとリアケーシングが接触
- ⑤ ④によりリアケーシングカバーが振動し、駆動マグネットと接触
- ⑥ ①～⑤の状態でもって運転継続されたことにより、フロントケーシングの吸込側案内羽根およびスピンドル支持部が破損

※ 次亜塩素酸ソーダの濃度は0.5%程度であり高濃度ではなかったが、材質が高密度カーボンのベアリングの腐食を進展させ、摩耗速度を速める可能性は十分に考えられると推察された。

(3) 運転状況の調査

電解槽供給ポンプは2台（A，B）設置しており、1台運転で2か月おきに運転機の切り替えを実施している。また、当該ポンプはエタノールアミン排水処理装置運転時には連続運転している。令和4年3月10日時点で電解槽供給ポンプBの出口流量に問題はなく、エタノールアミン排水処理装置の運転も実施できていたが、ポンプ出口圧力が若干低下している状況が確認されたことから、電解槽供給ポンプAに切り替えを実施し、電解槽供給ポンプBを点検することとした。

また、電解槽供給ポンプBについては、平成12年の装置据付時に設置したポンプを平成29年に取り替え（現在と同型式に変更）しており、取り替え後の運転実績としては、平成31年の分解点検までの間において8日間、平成31年の分解点検後、今回の事象に至るまでの間において37日間であった。

なお、エタノールアミンを含む排水の処理については、エタノールアミン排水処理装置およびエタノールアミン含有排水生物処理装置^{※6}で実施可能であるが、令和3年まではエタノールアミン含有排水生物処理装置を主として使用していたことから、エタノールアミン排水処理装置の電解槽供給ポンプの運転実績は少ない状況であった。

※6 エタノールアミン含有排水生物処理装置

2次系冷却水（放射性物質を含まない）を浄化する復水脱塩装置からの排水中に含まれるエタノールアミンなどを菌による分解作用により処理する装置。1，2号機の廃止に伴いプラントからの排水量が減少したことから、エタノールアミン排水処理装置のみで排水処理する運用とし、エタノールアミン含有排水生物処理装置は令和4年1月7日より運用を停止している。

(4) 保守状況の調査

電解槽供給ポンプBにおける至近の点検としては、平成31年4月にポンプの振動値に増加傾向が確認されたことから、予防保全としてポンプの分解点検を実施し、破損の兆候はないものの、劣化が確認されたベアリングを含む消耗部品（インペラユニット、スピンドル、ガスケット）の取り替えを実施している。

また、振動測定を年1回の頻度で実施しており、至近の令和4年1月31日の振動測定で異常は認められなかった。

なお、点検周期は9年としており、次回の点検は令和8年に計画していた。

(5) 類似機器の調査

今回、不具合のあった電解槽供給ポンプBの種類は、マグネット式ノンシールポンプ^{※7}であり、この種類を採用している類似機器について調査を実施した。

※7 マグネット式ノンシールポンプ

軸シールがなく液漏れしない耐食性に優れたポンプ。

a. 電解槽供給ポンプA

電解槽供給ポンプAは、ポンプBと構造及び構成部品が異なり（ベアリングの材質はP T F E（テフロン）、同型式ではないが、平成12年の装置据付時に設置して以降取り替えはしておらず、至近の点検は平成26年に実施しており、その際に異常は認められなかった。

また、平成26年の点検以降も現在に至るまでポンプ運転状態に異常は認められておらず、至近の振動測定においても異常は認められていない。

b. その他類似機器

その他の類似機器6台（電解槽供給ポンプBと同型式）について運転状態を確認した結果、異常は認められなかった。

また、至近の振動測定においても異常は認められていない。

なお、類似機器6台の点検周期は9年としている。

c. その他類似機器の使用環境とベアリング材質について

ポンプ製作メーカーにて示された次亜塩素酸ソーダに対するベアリング（材質：高密度カーボン）の耐食不足の可能性を踏まえ、その他類似機器6台（電解槽供給ポンプBと同型式）について、使用環境とベアリング材質について調査を行った。

その結果、6台中4台については、次亜塩素酸ソーダを含まない環境で使用しており、ベアリング材質は高密度カーボンを使用していた。残る2台については、次亜塩素酸ソーダを含む環境で使用しており、ベアリング材質はSiC（シリコンカーバイト）を使用していた。

