

玄海原子力発電所 3 号炉

ポンプ用電動機の技術評価書

[運転を断続的に行うことを前提とした評価]

九州電力株式会社

玄海3号炉のポンプ用電動機のうち、評価対象機器である安全重要度分類審査指針におけるクラス1、2の機器、高温・高圧の環境下にあるクラス3の機器及び常設重大事故等対処設備に属する機器を電圧区分、型式及び設置場所でグループ化し、同一グループ内の複数の機器の存在を考慮して、重要度、運転条件等の観点から代表機器を選定した。

これらの一覧を表1に示す。

本評価書においては、これら代表機器について技術評価を行うとともに、代表機器以外の機器についても技術評価を展開している。本評価書における技術評価結果で現状保全を継続すべき項目としたものについては、現状保全の点検手法の適切性を確認しており、現状保全を継続することで健全性の維持は可能であると考えます。

なお、点検等で確認した結果、異常が認められた場合、速やかに対策を施すこととしており、異常が認められた場合に、対策を実施する旨の記載は省略している。

本評価書ではポンプ用電動機の使用電圧等を基に、以下の2つに分類している。

- 1 高圧ポンプ用電動機
- 2 低圧ポンプ用電動機

表 1 (1/2) 玄海 3 号炉 主要なポンプ用電動機

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準				選定理由		
電圧区分	型式		仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件	選定			
高圧	全閉	屋外	海水ポンプ用電動機 (4)	MS-1、重*3	連続	6,600	約40	◎	
		屋内	高圧注入ポンプ用電動機 (2) 充てんポンプ用電動機 (3) 格納容器スプレイポンプ用電動機 (2)	MS-1、重*2	連続	6,600	約40	◎	定格出力 運転条件
	開放		余熱除去ポンプ用電動機 (2)	MS-1、重*2	一時/連続	6,600	約40	◎	
			原子炉補機冷却水ポンプ用電動機 (4)	MS-1、重*3	連続	6,600	約40		
			電動補助給水ポンプ用電動機 (2)	MS-1、重*2	一時	6,600	約40	◎	

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器及び構造物であることを示す

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器及び構造物 (A号機、B号機) であることを示す

表 1 (2/2) 玄海 3 号炉 主要なポンプ用電動機

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準				選定理由		
電圧区分	型式		仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件				
低圧	全閉	屋内			MS-1、重*2	運転	定格電圧 (V)	約40	
			ほう酸ポンプ用電動機 (2)	11×3,500		連続	440		約40
			燃料取替用水ポンプ用電動機 (2)	18.5×3,510		連続	440		約40
		常設電動注入ポンプ用電動機 (1)	132×3,560	一時	440	約40			

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器及び構造物であることを示す

1 高圧ポンプ用電動機

[対象機器]

- ① 海水ポンプ用電動機
- ② 高圧注入ポンプ用電動機
- ③ 充てんポンプ用電動機
- ④ 格納容器スプレイポンプ用電動機
- ⑤ 余熱除去ポンプ用電動機
- ⑥ 原子炉補機冷却水ポンプ用電動機
- ⑦ 電動補助給水ポンプ用電動機

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	12
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	20
3. 代表機器以外への展開	28
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	28
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	29

1. 対象機器及び代表機器の選定

玄海3号炉で使用されている高圧ポンプ用電動機の主な仕様を表1-1に示す。

これらの高圧ポンプ用電動機を、型式及び設置場所の観点からグループ化し、それぞれのグループより以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示す高圧ポンプ用電動機を型式及び設置場所で分類すると3つのグループに分類される。

1.2 代表機器の選定

(1) 型式：全閉形、設置場所：屋外

このグループには、海水ポンプ用電動機のみが属するため、海水ポンプ用電動機を代表機器とする。

(2) 型式：全閉形、設置場所：屋内

このグループには、高圧注入ポンプ用電動機、充てんポンプ用電動機、格納容器スプレイポンプ用電動機、余熱除去ポンプ用電動機及び原子炉補機冷却水ポンプ用電動機が属するが、定格出力及び運転条件の観点から高圧注入ポンプ用電動機を代表機器とする。

(3) 型式：開放形、設置場所：屋内

このグループには、電動補助給水ポンプ用電動機のみが属するため、電動補助給水ポンプ用電動機を代表機器とする。

表 1-1 玄海 3 号炉 高压ポンプ用電動機の主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準				選定理由
電圧区分	型式		仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件	選定	
高压	設置場所	屋外	560×890	MS-1、重*3	連続	約40	◎
		海水ポンプ用電動機 (4)					
		屋内	1,400×3,560	MS-1、重*2	一時	約40	◎
		高圧注入ポンプ用電動機 (2)					
		充てんポンプ用電動機 (3)	550×1,775	MS-1、重*2	連続	約40	
		格納容器スプレイポンプ用電動機 (2)	940×1,775	MS-1、重*2	一時	約40	
		余熱除去ポンプ用電動機 (2)	400×1,780	MS-1、重*2	一時/連続	約40	
		原子炉補機冷却水ポンプ用電動機 (4)	350×1,175	MS-1、重*3	連続	約40	
	開放	電動補助給水ポンプ用電動機 (2)	650×3,550	MS-1、重*2	一時	約40	◎

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器及び構造物であることを示す

*3：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器及び構造物 (A号機、B号機) であることを示す

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下の3種類のポンプ用電動機について技術評価を実施する。

- ① 海水ポンプ用電動機
- ② 高圧注入ポンプ用電動機
- ③ 電動補助給水ポンプ用電動機

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 海水ポンプ用電動機

(1) 構造

玄海3号炉の海水ポンプ用電動機は、定格出力560kW、定格回転数890rpmの全閉屋外形三相誘導電動機である。

ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

電動機上部には、下向きのポンプスラスト荷重を支えるためのスラスト軸受を備えている。また、電動機上部及び下部にはラジアル方向の荷重を支えるためのガイド軸受を備えている。

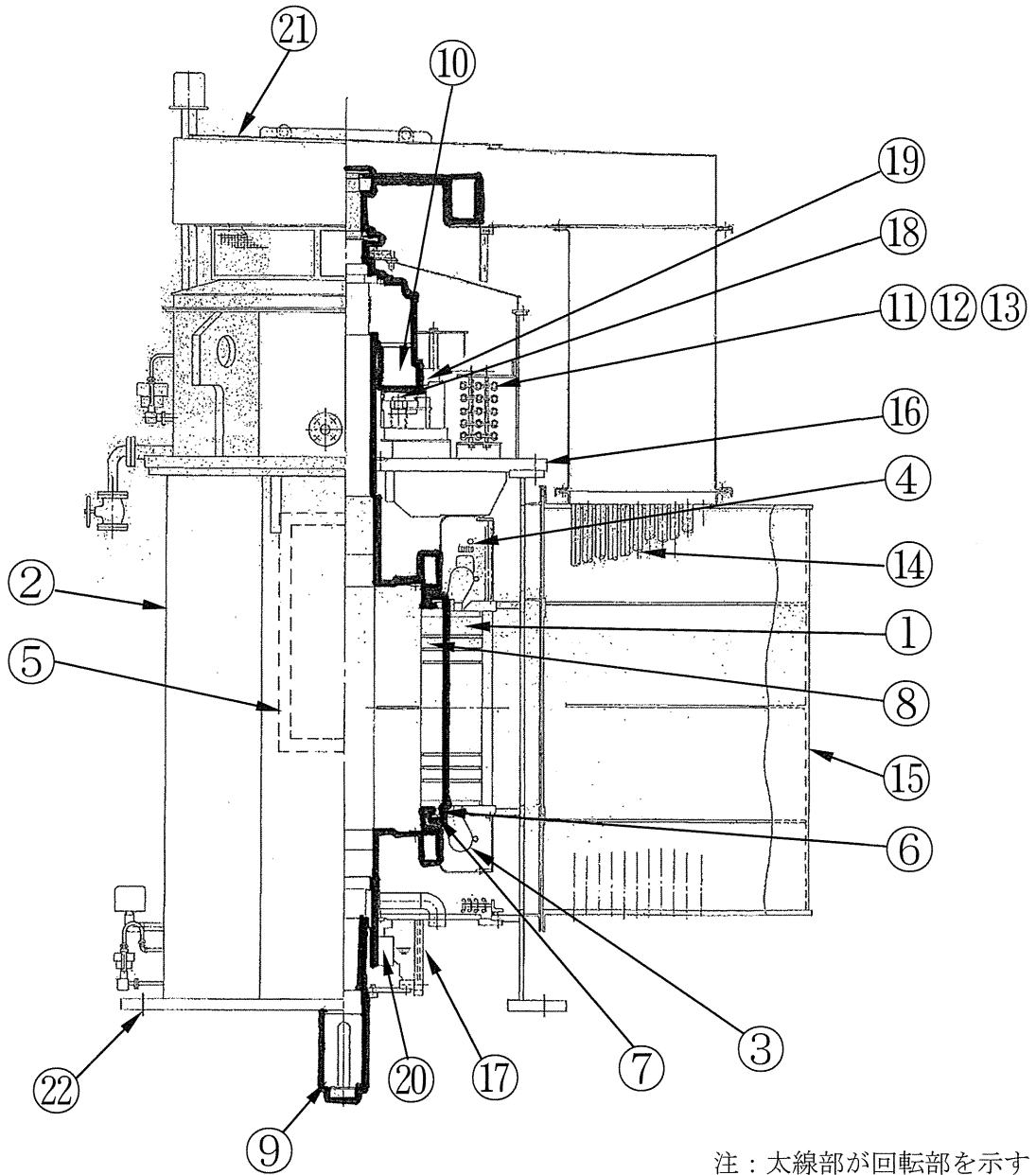
各軸受は、軸受表面に油膜を形成させ、軸受から発生する熱を取り除くために潤滑油が満たされており、上部潤滑油は水冷式油冷却器により冷却される。

また、固定子や回転子から発生する熱を取り除くため、フレーム内の空気は空冷式空気冷却器により冷却される。

玄海3号炉の海水ポンプ用電動機の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の海水ポンプ用電動機の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



注：太線部が回転部を示す

No.	部 位	No.	部 位
①	固定子コア	⑫	油冷却器水室
②	フレーム	⑬	油冷却器管板
③	固定子コイル	⑭	空気冷却器伝熱管
④	口出線・接続部品	⑮	空気冷却器側板
⑤	端子箱	⑯	上部ブラケット
⑥	回転子棒	⑰	下部ブラケット
⑦	エンドリング	⑱	スラスト軸受 (すべり)
⑧	回転子コア	⑲	上部ガイド軸受 (すべり)
⑨	主 軸	⑳	下部ガイド軸受 (すべり)
⑩	ランナー	㉑	カバ ー
⑪	油冷却器伝熱管	㉒	取付ボルト

