

伊方発電所3号機
エタノールアミン排水処理装置の
電解槽供給ポンプ出口逆止弁における異物の確認
及び
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6年6月
四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所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出口逆止弁における異物の確認について（以下、「事象1」という。）

伊方発電所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（以下、「事象2」という。）

2. 事象発生の日時

令和5年11月28日 11時58分 （事象1）

令和6年 2月 6日 10時44分 （事象2）

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A

4. 事象発生時の運転状況

3号機 通常運転中（電気出力918MW）

5. 事象発生の状況

（1）事象1

伊方発電所3号機は、通常運転中のところ、令和5年11月28日11時58分、エタノールアミン^{*1}（以下、「ETA」という。）排水処理装置^{*2}の電解槽^{*3}供給ポンプ^{*4}A（以下、「当該ポンプ」という。）の出口逆止弁に異物があることを保修員が確認した。

このため、当該ポンプの分解点検を実施したところ、異物は当該ポンプから脱落した部品（マウスリング^{*5}）の一部であることを確認し、その後の点検・調査において、脱落した部品は全て回収した。

電解槽供給ポンプは2台（A・B）設置しており、調査のため電解槽供給ポンプBの分解点検を実施したところ、当該ポンプから脱落した同じ部品（マウスリング）の取り付け状態にずれ等があることを確認した。

その後、マウスリングを含む取り替えが必要な電解槽供給ポンプの部品が調達できたことから、電解槽供給ポンプ2台（A・B）の各部品を取り替え、運転状態に問題がないことを確認し、12月26日12時45分に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環境への放射能の影響はなかった。

（添付資料－1，3）

(2) 事象2

伊方発電所3号機は、通常運転中のところ、令和6年2月6日10時44分、E T A排水処理装置の当該ポンプの機能に異常があることを保修員が確認した。

このため、当該ポンプの分解点検を実施したところ、事象1と同様、当該ポンプのマウスリングが一部欠損していることを確認した。また、E T A排水処理装置の配管内を確認し、当該ポンプのマウスリングの欠損部分を全て回収した。

調査の結果、マウスリングの材質が電解槽供給ポンプの運転に適していない可能性があることを確認したため、電解槽供給ポンプ2台(A・B)について、マウスリングおよびマウスリングとの摺動部品であるライナーリング^{※6}の材質を変更し取り替えるとともに、各ポンプの試運転を実施し、運転状態に問題がないことを確認したことから、5月13日10時33分、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環境への放射能の影響はなかった。

(添付資料-2, 3)

※1 エタノールアミン (E T A)

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

※2 E T A排水処理装置

放射性物質を含まない2次系の冷却水を浄化する復水脱塩装置^{※7}からの排水中に含まれるE T Aなどを処理する装置。

(添付資料-4)

※3 電解槽

E T Aが含まれる排水を電気分解し、次亜塩素酸ソーダを発生させ、排水中のE T A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

E T Aが含まれる排水を排水貯槽から電解槽に供給するためのポンプ。

※5, 6 マウスリング、ライナーリング

マウスリングは回転するインペラ(羽根車)に、ライナーリングは固定されたフロントケーシングにそれぞれ取り付けられており、ポンプ運転時にマウスリングとライナーリングが摺動しながらポンプの軸方向の力を受ける部品。

(添付資料-3)

※7 復水脱塩装置

放射性物質を含まない2次系の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

(1) 事象1

令和5年

- 10月24日 電解槽供給ポンプの定期切り替えのため、運転員が電解槽供給ポンプBを起動したところ、出口圧力および出口流量が若干低いこと、および当該ポンプが通常回転方向に対して逆回転していることを確認
当該ポンプ出口逆止弁の不具合が考えられたことから、点検を計画
- 11月28日
11時58分 当該ポンプ出口逆止弁の点検を行い、保守員が異物を確認
14時59分 当該ポンプの分解点検を行い、マウスリングが一部欠損していることを保守員が確認
- 11月29日 保守員が当該ポンプのマウスリングの欠損した部分を回収
- 12月13日 電解槽供給ポンプBの分解点検を行い、マウスリングが脱落はしていなかったものの、本来の位置から回転し、ずれていること等を保守員が確認
- 12月26日
12時45分 電解槽供給ポンプ2台（A・B）のインペラユニット（マウスリング含む）、その他構成部品を同仕様の新品に取り替え、運転状態に問題がないことを確認して通常状態に復旧

以降、巡視点検や振動測定の頻度を増やすなど、監視を強化しながら運転し、原因調査および調査結果に応じた対策を実施することとしていた。

(2) 事象2

令和6年

2月 6日

- 2時 7分 運転員がパトロールにおいて、運転中の当該ポンプの出口圧力および出口流量が通常と比べ低下している状況を確認したため、当該ポンプを停止
- 10時44分 保守員が状況確認のためハンドターニングを実施したところ、当該ポンプの回転方向に引っ掛かりがあり、ポンプの機能に異常があることを確認
- 11時59分 当該ポンプの分解点検を行い、マウスリングが一部欠損していることを保守員が確認
- 14時59分 保守員が当該ポンプのマウスリングの欠損した部分を回収

2月26日 電解槽供給ポンプ2台(A・B)のマウスリングおよびライナーリングの材質を変更し、試運転開始

その後、1週間毎に電解槽供給ポンプ(A・B)を切り替えながら試運転および分解点検を実施し、材質を変更した部品の状態等を確認

4月23日 電解槽供給ポンプ内部への気体混入量低減のため、排水貯槽A内部の吸込み配管の一部を取り外し、再度試運転開始

5月13日

10時33分 電解槽供給ポンプ2台(A・B)の運転状態に問題がないことを確認して通常状態に復旧

7. 調査結果

電解槽供給ポンプの不具合について、以下の調査を実施した。

(1) 現地調査

a. 事象1

電解槽供給ポンプA, Bの各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, 5)

(a) 電解槽供給ポンプA

ア. インペラユニット

インペラからマウスリングが脱落しており、インペラのフロント全面にフロントケーシングとの接触痕を確認した。リアリングにリアスラストとの摺動痕を確認した。マウスリングが4つに割れて破損しており、ライナーリングとの摺動面に荒れを確認した。ベアリングおよびマグネットキャンに有意な傷、摩耗等はなかった。

イ. フロントケーシング

フロントケーシングにインペラとの接触痕を確認した。ライナーリングの表面に荒れを確認した。吸込側の案内羽根およびケーシングの出口付近にインペラから脱落したマウスリングとの接触痕を確認した。

ウ. リアスラスト

リアスラストにリアリングとの摺動痕を確認した。

エ. スピンドル、リアケーシング、リアケーシングカバー、駆動マグネット
有意な傷、摩耗等はなかった。

(b) 電解槽供給ポンプB

ア. インペラユニット

マウスリングが本来の取り付け位置から90度程度回転し、ずれていることを確認した。マウスリングをインペラに押さえて固定するツメ

(2箇所)が損傷し、マウスリングを回転方向に拘束するストッパ(2箇所)の摩耗を確認した。リアリングにリアスラストとの摺動痕を確認した。マウスリングのライナーリングとの摺動面に荒れを確認した。ベアリングおよびマグネットキャンに有意な傷、摩耗等はなかった。

イ. フロントケーシング

ライナーリングの表面に荒れを確認した。それ以外に有意な傷、摩耗等はなかった。

ウ. リアスラスト

リアスラストにリアリングとの摺動痕を確認した。

エ. スピンドル、リアケーシング、リアケーシングカバー、駆動マグネット
有意な傷、摩耗等はなかった。

b. 事象2

電解槽供給ポンプA, Bの各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, 6)

(a) 電解槽供給ポンプA

ア. インペラユニット

インペラからマウスリングが脱落しており、インペラのフロント全面にフロントケーシングとの接触痕を確認した。リアリングにリアスラストとの摺動痕を確認した。マウスリングが複数に割れて破損しており、ライナーリングとの摺動面に荒れおよび欠けを確認した。ベアリング内面にスピンドルとの擦れ跡があった。マグネットキャンに有意な傷はなかった。

イ. フロントケーシング

フロントケーシングにインペラとの接触痕を確認した。ライナーリングの表面に荒れおよび欠けを確認した。吸込側の案内羽根にインペラから脱落したマウスリングとの接触痕を確認した。

ウ. リアスラスト

リアスラストにリアリングとの摺動痕を確認した。

エ. スピンドル

スピンドル外面にベアリングとの擦れ跡を確認した。

オ. リアケーシング、リアケーシングカバー、駆動マグネット
有意な傷、摩耗等はなかった。

(b) 電解槽供給ポンプB

インペラユニット、フロントケーシング、リアスラスト、スピンドル、リアケーシング、リアケーシングカバー、駆動マグネットに有意な傷、摩耗等はなかった。

(2) 保守状況の調査（事象1および2）

a. 電解槽供給ポンプA

平成12年のETA排水処理装置据付時に設置したポンプが製造中止となったことから、令和5年5月10日に(2) b. に示す対策を施したポンプ一式へ取り替えており、それ以降の点検実績はなかった。

b. 電解槽供給ポンプB

令和4年6月13日に発生した事象^{※8}への対策として、令和4年9月15日に材質を変更したポンプ部品へ取り替え、それ以降の点検実績はなかった。

令和4年6月13日に発生した事象の原因がベアリングの腐食であったことから、ベアリング（旧材質：高密度カーボン）の材質を耐食性の高いSiC（シリコンカーバイド）へ変更した。なお、ベアリングの材質変更をポンプメーカーの複数ある標準仕様（ポンプ型式）の中から選定することで対応したため、ベアリング以外のマウスリング（旧材質：充てん剤入りPTFE（フッ素系樹脂））やライナーリング（旧材質：高純度アルミナセラミックス）等の材質も合わせてSiC（シリコンカーバイド）へ変更となった。