ベアリング材質についてポンプ製作メーカーへ確認したところ、SiC（シリコンカーバイト）は次亜塩素酸ソーダに対して耐食性を有しており、適用性が高いとのことであった。

(6) 過去の類似事象の調査

伊方発電所における過去事象を調査したところ、類似事象がないことを確認した。

なお、電解槽供給ポンプA（平成12年の装置据付時に設置したポンプ）については、平成16年に類似箇所（軸受部）の損傷を経験しているが、当該事象は弁不具合によりポンプを損傷させた事象であり、対策として弁部品の取替および試運転要領書へポンプの水張り操作手順を充実させた。今回の事象は、弁不具合やポンプの水張り不良などによるものではないことから、過去の事象との関係性はない。

8. 推定原因

調査の結果、エタノールアミンを含む排水を電解処理する際に発生する次亜塩素酸ソーダにより、排水に常時接液しているベアリング(材質:高密度カーボン)の腐食が進み、系統内で循環運転を繰り返すことで摩耗速度が速まり、ベアリングが著しい摩耗で破損することにより摺動部品であるスピンドルに負荷がかかり折損し、その状態で運転を継続したことによりその他構成部品の破損を引き起こしたと推定される。

9. 対 策

- (1) 電解槽供給ポンプBのベアリング材質について、次亜塩素酸ソーダに対する耐食性が高いSiC(シリコンカーバイト)へ変更し、取り替えた。
- (2) 電解槽供給ポンプAについては、令和5年に取り替え(ポンプBと同型式に変更)を実施する計画であり、ベアリング材質についてはSiC(シリコンカーバイト)を採用する。