図 2.1-1 玄海 3 号炉 海水ポンプ用電動機構造図

表 2.1-1 玄海 3 号炉 海水ポンプ用電動機主要部位の使用材料

部 位		材 料
固定子組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	炭 素 鋼
	固定子コイル	銅、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	口出線・接続部品	銅、シリコーンゴム、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	端 子 箱	炭 素 鋼
回転子組立品	回転子棒・エンドリング	銅 合 金
	回転子コア	珪素鋼板
	主 軸	炭 素 鋼
	ランナー	低合金鋼
冷却器組立品	油冷却器伝熱管	チタン合金
	油冷却器水室	チタン合金
	油冷却器管板	チタン合金
	空気冷却器伝熱管	銅 合 金
	空気冷却器側板	炭 素 鋼
軸受組立品	上部・下部ブラケット	炭 素 鋼
	スラスト軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
	上部・下部ガイド軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
カバー組立品	カ バ ー	ステンレス鋼
支持組立品	取付ボルト	炭 素 鋼

表2.1-2 玄海 3 号炉 海水ポンプ用電動機の使用条件

定 格 出 力	560kW
周 囲 温 度	約40℃*1
定 格 電 圧	6,600V
定 格 回 転 数	890rpm

*1：通年の屋外の最高温度を考慮した雰囲気温度

2.1.2 高圧注入ポンプ用電動機

(1) 構造

玄海3号炉の高圧注入ポンプ用電動機は、定格出力1,400kW、定格回転数3,560rpmの全閉屋内形三相誘導電動機である。

ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

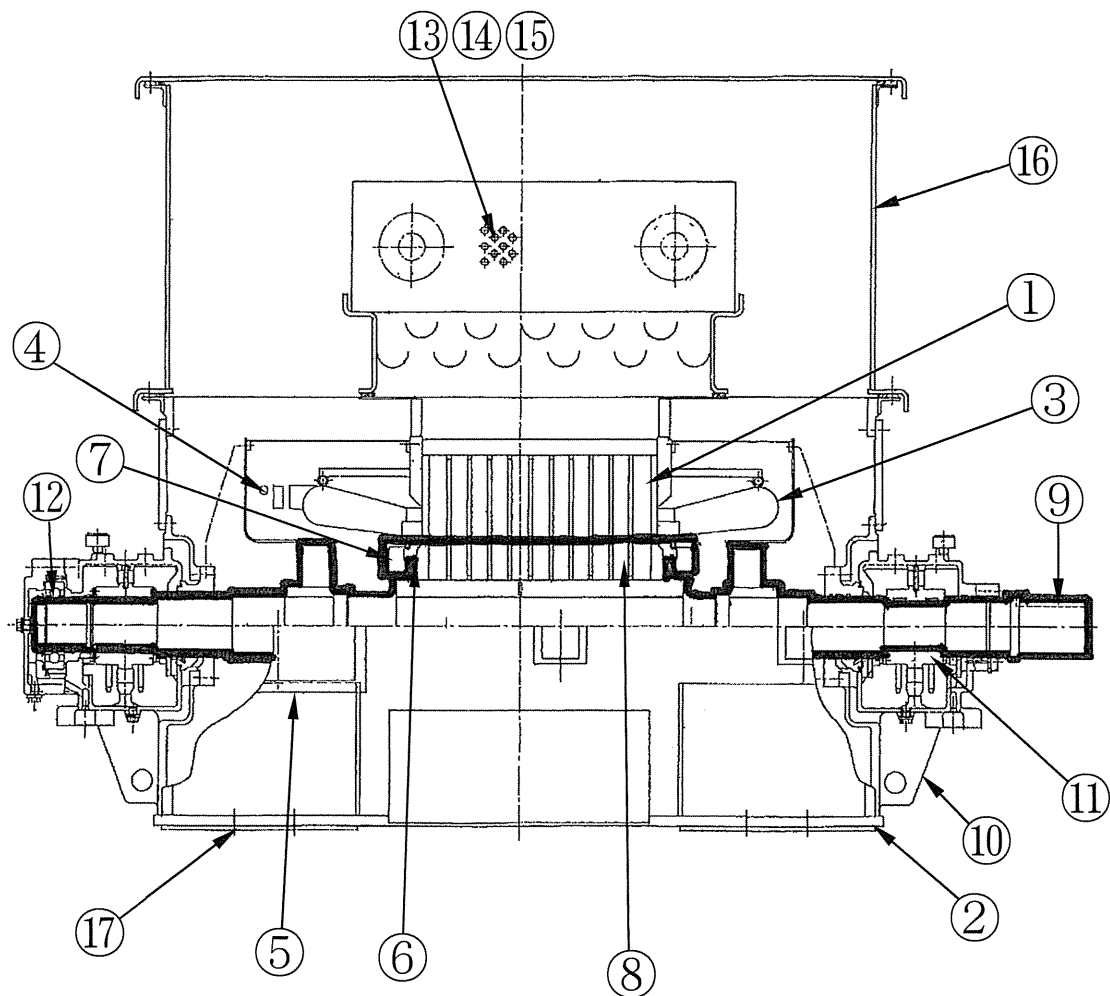
負荷側及び反負荷側軸受部には、回転体を支えるためのブラケットが取り付けられ、内側には電動機回転子重量を支えるための軸受を備えている。

また、固定子や回転子から発生する熱を取り除くため、フレーム内の空気は水冷式空気冷却器により冷却される。

玄海3号炉の高圧注入ポンプ用電動機の構造図を図2.1-2に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の高圧注入ポンプ用電動機の使用材料及び使用条件を表2.1-3及び表2.1-4に示す。



注：太線部が回転部を示す

No.	部 位	No.	部 位
①	固定子コア	⑩	ブラケット
②	フレーム	⑪	軸受（すべり）
③	固定子コイル	⑫	軸受（ころがり）
④	口出線・接続部品	⑬	空気冷却器伝熱管
⑤	端子箱	⑭	空気冷却器水室
⑥	回転子棒	⑮	空気冷却器管板
⑦	エンドリング	⑯	カバー
⑧	回転子コア	⑰	取付ボルト
⑨	主 軸		

図 2.1-2 玄海 3 号炉 高圧注入ポンプ用電動機構造図

表2.1-3 玄海3号炉 高压注入ポンプ用電動機主要部位の使用材料

部 位		材 料
固定子組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	炭素鋼
	固定子コイル	銅、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	口出線・接続部品	銅、シリコンゴム、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	端子箱	炭素鋼
回転子組立品	回転子棒・エンドリング	銅合金
	回転子コア	珪素鋼板
	主 軸	炭素鋼
軸受組立品	ブラケット	鋳 鉄
	軸受（すべり）	消耗品・定期取替品
	軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
冷却器組立品	空気冷却器伝熱管	銅合金
	空気冷却器水室	ステンレス鋼
	空気冷却器管板	銅合金
カバー組立品	カバ ー	炭素鋼
支持組立品	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-4 玄海3号炉 高压注入ポンプ用電動機の使用条件

定 格 出 力	1,400kW
周 囲 温 度	約40℃*1
放 射 線	$0.072 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$
定 格 電 圧	6,600V
定 格 回 転 数	3,560rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

*2：通常時の原子炉格納容器外の最大実測値

2.1.3 電動補助給水ポンプ用電動機

(1) 構造

玄海3号炉の電動補助給水ポンプ用電動機は、定格出力650kW、定格回転数3,550rpmの開放屋内形三相誘導電動機である。

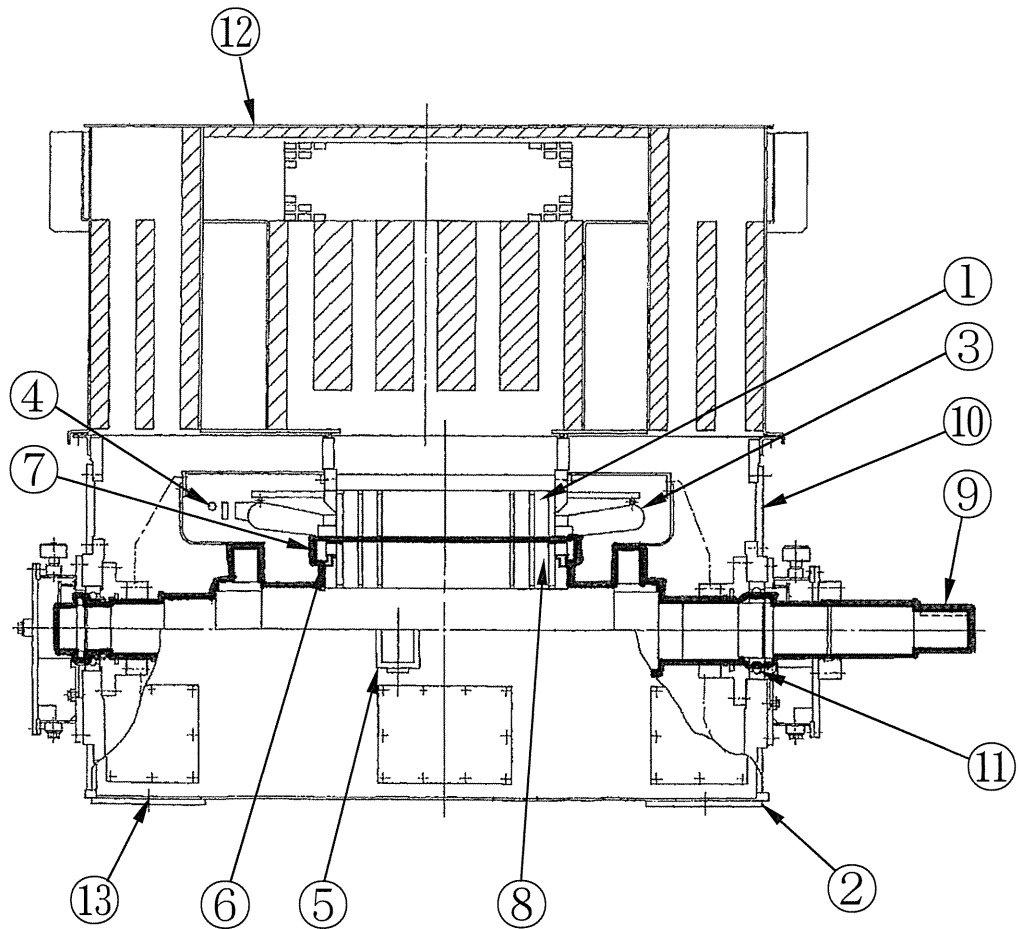
ポンプに直結している主軸には炭素鋼を使用している。

負荷側及び反負荷側軸受部には、回転体を支えるためのブラケットが取り付けられ、内側には電動機回転子重量を支えるための軸受を備えている。

玄海3号炉の電動補助給水ポンプ用電動機の構造図を図2.1-3に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉の電動補助給水ポンプ用電動機の使用材料及び使用条件を表2.1-5及び表2.1-6に示す。



