

原子力発第12045号
平成24年 5月23日

愛媛県知事
中村時広 殿

四国電力株式会社
取締役社長 千葉 昭

九州電力株式会社玄海原子力発電所第3号機で確認された充てんポンプ
主軸の折損を踏まえた確認に基づく国への報告について

拝啓 時下ますますご清栄のこととお慶び申し上げます。平素は、当社事業につきまして格別のご理解を賜り、厚くお礼申し上げます。

さて、平成24年4月23日付「九州電力株式会社玄海原子力発電所第3号機で確認された充てんポンプ主軸の折損を踏まえた確認等について(指示)」(平成24・04・23 原院第1号)に基づき、伊方発電所の確認結果について、本日、国に報告しましたので、安全協定第10条第4項に基づきご報告いたします。

敬 具

九州電力株式会社 玄海原子力発電所第3号機充てんポンプ
主軸折損事象を踏まえた同型ポンプの健全性確認結果について

平成24年 5月
四国電力株式会社

1. はじめに

九州電力株式会社玄海原子力発電所第3号機（以下、「玄海3号機」という。）C充てんポンプ主軸折損に関して、原子力安全・保安院より発出された「九州電力株式会社玄海原子力発電所第3号機で確認された充てんポンプ主軸の折損を踏まえた確認等について（指示）」（平成24・04・23原院第1号）に基づき、当社伊方発電所の安全上重要な設備のうち、同型ポンプへの気体の流入などにより、主軸に異常な振動が発生する可能性について評価し、その結果に基づき対象となるポンプの健全性を評価した。

2. 玄海3号機C充てんポンプ主軸折損事象の原因について

当該ポンプ製作時の割りリング溝部の加工方法により、コーナR部の曲率半径が小さく、応力が集中する状態となっていた。

更に、羽根車焼き嵌めに伴う割りリングと主軸の接触により、主軸折損部（割りリング溝部）に応力が発生していた。

今回の定期検査時では、体積制御タンクを低水位で長期間運転したことにより、ポンプ入口の水平配管部にガス溜まりが発生し、このガスの流れ込みで生じた振動により当該溝部に応力が発生したと推定される。

これらが重畳することによって、主軸の割りリング溝部に過大な応力が加わり、初期き裂が発生し、その後のガスの断続的な流れ込みにより発生する振動によってき裂が進展し、主軸が折損に至ったと推定された。

3. 指示事項

上記事象を受け平成24年4月23日原子力安全・保安院より以下の指示が発出された。

- (1) 安全上重要な設備のうち、同型ポンプが設置されているか確認すること。
- (2) 上記(1)の結果、同型ポンプが設置されていることが確認された場合、同型ポンプへの気体の流入などにより、運転中の同型ポンプの主軸に異常な振動が発生する可能性について評価を行うこと。
- (3) 上記(2)の結果、異常な振動が発生する可能性がある場合、同型ポンプ主軸の加工方法、製作方法を考慮した上で、その異常な振動で主軸が折損に至るかどうかが評価を行うこと。

4. 指示事項に基づく評価結果

- (1) 対象ポンプ（安全上重要な設備のうち同型ポンプ等）

伊方1～3号機の安全上重要な設備のうち、玄海3号機の充てんポンプと同型であるポンプを対象とするが、具体的には、経済産業省告示第327号（平成15年10月1日施行）および当社伊方3号機充てんポンプ主軸損傷（平成16年

3月発生)に係る調査において対象としたポンプを対象とした。

この結果、以下のポンプが抽出された。

- ・ 充てんポンプ (伊方3号機)
- ・ 1次冷却材ポンプ
- ・ 高圧注入ポンプ
- ・ 余熱除去ポンプ
- ・ 格納容器スプレイポンプ
- ・ 燃料取替用水タンクポンプ
- ・ ほう酸ポンプ
- ・ 電動補助給水ポンプ
- ・ タービン動補助給水ポンプ
- ・ 原子炉補機冷却水ポンプ
- ・ 海水ポンプ
- ・ 非常用ディーゼル発電機 温水循環ポンプ
- ・ 非常用ディーゼル発電機 燃料弁冷却水ポンプ
- ・ 非常用ディーゼル発電機 シリンダ冷却水ポンプ
- ・ コントロールタワー空調用冷水ポンプ

(添付資料-1)

(2) 主軸に異常な振動が発生する可能性についての評価

抽出したポンプについて、これまでの保全活動の実績および過去に発生したトラブル経験等を踏まえ、主軸に異常な振動が発生すると考えられる要因を検討した上で、ガスなどの気体の流入(水源からの空気巻き込み渦・気泡持ち込み、減圧機構からのガス溶出、配管ルーティングに起因するガス溶出、配管加熱によるガス溶出等)、小流量運転および異物混入の可能性について評価を行った。

その結果、主軸に異常な振動が発生する可能性があるポンプはないことを確認した。

(添付資料-2)

なお、伊方3号機充てんポンプの水源となる体積制御タンクについては、プラント長期停止期間中において、サンプリングおよび機器点検のためのドレン操作により、低水位期間が継続した場合、ガスが配管へ継続的に流入する可能性があるが、流入したガスを連続的に排出するための連続ベントラインを設置しており、ガスが充てんポンプへ流入することはない。

(添付資料-3)