なお、その原因調査において、マウスリングおよびライナーリングの摺動面の荒れやマウスリング固定部の異常は確認されていない。

（添付資料－3）

※8 令和4年6月13日に発生した事象

ETA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、電解槽供給ポンプBのベアリングの腐食が進み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た事象。

c. 点検周期

1回／9年

なお、電解槽供給ポンプA、Bともに、取り替え後、点検実績なし。

(3) 運転状況の調査

電解槽供給ポンプは、1台でETA排水処理装置が定格運転できる容量を有するものを2台設置しており、2か月毎に運転するポンプを切り替え、通常は1台のみ運転している。

なお、電解槽供給ポンプは、ETA排水処理装置運転時には連続運転している。

（添付資料－4）

a. 事象1までの運転履歴

(a) 電解槽供給ポンプA

令和5年5月にポンプ一式を取り替えた以降の運転パラメータについて確認したところ、異常は確認されなかった。

また、振動測定を4回（月1回）実施しているが、異常は確認されな

った。

(b) 電解槽供給ポンプB

令和4年9月にポンプ部品を取り替えた以降の運転パラメータについて確認したところ、異常は確認されなかった。

また、令和5年6月の振動測定において、管理値以下であったものの振動上昇が確認されたことから、振動測定頻度を月1回から週1回に増やして監視を強化していた。

なお、この振動上昇については、令和5年12月に実施した電動機の点検結果から、軸受けの経年劣化（グリス切れ）によるものと判明し、今回の事象との関連性はないと考えられる。

b. 事象1から事象2までの運転履歴

(a) 電解槽供給ポンプA

事象1発生後、令和5年12月に同仕様の新品のポンプ部品へ取り替えた以降の運転パラメータについて確認したところ、異常は確認されなかった。

また、振動測定を4回（週1回）実施しているが、異常は確認されなかった。

(b) 電解槽供給ポンプB

事象1発生後、令和5年12月に同仕様の新品のポンプ部品へ取り替えた以降の運転実績（試運転は除く）はなかった。

(4) メーカー調査結果

事象1の電解槽供給ポンプA、Bの構成部品をメーカーへ送付し、調査を実施した結果、本事象が発生した要因として、以下の事項が考えられるとの見解を得た。

a. マウスリングとライナーリングの摺動部における潤滑不良

ポンプ運転中に、ポンプ内部に気体が混入することで、マウスリングとライナーリングの摺動部に潤滑不良（液膜のない乾いた状態での摺動）が発生し、表面に荒れが生じて摩擦抵抗が上がり、インペラユニットの回転方向に荷重（力）がかかることで、マウスリングの固定部のツメが破損したものと推定した。

なお、マウスリングの材質は、今回破損したSiC（シリコンカーバイド）と充てん剤入PTFE（フッ素系樹脂）の2種類があり、その特徴は次のとおり。

- SiC（シリコンカーバイド）は、耐薬品性と耐摩耗性に優れるが、自己潤滑性が充てん剤入PTFE（フッ素系樹脂）に比べて劣る（自身の摩擦係数が大きい）。

- ▶ 充てん剤入PTFE（フッ素系樹脂）は、自己潤滑性に優れる（自身の摩擦係数が小さい）が、耐摩耗性がSiC（シリコンカーバイト）に比べて劣る。

b. インペラユニットの揺動

インペラユニットは、ポンプケーシング内が満水状態で運転することで、ポンプ吸込口側とポンプケーシング内部との圧力差によりマウスリングとライナーリング、リアリングとリアスラストに隙間がある状態（初期位置）から吸込口側へ推力が働き、マウスリングとライナーリングに摺動が発生する。この状態で気体が混入し、ポンプ内部の圧力が変動することで、インペラユニットがスラスト方向で前後に移動を繰り返したと考えられ、これは、リアリングとリアスラストに摺動痕が確認されたことからインペラユニットが揺動していたと推定した。

（添付資料－7）

以上より、マウスリングが破損に至った経緯は以下の通りであり、事象2についても事象1と同じ要因にて不具合が発生したものと推定した。

- ① ポンプ内部への気体の混入
- ② マウスリングとライナーリングの摺動部で潤滑不良が発生
- ③ マウスリングとライナーリングの摺動面に荒れが生じ、摩擦抵抗が増加
- ④ マウスリングの固定部のツメに荷重（力）がかかり、ツメが破損
- ⑤ インペラユニットの揺動によるスラスト方向の衝撃
- ⑥ マウスリングの脱落、その後の運転継続によるマウスリングの破損

（添付資料－8）

また、メーカーより今回の事象を踏まえ、マウスリングとその摺動部品であるライナーリングの自己潤滑性を高めるため、マウスリングの材質を現在のSiC（シリコンカーバイト）から充てん剤入PTFE（フッ素系樹脂）へ、ライナーリングの材質を現在のSiC（シリコンカーバイト）から高純度アルミナセラミックスへ変更するよう提案があった。

なお、その他の部品の材質については、メーカーによる調査結果より、変更する必要はないとの見解を得た。

（添付資料－3）

（5）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、電解槽供給ポンプの不具合を2件確認した。

a. 平成16年2月13日に発生した電解槽供給ポンプAの不具合

弁の不具合によりポンプ水張り時に軸受けまわりに空気だまりが発生し、

その状態でポンプを運転したことにより軸受部を損傷させた事象であり、対策として弁部品の取り替え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、弁の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、当該事象との関係性はない。

b. 令和4年6月13日に発生した電解槽供給ポンプBの不具合

E T A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、ベアリングの腐食が進み、スピンドルが折損した事象であり、対策としてベアリングを次亜塩素酸ソーダに対する耐食性が高い材質へ取り替えた（高密度カーボン→SiC（シリコンカーバイト））。今回の事象は、構成部品の耐食不良によるものではないが、令和4年6月13日に発生した不具合への対策の一環でマウスリングおよびライナーリングの材質がSiC（シリコンカーバイト）へ変更されていたことにより今回の事象が発生したものと推定する。

(6) 類似機器の調査

今回、不具合のあった電解槽供給ポンプと同じ、マグネット式ノンシールポンプ^{※9}を類似機器として調査した。

類似機器は6台あり、構造および構成部品の材質が同じものが2台（電解液ポンプA、B）、構造は同じであるが構成部品の材質が異なるものが4台（処理水ポンプA、Bおよび苛性ソーダ注入ポンプA、B）あった。

類似機器6台については、運転中にポンプ内部へ気体が混入する系統には設置されておらず、これまでに本事象と同様の事象の発生は確認されていない。

また、類似機器6台の至近の運転状態を確認した結果、異常は確認されず、至近の振動測定においても異常は確認されなかった。

※9 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。

8. 追加調査

7. (4) のメーカ調査にて、ポンプ運転中に気体が混入することで、マウスリングとライナーリングの摺動部に潤滑不良が発生した可能性があることから、メーカ提案のマウスリングとライナーリングの材質変更および気体の混入状況について調査した。

(1) マウスリングとライナーリングの材質変更についての確認

マウスリングとライナーリングの材質変更（マウスリング：SiC（シリコンカーバイト）から充てん剤入りPTFE（フッ素系樹脂）に変更、ライナーリング：SiC（シリコンカーバイト）から高純度アルミナセラミックスに変更）の有効性を確認するため、材質変更後の電解槽供給ポンプA、Bを1週間毎に切り替え

ながら、運転状態の確認と分解点検を実施し、それぞれのポンプで合計4週間分運転し、ポンプ構成部品の状態を確認した。

その結果、材質を変更したマウスリングとライナーリングに有意な摩耗や傷等は確認されず、良好な状態であった。また、その他のポンプ構成部品についても異常は確認されなかった。

(2) 電解槽供給ポンプ内部への気体混入状況の調査

a. 気体混入状況の調査

E T A排水処理装置は、電解で生成した次亜塩素酸ソーダを用いてE T Aの大半を二酸化炭素、窒素と水に分解するものであるが、処理系統内で気体が発生するため、これまでに気体の混入量低減対策や電解槽供給ポンプ起動前には系統内の気体を排出する作業（ベンティング）を実施している。

(添付資料－4)

今回、系統内を目視できるように、電解槽供給ポンプ入口の配管の一部を透明な配管に取り替え、ポンプ内部への気体混入の状況を調査した。

その結果、電解処理後、電解槽供給ポンプへの排水の供給元となる排水貯槽（A、B）が切り替わるタイミングで、2，3秒間程度、透明配管において気体を確認した。

具体的には、「排水貯槽BからA」への切り替え時において、大きな気泡がポンプに混入し、ポンプの出口圧力、流量が短時間ではあるが大きく変動していることを確認した。

一方で、「排水貯槽AからB」への切り替え時においては、ポンプへの気体の混入はあるものの、「排水貯槽BからA」への切り替え時に比べ、気泡は小さく、ポンプの出口圧力、流量の変動は比較的小さい、またはほとんどない状況であった。

「排水貯槽AからB」と「排水貯槽BからA」の切り替え時で、ポンプ内部に混入する気泡の大きさに違いがあるのは、過去に気体の混入量低減対策として、排水貯槽B内部の吸込管端部にあった下向きL字配管を取り外し、管端部から気体が一定程度排出される構造となっていたことによるものと推定した。

(添付資料－9，10)

b. 気体混入量の低減

a. の推定から、ポンプ内部への気体の混入を低減するため、排水貯槽A内部の吸込管端部にある下向きL字配管を取り外し、E T A排水処理装置を運転して、「排水貯槽BからA」への切り替え時におけるポンプへの気体の混入状況およびポンプの運転状態について確認を実施した。

その結果、気体の混入はあるものの、気泡は小さくなり、ポンプの出口圧力、流量の変動も小さくなったことを確認した。

(添付資料－10，11)

9. 推定原因

調査の結果、E T Aを含む排水を電解処理する際に発生する気体が運転中の電解槽供給ポンプ内へ混入することにより、材質がSiC（シリコンカーバイト）であったマウスリングとライナーリングの摺動面の潤滑不良が発生していた。

その状態で運転を継続することにより、マウスリングとライナーリングの摺動面に荒れが生じて摩擦抵抗が上がり、インペラユニットの回転方向に荷重（力）がかかることでマウスリングの固定部のツメが破損するとともに、インペラユニットの揺動によるスラスト方向の衝撃でマウスリングが脱落し、破損に至ったものと推定した。

マウスリングとライナーリングの摺動面の潤滑不良は、過去の不具合への対策の一環でマウスリングとライナーリングの材質がSiC（シリコンカーバイト）に変更されていたことにより発生したものと推定した。