以 上

添 付 資 料

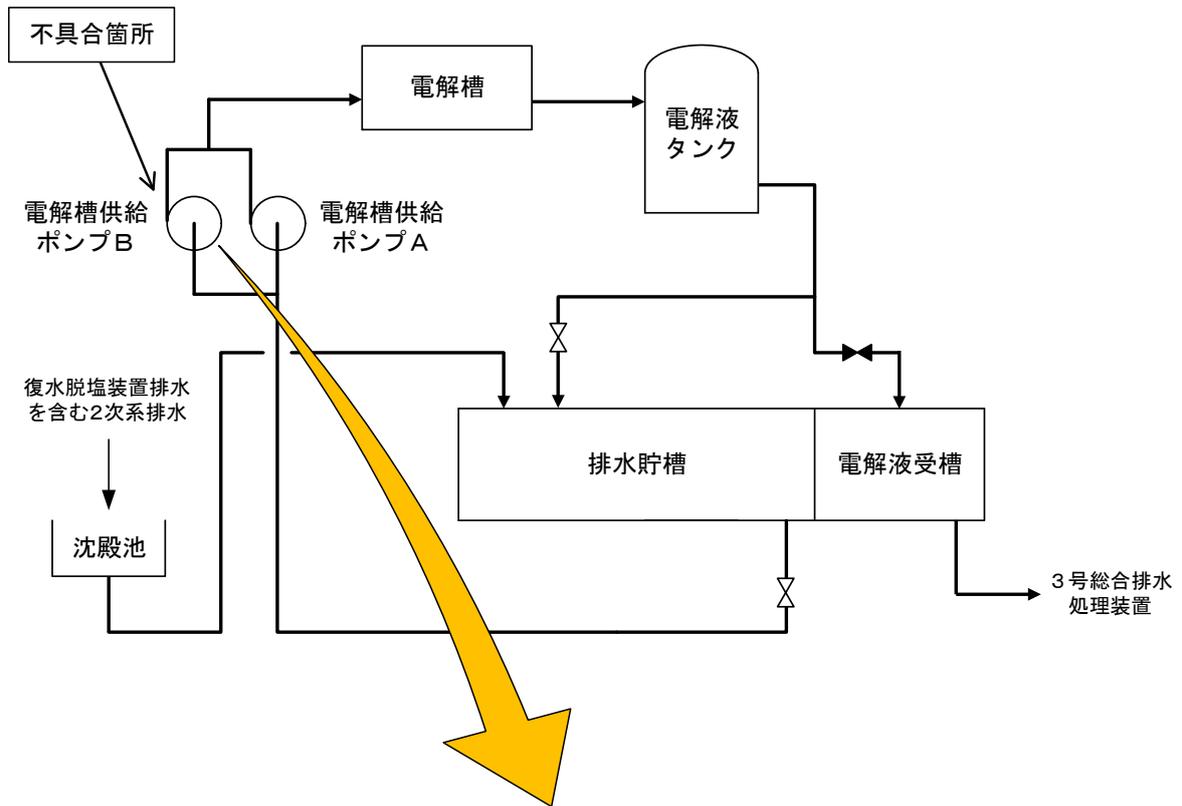
添付資料－1 伊方発電所3号機 エタノールアミン排水処理装置 概略
系統図

添付資料－2 電解槽供給ポンプB 構造図

添付資料－3 現地調査結果

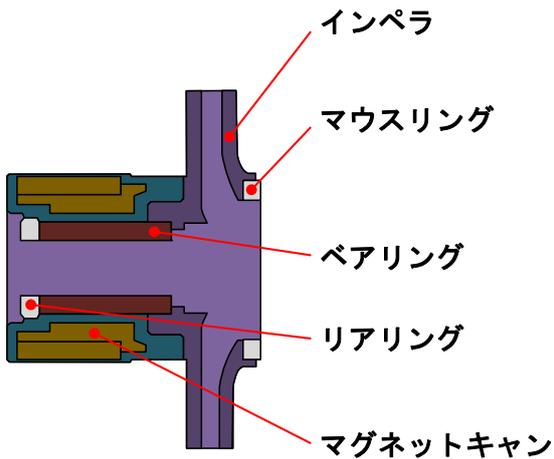
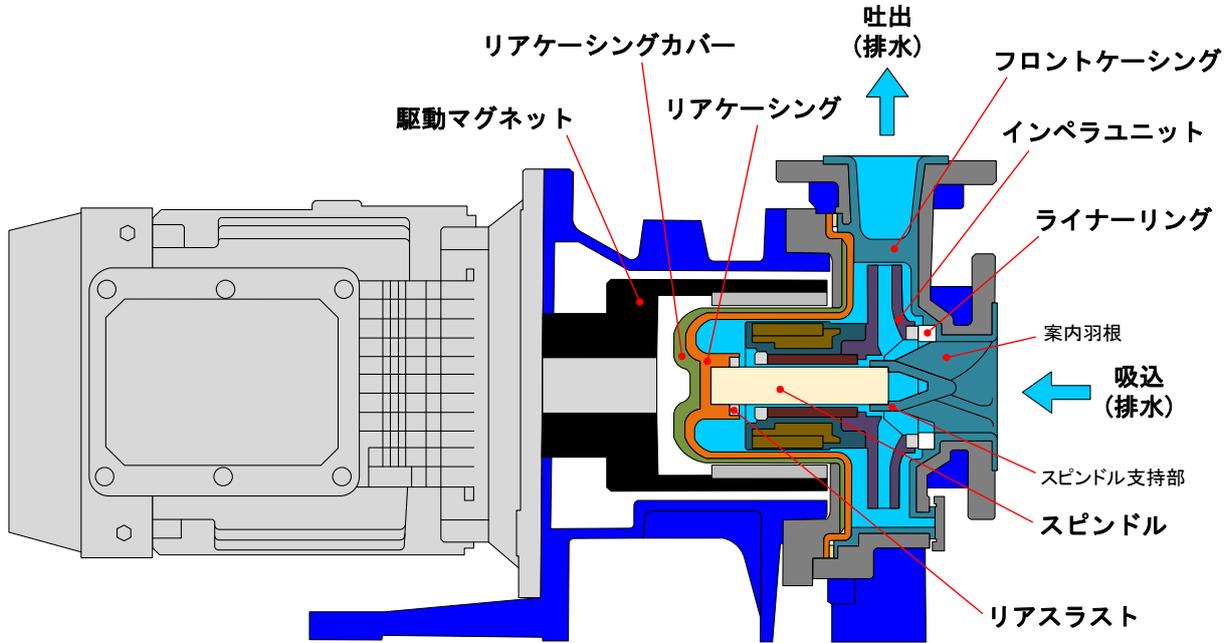
添付資料－4 ポンプ構成部品の破損のメカニズム（推定）

