

A 充てん／高圧注入ポンプ主軸折損の調査結果(概要)

1. 調査結果

- ・ 充てん／高圧注入ポンプの運転時間等の履歴調査、主軸、羽根車等の材料・製作調査、据付時の試運転記録等による施工調査を行ったが問題はなかった。
- ・ 主軸、羽根車、スリーブ等の外観点検、超音波探傷試験、浸透探傷試験の結果、各部品の一部に面荒れや擦り傷等が認められたが問題はなく、主軸折損に関連するものではなかった。
- ・ 主軸折損部の破面観察の結果、2ヶ所の破面残存部に高サイクル疲労の特徴である組織状及びストライエーション状模様が認められたことなどから、応力集中、過大応力、流体振動及び機械振動を因子とする疲労が、主軸折損の発生要因であると考えられる。
- ・ 羽根車（1段）の吸込部2ヶ所にエロージョンがありキャビテーションが認められたこと及び流動解析から、小流量運転時のポンプ内に不均一流れが生じたことにより、主軸に曲げ応力が発生したと考えられる。

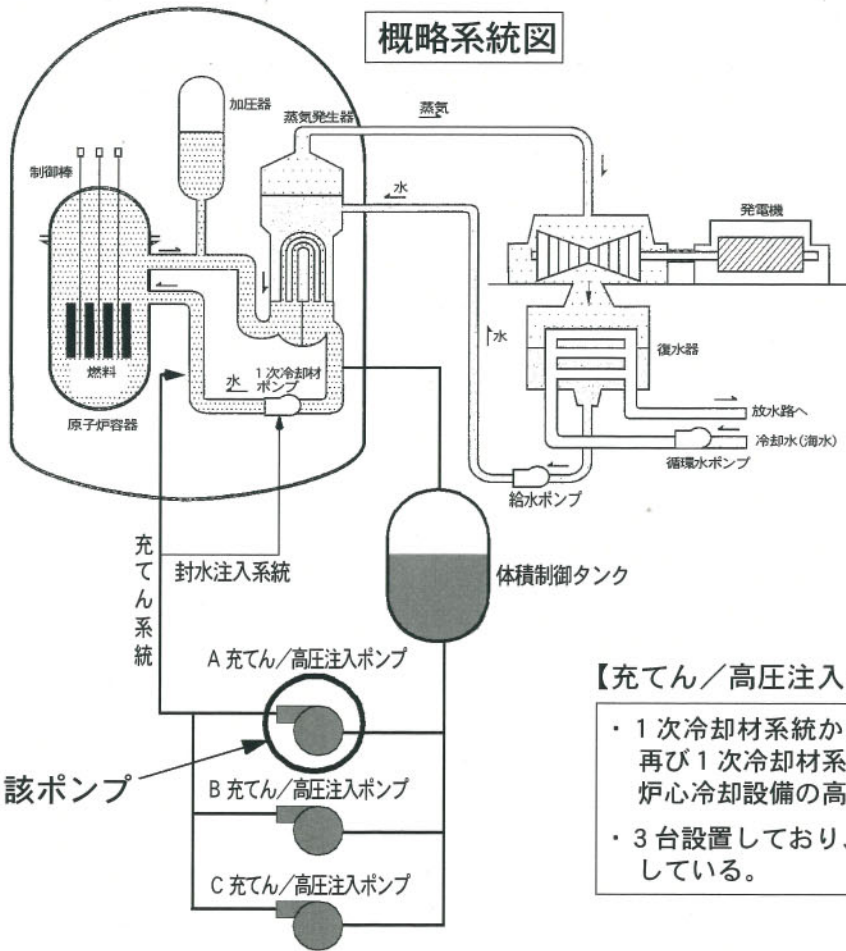
2. 推定原因

- ・ 小流量運転時のポンプ内の不均一流れに起因して、主軸の割りリング溝部に比較的大きな曲げ応力が付加されたと推定される。
- ・ 当該ポンプ製作時の割りリング溝部の加工方法では、コーナ部で不連続部を生じる可能性があるため、不連続部に応力が集中する。
- ・ これらの要因が重畳することによって、疲労限を超え初期き裂が発生し、その後のポンプ運転時の応力によりき裂が進展し、主軸が折損したと推定される。

3. 今後の対応

- ・ 折損した当該ポンプ主軸は、割りリング溝部に不連続を生じさせない加工方法にするとともに、応力集中に対する裕度を確保するために割りリング溝部の曲率半径を大きくした主軸に取り替える。
- ・ 割りリング溝部の形状など、実機でのデータを取得するため、次回定期検査において、B、C 充てん／高圧注入ポンプの点検を実施することとし、定期検査までの間、軸受温度等の監視強化を行う。