注：太線部が回転部を示す

No.	部 位
①	固定子コア
②	フレーム
③	固定子コイル
④	口出線・接続部品
⑤	端子箱
⑥	回転子棒
⑦	エンドリング
⑧	回転子コア
⑨	主 軸
⑩	ブラケット
⑪	軸受（ころがり）
⑫	カバ ー
⑬	取付ボルト

図 2.1-3 玄海 3 号炉 電動補助給水ポンプ用電動機構造図

表2.1-5 玄海3号炉 電動補助給水ポンプ用電動機主要部位の使用材料

部 位		材 料
固定子組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	炭素鋼
	固定子コイル	銅、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	口出線・接続部品	銅、シリコンゴム、マイカ、エポキシ樹脂（F種絶縁）
	端子箱	炭素鋼
回転子組立品	回転子棒・エンドリング	銅合金
	回転子コア	珪素鋼板
	主 軸	炭素鋼
軸受組立品	ブラケット	炭素鋼
	軸受（ころがり）	消耗品・定期取替品
カバー組立品	カバ ー	炭素鋼
支持組立品	取付ボルト	炭素鋼

表2.1-6 玄海3号炉 電動補助給水ポンプ用電動機の使用条件

定 格 出 力	650kW
周 囲 温 度	約40℃*1
定 格 電 圧	6,600V
定 格 回 転 数	3,550rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

高圧ポンプ用電動機の機能であるポンプ駆動機能を維持するためには、次の2つの項目が必要である。

- ① 駆動機能の確保
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

高圧ポンプ用電動機個々について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（電圧、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、代表機器ごとに表2.2-1～表2.2-3に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1～表2.2-3で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下 [共通]

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

なお、本評価書での評価対象機器における放射線の影響については軽微であると考え、健全性評価における劣化要因とはしていない。（電気学会絶縁材料研究会資料EIM-79-99、NB-79-21「エポキシ樹脂の放射線照射による物性変化」）

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1～表2.2-3で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)又は2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食）[共通]

固定子コア及び回転子コアは珪素鋼板であり腐食が想定される。

しかしながら、固定子コア及び回転子コアはワニス処理により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) フレーム、端子箱及びブラケット [共通]、空気冷却器側板[海水ポンプ用電動機]及びカバー [高圧注入ポンプ用電動機、電動補助給水ポンプ用電動機]の腐食（全面腐食）

フレーム、端子箱、ブラケット、空気冷却器側板及びカバーは、炭素鋼又は鋳鉄であり腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。また、分解点検時の目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 回転子棒・エンドリングの疲労割れ [共通]

回転子棒・エンドリングは、電動機の起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、発生応力は疲労強度より小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 主軸 [共通] 及びランナー [海水ポンプ用電動機] の摩耗

海水ポンプ用電動機の主軸については、ランナーとの間に摩耗が発生することが想定される。

しかしながら、分解点検時に主軸とランナーの分解を実施しないため摩耗が生じる可能性は小さい。また、油潤滑のすべり軸受を使用しており、ランナーと軸受間に潤滑油が供給され膜が形成されるため、摺動摩耗の生じる可能性も小さい。

さらに、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

高圧注入ポンプ用電動機の主軸については、軸受（すべり）との摺動による摩耗が想定される。

しかしながら、高圧注入ポンプ用電動機は油潤滑のすべり軸受を使用しており、主軸と軸受間に潤滑油が供給され膜が形成されるため、摺動摩耗の生じる可能性は小さい。

また、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

高圧注入ポンプ用電動機及び電動補助給水ポンプ用電動機は、ころがり軸受を

使用しており、軸受と主軸の接触面で摩耗が想定される。

軸受の定期取替時の軸受引き抜き時に主軸表面にわずかな線形模様が生じることもあり、主軸表面をサンドペーパーで仕上げる方策も考えられる。この場合は、主軸表面がわずかに摩耗し、主軸と軸受間で微小隙間が生じ運転中にフレットニングにより摩耗する可能性がある。

しかしながら、分解点検時の寸法管理によりフレットニングが発生しないようにしており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認及び寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(5) 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

ポンプ用電動機運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下において繰返し応力を受けると段付部等の応力集中部において、高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、電動機設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、試運転時等における振動確認及び分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 空気冷却器伝熱管の腐食 (全面腐食)

[海水ポンプ用電動機、高圧注入ポンプ用電動機]

海水ポンプ用電動機及び高圧注入ポンプ用電動機の空気冷却器伝熱管は銅合金であり腐食が想定される。

しかしながら、海水ポンプ用電動機は、内外面ともに流体が空気であり腐食し難い環境にある。また、高圧注入ポンプ用電動機の内面についてはヒドラジン水(防錆剤注入水)であり、外面については空気であるため腐食し難い環境にある。

さらに、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の渦流探傷検査又は目視確認により、機器の健全性を確認している。

(7) 取付ボルトの腐食（全面腐食）[共通]

取付ボルトは炭素鋼であり腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食の進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修を実施することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(8) 空気冷却器水室及び空気冷却器管板の腐食（全面腐食）

[高圧注入ポンプ用電動機]

高圧注入ポンプ用電動機の空気冷却器水室及び空気冷却器管板はステンレス鋼又は銅合金であり腐食が想定される。

しかしながら、接液流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）及び空気であり、腐食し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

軸受（ころがり）は分解点検時に取り替えている定期取替品である。また、ラスト軸受（すべり）、ガイド軸受（すべり）及び軸受（すべり）は分解点検時の目視確認や浸透探傷検査の結果に基づき取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表 2.2-2 玄海3号炉 高圧注入ポンプ用電動機に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・ 定期 取替 品	材 料	経年劣化事象						備考				
				減 摩 耗	腐 食	肉 食	割 れ		導 通		特 性	そ の 他		
							疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕					絶 縁 下	導 通 不 良
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板		△									*1：高サイクル 疲労割れ
	フレーム		炭素鋼		△									
	固定子コイル		銅 マカ、ポロキシ樹脂 (F種絶縁)					○						
	口出線・接続部品		銅 シリコンゴム、マカ エポキシ樹脂 (F種絶縁)						○					
	端子箱		炭素鋼		△									
	回転子棒・エンドリング		銅合金				△							
	回転子コア		珪素鋼板		△									
	主 軸		炭素鋼	△					△ ^{*1}					
	ブラケット		鋳 鉄		△									
	軸受(すべり)		—											
	軸受(ころがり)		—											
	空気冷却器伝熱管		銅合金		△									
	空気冷却器水室		ステンレス鋼		△									
空気冷却器管板		銅合金		△										
カバ ー		炭素鋼		△										
取付ボルト		炭素鋼		△										
機器の支持														

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

表2.2.2-3 玄海3号炉 電動補助給水ポンプ用電動機に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部位	消耗品・定期取替品	材料	経年劣化事象										備考										
				減耗		肉腐	食	割れ	絶縁	導通	特性	その他												
				摩	耗								疲勞割れ		応力腐蝕割れ	絶縁低下	導通不良	特性変化						
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板			△																		
	フレーム		炭素鋼			△																		
	固定子コイル		銅 マイカ、エポキシ樹脂 (F種絶縁)									○												
	口出線・接続部品		銅 シリコンゴム マイカ、エポキシ樹脂 (F種絶縁)									○												
	端子箱		炭素鋼			△																		
	回転子棒・エンドリング		銅合金							△														
	回転子コア		珪素鋼板			△																		
	主軸		炭素鋼	△						△ ^{*1}														
	ブラケット		炭素鋼			△																		
	軸受(ころがり)		◎	—																				
カバナー			炭素鋼			△																		
取付ボルト			炭素鋼			△																		
機器の支持			炭素鋼			△																		

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下 [共通]

a. 事象の説明

固定子コイルは、固定子コアのスロット内に納められており、各々の銅線に漏電防止のための絶縁が施されている。口出線は、ポンプ用電動機を駆動するための電力を受給するもので、固定子コイルと同様に絶縁を施している。