伊方発電所 3号機 エタノールアミン排水処理装置
概略系統図



電解槽供給ポンプ B

電解槽供給ポンプ B 構造図



インペラユニット詳細

< 接液部材質 >

名 称	材 質
フロントケーシング	CFRETFE (フッ素系樹脂)
リアケーシング	CFRETFE (フッ素系樹脂)
リアケーシングカバー	FRP (繊維強化プラスチック)
インペラ	CFRETFE (フッ素系樹脂)
マグネットキャン	CFRETFE (フッ素系樹脂)
ベアリング	高密度カーボン
スピンドル	高純度アルミナセラミックス
ライナーリング	高純度アルミナセラミックス
マウスリング	充てん剤入りPTFE (フッ素系樹脂)
リアリング	高純度アルミナセラミックス
リアスラスト	充てん剤入りPTFE (フッ素系樹脂)
ガスケット	PTFE (テフロン)

<ポンプ構成部品解説>

○スピンドル

インペラ（羽根車）の振れ防止のためのガイド（軸）

○インペラユニット

インペラ（羽根車）、ベアリング（軸受け）、マグネットキャン（磁石）を一体に組み込んだユニット部品

○ベアリング

周方向の力を受ける摺動部品（軸受け）

○マグネットキャン

ベアリングの外側に位置し、フッ素樹脂で覆われた磁石

○ライナーリング、マウスリング、リアリング、リアスラスト

軸方向の力を受ける摺動部品

○フロントケーシング、リアケーシング

インペラユニットを覆うカバー

○リアケーシングカバー

リアケーシングの外側を覆うカバー

○駆動マグネット

モータの回転軸に固定され、駆動マグネットとマグネットキャン間の磁力により、モータの回転運動をインペラユニットへ伝達する部品

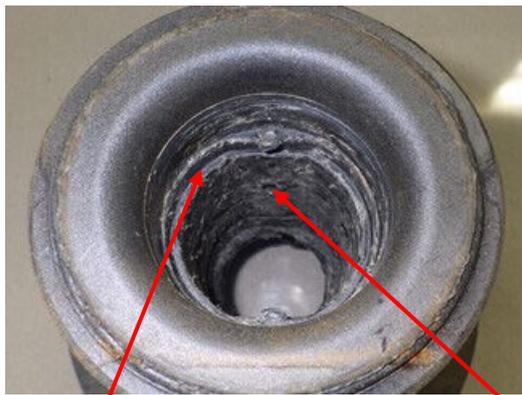
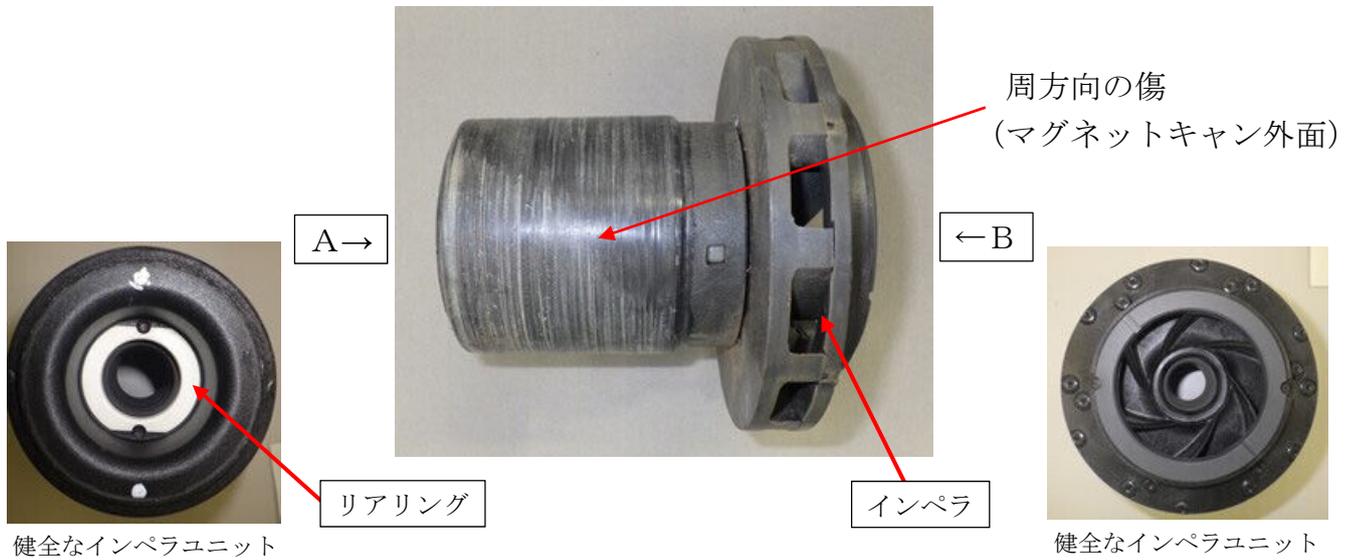
現地調査結果