10. 対 策

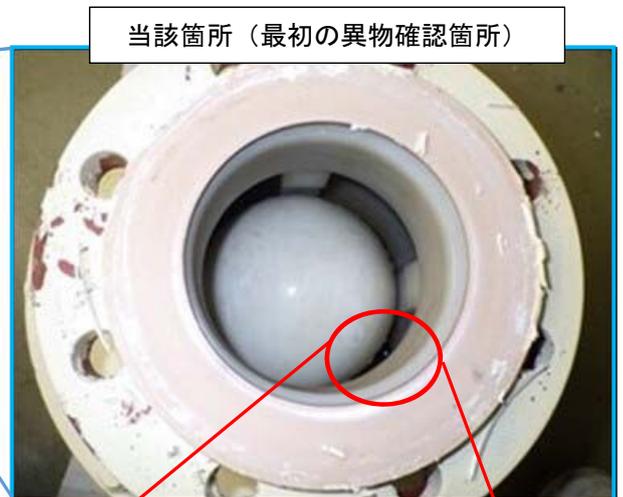
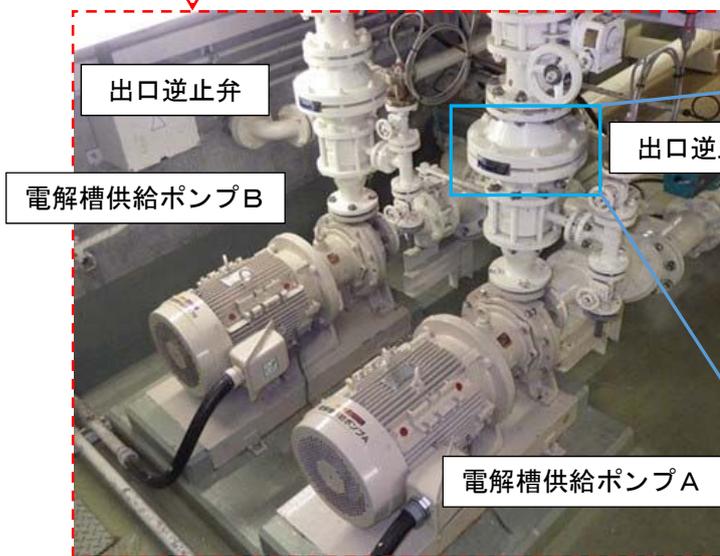
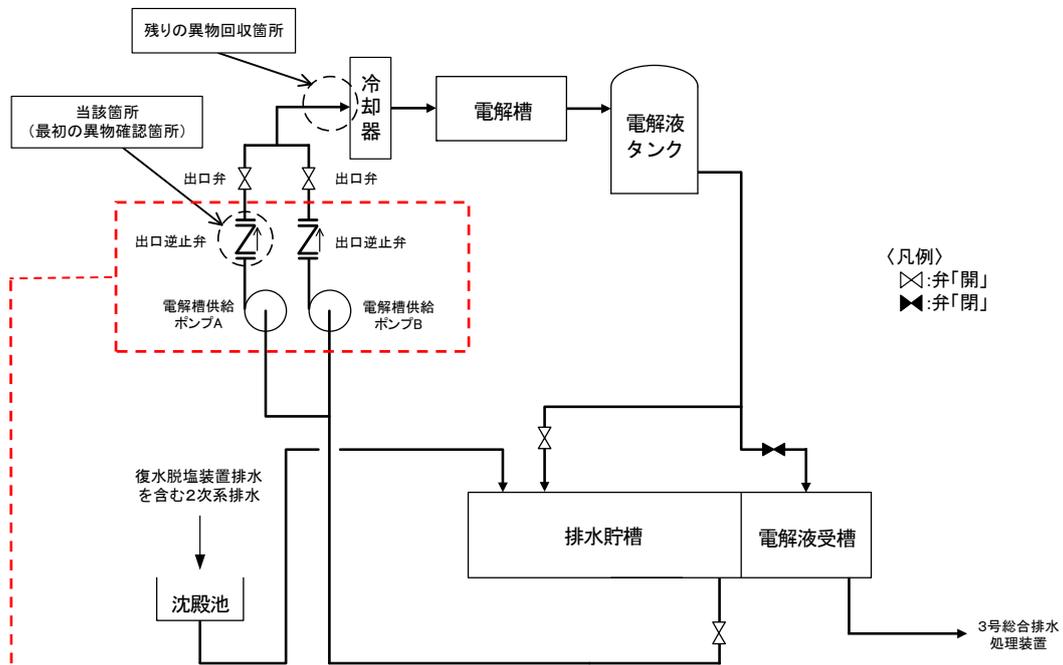
- (1) 電解槽供給ポンプのマウスリングの材質について、自己潤滑性に優れる（自身の摩擦係数が小さい）充てん剤入 PTFE（フッ素系樹脂）へ変更するとともに、ライナーリング（マウスリングと摺動する部品）の材質についても、過去に充てん剤入 PTFE（フッ素系樹脂）のマウスリングとの組み合わせで使用実績がある高純度アルミナセラミックスへ変更した。
- (2) 電解槽供給ポンプへの気体の混入を低減するため、排水貯槽 A 内部の吸込管端部にある下向き L 字配管を取り外した。
- (3) 当面は電解槽供給ポンプを 2 か月運転する毎に点検を行い、マウスリングの摩耗進展状況など、運転に伴うポンプ構成部品の劣化進展状況のデータ拡充を図り、段階的に点検期間を延ばしながら適切な点検周期を設定する。
- (4) 類似機器のうち構造および構成部品の材質が電解槽供給ポンプと同じ電解液ポンプ（2 台）について、念のため、マウスリングの材質を自己潤滑性に優れる充てん剤入 PTFE（フッ素系樹脂）へ変更するとともに、ライナーリングの材質を高純度アルミナセラミックスへ変更する。
- (5) 製造中止や不具合に対する是正処置として機器や部品の仕様を変更する場合は、変更箇所の使用環境や系統の運転状態等を十分に考慮した影響検討を行い、仕様変更による不具合の発生を防止する旨を、ノウハウや教訓をまとめた資料に整理し、関係者へ周知した。

以 上

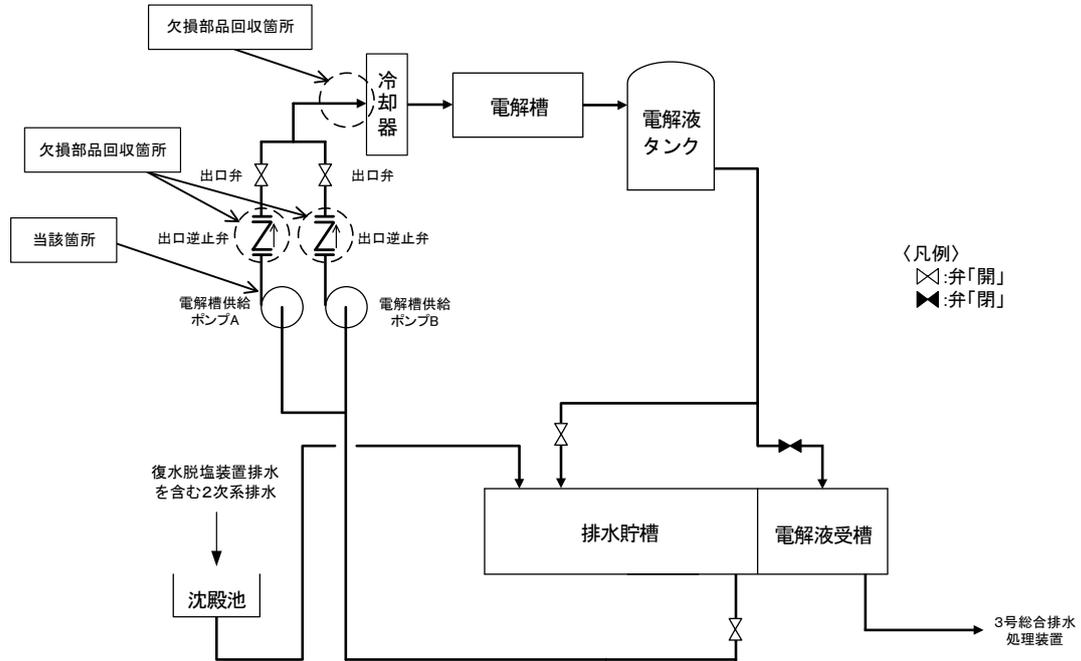
添 付 資 料

- 添付資料－ 1 事象発生時の状況（事象 1 概要）
- 添付資料－ 2 事象発生時の状況（事象 2 概要）
- 添付資料－ 3 電解槽供給ポンプ構造図および構成部品の材質変更状況
- 添付資料－ 4 E T A排水処理装置の運転
- 添付資料－ 5 現地調査結果（事象 1）
- 添付資料－ 6 現地調査結果（事象 2）
- 添付資料－ 7 インペラユニットの揺動
- 添付資料－ 8 マウスリング破損のメカニズム（推定）
- 添付資料－ 9 電解槽供給ポンプ内部への気体混入状況調査
- 添付資料－ 10 過去に実施した気体の混入量低減対策
- 添付資料－ 11 排水貯槽 A 吸込管端部下向き L 字配管取り外し後の状況

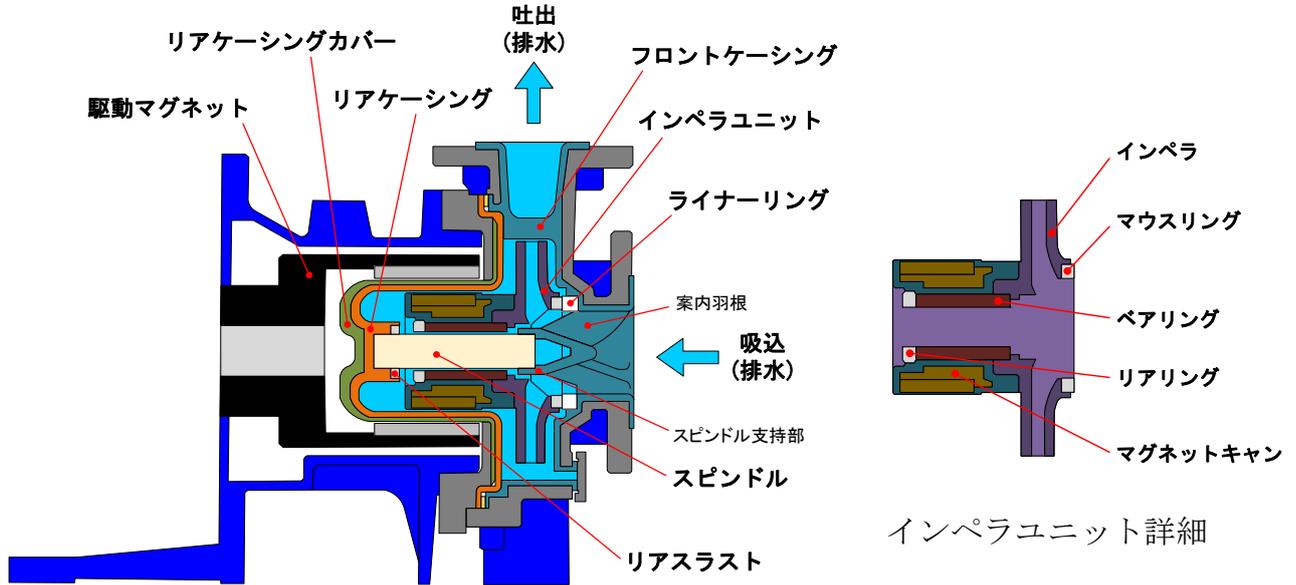
事象発生時の状況（事象1 概要）



事象発生時の状況（事象2概要）



電解槽供給ポンプ 構造図



構成部品の材質変更状況

<接液部材質> ■ : 変更箇所

名 称	材 質		
	変更前 (令和4年9月以前) 電解槽供給ポンプBのみ	変更後 (令和4年9月以降) 電解槽供給ポンプA, B (ポンプAは令和5年5月以降)	今回の対策 (令和6年2月以降) 電解槽供給ポンプA, B
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	SiC (シリコンカーバイド)	←
スピンドル	高純度アルミナセラミックス	SiC (シリコンカーバイド)	←
ライナーリング	高純度アルミナセラミックス	SiC (シリコンカーバイド)	高純度アルミナセラミックス
マウスリング	充てん剤入PTFE (フッ素系樹脂)	SiC (シリコンカーバイド)	充てん剤入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	SiC (シリコンカーバイド)	←
リアスラスト	充てん剤入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