なお、接続部品は、固定子コイルと口出線を接続するものであり、固定子コイルと同様に銅線に絶縁を施している。

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

絶縁低下が生じる可能性のある部位を図2.3-1に示す。

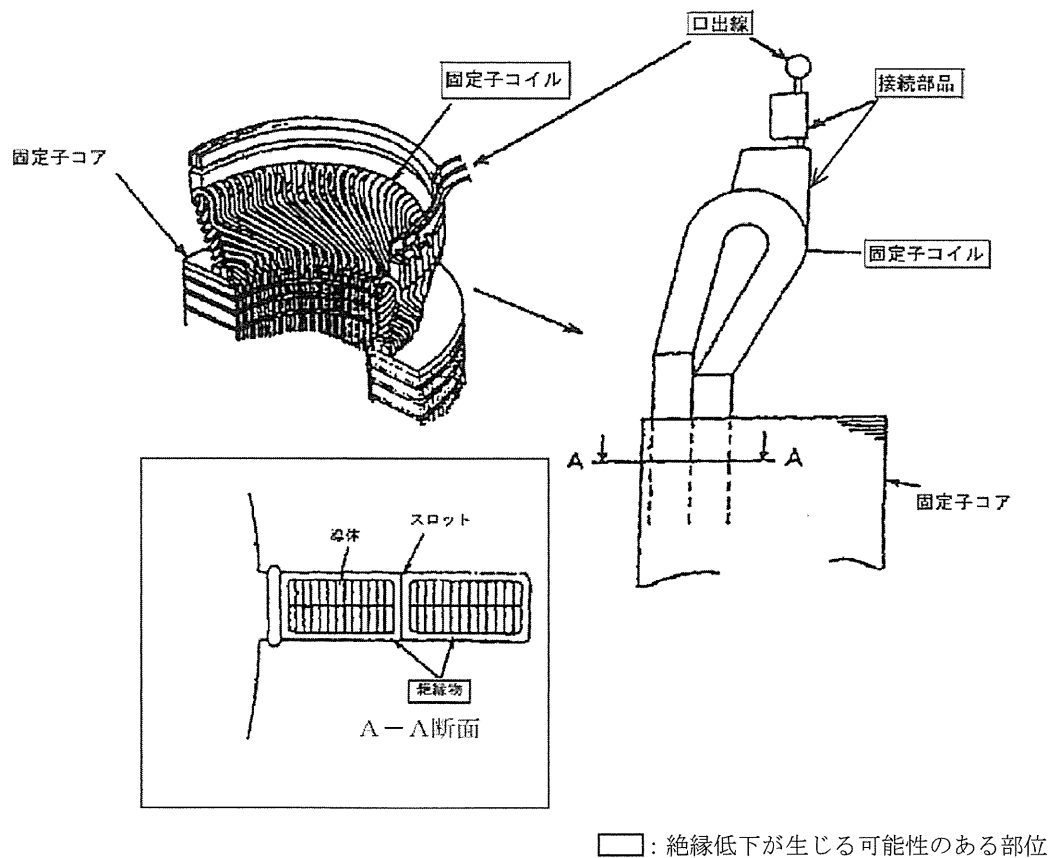
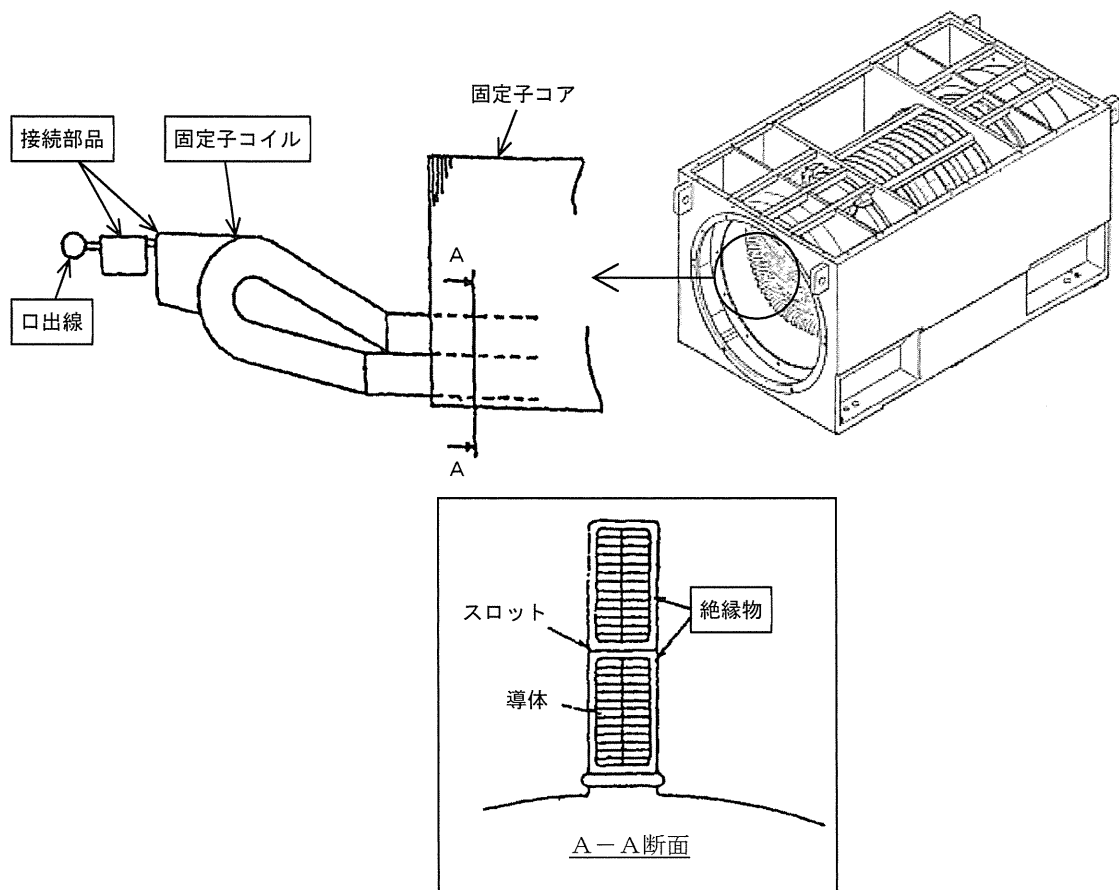


図2.3-1(1/2) 玄海3号炉 海水ポンプ用電動機 固定子コイル及び
口出線・接続部品の絶縁部位



□: 絶縁低下が生じる可能性のある部位

図2.3-1(2/2) 玄海3号炉 高圧注入ポンプ用電動機、電動補助給水ポンプ用
電動機 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁部位

b. 技術評価

① 健全性評価

高圧ポンプ用電動機の固定子コイルの健全性評価は、同種の一般的な固定子コイルの絶縁低下に対する評価方法を用いる。ここでは、IEEE Std. 275-1966「IEEE Proposed Test Procedure for Evaluation of Systems of insulating Materials for A-C Electric Machinery Employing Form-Wound Pre-insulated Stator Coil for Machines Rated at 50 to 2000 horsepower 35 to 1500 Kilowatts mechanical output and below 6600 volts」(以下、「IEEE Std.275-1966」という。)の規格に準じて実施した評価試験結果より固定子コイルの長期健全性を評価した。

IEEE Std. 275-1966では、熱的、機械的、環境的及び電氣的な各劣化要因について個々に試験条件が述べられているが、電動機はこれらの劣化要因が複合するため、複合劣化の試験条件で固定子コイルの長期健全性を評価する。

評価手順を図2.3-2に、試験条件を表2.3-1に、ヒートサイクル方法例を図2.3-3に示す。

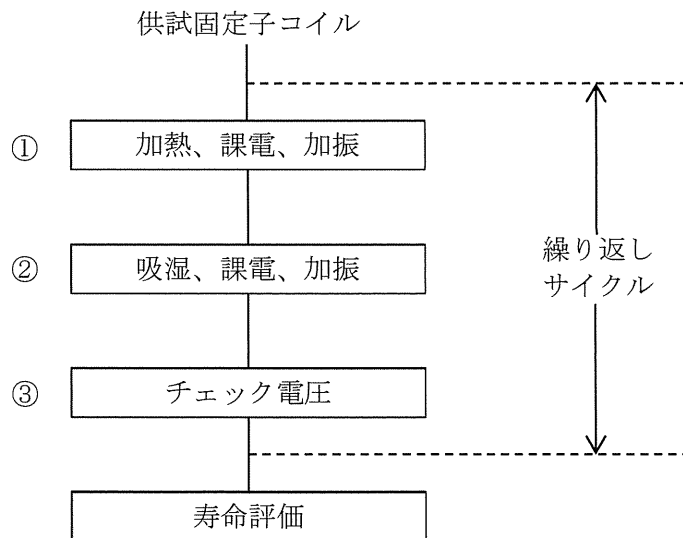


図2.3-2 固定子コイル長期健全性評価手順

図2.3-2の評価手順①(64回程度の繰り返し)、②、③を1サイクルとし、コイル絶縁がチェック電圧で破壊するまで繰り返し、170℃及び190℃での耐熱寿命を基にアレニウス則*¹が成り立つと仮定して定数A、Bを求め、耐熱寿命曲線を得る。

* 1 : アレニウス則

$$\log Y = -A + \frac{B}{273 + t} \dots\dots (1)$$

Y : 寿命時間 (h)
t : 運転温度 (°C)
A、B : 定数
log Y : 自然対数

この耐熱寿命曲線は、電動機に適用している絶縁固有の特性を表す。
この (1) 式に当該電動機の運転温度*2 t (°C) を代入して、寿命を求める。
この寿命で絶縁寿命が決定される。

* 2 : 運転温度

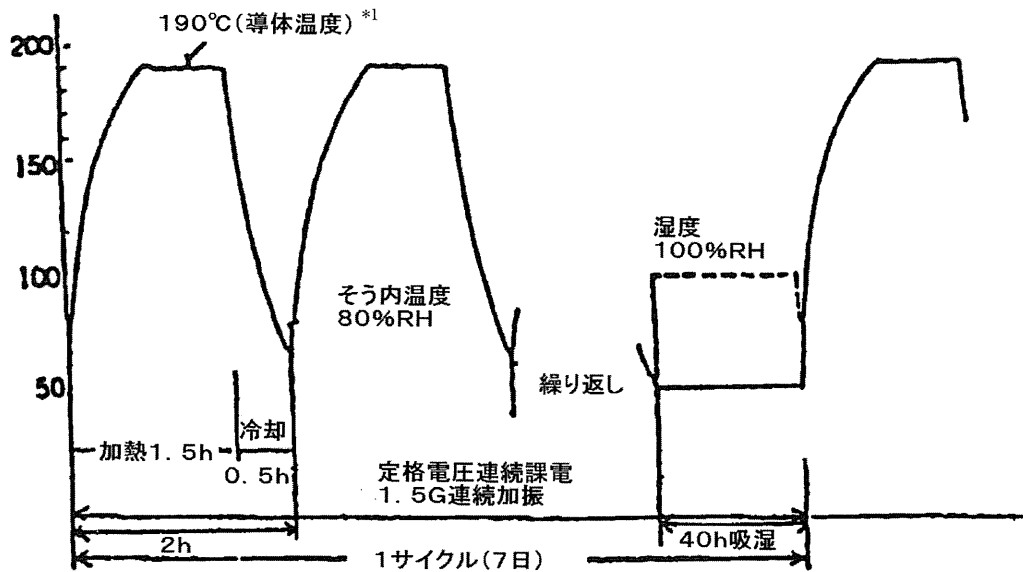
運転温度は、使用最高温度を用いる。
使用最高温度 = 周囲温度 + 固定子コイルの温度上昇
+ 測定ポイントとホットスポットとの差 (マージン)

固定子コイルの絶縁寿命は、評価結果より稼働率 100% で 19.95 年と判断する。

表2.3-1 固定子コイル長期健全性評価における試験条件

手順	試験項目	試験条件1	試験条件2	実機設計条件
①	温度	170°C×2 時間(加熱1.5h、冷却0.5h、at80%RH)	190°C×2 時間(加熱1.5h、冷却0.5h、at80%RH)	最大145°C
	電圧	6.6kV-常時印加	6.6kV-常時印加	6.6kV
	振動	1.5G-常時加振	1.5G-常時加振	1G以下
②	湿度	100%RH-40時間 (at 50°C)	100%RH-40時間 (at 50°C)	最大100%RH (at 40°C)
	電圧	6.6kV-常時印加	6.6kV-常時印加	6.6kV
	振動	1.5G-常時加振	1.5G-常時加振	1G以下
③	チェック電圧	対地間 1.5×E=9.9kV-1分間 線間 150V-1分間	対地間 1.5×E=9.9kV-1分間 線間 150V-1分間	-