a. スピンドル



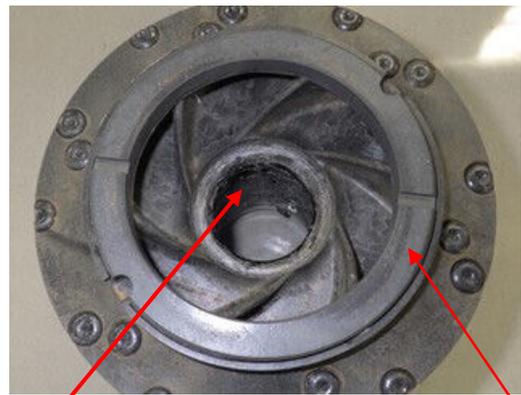
割れが発生し、折損していた。折損位置はスピンドルの中央部付近であり、割れ箇所以外に有意な傷、摩耗等はなかった。

b. インペラユニット



A矢視

リアリングが外れている。



B矢視

ベアリングに著しい摩耗が発生している。

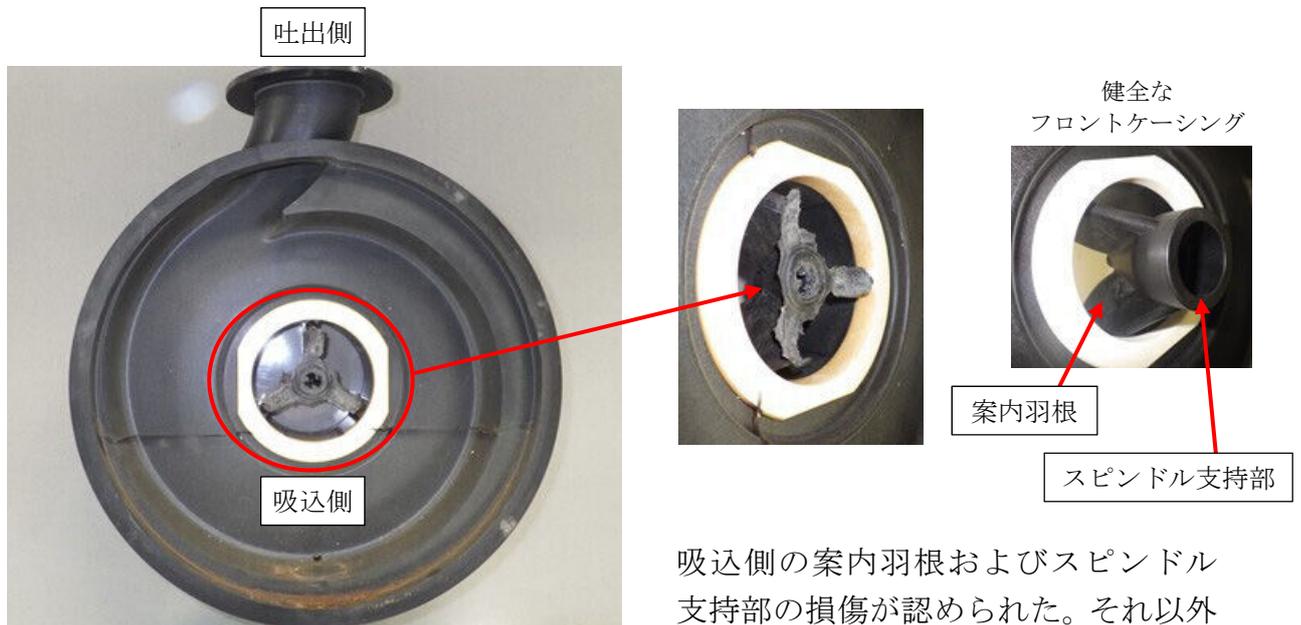
マウスリング



リアリング

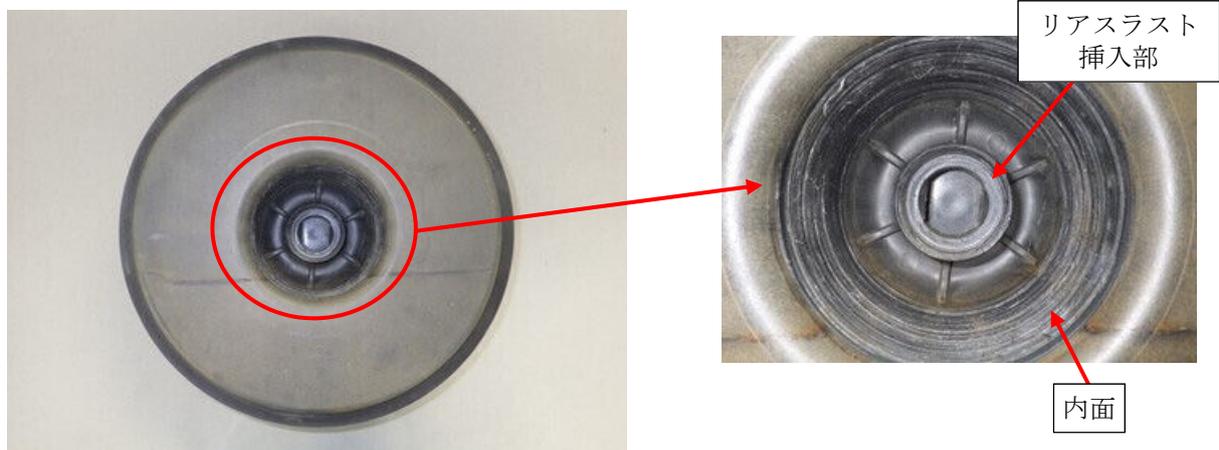