川内1号機 充てん／高圧注入ポンプ概要図

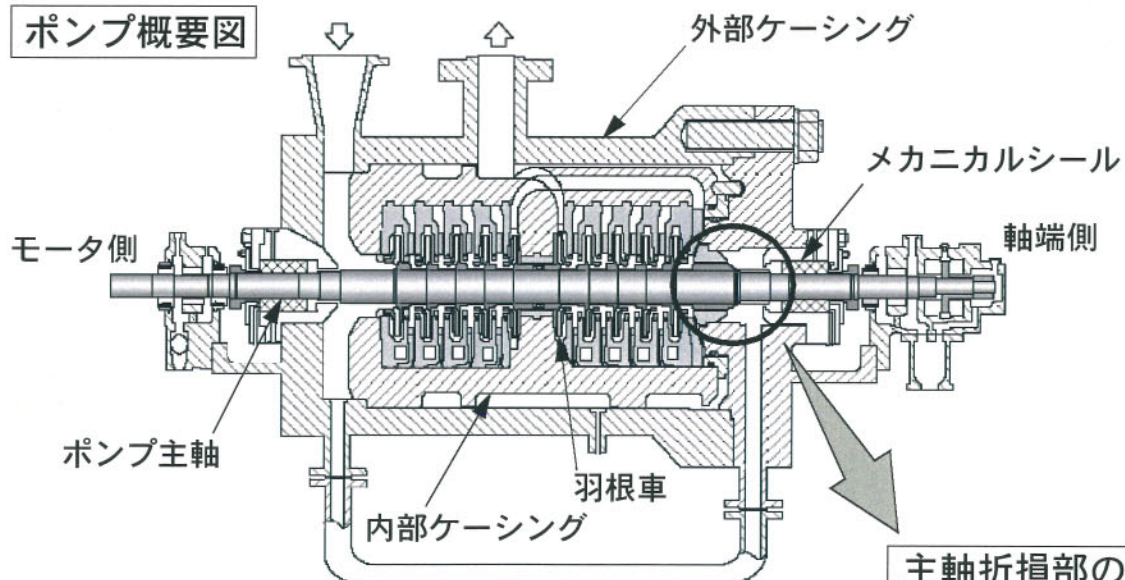


○充てん／高圧注入ポンプ
型式：横置うず巻式
台数：3台
容量(通常時)：45.4 m ³ /h
容量(安全注入時)：147 m ³ /h
最高使用圧力：18.8 MPa
最高使用温度：150℃
揚程(通常時)：約1770 m
揚程(安全注入時)：約732 m
本体材料：ステンレス鋼

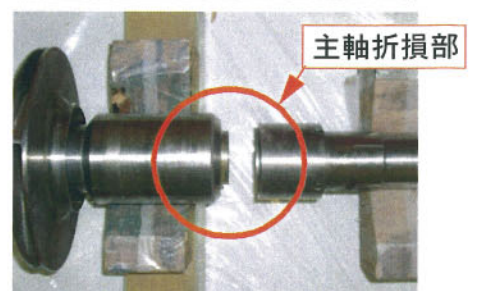
【充てん／高圧注入ポンプ】

- ・ 1次冷却材系統から抽出した1次冷却水を浄化した後、再び1次冷却材系統に戻すためのポンプ。また、非常用炉心冷却設備の高圧注入系としても使用するポンプ。
- ・ 3台設置しており、通常1台を運転し、残りを予備機としている。