(3) 異常な振動が発生する可能性がある同型ポンプ主軸の健全性評価
主軸に異常な振動が発生する可能性があるポンプはない。

(4) 同型ポンプ主軸の振動影響評価

同型ポンプについて、ガスの流入等により異常な振動が発生する可能性はないことを確認しているものの、念のため小流量運転により主軸に振動が発生したと仮定しても、主軸の健全性は確保され、折損しないことを確認した。

(添付資料－4)

なお、伊方3号機充てんポンプについては、建設当初は玄海3号機C充てんポンプと同じ羽根車の取付方法および溝加工方法等を適用した主軸を採用していたが、当社伊方3号機充てんポンプ主軸損傷（平成16年3月発生）を踏まえた信頼性向上対策として改良型の主軸への取替を完了している。

(添付資料－5)

5. まとめ

指示事項に基づき評価した結果、伊方発電所の安全上重要な設備のうち、同型ポンプについては、主軸に異常な振動の発生およびそれによる主軸折損の可能性はないことを確認した。

以上

添付資料－1 伊方発電所評価対象ポンプ一覧

添付資料－2 安全上重要な設備（ポンプ）に異常な振動が発生する要因の評価結果

添付資料－3 伊方3号機充てんポンプ連続ベントライン概要図

添付資料－4 安全上重要な設備のうち同型ポンプ主軸の振動影響評価について

添付資料－5 伊方3号機充てんポンプ主軸仕様

伊方発電所評価対象ポンプ一覧

名 称		対象（台数）			備 考
		1号機	2号機	3号機	
充てんポンプ		×	×	○(3)	1/2号機は往復動式のため対象外
1次冷却材ポンプ		○(2)	○(2)	○(3)	
高圧注入ポンプ		○(2)	○(2)	○(2)	
余熱除去ポンプ		○(2)	○(2)	○(2)	
格納容器スプレイポンプ		○(2)	○(2)	○(2)	
燃料取替用水タンクポンプ		○(2)	○(2)	○(2)	
ほう酸ポンプ		○(2)	○(2)	○(2)	
電動補助給水ポンプ		○(2)	○(2)	○(2)	
タービン動補助給水ポンプ		○(1)	○(1)	○(1)	
原子炉補機冷却水ポンプ		○(4)	○(4)	○(4)	
海水ポンプ		○(4)	○(4)	○(4)	
非常用 ディーゼル 発電機関係	温水循環ポンプ	○(2)	○(2)	○(2)	
	燃料弁冷却水ポンプ	○(2)	○(2)	○(2)	
	シリンダ冷却水ポンプ	○(2)	○(2)	○(2)	
	燃料油供給ポンプ	×	×	×	ギア式のため対象外
	燃料油移送ポンプ	×	×	×	
	潤滑油プライミングポンプ	×	×	×	
	潤滑油ポンプ	×	×	×	
コントロールタワー空調用冷水ポンプ		○(2)	○(2)	○(4)	

○:対象 ×:対象外

安全上重要な設備(ポンプ)に異常な振動が発生する要因の評価結果

■伊方1/2号機

対象ポンプ [台数/ユニット]	運転状態	水源	要 因		
			ガス流入	異物混入	小流量運転
1次冷却材ポンプ [2台]	通常運転状態	閉ループ循環系	<p>○閉ループ循環系であり、ガス流入の懸念はない。</p> <p>○オリフィス等の減圧機構は設置されていない。また、加圧器で圧力制御がなされており急激な減圧等の懸念はない。</p>	<p>○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。更にプラント運転中、1次冷却材ループ内はルースパーツモニタにて異物監視がなされており早期の検知が可能である。</p>	<p>○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。</p>
高圧注入ポンプ [2台]	試運転状態 過渡状態	燃料取替用水タンク C/V再循環サンプ	<p>[燃料取替用水タンク]</p> <p>○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。</p> <p>○ミニマムフローラインおよびテストラインにオリフィスが設置されているが、両ラインの出口は、当該タンクにつながっており、ガスが溶出しても分離されることから影響はない。</p> <p>[C/V再循環サンプ]</p> <p>○事故時最低水位で運転してもガスが巻き込まれることはないよう必要水深を設定している。</p>	<p>[燃料取替用水タンク]</p> <p>○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。</p> <p>○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。</p> <p>[C/V再循環サンプ]</p> <p>○C/V再循環サンプ入口にスクリーンが設置されており、異物の混入を防止している。</p>	<p>○ポンプサーベランス運転時において小流量運転となるが、分解点検において、エロージョンの発生または進展のないことを確認し、小流量運転の影響のないことを確認している。</p>
余熱除去ポンプ [2台]	試運転状態 過渡状態	燃料取替用水タンク 1次冷却材管 C/V再循環サンプ	<p>[燃料取替用水タンク]</p> <p>○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。</p> <p>○ミニマムフローラインにオリフィスが設置されており、同ラインはポンプ入ロラインに戻る構成であるが、流量制限オリフィスの背圧が高く、ガスの溶出は極めて少ない。</p> <p>[1次冷却材管]</p> <p>○ミッドループ運転時のRCS水位で運転しても水位と取水流量の関係から配管にガスが巻き込まれることはない。</p> <p>[C/V再循環サンプ]</p> <p>○事故時最低水位で運転してもガスが巻き込まれることはないよう必要水深を設定している。</p>	<p>[燃料取替用水タンク]</p> <p>○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。</p> <p>○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。</p> <p>[1次冷却材管]</p> <p>○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。</p> <p>[C/V再循環サンプ]</p> <p>○C/V再循環サンプ入口にスクリーンが設置されており、異物の混入を防止している。</p>	<p>○ポンプサーベランス運転時において小流量運転となるが、分解点検において、エロージョンの発生または進展のないことを確認し、小流量運転の影響のないことを確認している。</p>