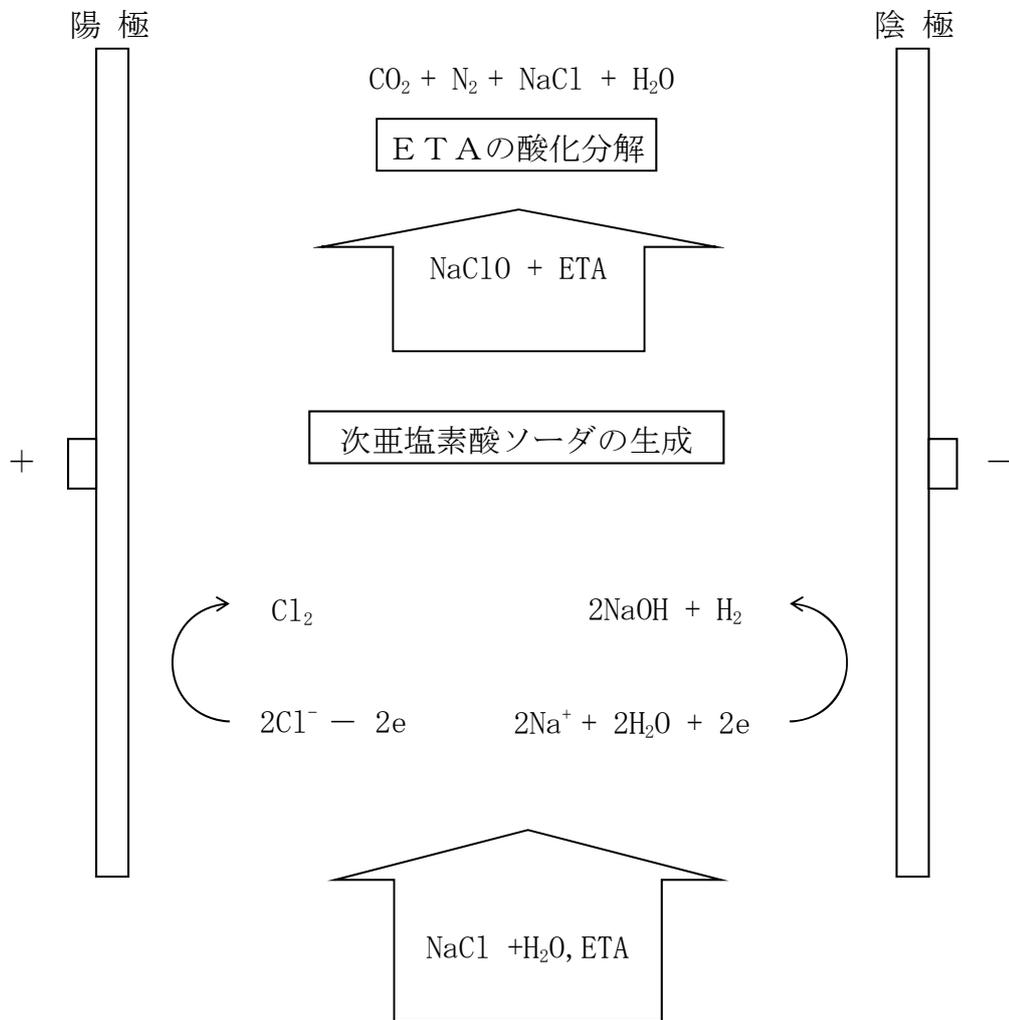
モータの回転軸に固定され、駆動マグネットとマグネットキャン間の磁力により、モータの回転運動をインペラユニットへ伝達する部品

ETA排水処理装置の運転

1. ETAの電解酸化分解

ETA排水処理装置にて、ETAを分解する原理は以下の通り。

- ① ETAを含む排水（以下、「ETA排水」という。）に含まれる塩化ナトリウム（NaCl）を電解法で分解し、次亜塩素酸ソーダ（NaClO）を生成する。
- ② 次亜塩素酸ソーダを用い、ETA（ $\text{H}_2\text{NC}_2\text{H}_4\text{OH}$ ）の大半を二酸化炭素、窒素と水に分解させる。以下に概念図を示す。



電解酸化分解 概念図

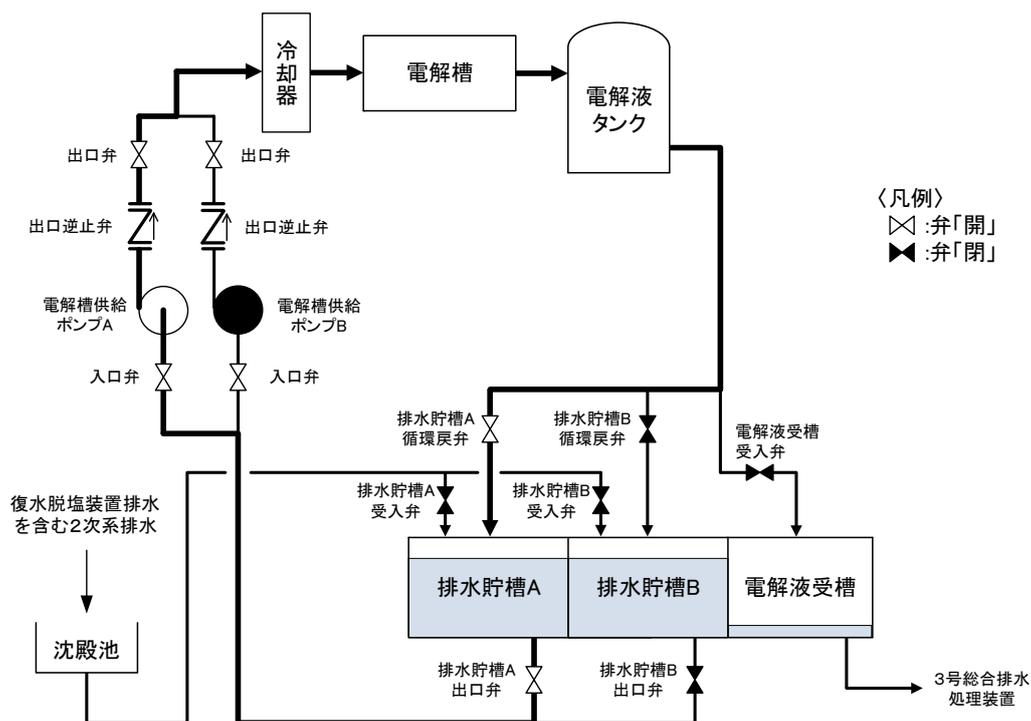
2. E T A排水処理装置の運転系統

E T A排水処理装置の運転系統について、電解槽供給ポンプ※Aで排水貯槽AのE T A排水を処理する場合で説明する。

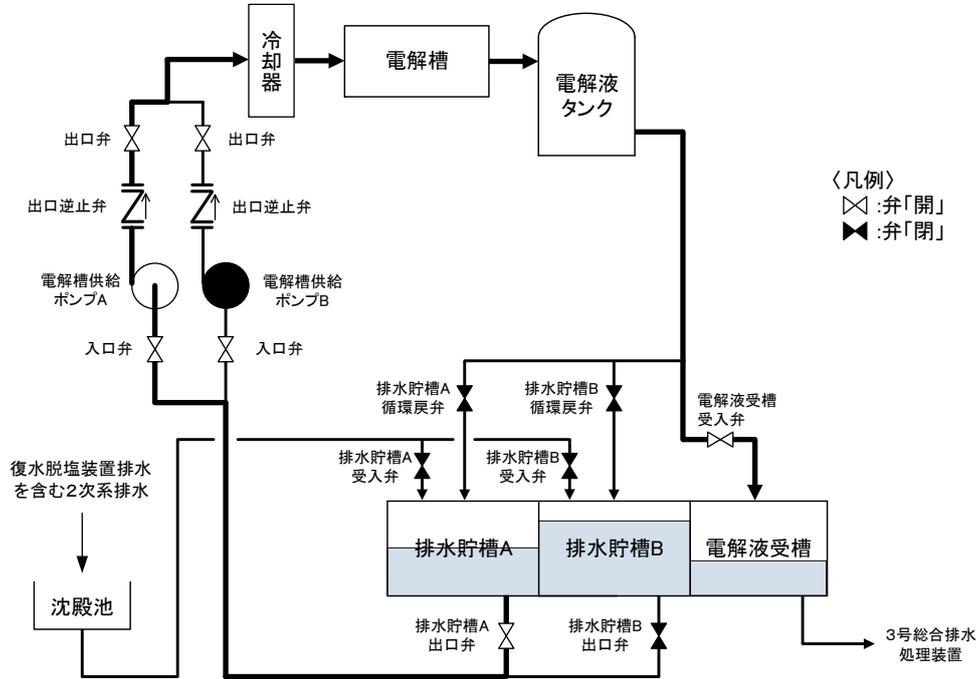
※ 電解槽供給ポンプは、1台でE T A排水処理装置が定格運転できる容量を有するものを2台設置しており、2か月毎に運転するポンプを切り替え、通常は1台のみ運転している。

なお、電解槽供給ポンプは、E T A排水処理装置運転時には連続運転している。

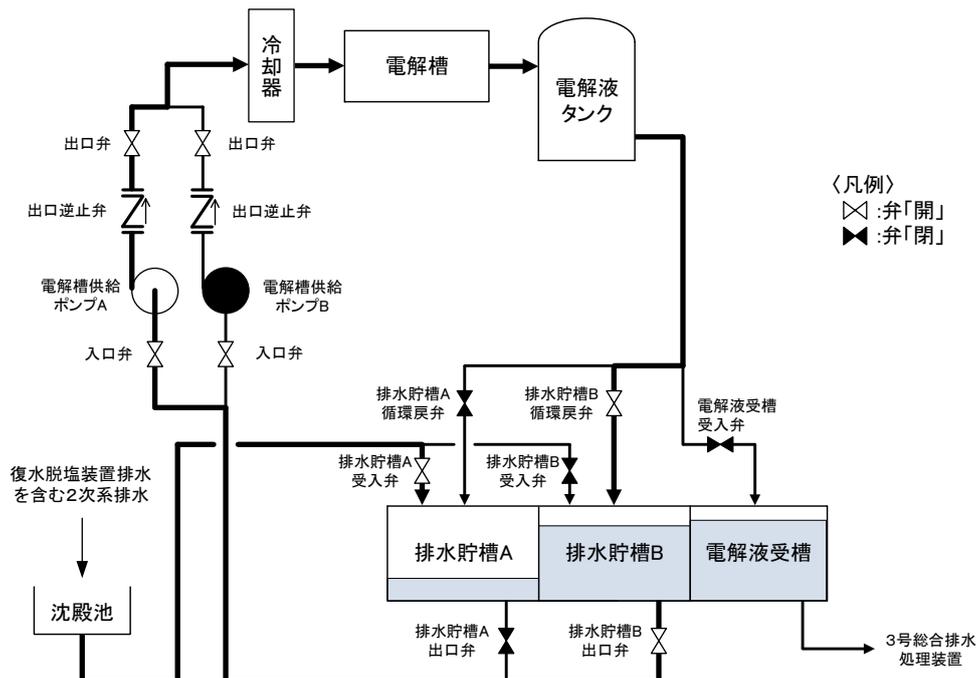
- ① E T A排水は、排水貯槽A→電解槽供給ポンプA→冷却器→電解槽→電解液タンク→排水貯槽Aを規定時間（約100分）循環しながら電解処理され、排水中に次亜塩素酸ソーダを生成し、E T Aを分解する。