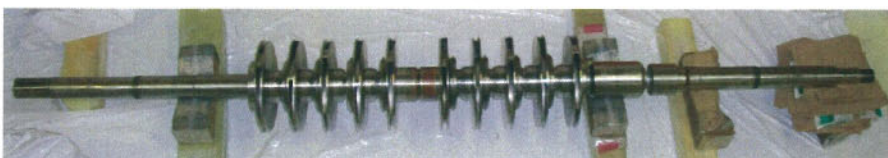
ポンプ概要図



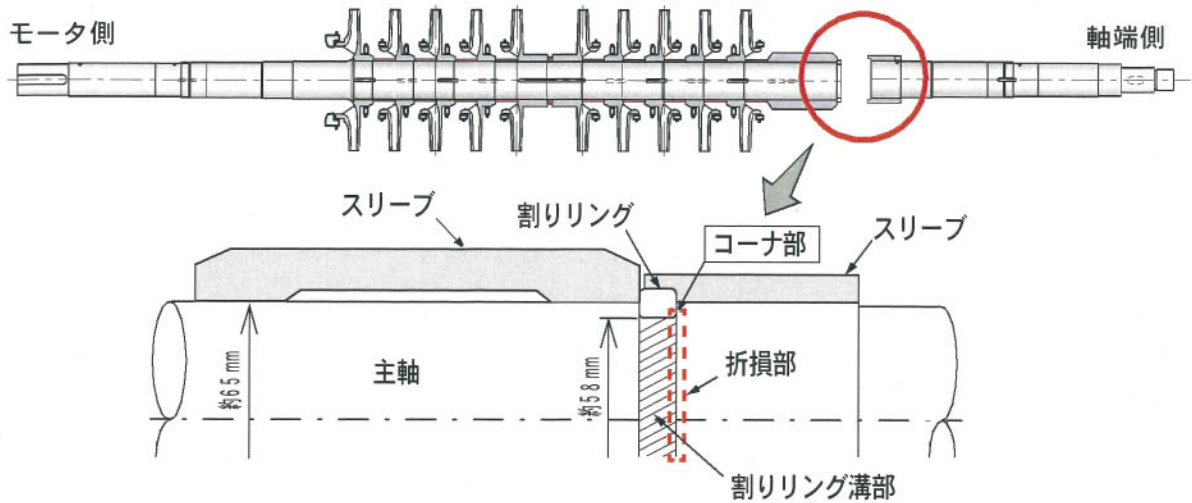
主軸折損部の状況写真



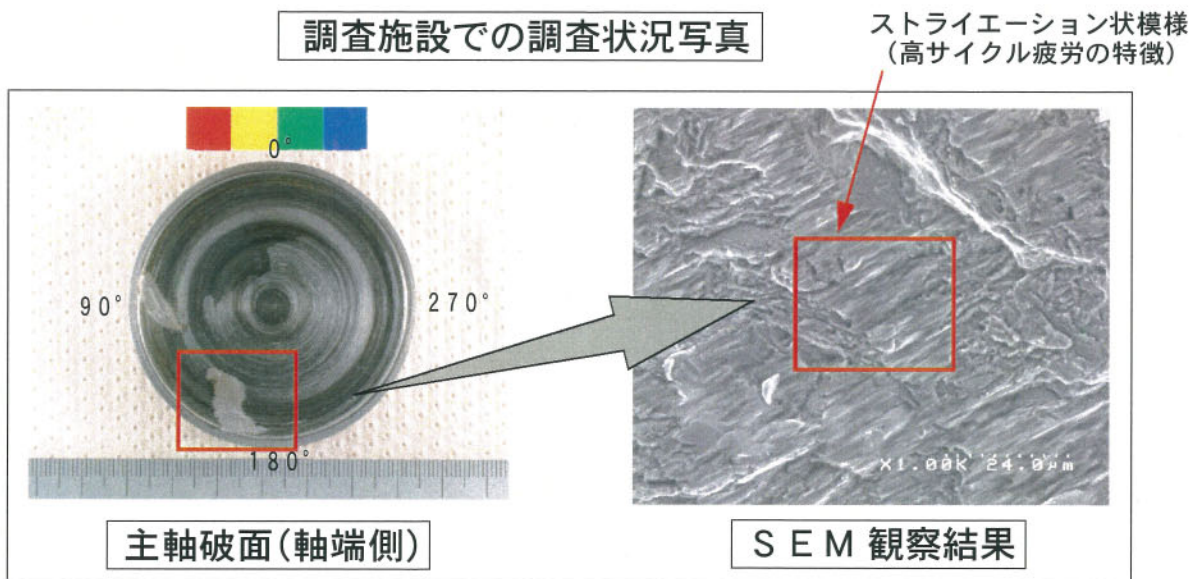
主軸全体の状況写真



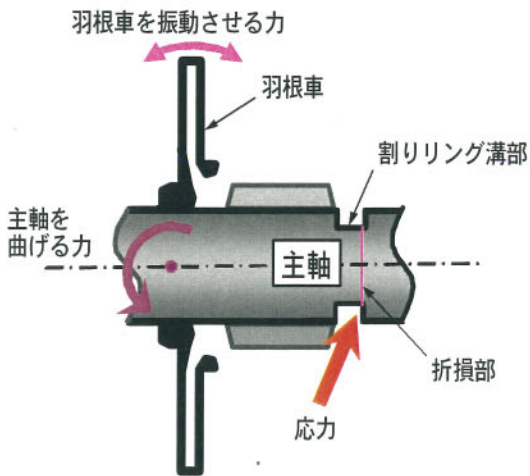
主軸全体及び折損部の構造図



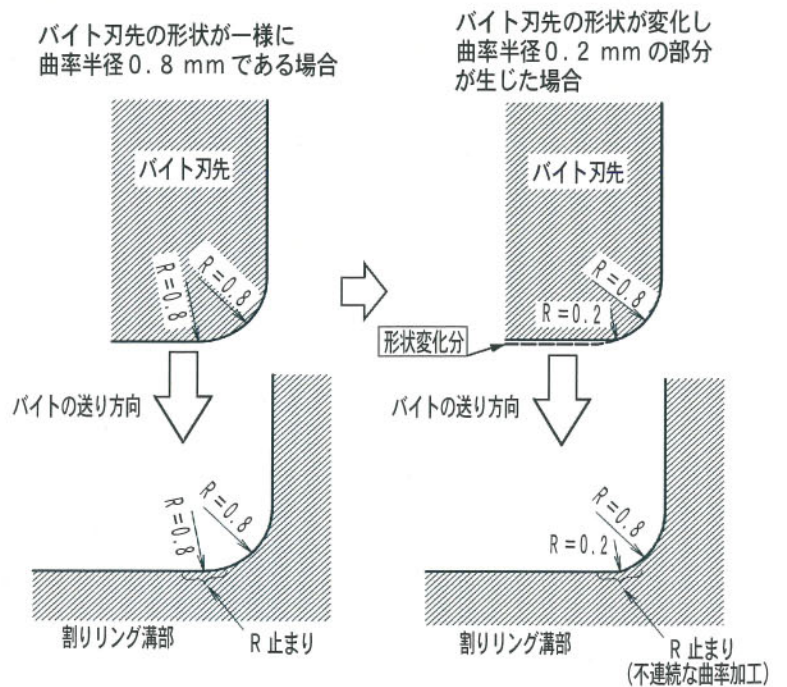
調査施設での調査状況写真



主軸折損部への応力付加



割りリング溝部のコーナ部加工状況



用語の説明

○超音波探傷試験

超音波は異なった物体又は空隙との境界面や内部に含まれている異質物や傷で反射する性質をもっています。この性質を利用して物体や液体内部を探傷する試験のことです。

○浸透探傷試験

供試体表面に開口している傷を目で見やすくするため、蛍光物質または可視染料の入った高浸透性の液（浸透液）を浸透させた後、余分な浸透液を除去し現像剤により浸透指示模様として観察する試験のことです。

○小流量（ミニフロー）運転

ポンプの過熱や過大振動を防止するために、ポンプの最低流量を確保するためのライン（ミニフローライン）を使って運転することです。

○キャビテーション

流速の急変や渦流発生、流路の障害などにより、局部的に圧力の低い部分が生じ、液体が気化して気泡を発生する現象のことです。ポンプでは羽根車入口部分に発生しやすく、つぶれて消滅する際に衝撃を伴うことから、長く続くとエロージョン等が発生します。

○エロージョン

液体や気体等の流体が、金属等の固体材料に連続して衝突することで、材料表面が損傷したり、摩耗したりする現象のことです。

○破面観察