対象ポンプ [台数/ユニット]	運転状態	水 源	要 因		
			ガス流入	異物混入	小流量運転
格納容器 スプレイポンプ [2台]	試運転状態 過渡状態	燃料取替用水タンク C/V 再循環サンプ	<p>[燃料取替用水タンク]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○ミニマムフローラインおよびテストラインにオリフィスが設置されているが、両ラインの出口は、当該タンクにつながっており、ガスが溶出しても分離されることから影響はない。 <p>[C/V再循環サンプ]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○事故時最低水位で運転してもガスが巻き込まれることはないよう必要水深を設定している。 	<p>[燃料取替用水タンク]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。 <p>[C/V再循環サンプ]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○C/V再循環サンプ入口にスクリーンが設置されており、異物の混入を防止している。 	<ul style="list-style-type: none"> ○サーベランス運転時において小流量運転となるが、分解点検において、エロージョンの発生または進展のないことを確認し、小流量運転の影響のないことを確認している。
燃料取替用水 タンクポンプ [2台]	通常運転状態	燃料取替用水タンク	<ul style="list-style-type: none"> ○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○循環ラインにオリフィスが設置されているが、同ラインは、当該タンクにつながっており、ガスが溶出しても分離されることから影響はない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。
ほう酸ポンプ [2台]	通常運転状態	ほう酸タンク	<ul style="list-style-type: none"> ○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○循環ライン出口にオリフィスが設置されているが、同ライン出口は、当該タンクにつながっており、ガスが溶出しても分離されることから影響はない。 ○ほう酸タンクからほう酸ポンプまでの配管にはヒートトレースが施工されているが、ほう酸タンクと同じ温度設定であるため、配管中でガスが溶出する可能性はない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○補給するほう酸水濃度が低い場合、小流量運転となる場合があるが、分解点検において、エロージョンの発生または進展のないことを確認し、小流量運転の影響のないことを確認している。

対象ポンプ [台数/ユニット]	運転状態	水 源	要 因		
			ガス流入	異物混入	小流量運転
電動補助給水 ポンプ [2台]	試運転状態 過渡状態	復水タンク	<ul style="list-style-type: none"> ○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○ミニマムフローラインにオリフィスが設置されているが、同ライン出口は、当該タンクにつながっており、ガスが溶出しても分離されることから影響はない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ポンプサーバランス運転時において小流量運転となるが、分解点検において、エロージョンの発生または進展のないことを確認し、小流量運転の影響のないことを確認している。
タービン動補助 給水ポンプ [1台]	試運転状態 過渡状態	復水タンク	<ul style="list-style-type: none"> ○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○ミニマムフローラインにオリフィスが設置されているが、同ライン出口は、当該タンクにつながっており、ガスが溶出しても分離されることから影響はない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ポンプサーバランス運転時において小流量運転となるが、分解点検において、エロージョンの発生または進展のないことを確認し、小流量運転の影響のないことを確認している。
原子炉補機 冷却水ポンプ [4台]	通常運転状態	閉ループ循環系	<ul style="list-style-type: none"> ○閉ループ循環系であり、ガス流入の懸念はない。 ○オリフィス等の減圧機構は設置されていない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。
海水ポンプ [4台]	通常運転状態	海水取水ピット	<ul style="list-style-type: none"> ○海水取水ピットが最低水位の状態となっても、ベルマウス(吸い込み口)までの高さは十分にあり、ガスが巻き込まれることはない。 ○海水取水口水位が(潮位)が低下した場合の措置については運転手順書に定められている。 	<ul style="list-style-type: none"> ○取水路に設置されているスクリーンにより、異物の混入を防止している。 ○微細な物はスクリーンを通過するが、羽根車および主軸の健全性に影響を及ぼすことはない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。

対象ポンプ [台数/ユニット]	運転状態	水 源	要 因		
			ガス流入	異物混入	小流量運転
非常用ディーゼル 発電機 温水循環ポンプ [2台]	通常運転状態	閉ループ循環系	○閉ループ循環系であり、ガス流入の懸念はない。 ○オリフィス等の減圧機構は設置されていない。	○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。	○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。
非常用ディーゼル 発電機 燃料弁冷却水 ポンプ [2台]	通常運転状態	燃料弁冷却水タンク	○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○オリフィス等の減圧機構は設置されていない。	○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。	○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。
非常用ディーゼル 発電機 シリンダ冷却水 ポンプ [2台]	通常運転状態	閉ループ循環系	○閉ループ循環系であり、ガス流入の懸念はない。 ○オリフィス等の減圧機構は設置されていない。	○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。	○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。
コントロールタワー 空調用冷水ポンプ [2台]	通常運転状態	閉ループ循環系	○閉ループ循環系であり、ガス流入の懸念はない。 ○オリフィス等の減圧機構は設置されていない。	○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。	○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。