- ② 規定時間後のE T A排水（電解液）は、電解液受槽受入弁が「開」、排水貯槽A循環戻弁が「閉」となり、電解液受槽に受け入れられる。



- ③ E T A排水が、排水貯槽Aの規定水位まで下がった時点で、排水貯槽B出口弁および排水貯槽B循環戻弁が「開」、電解液受槽受入弁が「閉」となり、排水貯槽Bの循環処理が開始されるとともに、排水貯槽A受入弁が「開」となり、新たなE T A排水が受け入れられる。
 (以降、排水貯槽をA、Bで切り替えながら、E T A排水の処理をくり返す。)



現地調査結果（事象1）

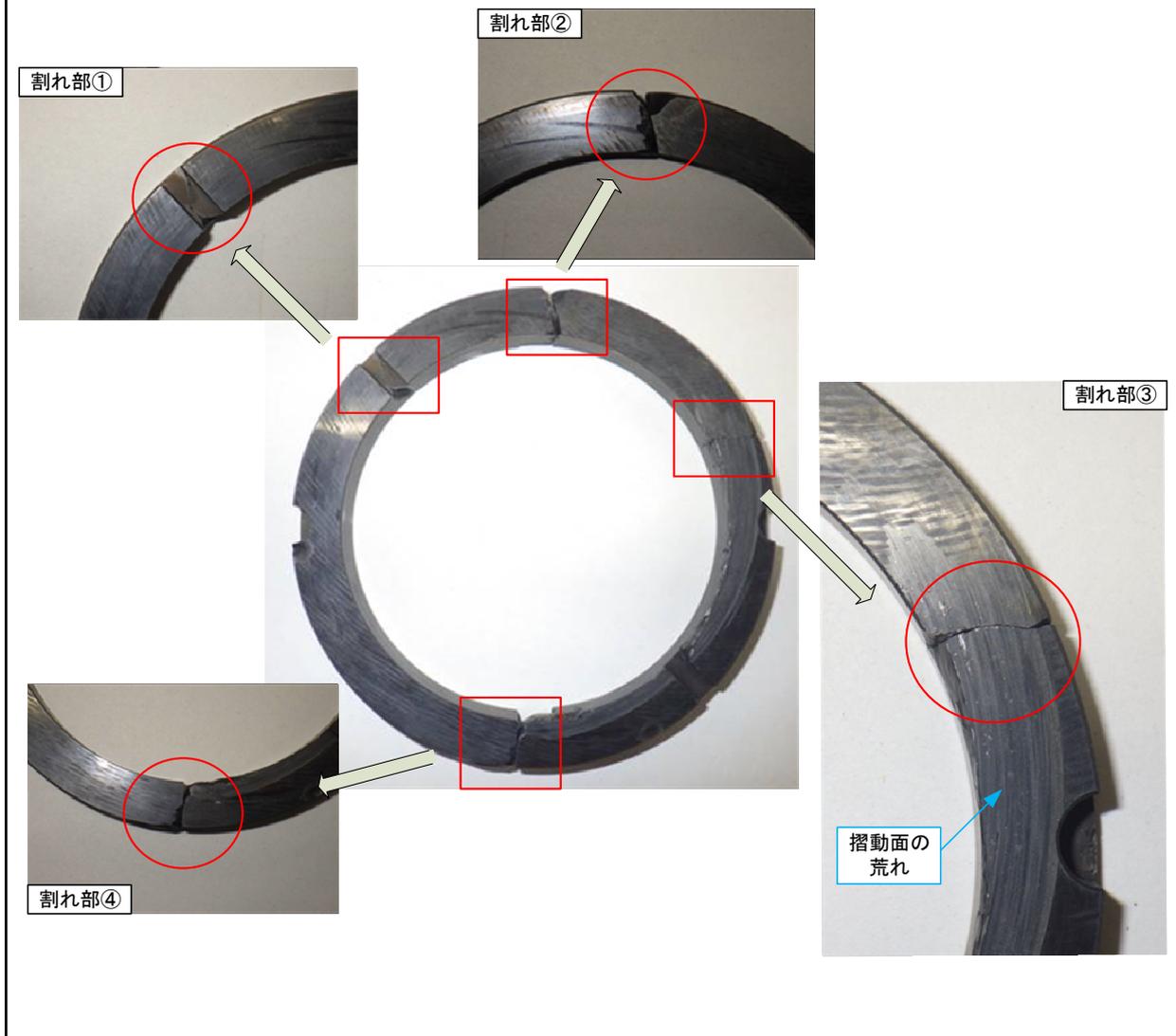
1. 電解槽供給ポンプA外観目視点検

a. インペラユニット

- ① インペラからマウスリングが脱落しており、インペラのフロント全面にフロントケーシングとの接触痕を確認した。
- ② リアリングにリアスラストとの摺動痕を確認した。
- ③ ベアリングおよびマグネットキャンに有意な傷、摩耗等はなかった。

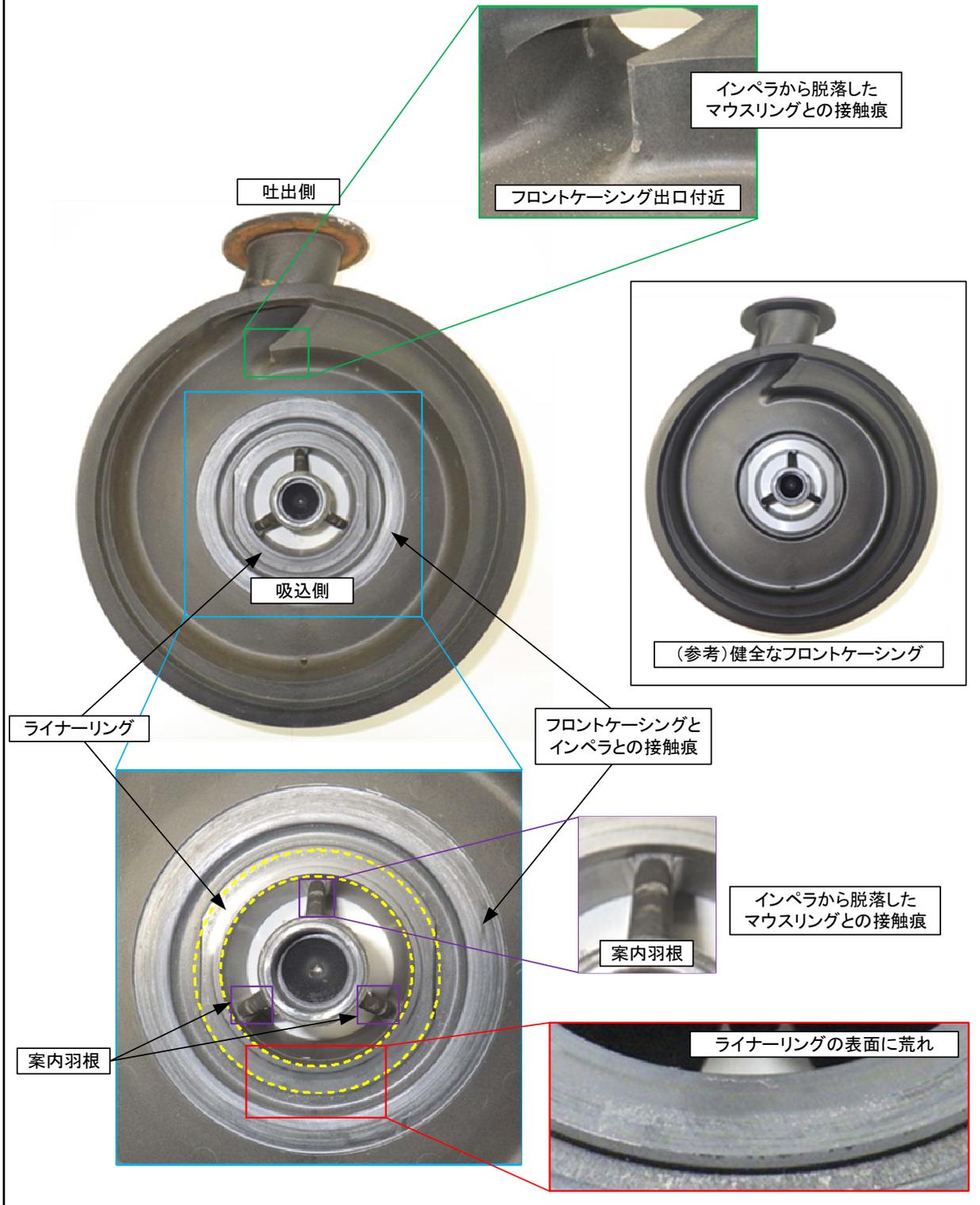


④ マウスリングが4つに割れて破損しており、ライナーリングとの摺動面に荒れを確認した。



b. フロントケーシング

- ① フロントケーシングにインペラとの接触痕を確認した。
- ② ライナーリングの表面に荒れを確認した。
- ③ 吸込側の案内羽根およびケーシングの出口付近にインペラから脱落したマウスリングとの接触痕を確認した。



c. リアスラスト



リアリングとの摺動痕

① リアスラストにリアリングとの摺動痕を確認した。

d. スピンドル、リアケーシング、リアケーシングカバー、駆動マグネットに、有意な傷、摩耗等はなかった。



スピンドル



リアケーシング



リアケーシングカバー

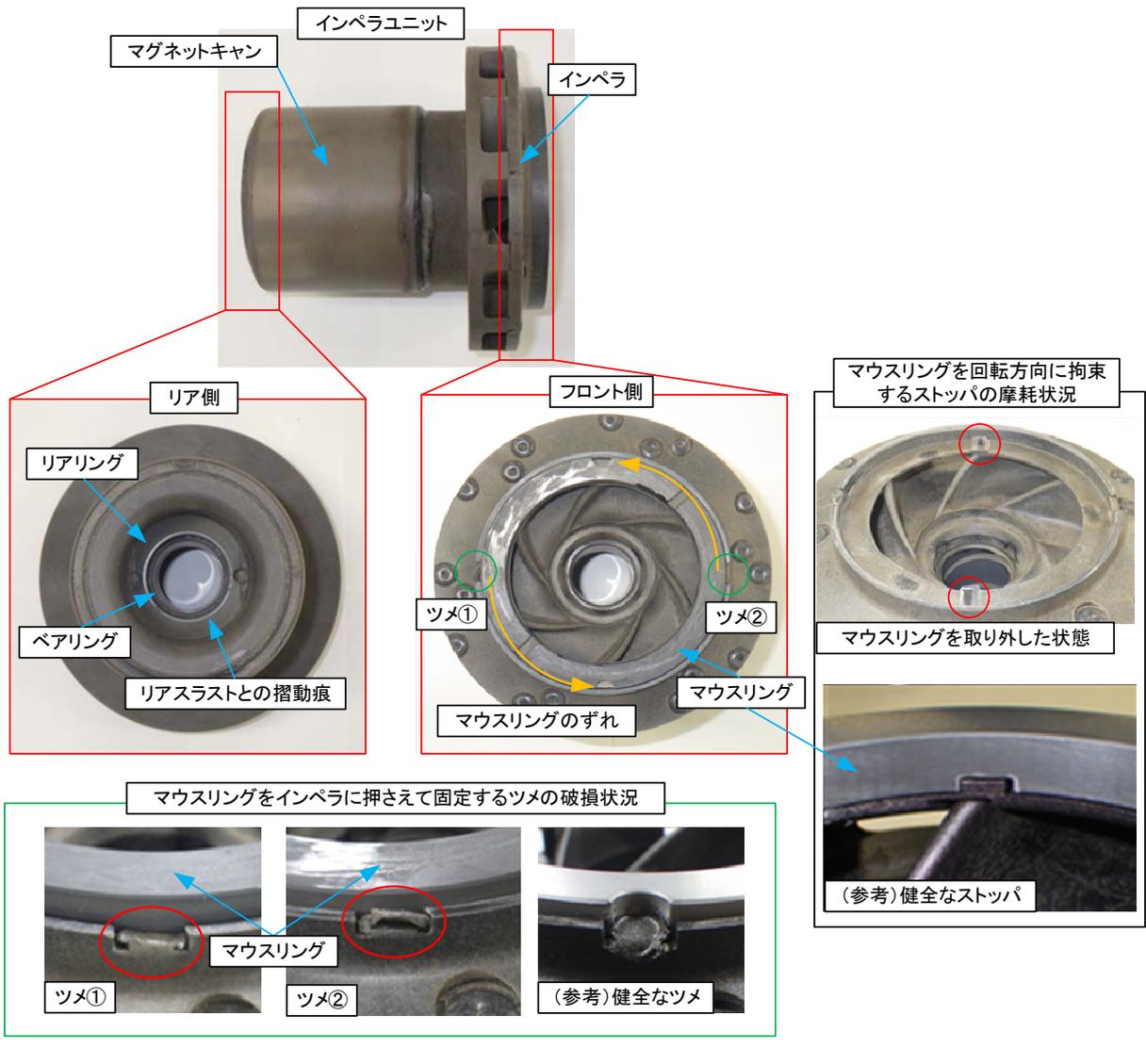


駆動マグネット

2. 電解槽供給ポンプB外観目視点検

a. インペラユニット

- ① マウスリングが本来の取り付け位置から90度程度回転し、ずれていることを確認した。
- ② マウスリングをインペラに押さえて固定するツメ（2箇所）が損傷し、マウスリングを回転方向に拘束するストップ（2箇所）の摩耗を確認した。
- ③ リアリングにリアスラストとの摺動痕を確認した。
- ④ ベアリングおよびマグネットキャンに有意な傷、摩耗等はなかった。

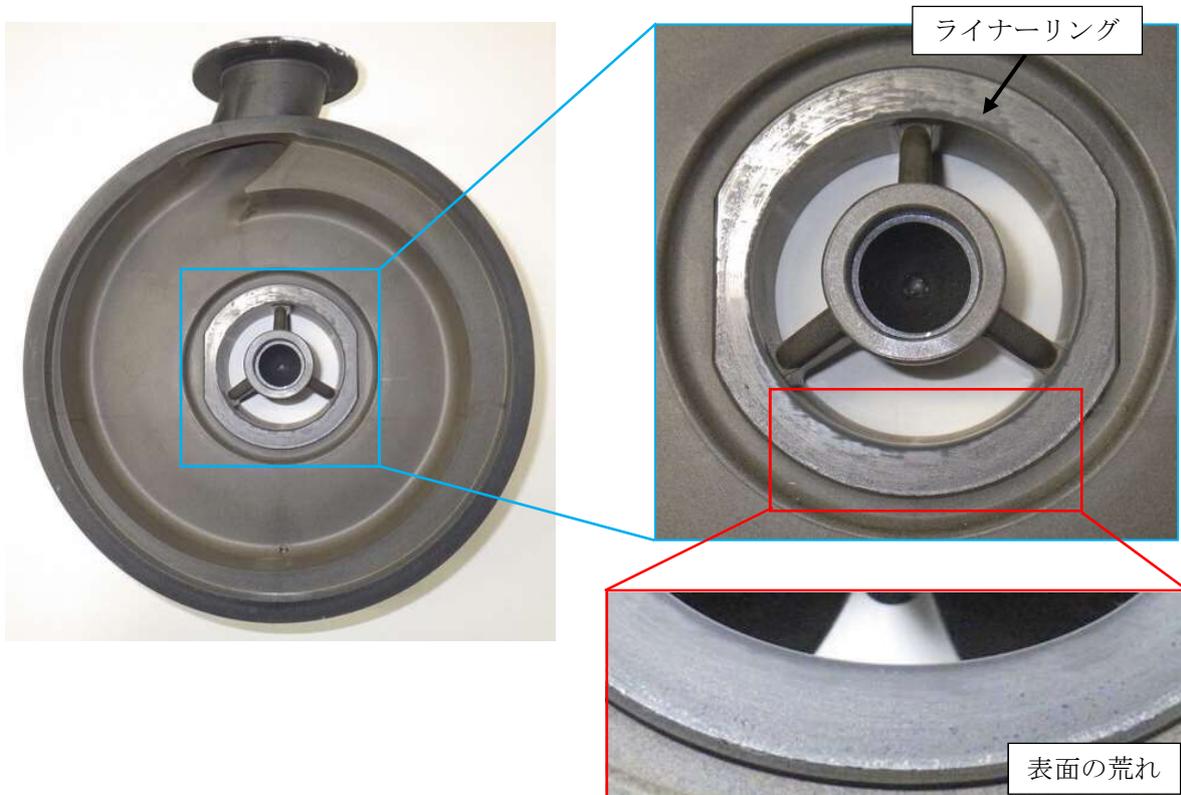


⑤ マウスリングのライナーリングとの摺動面に荒れを確認した。



b. フロントケーシング

① ライナーリングの表面に荒れを確認した。



c. リアスラスト



① リアスラストにリアリングとの摺動痕を確認した。

d. スピンドル、リアケーシング、リアケーシングカバー、駆動マグネットに、有意な傷、摩耗等はなかった。



スピンドル



リアケーシング



リアケーシングカバー



駆動マグネット

現地調査結果（事象2）

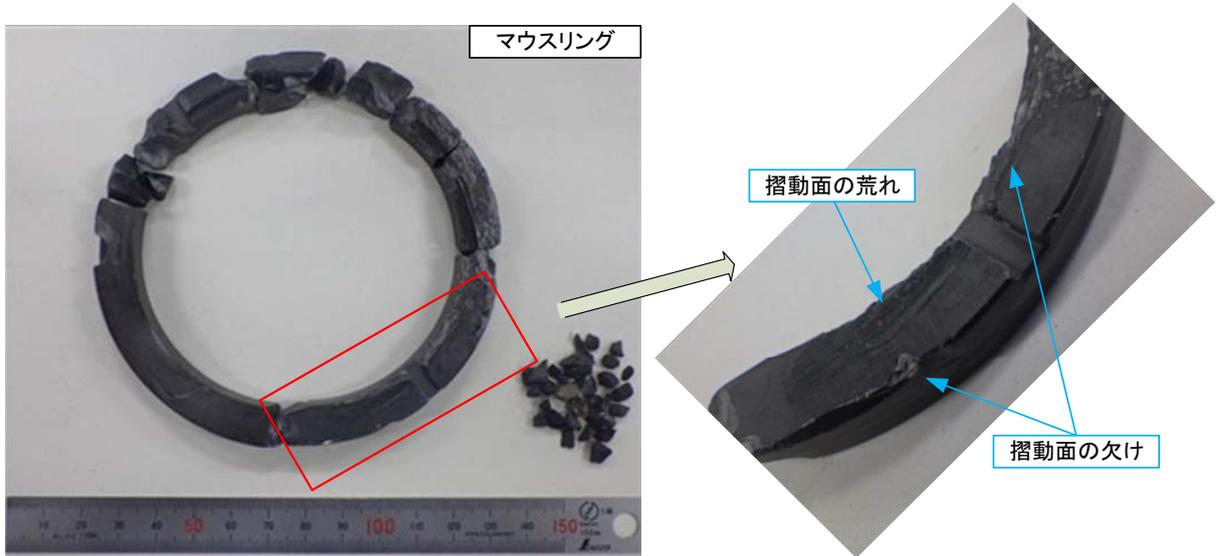
1. 電解槽供給ポンプA外観目視点検

a. インペラユニット

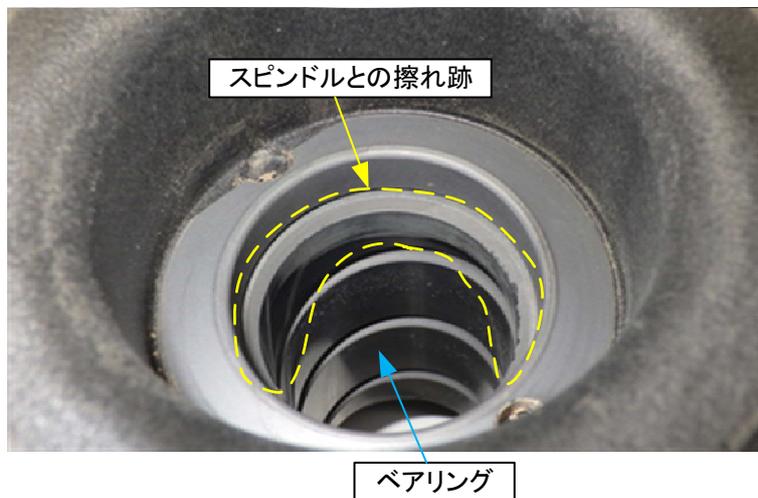
- ① インペラからマウスリングが脱落しており、インペラのフロント全面にフロントケーシングとの接触痕を確認した。
- ② リアリングにリアスラストとの摺動痕を確認した。
- ③ マグネットキャンに有意な傷はなかった。