RH: relative humidity (相対湿度)



*1: 絶縁体温度 170°C×2 時間相

図2.3-3 ヒートサイクル方法例 (試験条件1)

また、6.6kV級の経年機で、固定子コイルを更新した旧機のコイル破壊電圧の測定値を評価した結果が、運転年数^{*3}と絶縁破壊値の関係として、図2.3-4に示すように求められる。

この評価からコイル破壊電圧の平均値と95%信頼下限が安全運転下限(「電気学会 電気規格調査会標準規格 回転電気機械一般 (JEC-2100-1993)」: $2E+1=2 \times 6.6[\text{kV}] + 1[\text{kV}] = 14.2[\text{kV}]$)に低下するのが18.5~24年となるため、固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、18.5年と判断する。

以上の検討結果より、高圧ポンプ用電動機固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、より厳しい評価結果である旧機のコイル破壊電圧の測定値を評価した結果を採用し、18.5年と判断する。

また、ヒートサイクル方法及び旧機のコイル破壊電圧による評価で用いた供試体にはともに口出線・接続部品が含まれていることから、口出線・接続部品の運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、固定子コイルと同様、18.5年と判断する。

なお、海水ポンプ用電動機は屋外設置であるが、IEEE Std. 275-1966の規格に準じて実施した試験において吸湿は厳しい状況下にて実施していること及び絶縁破壊試験（図2.3-4）には屋外に設置されていた供試体も含まれていることから、屋内外の設置環境による評価年数に差はないと考える。

* 3 : 稼働率等を考慮に入れた年数 = 運転時間 (年) + 休止時間 (年) /
休止係数

固定子コイルを更新した旧機の絶縁電圧を測定した。
 その結果を基に、運転年数とコイルの絶縁電圧の関係を求め
 平均値と95%下限値が安全運転下限値まで低下する運転年数を
 求めたもの。

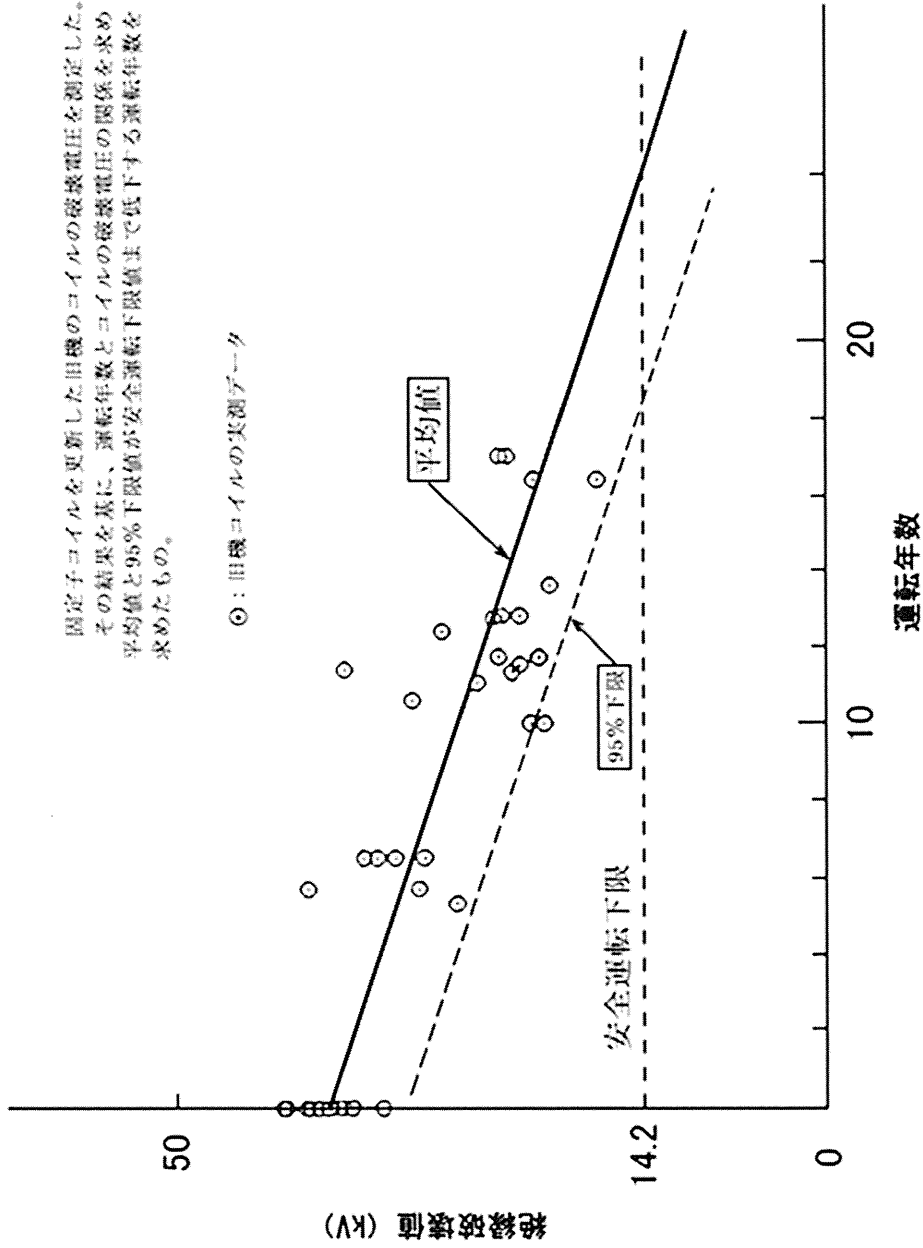


図2.3-4 運転年数と絶縁破壊値の関係

[出典：民間データ]

② 現状保全

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定を行い、許容値以上であることを確認している。さらに、絶縁診断（直流吸収試験、 $\tan \delta$ 試験、部分放電試験）により、管理範囲に収まっていることの確認を行うとともに、傾向管理を行っている。また、絶縁抵抗測定及び絶縁診断結果に基づき、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

なお、予防保全のため3B海水ポンプ用電動機については、第16回定期検査時（2021年度～2022年度）に絶縁更新を行っている。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については、18.5年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁低下は、絶縁抵抗測定及び絶縁診断で検知可能であり、点検手法として適切である。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

c. 高経年化への対応

固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については、引き続き定期的な絶縁抵抗測定及び絶縁診断を実施していくとともに、運転年数及び点検結果に基づき必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない以下の機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮して選定している。

- ① 充てんポンプ用電動機
- ② 格納容器スプレイポンプ用電動機
- ③ 余熱除去ポンプ用電動機
- ④ 原子炉補機冷却水ポンプ用電動機

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下 [共通]

充てんポンプ用電動機、格納容器スプレイポンプ用電動機、余熱除去ポンプ用電動機及び原子炉補機冷却水ポンプ用電動機は、絶縁仕様、使用環境等は代表機器と同様であることから、絶縁低下については、18.5年以降において発生の可能性は否定できない。

絶縁低下は、定期的な絶縁抵抗測定及び絶縁診断で検知可能であり、点検手法として適切である。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

したがって、固定子コイル及び口出線・接続部品の絶縁低下については、引き続き定期的な絶縁抵抗測定及び絶縁診断を実施していくとともに、運転年数及び点検結果に基づき必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

なお、予防保全のため3A原子炉補機冷却水ポンプ用電動機については、第16回定期検査時(2021年度～2022年度)に絶縁更新を行っている。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)又は2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食）[共通]

固定子コア及び回転子コアは珪素鋼板であり腐食が想定される。

しかしながら、固定子コア及び回転子コアはワニス処理により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 フレーム、端子箱、ブラケット及びカバーの腐食（全面腐食）[共通]

フレーム、端子箱、ブラケット及びカバーは炭素鋼であり腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、分解点検時の目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 回転子棒・エンドリングの疲労割れ [共通]

回転子棒・エンドリングは、電動機の起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、発生応力は疲労強度より小さい。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 主軸の摩耗 [共通]

主軸については、軸受（ころがり）との接触面で摩耗が想定される。

軸受の定期取替時の軸受引き抜き時に主軸表面にわずかな線形模様が生じることもあり、主軸表面をサンドペーパーで仕上げる方策も考えられる。この場合は、主軸表面がわずかに摩耗し、主軸と軸受間で微小隙間が生じ運転中にフレットニングにより摩耗する可能性がある。

しかしながら、分解点検時の寸法管理によりフレットニングが発生しないようにしており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認及び寸法計測により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

電動機運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下において繰返し応力を受けると段付部等の応力集中部において、高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、電動機設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、試運転時等における振動確認及び分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.6 空気冷却器伝熱管の腐食（全面腐食） [共通]

空気冷却器伝熱管は銅合金であり腐食が想定される。

しかしながら、内面については内部流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）であり、外面については空気であるため腐食が発生し難い環境にある。

さらに、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時に渦流探傷検査及び外面の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.7 取付ボルトの腐食（全面腐食）[共通]

取付ボルトは炭素鋼であり腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食の進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修を実施することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.8 空気冷却器水室及び空気冷却器管板の腐食（全面腐食）[共通]

空気冷却器水室及び空気冷却器管板はステンレス鋼又は銅合金であり腐食が想定される。

しかしながら、接液流体がヒドラジン水（防錆剤注入水）及び空気であり、腐食し難い環境であり、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.9 基礎ボルトの腐食（全面腐食）[充てんポンプ用電動機]

基礎ボルトは炭素鋼であり、腐食が想定される。

基礎ボルトの健全性評価については各機器で共通であることから、機械設備の技術評価書のうち「基礎ボルト」にて評価を実施するものとし、本評価書には含めていない。

2 低圧ポンプ用電動機

[対象機器]

- ① ほう酸ポンプ用電動機
- ② 燃料取替用水ポンプ用電動機
- ③ 常設電動注入ポンプ用電動機

目 次

1. 対象機器及び代表機器の選定	1
1.1 グループ化の考え方及び結果	1
1.2 代表機器の選定	1
2. 代表機器の技術評価	3
2.1 構造、材料及び使用条件	3
2.2 経年劣化事象の抽出	6
2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価	11
3. 代表機器以外への展開	17
3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象	17
3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象	18