■伊方3号機

対象ポンプ [台数/ユニット]	運転状態	水源	要因		
			ガス流入	異物混入	小流量運転
<p>充てんポンプ [3台]</p>	<p>通常運転状態 過渡状態</p>	<p>体積制御タンク 燃料取替用水タンク</p>	<p>[体積制御タンク] ○長期停止期間中において、今までの運用では低水位が継続し、入口配管へガスが流入する可能性は否定できない。よって、今定期検査より運転手順を見直し高水位を維持する。 ただし、充てんポンプ入口には流入したガスを連続的に排出するための連続ベントラインが設置されており、ガスが充てんポンプへ流入することはない。 ○オリフィスが設置されたミニマムフローラインがポンプ入口配管につながっているが、体積制御タンクは定期検査中も加圧されており、急激な減圧はなく、ガスの溶出は防止できる。 ○配管ルーティングについては、配管は体積制御タンクより低い位置に配置され、配管途中でのガスの溶出は防止されており、また、系統復旧時において適切なエア一抜きが行われている。 ○タンク液相部に窒素、水素が供給されるが、タンクの圧力監視を行うとともに配管系に異常があった場合でも元弁(空気作動弁)は、F.Cであり、過剰供給は防止できる。</p> <p>[燃料取替用水タンク] ○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。</p>	<p>[体積制御タンク] ○タンク上流側にフィルタが設置されており、異物の混入を防止している。 ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。</p> <p>[燃料取替用水タンク] ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。</p>	<p>○ミニマムフローラインが設置されておりポンプ切替時等に小流量運転となるが、分解点検において、エロージョンの発生または進展のないことを確認し、小流量運転の影響のないことを確認している。</p>

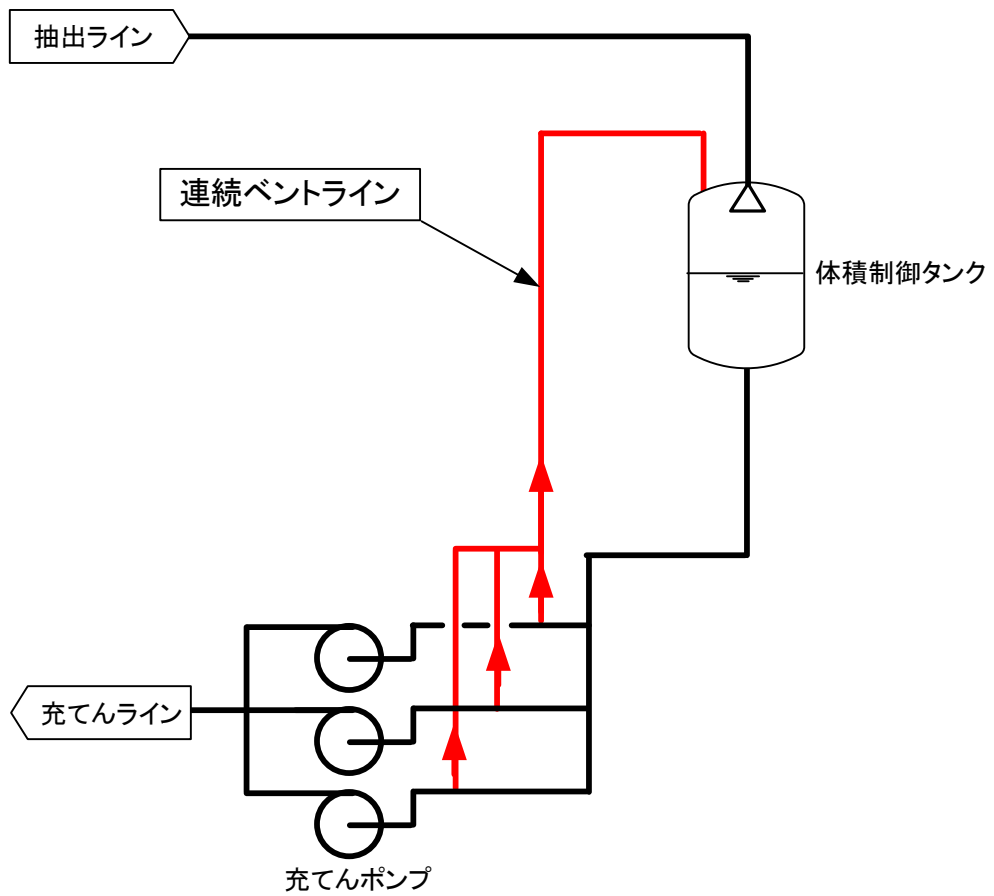
対象ポンプ [台数/ユニット]	運転状態	水源	要 因		
			ガス流入	異物混入	小流量運転
1次冷却材ポンプ [3台]	通常運転状態	閉ループ循環系	<ul style="list-style-type: none"> ○閉ループ循環系であり、ガス流入の懸念はない。 ○オリフィス等の減圧機構は設置されていない。また、加圧器で圧力制御がなされており急激な減圧等の懸念はない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。更にプラント運転中、1次冷却材ループ内はルースパーツモニタにて異物監視がなされており早期の検知が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。
高圧注入ポンプ [2台]	試運転状態 過渡状態	燃料取替用水タンク C/V再循環サンプ	<ul style="list-style-type: none"> [燃料取替用水タンク] ○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○ミニマムフローラインおよびテストラインにオリフィスが設置されているが、両ラインの出口は、当該タンクにつながっており、ガスが溶出しても分離されることから影響はない。 [C/V再循環サンプ] ○事故時最低水位で運転してもガスが巻き込まれることはないよう必要水深を設定している。 	<ul style="list-style-type: none"> [燃料取替用水タンク] ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。 [C/V再循環サンプ] ○C/V再循環サンプ入口にスクリーンが設置されており、異物の混入を防止している。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ポンプサーベランス運転時において小流量運転となるが、分解点検において、エロージョンの発生または進展のないことを確認し、小流量運転の影響のないことを確認している。
余熱除去ポンプ [2台]	試運転状態 過渡状態	燃料取替用水タンク 1次冷却材管 C/V再循環サンプ	<ul style="list-style-type: none"> [燃料取替用水タンク] ○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○オリフィス等の減圧機構は設置されていない。 [1次冷却材管] ○ミッドループ運転時のRCS水位で運転しても水位と取水流量の関係から配管にガスが巻き込まれることはない。 [C/V再循環サンプ] ○事故時最低水位で運転してもガスが巻き込まれることはないよう必要水深を設定している。 	<ul style="list-style-type: none"> [燃料取替用水タンク] ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。 [1次冷却材管] ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 [C/V再循環サンプ] ○C/V再循環サンプ入口にスクリーンが設置されており、異物の混入を防止している。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ポンプサーベランス運転時において小流量運転となるが、分解点検において、エロージョンの発生または進展のないことを確認し、小流量運転の影響のないことを確認している。