ベアリングに著しい摩耗が発生していた。リアリングに割れが発生し、インペラユニットから外れていた。マグネットキャンの外面に周方向の傷があった。インペラおよびマウスリングには有意な傷、摩耗等はなかった。

c. フロントケーシング



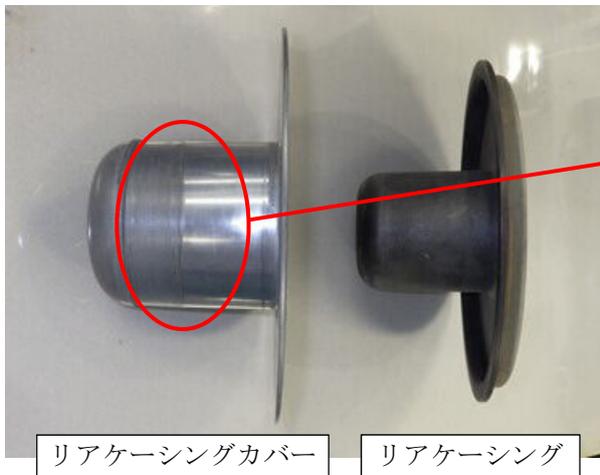
吸込側の案内羽根およびスピンドル支持部の損傷が認められた。それ以外に有意な傷、摩耗等はなかった。

d. リアケーシング (リアスラスト含む)