損傷部位の破面を観察することにより、割れ等がどのような条件で生じたかを調べる検査のことです。

○SEM (Scanning Electron Microscope : 走査型電子顕微鏡)

細く絞った電子線を走査し、試料に照射すると、試料表面からその形態や状態を反映した2次電子が放出されます。この2次電子を検出器で捕らえることで、高倍率での観察が可能となります。

光学顕微鏡では分かりにくい表面の微少な凹凸を拡大・観察することで破面のミクロ的な特徴を把握することが可能です。

○高サイクル疲労

それだけでは、材料に破壊をもたらすほどの応力ではなくても、材料の形状等によっては、繰返して応力または歪を加えたことで発生する材料の破壊現象を疲労破断または疲労破壊と呼び、破壊までの繰返し数が1万～10万回以上の場合を高サイクル疲労といいます。

○ストライエーション状模様

疲労破面が形成された後の塑性変形によるすべり線、もしくはき裂先端の塑性域中に形成されたすべり帯等に沿ってき裂がジグザグに進んだために形成された縞模様です。

疲労破面において、繰返し応力1回毎にき裂が進展した跡としてできるストライエーションの縞模様に似ており、疲労破壊であることを示す重要な模様です。

○組織状模様

疲労破面に現れるミクロ的破面模様的一种で、金属材料をエッチングした時に観察される金属組織模様に類似していることから名付けられたものです。

一般に、この組織状模様は、ストライエーション状模様が現れる領域に比べて1サイクル当たりのき裂進展速度が小さい領域において特徴的に観察されます。

○疲労限

疲労き裂は、繰返し負荷される変動応力によって発生しますが、負荷される変動応力がある値以下になると繰返し回数がいくら大きくなってもき裂は発生しません。

この変動応力のしきい値を疲労限といいます。