対象ポンプ [台数/ユニット]	運転状態	水 源	要 因		
			ガス流入	異物混入	小流量運転
格納容器 スプレイポンプ [2台]	試運転状態 過渡状態	燃料取替用水タンク C/V 再循環サンプ	<p>[燃料取替用水タンク]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○テストラインにオリフィスが設置されているが、同ラインの出口は、当該タンクにつながっており、ガスが溶出しても分離されることから影響はない。 <p>[C/V再循環サンプ]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○事故時最低水位で運転してもガスが巻き込まれることはないよう必要水深を設定している。 	<p>[燃料取替用水タンク]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。 <p>[C/V再循環サンプ]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○C/V再循環サンプ入口にスクリーンが設置されており、異物の混入を防止している。 	<ul style="list-style-type: none"> ○サーベランス運転時において小流量運転となるが、分解点検において、エロージョンの発生または進展のないことを確認し、小流量運転の影響のないことを確認している。
燃料取替用水 タンクポンプ [2台]	通常運転状態	燃料取替用水タンク	<ul style="list-style-type: none"> ○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○循環ラインにオリフィスが設置されているが、同ラインの出口は、当該タンクにつながっており、ガスが溶出しても分離されることから影響はない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。
ほう酸ポンプ [2台]	通常運転状態	ほう酸タンク	<ul style="list-style-type: none"> ○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○循環ラインにオリフィスが設置されているが、同ライン出口は、当該タンクにつながっており、ガスが溶出しても分離されることから影響はない。 ○ほう酸タンクからほう酸ポンプまでの配管にはヒートトレースが施工されているが、ほう酸タンクと同じ温度設定であるため、配管中でガスが溶出する可能性はない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○補給するほう酸水濃度が低い場合、小流量運転となる場合があるが、分解点検において、エロージョンの発生または進展のないことを確認し、小流量運転の影響のないことを確認している。

対象ポンプ [台数/ユニット]	運転状態	水源	要因		
			ガス流入	異物混入	小流量運転
電動補助給水 ポンプ [2台]	試運転状態 過渡状態	補助給水タンク	<ul style="list-style-type: none"> ○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○ミニマムフローラインにオリフィスが設置されているが、同ライン出口は、当該タンクにつながっており、ガスが溶出しても分離されることから影響はない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ポンプサーベランス運転時において小流量運転となるが、分解点検において、エロージョンの発生または進展のないことを確認し、小流量運転の影響のないことを確認している。
タービン動補助 給水ポンプ [1台]	試運転状態 過渡状態	補助給水タンク	<ul style="list-style-type: none"> ○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○ミニマムフローラインにオリフィスが設置されているが、同ライン出口は、当該タンクにつながっており、ガスが溶出しても分離されることから影響はない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ポンプサーベランス運転時において小流量運転となるが、分解点検において、エロージョンの発生または進展のないことを確認し、小流量運転の影響のないことを確認している。
原子炉補機 冷却水ポンプ [4台]	通常運転状態	閉ループ循環系	<ul style="list-style-type: none"> ○閉ループ循環系であり、ガス流入の懸念はない。 ○オリフィス等の減圧機構は設置されていない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。
海水ポンプ [4台]	通常運転状態	海水取水ピット	<ul style="list-style-type: none"> ○海水取水ピットが最低水位の状態となっても、ベルマウス(吸い込み口)までの高さは十分にあり、ガスが巻き込まれることはない。 ○海水取水口水位が(潮位)が低下した場合の措置については運転手順書に定められている。 	<ul style="list-style-type: none"> ○取水路に設置されているスクリーンにより、異物の混入を防止している。 ○微細な物はスクリーンを通過するが、羽根車および主軸の健全性に影響を及ぼすことはない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。