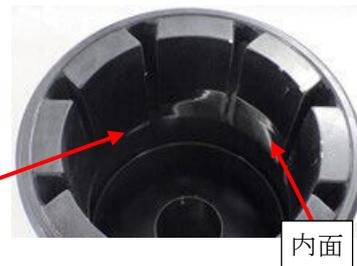
内面に周方向の傷が認められた。インペラユニットのマグネットキャン外面との擦れによるものと考えられる。リアスラストおよびリアスラスト挿入部に摩耗が認められた。

e. リアケーシングカバー



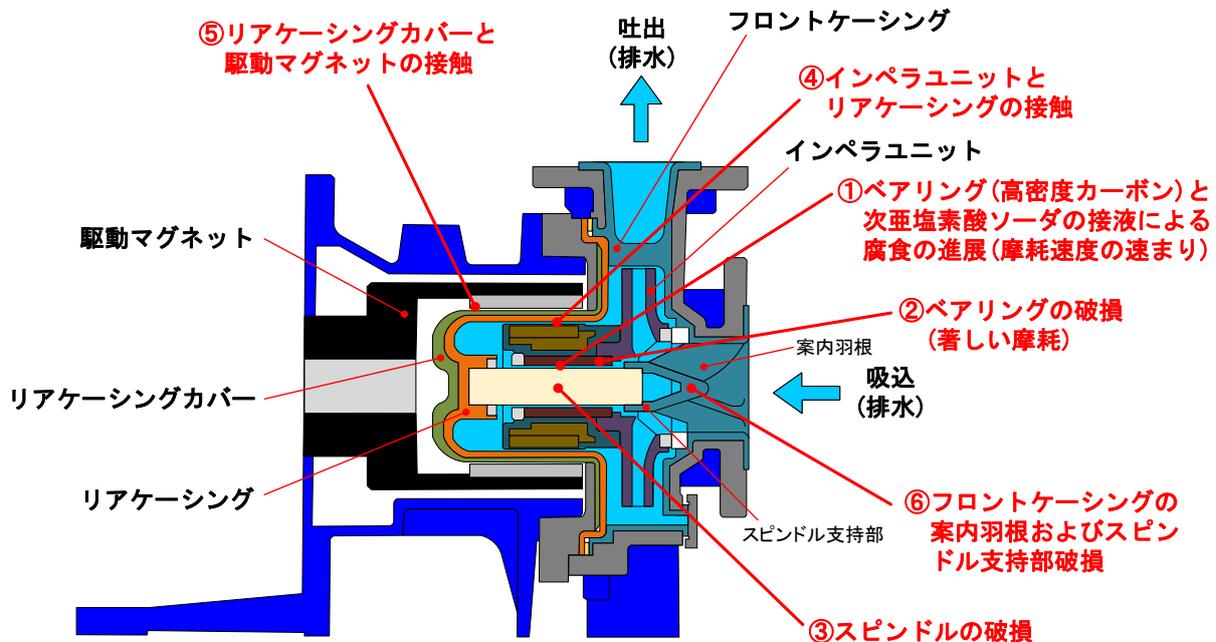
外面に周方向の傷および摩耗が認められた。駆動マグネット内面との擦れによるものと考えられる。

f. 駆動マグネット



内面に周方向の傷が認められた。リアケーシングカバー外面との擦れによるものと考えられる。

ポンプ構成部品の破損のメカニズム（推定）



エタノールアミンを含む排水を電解処理した際に発生する次亜塩素酸ソーダが、排水とともに系統内で接液しているベアリング(材質:高密度カーボン)を腐食させ、摩耗速度を速めたことにより構成部品の破損を引き起こしたと推定する。構成部品の破損の詳細な経緯(推定)は以下の通り。

- ① ベアリング(材質:高密度カーボン)が次亜塩素酸ソーダを含む排水に常時接液することで、腐食しやすい環境となり、その状態で系統内の排水の循環運転を繰り返すことでベアリングの摩耗速度が加速
- ② ベアリングの摩耗が進展(著しい摩耗)し、破損
- ③ ベアリングの破損により、摺動部材であるスピンドルに負荷が加わり破損
- ④ インペラユニットの回転軸が不安定になることで、インペラユニットとリアケーシングが接触
- ⑤ ④によりリアケーシングカバーが振動し、駆動マグネットと接触
- ⑥ ①～⑤の状態でもって運転継続されたことにより、フロントケーシングの吸込側案内羽根およびスピンドル支持部が破損