- ④ マウスリングが複数に割れて破損しており、ライナーリングとの摺動面に荒れおよび欠けを確認した。

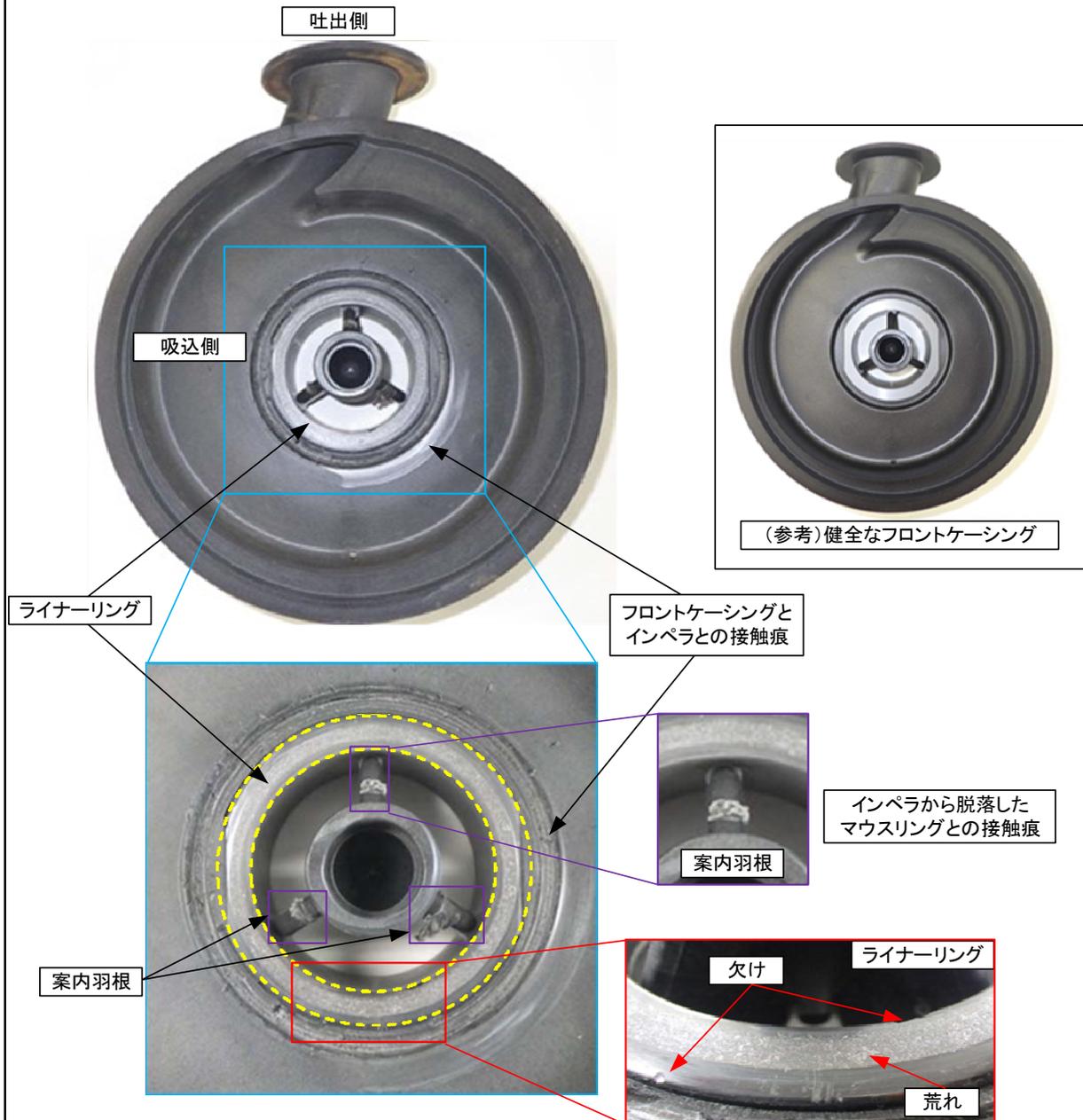


- ⑤ ベアリング内面にスピンドルとの擦れ跡があった。



b. フロントケーシング

- ① フロントケーシングにインペラとの接触痕を確認した。
- ② ライナーリングの表面に荒れおよび欠けを確認した。
- ③ 吸込側の案内羽根にインペラから脱落したマウスリングとの接触痕を確認した。



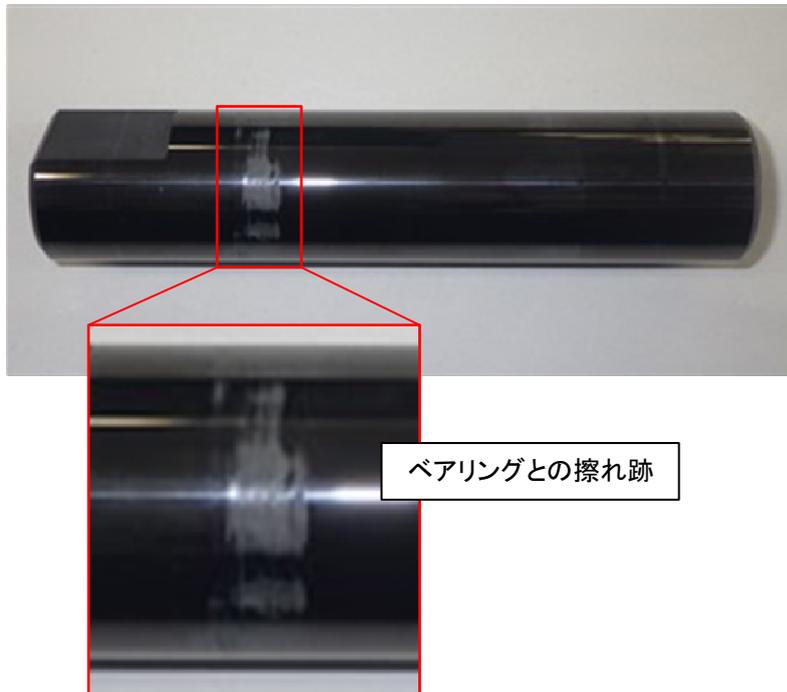
c. リアスラスト



① リアスラストにリアリングとの摺動痕を確認した。

d. スピンドル

① スピンドル外面にベアリングとの擦れ跡を確認した。



e. リアケーシング、リアケーシングカバー、駆動マグネットに、有意な傷、摩耗等はなかった。



リアケーシング



リアケーシングカバー



駆動マグネット

2. 電解槽供給ポンプB外観目視点検

インペラユニット、フロントケーシング、リアスラスト、スピンドル、リアケーシング、リアケーシングカバー、駆動マグネットに有意な傷、摩耗等はなかった。



インペラユニット



フロントケーシング



リアスラストおよびスピンドル



リアケーシング

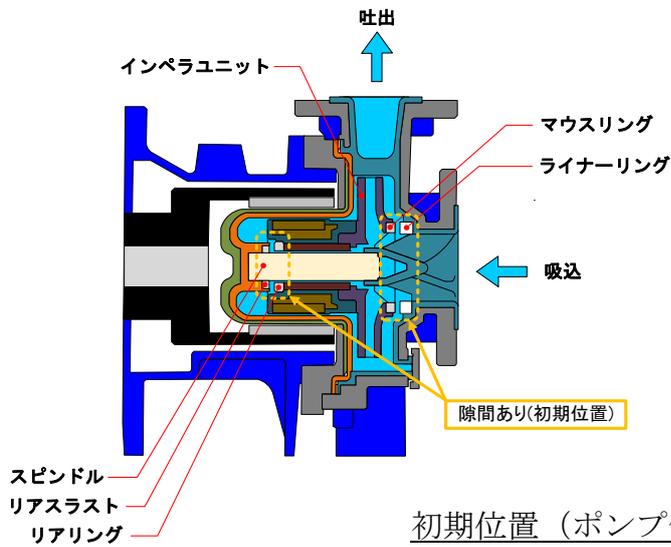


リアケーシングカバー

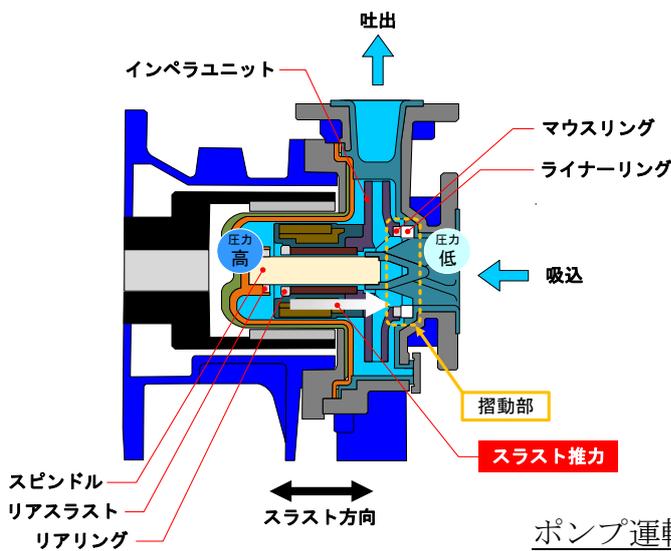


駆動マグネット

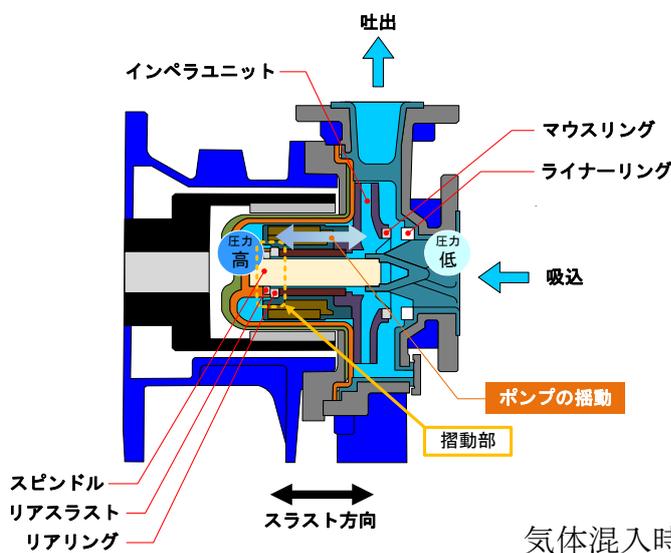
インペラユニットの揺動



マウスリングとライナーリング、リアリングとリアスラストに隙間がある状態



運転によるポンプ吸込口側とポンプケーシング内部との圧力差により吸込口側へ推力(スラスト推力)が働き、マウスリングとライナーリング側で摺動が発生



気体が混入し、圧力が変動することで、インペラユニットがスラスト方向で前後に移動を繰り返し、リアリングとリアスラストで摺動が発生(ポンプの揺動)