対象ポンプ [台数/ユニット]	運転状態	水 源	要 因		
			ガス流入	異物混入	小流量運転
非常用ディーゼル 発電機 温水循環ポンプ [2台]	通常運転状態	閉ループ循環系	○閉ループ循環系であり、ガス流入の懸念はない。 ○オリフィス等の減圧機構は設置されていない。	○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。	○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。
非常用ディーゼル 発電機 燃料弁冷却水 ポンプ [2台]	通常運転状態	燃料弁冷却水タンク	○当該タンクが最低水位の状態となっても、当該タンクからの吸い込み配管とのレベル差は十分にあり、吸い込み配管にガスが巻き込まれることはない。 ○オリフィス等の減圧機構は設置されていない。	○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。 ○タンク内の水の流れは緩やかであり、仮に異物が持ち込まれたとしてもタンク底部に沈むことになる。	○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。
非常用ディーゼル 発電機 シリンダ冷却水 ポンプ [2台]	通常運転状態	閉ループ循環系	○閉ループ循環系であり、ガス流入の懸念はない。 ○オリフィス等の減圧機構は設置されていない。	○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。	○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。
コントロールタワー 空調用冷水ポンプ [4台]	通常運転状態	閉ループ循環系	○閉ループ循環系であり、ガス流入の懸念はない。 ○オリフィス等の減圧機構は設置されていない。	○機器開放点検時には適切な異物管理により異物の混入を防止している。	○ミニマムフローラインはなく、流量低下の懸念はない。

伊方3号機充てんポンプ連続ベントライン概要図



安全上重要な設備のうち同型ポンプ主軸の振動影響評価について

1. はじめに

原子力安全・保安院からの指示に基づき、当社伊方発電所の安全上重要な設備のうち、同型ポンプへの気体の流入などにより、主軸に異常な振動が発生する可能性について評価した結果、主軸に異常な振動が発生する可能性はないことを確認した。

しかしながら、玄海3号機C充てんポンプ主軸折損事象においては、主軸製作時の割りリング溝部の加工方法により、コーナR部の曲率半径が小さく、応力が集中する状態となっていたこと、また羽根車焼き嵌めに伴う割りリングと主軸の接触により、主軸折損部（割りリング溝部）に大きな応力が生じたことが原因の一つとして挙げられている。

評価対象となった伊方発電所の同型ポンプにも同様の製造方法を用いた主軸を使用しているポンプがあることから、念のため主軸の振動に対する影響を評価することとした。

充てんポンプとその他のポンプとの主軸の構造や仕様の違いから、主軸の振動に対する影響の受けやすさについて考察を行い、さらにステッキバイトを用いた割りリング溝部を有している多段ポンプ主軸の疲労強度について、ステッキバイト加工等による影響を考慮し評価を行った。

2. ポンプ型式の違いによる主軸の振動に対する影響について

(1) 多段ポンプと単段ポンプの違いについて

対象となった安全上重要な設備のうち同型ポンプには、充てんポンプのような高揚程に用いられる多段ポンプとそれ以外の単段ポンプがある。単段ポンプの主軸は、多段ポンプより軸受間の距離に対して主軸の径が大きいことから多段ポンプよりも剛性が高く、振動に対する裕度は十分大きい。

また、単段ポンプについては割りリング溝がない構造が多く、今回の要因である溝部に応力集中が生じる構造となっていない。

表－1 多段ポンプおよび単段ポンプの主軸の軸受間の長さ／主軸径の比較例
(伊方3号機の例)

ポンプ		軸受間の長さ／軸径	比率※
充てんポンプ	多段	24	1
余熱除去ポンプ	単段	15	約0.6
格納容器スプレイポンプ	単段	14	約0.6
原子炉補機冷却水ポンプ	単段	12	約0.5

※ 充てんポンプを1としたときの軸受間の長さ／軸径の比率

(2) 充てんポンプとその他の多段ポンプの違いについて

多段ポンプのうち、充てんポンプと、その他の多段ポンプ（高圧注入ポンプ、電動補助給水ポンプ、タービン動補助給水ポンプ）との仕様の違いについて検討した。

充てんポンプは、軸受間の距離に対して主軸の径が比較的小さく、その他の多段ポンプに比べて、揚程が大きいことから、主軸に作用する外部からの加振力の影響を受けやすいと考えられる。

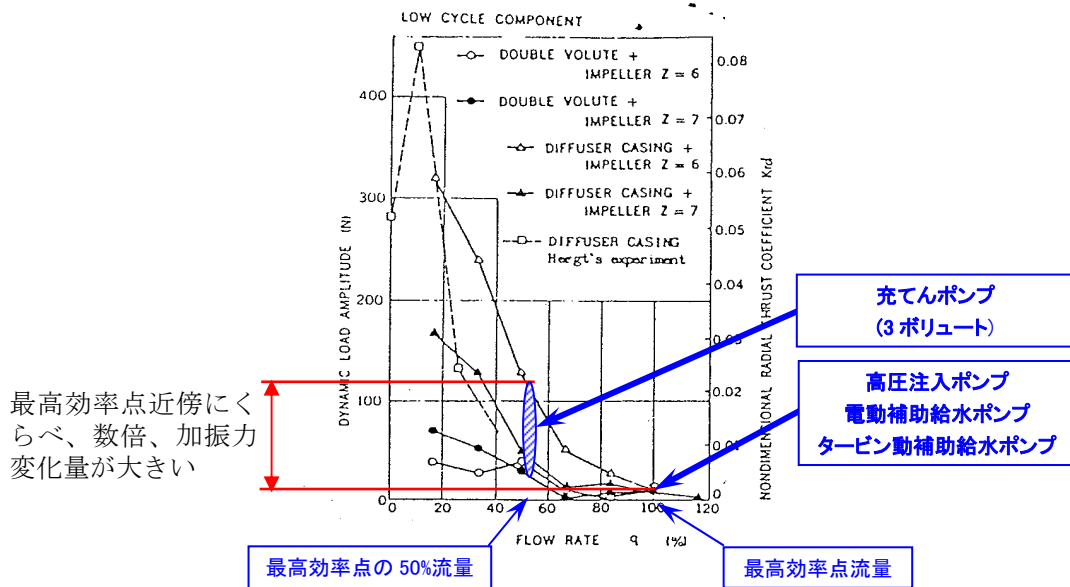
また、最高効率点近傍で使用するその他の多段ポンプに比べ比較的低い流量で使用しており、案内羽根が3枚以上のポンプはガスの流れ込みや、小流量運転等の要因による流体振動の影響を受けやすい状態にある。