1. 対象機器及び代表機器の選定

玄海3号炉で使用されている低圧ポンプ用電動機的主要仕様を表1-1に示す。

これらの低圧ポンプ用電動機を、型式及び設置場所の観点からグループ化し、以下のとおり代表機器を選定した。

1.1 グループ化の考え方及び結果

表1-1に示す低圧ポンプ用電動機について、型式及び設置場所の観点から1つのグループにまとめられる。

1.2 代表機器の選定

重要度の高いほう酸ポンプ用電動機を代表機器とする。

表1-1 玄海3号炉 低圧ポンプ用電動機の主な仕様

分離基準		機器名称 (台数)	選定基準			選定理由
電圧区分	型式		仕様 (定格出力× 定格回転数) (kW×rpm)	重要度*1	使用条件	
低圧	全閉	屋内	ほう酸ポンプ用電動機 (2)	MS-1、重*2	連 続	◎
			燃料取替用水ポンプ用電動機 (2) <td>MS-2 <th>連 続</th> </td>	MS-2 <th>連 続</th>	連 続	
			常設電動注入ポンプ用電動機 (1) <td>重*2 <th>一 時</th> </td>	重*2 <th>一 時</th>	一 時	
						約40
						約40
						約40

*1：機能は最上位の機能を示す

*2：重要度クラスとは別に常設重大事故等対処設備に属する機器及び構造物であることを示す

2. 代表機器の技術評価

本章では、1章で代表機器とした以下のポンプ用電動機について技術評価を実施する。

① ほう酸ポンプ用電動機

2.1 構造、材料及び使用条件

2.1.1 ほう酸ポンプ用電動機

(1) 構造

玄海3号炉のほう酸ポンプ用電動機は、定格出力11kW、定格回転数3,500rpmの全閉屋内形三相誘導電動機である。

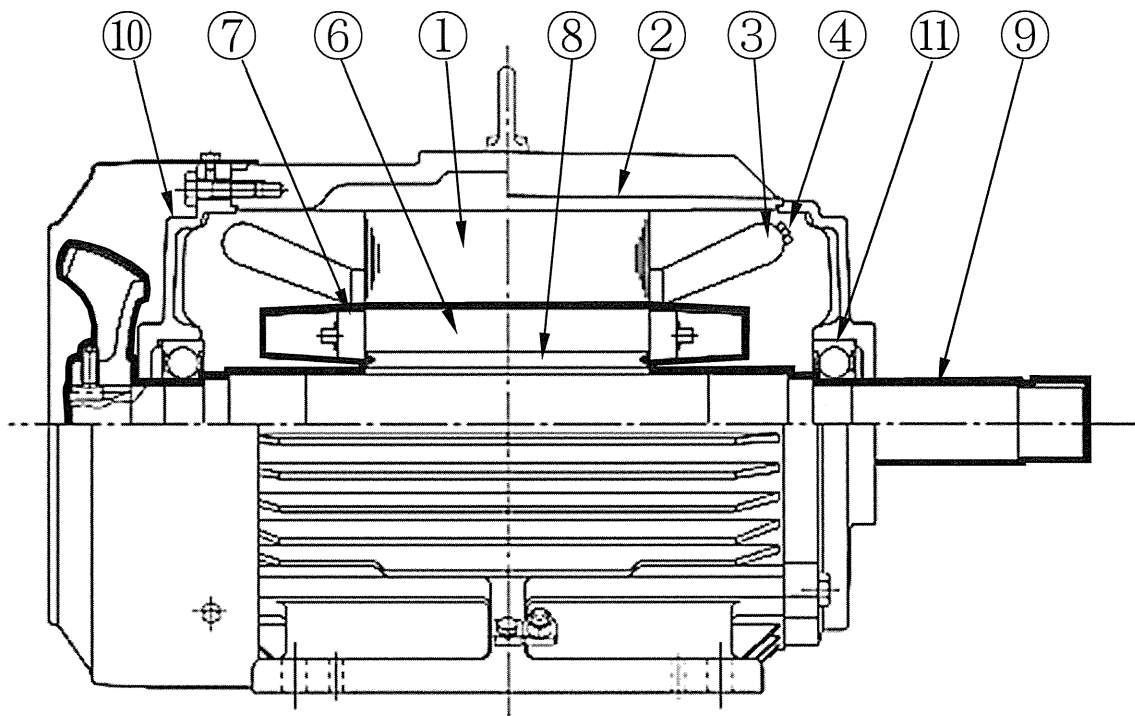
電動機の主軸には炭素鋼を使用している。

負荷側及び反負荷側軸受部には、回転体を支えるためのブラケットが取付けられ、内側には電動機回転子重量を支えるための軸受を備えている。

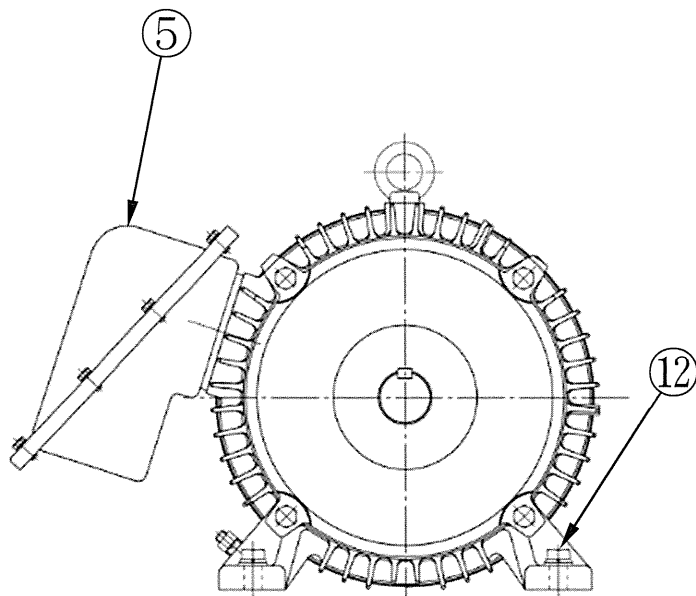
玄海3号炉のほう酸ポンプ用電動機の構造図を図2.1-1に示す。

(2) 材料及び使用条件

玄海3号炉のほう酸ポンプ用電動機の使用材料及び使用条件を表2.1-1及び表2.1-2に示す。



注：太線部が回転部を示す



No.	部 位
①	固定子コア
②	フレーム
③	固定子コイル
④	口出線
⑤	端子箱
⑥	回転子棒
⑦	エンドリング
⑧	回転子コア
⑨	主 軸
⑩	ブラケット
⑪	軸受 (ころがり)
⑫	取付ボルト

図2.1-1 玄海3号炉 ほう酸ポンプ用電動機構造図

表2.1-1 玄海3号炉 ほう酸ポンプ用電動機主要部位の使用材料

部 位		材 料
固定子組立品	固定子コア	珪素鋼板
	フレーム	鋳 鉄
	固定子コイル	銅、ポリエステルイミド+ポリアミドイミド /ポリエステル樹脂 (B種絶縁)
	口 出 線	銅、シリコーンゴム (B種絶縁)
	端 子 箱	炭 素 鋼
回転子組立品	回転子棒・エンドリング	アルミニウム
	回転子コア	珪素鋼板
	主 軸	炭 素 鋼
軸受組立品	ブラケット	鋳 鉄
	軸受 (ころがり)	消耗品・定期取替品
支持組立品	取付ボルト	炭 素 鋼

表2.1-2 玄海3号炉 ほう酸ポンプ用電動機の使用条件

定 格 出 力	11kW
周 囲 温 度	約40℃*1
放 射 線	$0.072 \times 10^{-3} \text{Gy/h}^{*2}$
定 格 電 圧	440V
定 格 回 転 数	3,500rpm

*1：原子炉格納容器外の設計平均温度

*2：通常時の原子炉格納容器外の最大実測値

2.2 経年劣化事象の抽出

2.2.1 機能達成に必要な項目

低圧ポンプ用電動機の機能であるポンプの駆動機能を維持するためには、次の2つの項目が必要である。

- ① 駆動機能の確保
- ② 機器の支持

2.2.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

低圧ポンプ用電動機について、機能達成に必要な項目を考慮して主要な部位に展開した上で、個々の部位の構造、材料、使用条件（電圧、温度等）及び現在までの運転経験を考慮し、表2.2-1に示すとおり想定される経年劣化事象を抽出した。

この結果、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象（表2.2-1で○となっているもの）としては以下の事象がある。

(1) 固定子コイル及び口出線の絶縁低下

固定子コイル及び口出線の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性があることから、経年劣化に対する評価が必要である。

なお、本評価書での評価対象機器における放射線の影響については軽微であると考え、健全性評価における劣化要因とはしていない。（電気学会絶縁材料研究会資料 EIM-79-99、NB-79-21「エポキシ樹脂の放射線照射による物性変化」）

2.2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

以下の事象（表2.2-1で△となっているもの）については、想定される経年劣化事象であるが、

- 1) 想定した劣化傾向と実際の劣化傾向の乖離が考えがたい経年劣化事象であって、想定した劣化傾向等に基づき適切な保全活動を行っているもの
- 2) 現在までの運転経験や使用条件から得られた材料試験データとの比較等により、今後も経年劣化の進展が考えられない、又は進展傾向が極めて小さいと考えられる経年劣化事象

に該当するものについては、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと判断した。

上記の1)又は2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

(1) 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食）

固定子コア及び回転子コアは珪素鋼板であり腐食が想定される。

しかしながら、固定子コア及び回転子コアはワニス処理等により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(2) フレーム、端子箱及びブラケットの腐食（全面腐食）

フレーム、端子箱及びブラケットは炭素鋼又は鋳鉄であり腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。また、分解点検時の目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

(3) 回転子棒・エンドリングの疲労割れ

回転子棒・エンドリングについては、電動機の起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、回転子棒・エンドリングはアルミ充てん式（一体形成）であり、回転子棒とスロットの間に隙間を生じることなく、疲労割れが発生し難い構造である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

(4) 主軸の摩耗

主軸については、軸受（ころがり）との接触面で摩耗が想定される。

軸受の定期取替時の軸受引き抜き時に主軸表面にわずかな線形模様が生じることもあり、主軸表面をサンドペーパーで仕上げる方策も考えられる。この場合は、主軸表面がわずかに摩耗し、主軸と軸受間で微小隙間が生じ運転中にフレットニングにより摩耗する可能性がある。

しかしながら、分解点検時の寸法管理によりフレットニングが発生しないようにしており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認及び寸法計測により、機器の健全性を確認している。

(5) 主軸の高サイクル疲労割れ

電動機運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下において繰返し応力を受けると段付部等の応力集中部において、高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、電動機設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、試運転時等における振動確認及び分解点検時の応力集中部に対する目視