マウスリング破損のメカニズム（推定）

マウスリングが破損に至った経緯（推定）は以下の通りである。

- ① ポンプ内部への気体の混入
- ② マウスリングとライナーリングの摺動部で潤滑不良（液膜のない乾いた状態での摺動）が発生
- ③ マウスリングとライナーリングの摺動面に荒れが生じ、摩擦抵抗が増加
- ④ マウスリングの固定部のツメに荷重（力）がかかり、ツメが破損
- ⑤ インペラユニットの揺動によるスラスト方向の衝撃
- ⑥ マウスリングの脱落、その後の運転継続によるマウスリングの破損

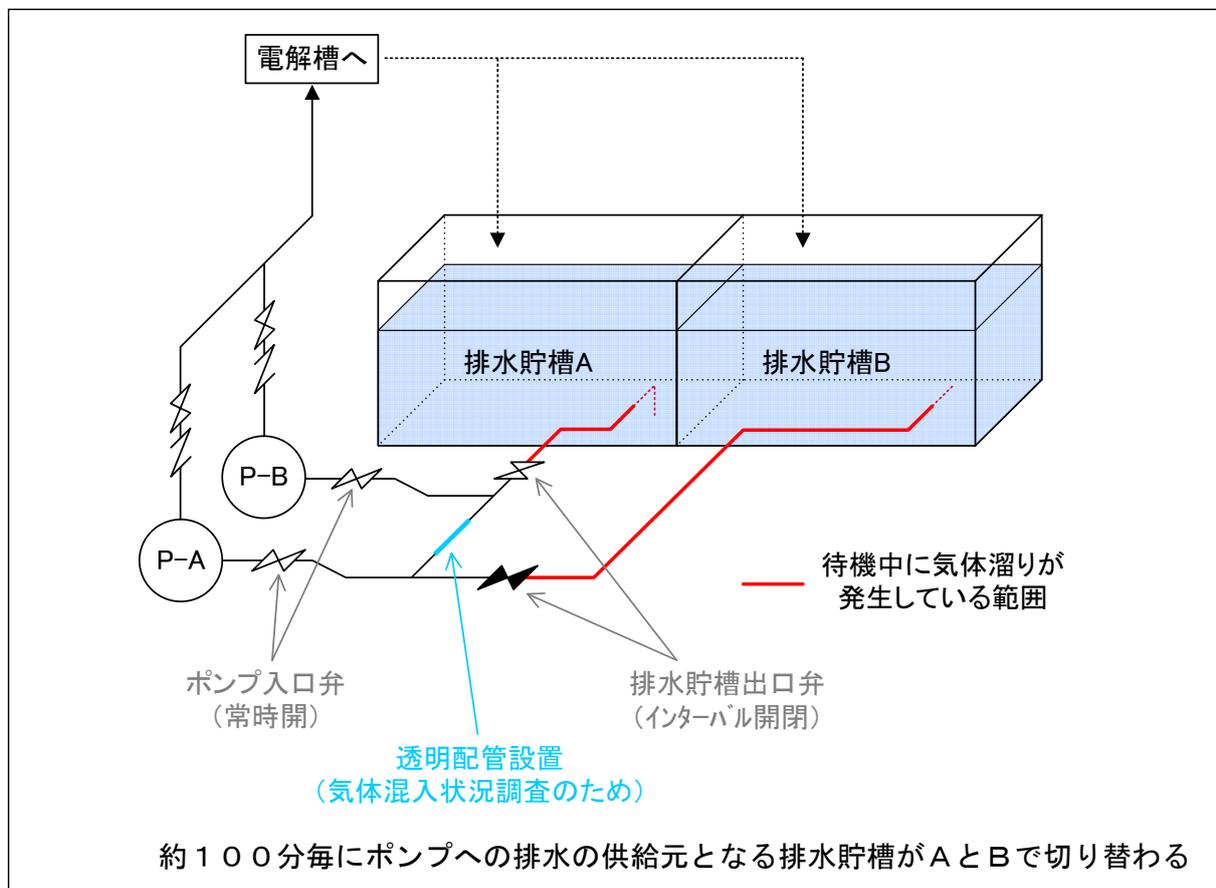


電解槽供給ポンプ内部への気体混入状況調査

電解処理中のE T A排水からは、主に二酸化炭素および窒素が常時発生している状況となるが、過去の運転経験に基づく気体の混入量低減対策や、十分なポンプ運転前の系統内の気体を排出する作業（ベンディング）により、電解処理中に発生する気体によって、マウスリングとライナーリングの摺動部に潤滑不良（液膜のない乾いた状態での摺動）が発生すると認識はなかったことから、ポンプ入口の配管の一部を透明な配管に取り替え、ポンプ内部への気体混入の状況を調査した。

その結果、規定時間の電解処理が完了し、電解槽供給ポンプへの排水の供給元となる排水貯槽の切り替え*のために待機側（排水貯槽出口弁が閉まっている側）の排水貯槽出口弁が開となるタイミングで、2，3秒程度、透明配管において気体が混入していることを確認したことから、待機側の排水貯槽～排水貯槽出口弁間（下図の赤線部）において気体溜りが発生しているものと考えられる。

※ E T A排水処理装置の運転は、電解処理（循環運転）完了後に排水貯槽Aの水位が規定水位まで低下すれば、排水貯槽Bに自動で切り替わる運用となっており、約100分毎に排水貯槽が切り替わる。



気体混入状況調査概略図

また、排水貯槽Bから排水貯槽Aへの切り替え時において、気体が大きな気泡となって混入しており、ポンプの出口圧力、流量が短時間であるが大きく変動していることを確認した。

排水貯槽切り替え時の運転パラメータ

	ポンプ出口圧力[MPa]	ポンプ出口流量[m ³ /h]
通常時（循環処理中）	約 0.28～0.29	約 72～74
排水貯槽B→A （貯槽A出口弁が開時）	0.014～0.080^{*1}	約 53～71^{*1}
排水貯槽A→B （貯槽B出口弁が開時）	0.050～0.290 ^{*1, 2}	約 62～74 ^{*1, 2}

※1 1～3秒程度で復帰

※2 ほぼ変動がない場合もあり

排水貯槽切り替え時の気泡発生状況

<p>排水貯槽B→A （排水貯槽A 出口弁開）</p>	
<p>排水貯槽A→B （排水貯槽B 出口弁開）</p>	

過去に実施した気体の混入量低減対策

図1のとおり排水貯槽A内部の吸込管端部は、ポンプ運転時の空引き防止のため下向きL字配管が取り付けられており、電解処理により発生した気体（主に二酸化炭素や窒素）は貯槽A～貯槽A出口弁間に気体溜りとして発生しやすい。

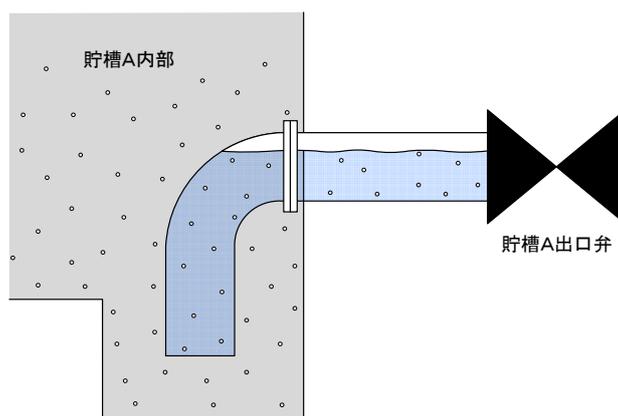


図1 排水貯槽A側の吸込管端部のイメージ

一方、排水貯槽B側内部の吸込管端部は、過去に電解槽供給流量が低下する事象を経験した際に、配管内部への気体溜りの発生が原因ではないかと推定し、ポンプへの気体混入量低減対策として、下向きL字配管を取り外して運転したところ、流量低下事象は再現されなかったことから、現在までその状態で運用を続けていた。図2のとおり、発生した気体は排水貯槽B内へ抜けることで、配管内の気体溜りは少なくなったと考えられる。

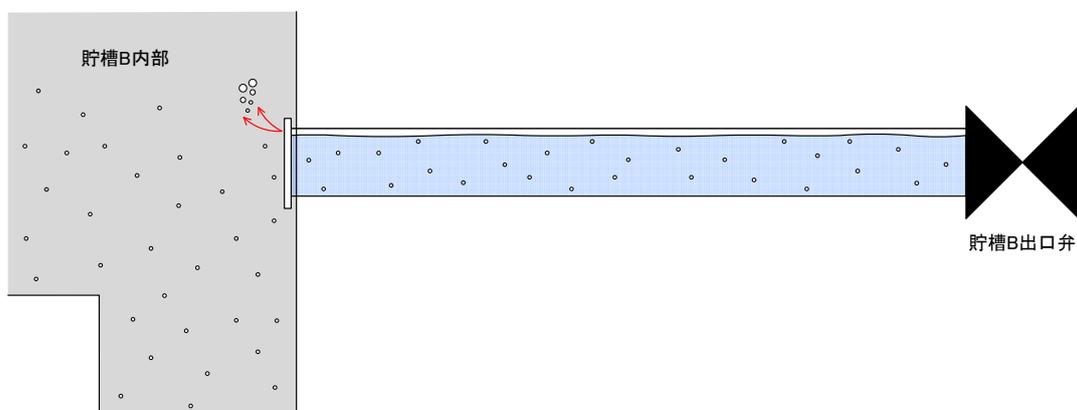


図2 排水貯槽B側の吸込管端部のイメージ

<排水貯槽B側のみ気体の混入量低減対策を実施していた理由>

当時の調査において、排水貯槽切り替わり時の電解槽供給流量の低下が、「排水貯槽BからA」より「排水貯槽AからB」の方が顕著に確認されており、その原因を排水貯槽から排水貯槽出口弁までの配管長さの差（A側：約1 m、B側：約5.5 m）に起因していると推定し、排水貯槽B側について対応を図っていた。

排水貯槽 A 吸込管端部下向き L 字配管取り外し後の状況

排水貯槽 B と同様、排水貯槽 A 内部の吸込管端部の下向き L 字配管を取り外した結果、「排水貯槽 B から A」への切り替え時において、気体の混入量が減少し、小さな気泡の混入となり、ポンプの出口圧力、流量の変動もこれまでと比べて小さいことを確認した。

排水貯槽切り替え時(排水貯槽 A 出口弁開時)の運転パラメータ

	ポンプ出口圧力 [MPa]	ポンプ出口流量 [m ³ /h]
通常時 (循環処理中)	約 0.28~0.29	約 72~74
下向き L 字配管取り外し前	0.014~0.080 ^{※1}	約 53~71 ^{※1}
下向き L 字配管取り外し後	0.040~0.290 ^{※1, 2}	約 65~73 ^{※1, 2}

※1 1~3秒程度で復帰

※2 ほぼ変動がない場合もあり

排水貯槽切り替え時(排水貯槽 A 出口弁開)の気泡発生状況