表-2 多段ポンプの仕様比較（伊方3号機の例）

ポンプ	羽根車 段 数	軸受間の長さ／軸径		揚程 (m)	
			比率*		比率*
充てんポンプ	10	24	1	1720	1
高圧注入ポンプ	8	20	約 0.8	950	約 0.5
電動補助給水ポンプ	11	26	約 1.1	900	約 0.5
タービン動補助給水ポンプ	2	14	約 0.6	900	約 0.5

※充てんポンプを1としたときの比率

図-1 最高効率点流量と仕様点流量の違いによる流体加振力の比較
伊方3号機の例



(出典: 日本機械学会論文集(C編) 49巻 437号(昭58-1))

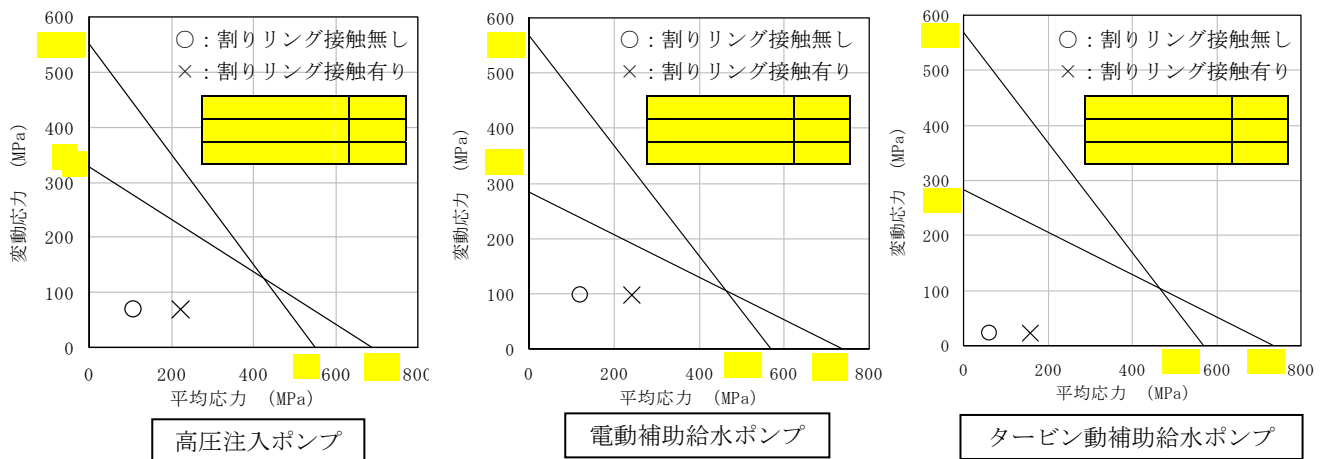
3. ステッキバイト加工等による影響を考慮した主軸の応力評価について

前述のように充てんポンプ以外のその他ポンプは主軸の構造や仕様の違いから、振動に対して影響を受けにくい構造であると考えられるが、当社の評価対象となった多段ポンプのうち、高圧注入ポンプ、電動補助給水ポンプ、タービン動補助給水ポンプは、ステッキバイトを用いた割りリング溝部を有していることから、ステッキバイト加工等による影響を考慮し、主軸の応力評価を行った。

伊方3号機の高圧注入ポンプ、電動補助給水ポンプ、タービン動補助給水ポンプの主軸の応力評価として、もっとも厳しいケースを考慮し、コーナRを0.1mm(過去の実測データの最小値0.2mmに対し保守的な値とした)として応力評価を行った。

その結果、修正グッドマン線図の疲労限度を満足しており、主軸の健全性は確保され、折損しないことを確認した。(図-2)

図-2 主軸の疲労強度評価 (伊方3号機の例)

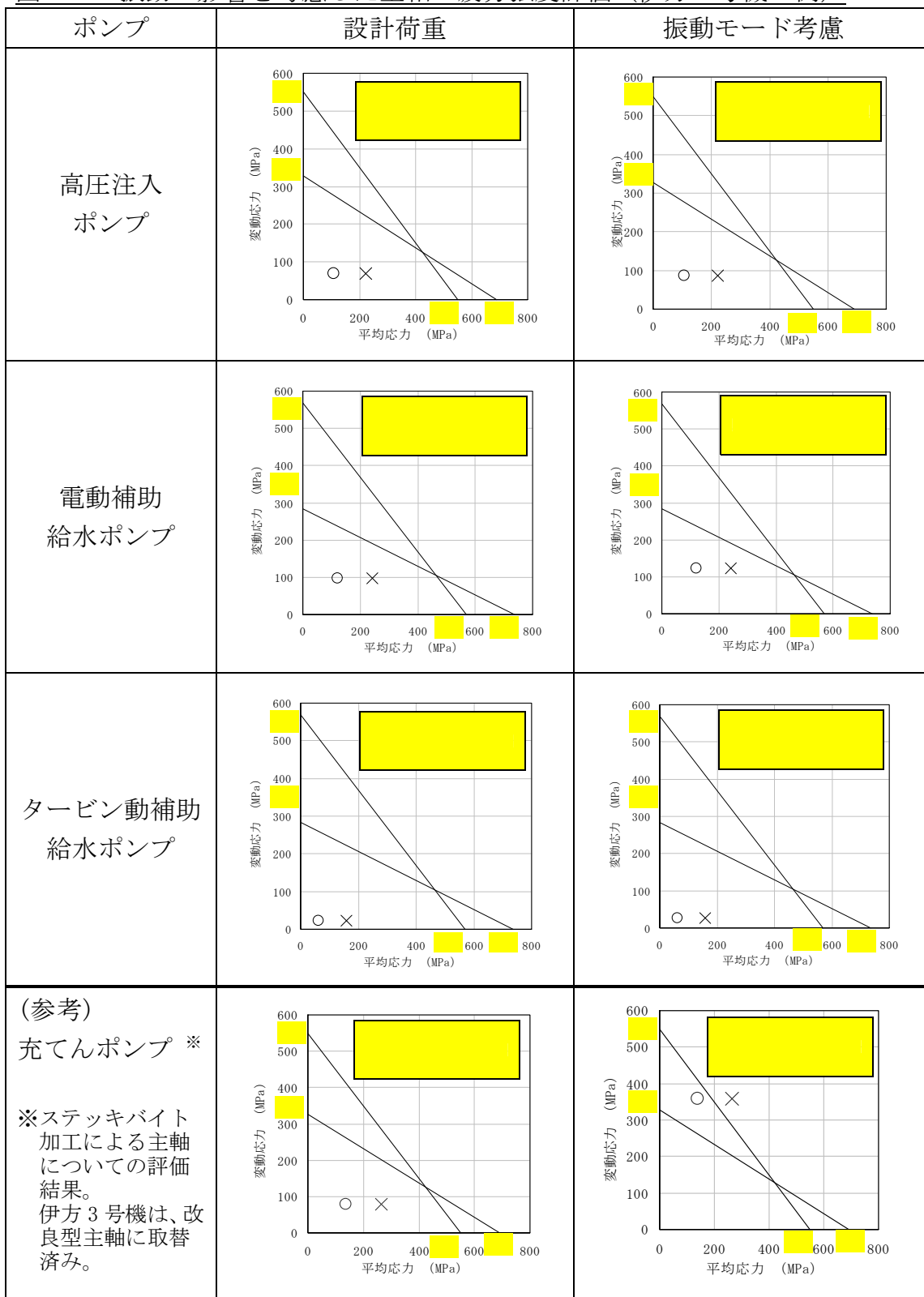


さらに、ガスの流入等により異常な振動が発生する可能性はないことを確認しているが、念のため小流量運転により主軸に振動が発生したと仮定した評価を行った。

その結果、このケースにおいても修正グッドマン線図の疲労限度を満足しており、主軸の健全性は確保され、折損しないことを確認した。

なお、他のユニットのポンプについて、ポンプ仕様の違いを考慮しても、伊方3号機の各ポンプの応力評価結果と同等と判断されることから、ステッキバイト加工等による影響を考慮しても、主軸の健全性は確保されており、折損しないことを確認した。(図-3)

図-3 振動の影響を考慮した主軸の疲労強度評価 (伊方3号機の例)



○ : 割りリング接触無し × : 割りリング接触有り

評価条件

- 割りリング溝部コーナ R 部の曲率半径は 0.1mm
- 最大応力発生部位をプロット
- 振動モードの荷重は、充てんポンプ小流量時の不均一流れを模擬した流体加振力とした。
なお、充てんポンプ以外のポンプは、仕様点の影響により流体加振力は充てんポンプの数分の 1 となるが、保守的な評価として 1/2 とした。

4. まとめ

安全上重要なポンプの主軸の振動に対する影響を評価した結果、充てんポンプは、主軸の構造や仕様から主軸の振動に対する影響を受けやすいことがわかった。

また、伊方発電所の評価対象のうち、ステッキバイトを用いた割りリング溝部を有する多段ポンプについて、ガスの流入等により異常な振動が発生する可能性はないことを確認しているが、念のため、小流量運転により主軸に振動が発生したと仮定しても、主軸の健全性は確保されており、折損しないことを確認した。

以上

伊方3号機充てんポンプ主軸仕様

項目	伊方3号機充てんポンプ	(参考) 玄海3号機充てんポンプC
羽根車取付方法	割りリング	割りリング
溝加工方法 (R部寸法)	NC円弧補間加工 (R1.2mm) ※	ステッキバイト (R0.8mm)
羽根車焼き嵌め時 主軸温度管理の有無	有	無
疲労強度評価結果	疲労限以下 (評価条件および評価結果は下図参照)	—
主軸取替時期	3A：平成16年 9月 3B：平成16年10月 3C：平成24年 3月	—

※ 製作記録により図面指示どおりに製作されていることを確認済み。

【疲労強度評価】

評価条件	評価結果
<ul style="list-style-type: none"> 評価箇所：主軸割りリング溝部 溝部R寸法：R1.2mm 割りリングと主軸の接触：なし 	
<p>[参考]</p> <ul style="list-style-type: none"> 上記条件で、主軸の最大振れ回り(ウェアリング隙間一杯の振れ回り)により生じる振動発生応力を考慮した評価 	