確認により、機器の健全性を確認している。

(6) 取付ボルトの腐食（全面腐食）

取付ボルトは炭素鋼であり腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

2.2.4 消耗品及び定期取替品

軸受（ころがり）は分解点検時に取り替えている消耗品であり、長期使用はせず取替えを前提としていることから、高経年化対策を見極める上での評価対象外とする。

表2.2-1 玄海3号炉 ほう酸ポンプ用電動機に想定される経年劣化事象

機能達成に必要な項目	部 位	消耗品・ 定期 取替 品	材 料	経 年 劣 化 事 象							備 考			
				減 耗		腐 蝕	肉 食	割 れ		絶 縁		導 通	特 性	そ の 他
				摩 耗	腐 蝕			疲 勞 割 れ	応 力 腐 蝕 割 れ					
駆動機能の確保	固定子コア		珪素鋼板		△								*1：高サイクル 疲労割れ	
	フレーム		鉄		△									
	固定子コイル		銅 ポリアクリルアミド+ ポリアクリルアミド/ ポリアクリル樹脂 (B種絶縁)				○							
	口 出 線		銅 シリコンゴム (B種絶縁)					○						
	端 子 箱		炭 素 鋼			△								
	回転子棒・セントリング		アルミニウム					△						
	回転子コア		珪素鋼板			△								
	主 軸		炭 素 鋼	△					△*1					
	ブラケット		鉄		△									
	軸受（ころがり）	◎	—											
機器の支持	取付ボルト		炭 素 鋼		△									

○：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

△：高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象（日常劣化管理事象）

2.3 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の評価

2.3.1 固定子コイル及び口出線の絶縁低下

a. 事象の説明

固定子コイルは、固定子コアのスロット内に納められており、各々の銅線に漏電防止のための絶縁が施されている。口出線は、ポンプ用電動機を駆動するための電力を受給するもので、固定子コイルと同様に絶縁が施されている。

固定子コイル及び口出線の絶縁物は有機物であり、機械的、熱的、電氣的及び環境的要因で経年劣化が進行し、絶縁性能の低下を起こす可能性がある。

絶縁低下が生じる可能性のある部位を図2.3-1に示す。

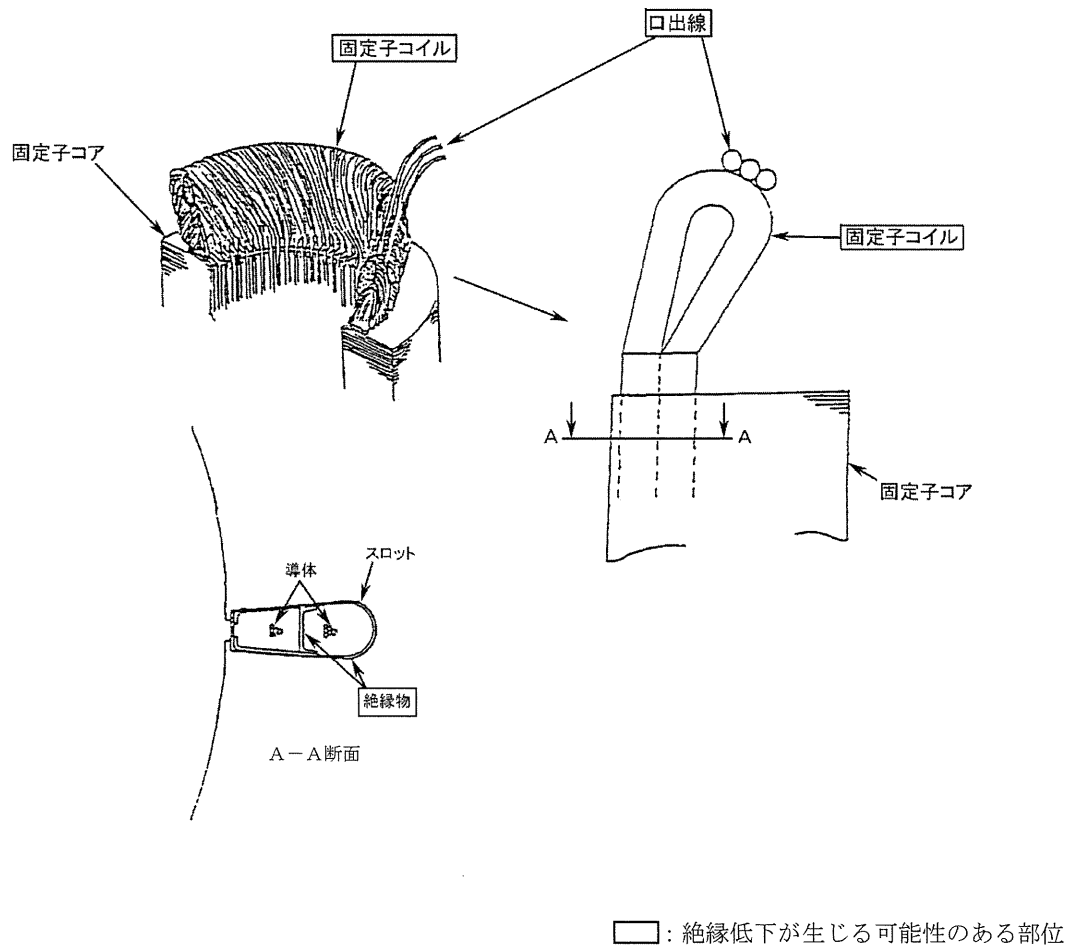


図2.3-1 玄海3号炉 ほう酸ポンプ用電動機

固定子コイル及び口出線の絶縁部位

b. 技術評価

① 健全性評価

低圧ポンプ用電動機の固定子コイルの健全性評価は、同種の一般的な低圧コイルの絶縁低下に対する評価方法を用いる。ここでは、IEEE Std. 117-1956「IEEE Standard Test Procedure for Evaluation of Systems of Insulating Materials for Random-Wound Electric Machinery」（以下、「IEEE Std. 117-1956」という。）の規格に準じて実施した評価試験結果より固定子コイルの長期健全性を評価した。

IEEE Std. 117-1956では、熱的、機械的、環境的及び電気的な各劣化要因について個々に試験条件が述べられているが、電動機はこれら劣化要因が複合するため、複合劣化の試験条件で固定子コイルの長期健全性を評価する。

評価手順を図2.3-2に、試験条件を表2.3-1に、ヒートサイクル方法例を図2.3-3に示す。

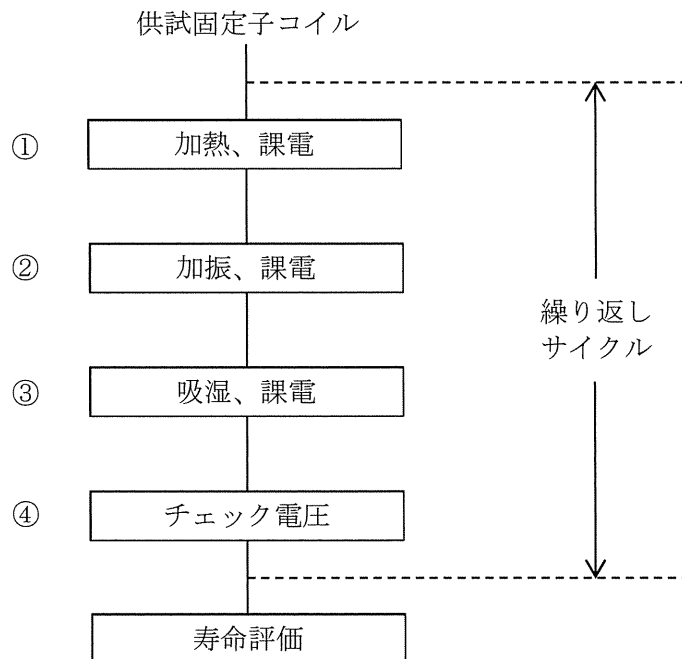


図2.3-2 固定子コイル長期健全性評価手順

図2.3-2の評価手順①、②、③、④を1サイクルとし、コイル絶縁がチェック電圧で破壊するまで繰り返し、180℃及び200℃での耐熱寿命を基にアレニウス則*1が成り立つと仮定して定数A、Bを求め、耐熱寿命曲線を得る。

* 1 : アレニウス則

$$\log Y = -A + \frac{B}{273 + t} \dots\dots (1)$$

Y : 寿命時間 (h)
t : 運転温度 (°C)
A、B : 定数
log Y : 自然対数

この耐熱寿命曲線は、電動機に適用している絶縁固有の特性を表す。
この (1) 式に当該電動機の運転温度*² t (°C) を代入して、寿命を求める。
この寿命で絶縁寿命が決定される。

* 2 : 運転温度

運転温度は、使用最高温度を用いる。
使用最高温度 = 周囲温度 + 固定子コイルの温度上昇
+ 測定ポイントとホットスポットとの差 (マージン)

固定子コイルの絶縁寿命は、評価結果より稼働率 80% で、20 年と判断する。

表 2.3-1 固定子コイル長期健全性評価における試験条件

手順	試験項目	試験条件1	試験条件2	実機設計条件
①	温度	180°C-4日	200°C-1日	最大125°C
	電圧	440V-常時印加	440V-常時印加	440V
②	振動	1.5G-1時間 (at 120°C)	1.5G-1時間 (at 120°C)	1G以下
	電圧	440V-常時印加	440V-常時印加	440V
③	湿度	95~100%RH-2日 (at 40°C)	95~100%RH-2日 (at 40°C)	最大100%RH (at 40°C)
	電圧	440V-常時印加	440V-常時印加	440V
④	チェック電圧	対地間 1.5×E=660V-10分間 線間 150V-10分間	対地間 1.5×E=660V-10分間 線間 150V-10分間	-

RH : relative humidity (相対湿度)

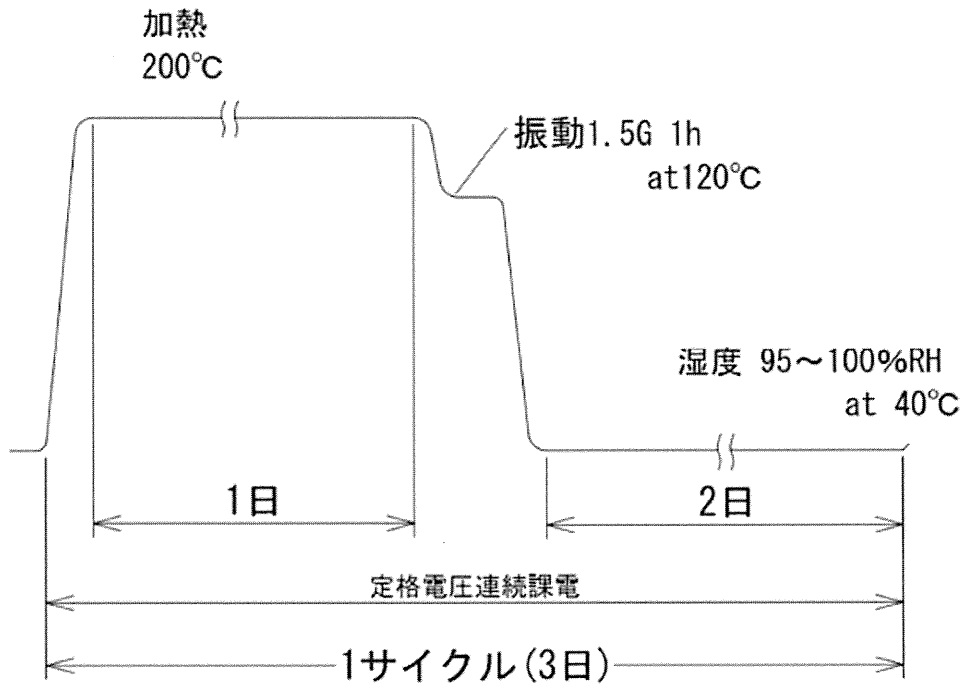


図2.3-3 ヒートサイクル方法例（試験条件2）

また、440V級の経年機で、固定子コイルを更新した旧機のコイル破壊電圧の測定値を評価した結果が、設置経過年数と絶縁破壊値の関係として、図2.3-4に示すように求められる。

この評価からコイル破壊電圧の平均値と95%信頼下限が安全運転下限値（電気設備技術基準： $1.5E = 1.5 \times 440 \text{ [V]} = 660 \text{ [V]}$ ）に低下するのが16.5～25年となるため、固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、16.5年と判断する。

以上の検討結果より、低圧ポンプ用電動機固定子コイルの運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、より厳しい評価結果である旧機のコイル破壊電圧による評価結果を採用し、16.5年と判断する。

また、ヒートサイクル方法及び旧機のコイル破壊電圧による評価で用いた供試体にはともに口出線が含まれていることから、口出線の運転に必要な絶縁耐力を保有する期間は、固定子コイルと同様、16.5年と判断する。

○旧機コイルの実測データ

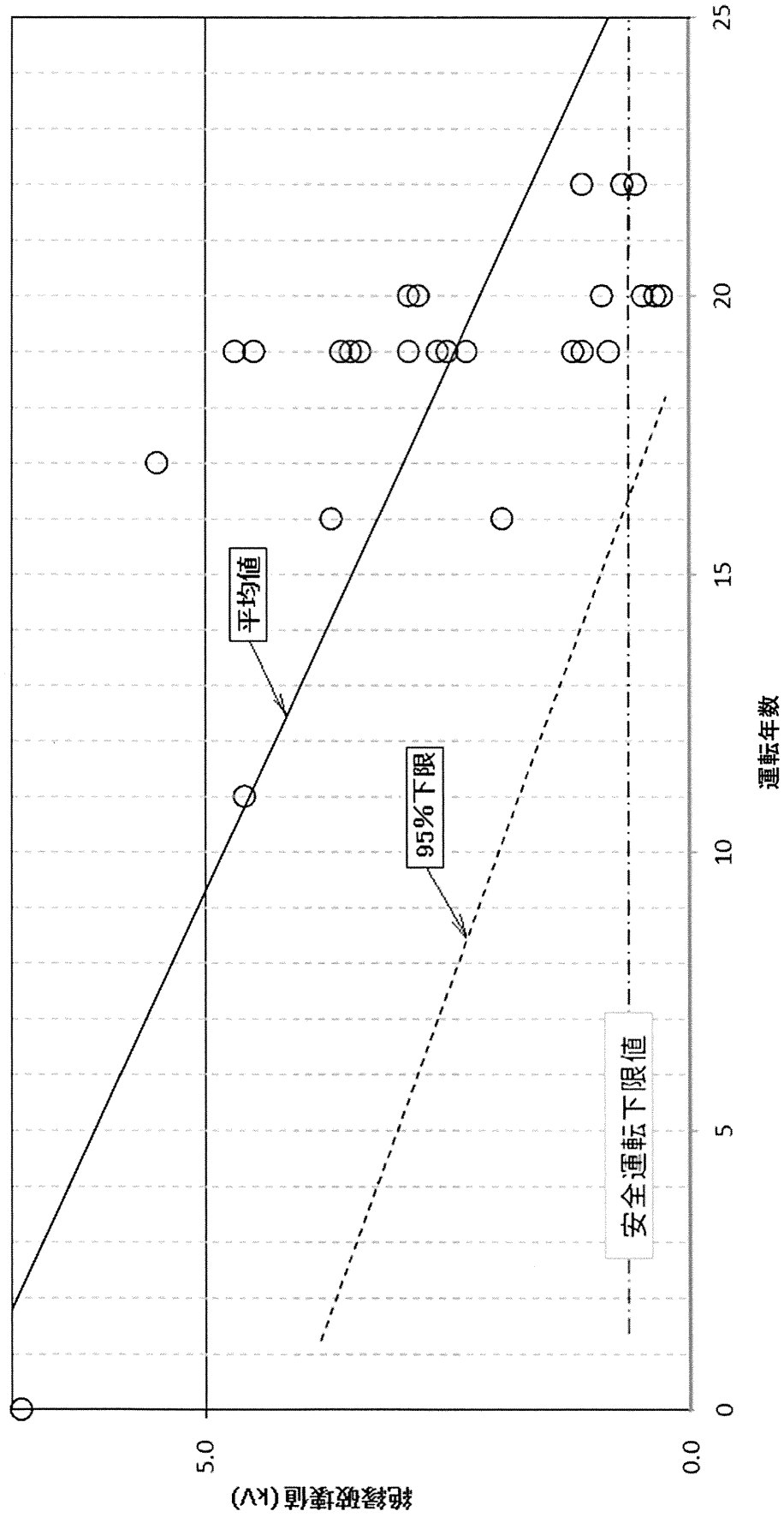


図2.3-4 設置経過年数と絶縁破壊値の関係

[出典：メーカーデータ]

② 現状保全

固定子コイル及び口出線の絶縁低下に対しては、定期的な絶縁抵抗測定を行い、許容値以上であることを確認している。

また、絶縁抵抗測定の結果に基づき、必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

③ 総合評価

健全性評価結果から判断して、固定子コイル及び口出線の絶縁低下については、16.5年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁低下は、絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

c. 高経年化への対応

固定子コイル及び口出線の絶縁低下については、引き続き定期的な絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

3. 代表機器以外への展開

本章では2章で実施した代表機器の技術評価結果について、1章で実施したグループ化で代表機器となっていない以下の機器への展開について検討した。

なお、経年劣化事象の抽出にあたっては、2章の代表機器における経年劣化事象の抽出と同様に、水平展開機器各々の構造、材料、使用条件等の特殊性を考慮している。

- ① 燃料取替用水ポンプ用電動機
- ② 常設電動注入ポンプ用電動機

3.1 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象

3.1.1 固定子コイル及び口出線〔共通〕の絶縁低下

いずれの低圧ポンプ用電動機も絶縁仕様、使用環境等は代表機器と同様であることから、16年以降において発生の可能性は否定できないが、絶縁低下は絶縁抵抗測定で検知可能であり、点検手法として適切である。

よって、現状保全を継続することで、健全性を維持できると考える。

したがって、固定子コイル及び口出線の絶縁低下については、引き続き定期的な絶縁抵抗測定を実施していくとともに、点検結果に基づき必要により洗浄、乾燥、絶縁補修処理もしくは取替えを実施していく。

3.2 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない事象

2.2.3の1)又は2)に該当する事象であるが、保全によりその傾向が維持できていることを確認している事象（日常劣化管理事象）を以下に示す。

なお、日常劣化管理事象ではない事象はない。

3.2.1 固定子コア及び回転子コアの腐食（全面腐食）[共通]

固定子コア及び回転子コアは珪素鋼板であり腐食が想定される。

しかしながら、固定子コア及び回転子コアはワニス処理等により腐食を防止しており、これまでに有意な腐食は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.2 フレーム、端子箱及びブラケットの腐食（全面腐食）[共通]

フレーム、端子箱及びブラケットは炭素鋼又は鋳鉄であり腐食が想定される。

しかしながら、内外面とも塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、分解点検時の目視確認により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

3.2.3 回転子棒・エンドリングの疲労割れ [共通]

回転子棒・エンドリングについては、電動機の起動時に発生する電磁力による繰返し応力を受けるため、疲労割れが想定される。

しかしながら、回転子棒・エンドリングはアルミ充てん式（一体形成）であり、回転子棒とスロットの間に隙間を生じることはなく、疲労割れが発生し難い構造である。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.4 主軸の摩耗 [共通]

主軸については、軸受（ころがり）との接触面で摩耗が想定される。

軸受の定期取替時の軸受引き抜き時に主軸表面にわずかな線形模様が生じることもあり、主軸表面をサンドペーパーで仕上げる方策も考えられる。この場合は、主軸表面がわずかに摩耗し、主軸と軸受間で微小隙間が生じ運転中にフレットニングにより摩耗する可能性がある。

しかしながら、分解点検時の寸法管理によりフレットニングが発生しないようにしており、これまでに有意な摩耗は認められておらず、今後もこれらの傾向が変化する要因があるとは考え難い。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、分解点検時の目視確認及び寸法計測により、機器の健全性を確認している。

3.2.5 主軸の高サイクル疲労割れ [共通]

電動機運転時には主軸に定常応力と変動応力が発生し、高平均応力下において、繰返し応力を受けると段付部等の応力集中部において、高サイクル疲労割れが想定される。

しかしながら、電動機設計時には高サイクル疲労を考慮しており、この設計上の考慮は経年的に変化するものではない。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。

なお、試運転時等における振動確認及び分解点検時の応力集中部に対する目視確認により、機器の健全性を確認している。

3.2.6 取付ボルトの腐食（全面腐食） [共通]

取付ボルトは炭素鋼であり腐食が想定される。

しかしながら、大気接触部は塗装により腐食を防止しており、塗装が健全であれば腐食進行の可能性は小さい。

また、巡視点検等で目視により塗装の状態を確認し、はく離が認められた場合には必要に応じて補修することにより、機器の健全性を維持している。

したがって、今後も機能の維持は可能であることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではない。