

JRR-3 1次冷却材ポンプの保守管理

Maintenance of the Pump for the Primary Cooling System in JRR-3

大内 靖弘 伊藤 匡聡 大場 敏充
川又 諭 石崎 勝彦

Yasuhiro OHUCHI, Masatoshi ITO, Toshinobu OHBA
Satoshi KAWAMATA and Katsuhiko ISHIZAKI

東海研究開発センター
原子力科学研究所
研究炉加速器管理部

Department of Research Reactor and Tandem Accelerator
Nuclear Science Research Institute
Tokai Research and Development Center

July 2009

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2009

JRR-3 1次冷却材ポンプの保守管理

日本原子力研究開発機構東海研究開発センター
原子力科学研究所研究炉加速器管理部

大内 靖弘、伊藤 匡聡、大場 敏充、川又 諭、石崎 勝彦

(2009年5月13日 受理)

JRR-3の主要な冷却設備である1次冷却系設備では、4基の1次冷却材ポンプにより冷却材を循環して炉心で生じた熱を除熱している。原子炉の安全安定運転を行うためには1次冷却材ポンプの性能を維持することが必要であり、そのため原子炉の供用運転を開始して以来、定期的な点検保守を実施してきた。

本報告書は、1次冷却材ポンプの点検保守項目及び記録について纏めるとともに、1次冷却材ポンプの経年変化を明らかにし、今後の保守管理に資するものである。

Maintenance of the Pump for the Primary Cooling System in JRR-3

Yasuhiro OHUCHI, Masatoshi ITO, Toshinobu OHBA
Satoshi KAWAMATA and Katsuhiko ISHIZAKI

Department of Research Reactor and Tandem Accelerator
Nuclear Science Research Institute
Tokai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received May 13, 2009)

The primary cooling system of JRR-3 is one of important facility which removes heat from reactor core. Therefore, it is necessary for safe and stable reactor operation to keep performance of four pumps which are main equipments of primary cooling system. These four pumps have been checked and maintained appropriately since the operation of JRR-3 started. Maintenance items and its records of primary cooling pumps are reported in this paper. Furthermore, aging problems of primary cooling pumps is investigated to contribute to management for maintenance of primary cooling pumps.

Keywords : Research Reactor , JRR-3 , Maintenance , Main Pump , Sub-Pump , Primary Cooling System

目 次

1. はじめに	1
2. JRR-3 冷却設備及び 1 次冷却材ポンプの概要.....	2
2.1 JRR-3 冷却設備の概要	2
2.2 1 次冷却材ポンプの概要	2
3. 保守管理	9
3.1 保守管理の概要	9
3.2 1 次冷却材主ポンプの保守管理	9
3.3 1 次冷却材補助ポンプの保守管理	10
3.4 性能検査	12
3.5 機能検査	12
4. まとめ	36
謝辞	36
付録 揚程の算出方法	37

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of the cooling system in JRR-3 and the pumps for the primary cooling system	2
2.1 Outline of the cooling system in JRR-3	2
2.2 Outline of the pumps for the primary cooling system	2
3. Maintenances	9
3.1 Outline of the maintenance	9
3.2 Maintenance of the main pumps for the primary cooling system	9
3.3 Maintenance of the sub-pumps for the primary cooling system	10
3.4 Inspection of performance	12
3.5 Inspection of function	12
4. Conclusion	36
Acknowledgements	36
Appendix Method of calculating head of pumps	37

1. はじめに

JRR-3 (Japan Research Reactor No.3) は、最大熱出力 20MW の低濃縮ウラン軽水減速軽水冷却プール型研究用原子炉である。平成 2 年 11 月から改造後の供用運転を開始し、各種照射設備及び中性子ビーム実験装置を装備した原子炉施設として高い中性子束を利用者に提供している。

JRR-3 では、炉心で生じた熱を 1 次冷却系設備により除熱し、1 次冷却材熱交換器を介して 2 次冷却系設備に伝え最終的に大気へと放出している。1 次冷却系設備には、1 次冷却材を循環させるために、1 次冷却材ポンプを備えている。1 次冷却材ポンプは、1 次冷却材主ポンプと 1 次冷却材補助ポンプに分類され、各々 2 基設けられている。これらのポンプは供用運転を開始して以来、定期的に点検保守を実施し原子炉の安全安定運転に努めてきた。

本書は、1 次冷却材ポンプの点検保守について、作業内容を具体的に記述するとともに点検記録を纏め、今後の保守管理に活用できるようにしたものである。

2. JRR-3 冷却設備及び 1 次冷却材ポンプの概要

2.1 JRR-3 冷却設備の概要

JRR-3 の主要な冷却設備は、1 次冷却系設備、2 次冷却系設備及び重水冷却系設備から構成されている。

1 次冷却系設備は、炉心及び炉心構造物で発生する熱を除去する目的で設置され、1 次冷却材主ポンプ、1 次冷却材補助ポンプ、1 次冷却材熱交換器及び¹⁶N 減衰タンク等により構成されている。1 次冷却系設備の系統図を Fig.2.1 に示す。1 次冷却材は、1 次冷却材ポンプにより原子炉プール内の炉心を冷却した後、カナル底部を貫通する配管を通り ¹⁶N 減衰タンクを経由して 1 次冷却材熱交換器にて 2 次冷却材に熱を伝え、再びカナル底部を貫通しディフューザを介して原子炉プールへと戻る。

2 次冷却系設備は、各熱交換器を通じて伝えられた熱を大気中に放散冷却する目的で設置され、2 次冷却材ポンプ、冷却塔等から構成されている。2 次冷却系設備の系統図を Fig.2.2 に示す。2 次冷却材は冷却塔水槽から 2 次冷却材ポンプにより原子炉建家内の 1 次冷却材熱交換器、重水熱交換器等の各熱交換器に送られ、熱交換器から伝えられた熱を冷却塔に設置されたファンにより大気に放散し、再び冷却塔水槽に戻る。

重水冷却系設備は、反射材及び減速材の機能を有する重水の熱を除去する目的で設置され、重水ポンプ、重水熱交換器、重水溢流タンク等で構成されている。重水冷却系設備の系統図を Fig.2.3 に示す。重水の冷却は、炉心を囲むように設置された重水タンク内の重水で受けた熱を、重水溢流タンクを経由して重水ポンプにより重水熱交換器を介して 2 次冷却系に熱を伝え再び重水タンクへと戻る経路を循環している。

2.2 1 次冷却材ポンプの概要

1 次冷却系設備には、1 次冷却材主ポンプ 2 基及び 1 次冷却材補助ポンプ 2 基の合計 4 基のポンプが原子炉建家地下の 1 次区画に設置されている。1 次冷却材ポンプの仕様を Table2.1 に示す。

1 次冷却材ポンプの運転は、原子炉の運転モードにより「高設定」及び「低設定」運転を行っている。「高設定」は原子炉定格出力 20MW 運転時に使用し、1 次冷却材主ポンプ 2 基及び 1 次冷却材補助ポンプ 2 基の同時運転により、1 次冷却材流量約 2400m³/h で炉心の冷却を行っている。「低設定」は原子炉 10kW 以下の低出力運転時に使用し、1 次冷却材補助ポンプ 2 基の運転により、1 次冷却材流量約 480 m³/h で炉心の冷却を行っている。

商用電源喪失時における炉心の崩壊熱除去は 1 次冷却材補助ポンプにより行っている。1 次冷却材補助ポンプは、原子炉運転の際に 1 次冷却材主ポンプとともに動作しており、商用電源喪失時には非常用電源から給電され、瞬時停止することなく炉心の崩壊熱を除去することができる。また、1 次冷却材補助ポンプは多重性を有するために 2 基設置されており、ポンプの単一故障が生じた場合でも炉心の冷却を確実に実施することができる。

1 次冷却材主ポンプの構造図を Fig.2.4 に、1 次冷却材補助ポンプの構造図を Fig.2.5 に示す。

Table2.1 1次冷却材ポンプの仕様

項 目		1次冷却材主ポンプ	1次冷却材補助ポンプ
ポンプ	機器番号	KP2101、2	KP2111、2
	基 数	2 基	2 基
	耐震クラス	A	A
	最高使用圧力	8kg/cm ²	8kg/cm ²
	最高使用温度	55℃	55℃
ポンプ本体	形 式	横型遠心式	横型斜流式
	流 体	軽水	軽水
	定格容量	1200 m ³ /h/基	270 m ³ /h/基
	定格揚程	46 m	4 m
	回転数	1500 rpm	1000 rpm
	呼び径 (吸込×吐出)	400A×400A	200A×200A
	軸封方式	シングルメカニカルシール	シングルメカニカルシール
電動機	電動機種類	三相誘導電動機	三相誘導電動機
	形 式	開放形	全閉外扇形
	定格出力	250 kW	5.5 kW
	定格電圧	400 V	200 V
	極 数	4P	6P
重量	機器重量	3740kg	683 kg
	運転時重量	3950 kg	728 kg

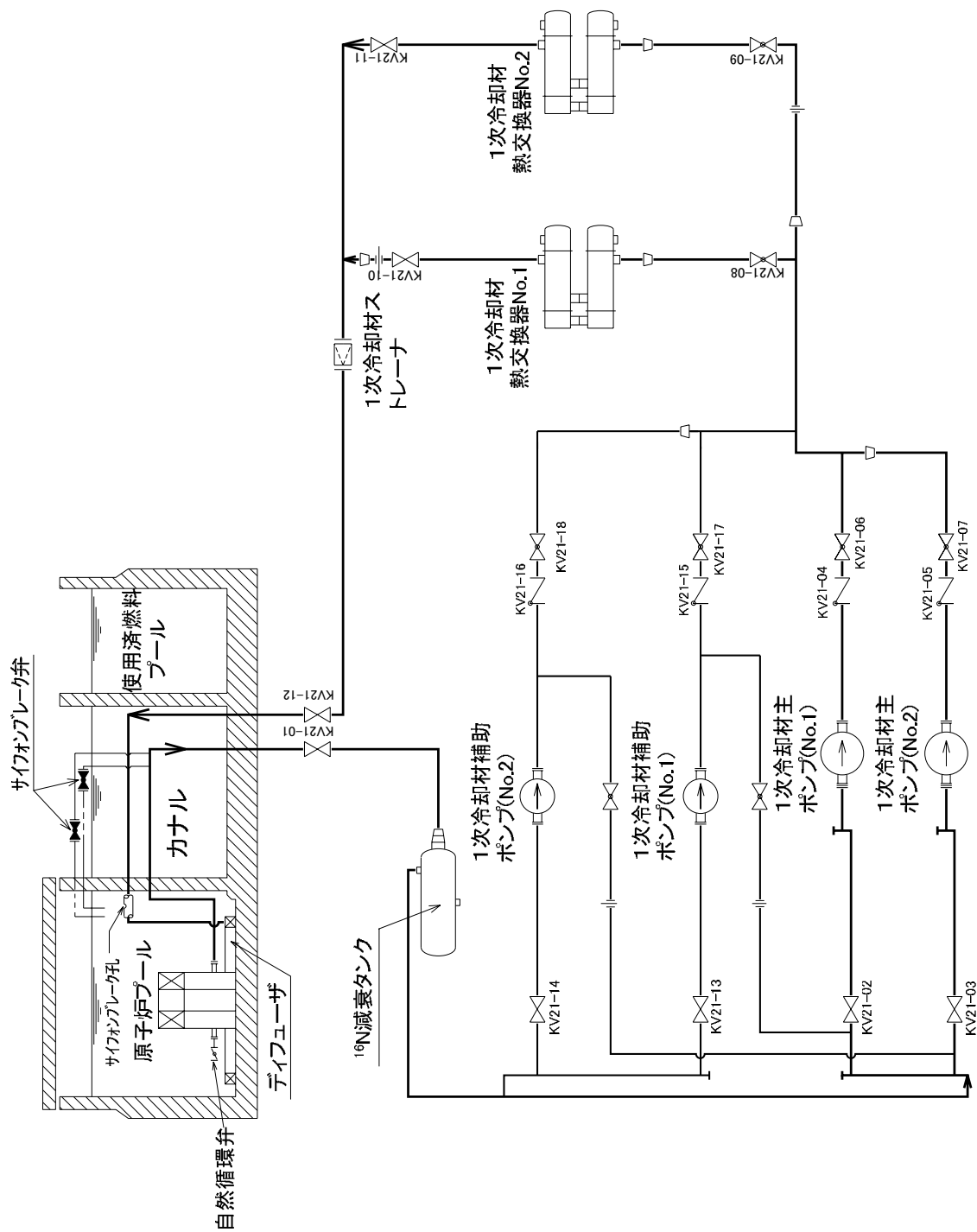


Fig.2.1 1次冷却系設備の系統図

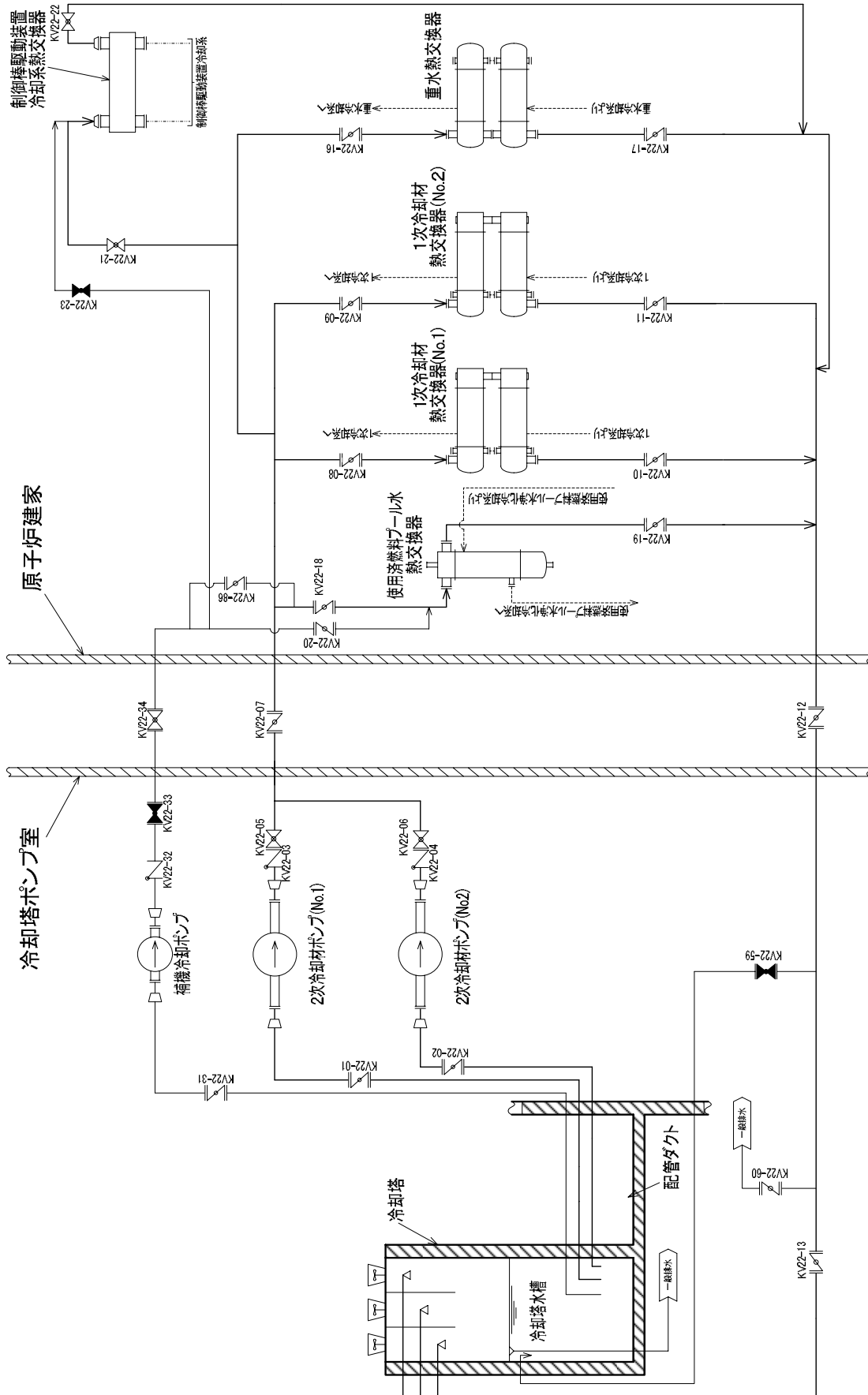


Fig.2.2 2次冷却系設備の系統図

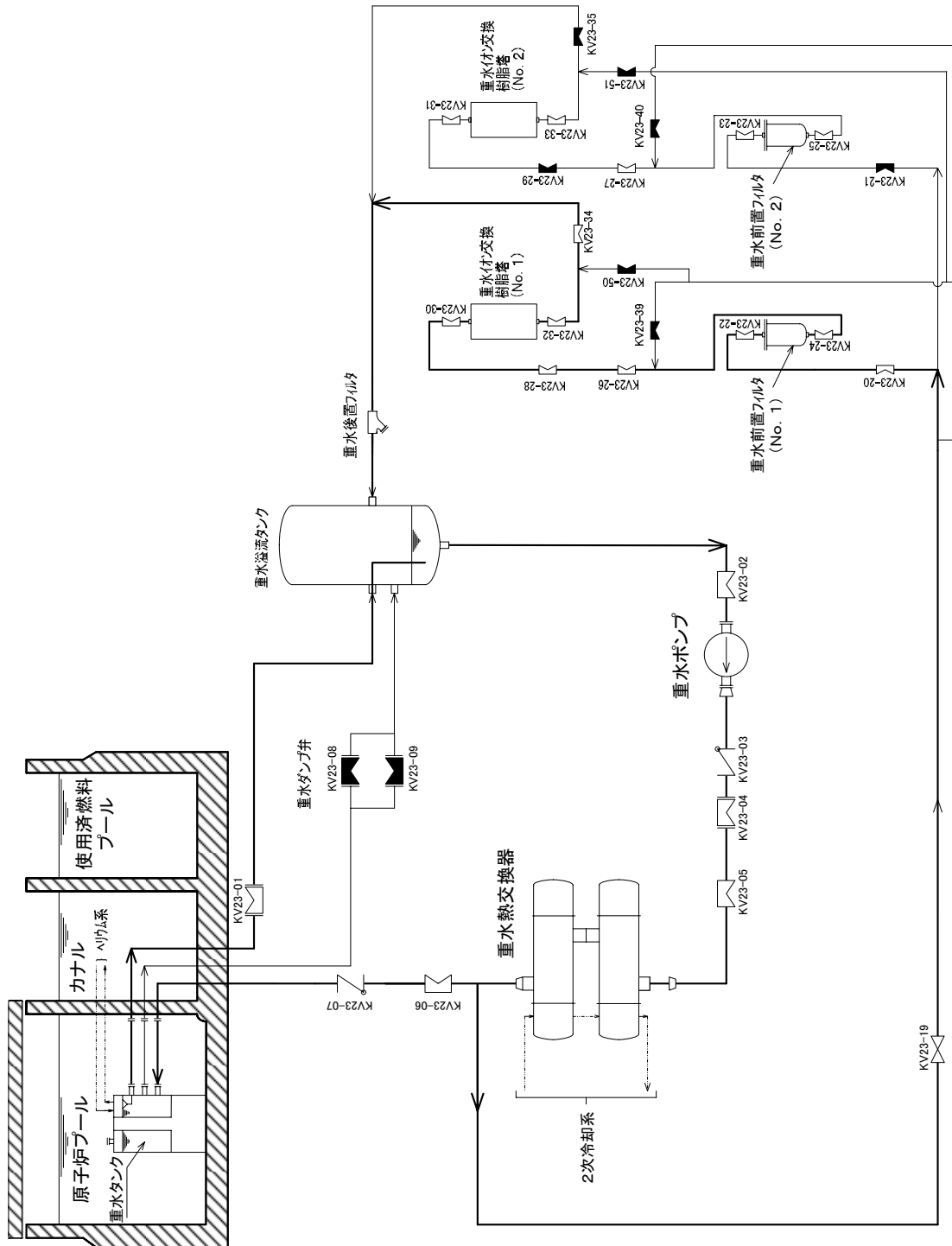


Fig.2.3 重水冷却設備の系統図

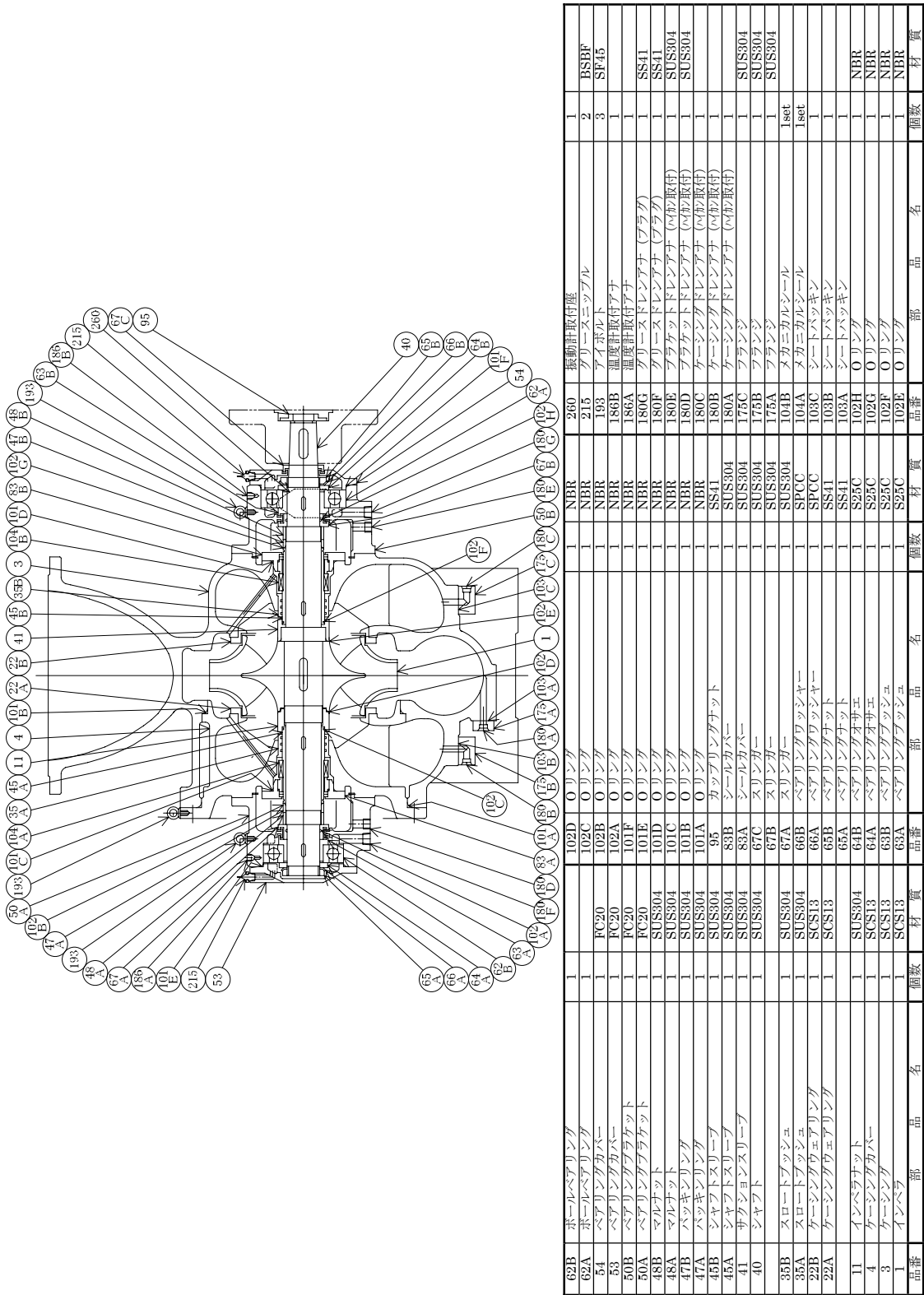
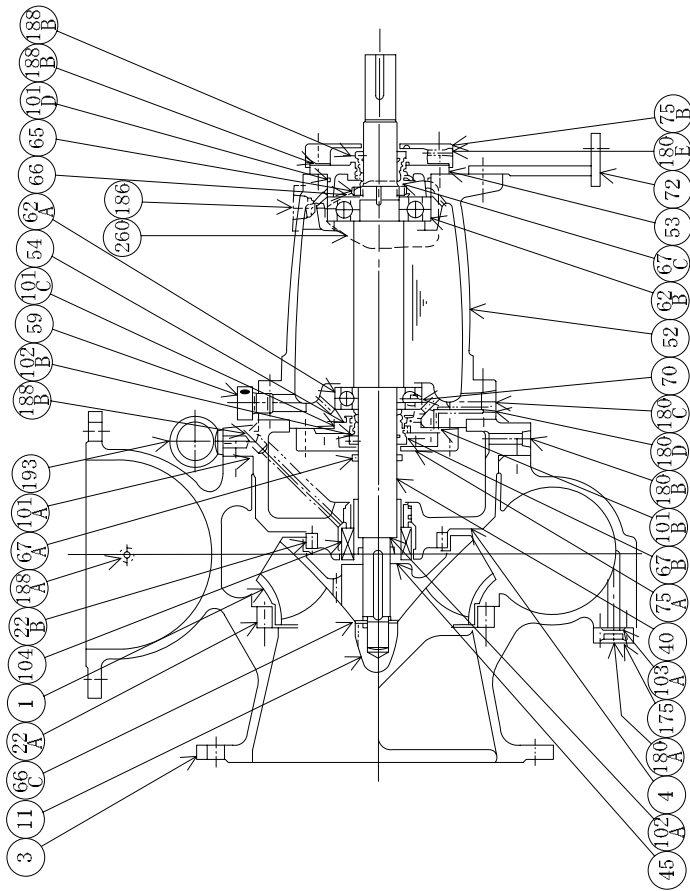


Fig.2.4 1 次冷却材主ポンプ構造図

品番	部	品名	材質	個数	品番	部	品名	材質	個数	材質
62B	ボールベアリング	102D	Oリング	1	NBR	260	振動計取付座		1	BSBF
62A	ボールベアリング	102C	Oリング	1	NBR	215	グリースニップル		2	SF45
64	ベアリングカバー	102B	Oリング	1	NBR	193	アイホルト		3	
53	ベアリングカバー	FC20	Oリング	1	NBR	186B	通塵計取付アネ		1	
50B	ベアリングカバー	FC20	Oリング	1	NBR	186A	通塵計取付アネ		1	
50A	ベアリングカバー	FC20	Oリング	1	NBR	180G	クリースドレンアネ (フラグ)		1	SS41
48B	マルチャット	101D	Oリング	1	NBR	180F	クリースドレンアネ (フラグ)		1	SS41
48A	マルチャット	SUS304	Oリング	1	NBR	180E	フラグットドレンアネ (取付取付)		1	SUS304
47B	パッキンリング	SUS304	Oリング	1	NBR	180D	フラグットドレンアネ (取付取付)		1	SUS304
47A	パッキンリング	SUS304	Oリング	1	NBR	180C	ケーシングドレンアネ (取付取付)		1	
45B	シャフトスリーブ	SUS304	Oリング	1	SS41	180B	ケーシングドレンアネ (取付取付)		1	
45A	シャフトスリーブ	SUS304	カッターチャット	1	SUS304	180A	ケーシングドレンアネ (取付取付)		1	
41	シャフト	SUS304	シールカバー	1	SUS304	175C	フランジ		1	SUS304
40	シャフト	SUS304	スリンガー	1	SUS304	175B	フランジ		1	SUS304
35B	スロートブッシュ	SUS304	スリンガー	1	SUS304	175A	フランジ		1	SUS304
35A	スロートブッシュ	SUS304	スリンガー	1	SUS304	104B	メカニカルシール		1set	
22B	ケーシングカバー	SCS13	ベアリングワッシャ	1	SFC	104A	メカニカルシール		1set	
22A	ケーシングカバー	SCS13	ベアリングワッシャ	1	SFC	103C	シートパッキン		1	
11	インベラチャット	65A	ベアリングチャット	1	SS41	103B	シートパッキン		1	
4	ケーシングカバー	SUS304	ベアリングチャット	1	SS41	103A	シートパッキン		1	
3	ケーシング	SCS13	ベアリングチャット	1	S25C	102H	Oリング		1	NBR
1	インベラ	SCS13	ベアリングチャット	1	S25C	102G	Oリング		1	NBR
		SCS13	ベアリングチャット	1	S25C	102F	Oリング		1	NBR
		SCS13	ベアリングチャット	1	S25C	102E	Oリング		1	NBR
品番	部	品名	材質	個数	品番	部	品名	材質	個数	材質



品番	部品名	個数	材質	品番	部品名	個数	材質
66C	インペラワッシャー	1	SUS304	104	メカニカルシール	1set	
66	ベアリングワッシャ	1	SPCC	103B	シートパッキン	1	
65	ベアリングワッシャ	1	SS41	103A	シートパッキン	1	
62B	ボールベアリング	1		102C	Oリング	1	NBR
62A	ボールベアリング	1		102B	Oリング	1	NBR
59	オイルキヤップ	1	SS41	102A	Oリング	1	NBR
54	オイルセパレーター	1	FC20	101D	Oリング	1	NBR
53	オイルセパレーター	1	FC20	101C	Oリング	1	NBR
52	ベアリングケース	1	FC20	101B	Oリング	1	NBR
45	シャフトスリーブ	1	SUS304	101A	Oリング	1	NBR
40	シャフト	1	SUS304	76B	ベアリングカバー	1	FC20
22B	ケーシングウエアリング	1	SUS304	76A	ベアリングカバー	1	AC2B
22A	ケーシングウエアリング	1	SUS304	72	ベアリングスタンド	1	SS41
11	インペラワッシャ	1	SUS304	70	コンスタントレベロイルラー	1	
4	ケーシングカバー	1	SCS13	67C	デフレクター	1	BC2
3	ケーシング	1	SCS13	67B	デフレクター	1	BC2
1	インペラ	1	SCS13	67A	スリンカー	1	SUS304
品番	部品名	個数	材質	品番	部品名	個数	材質
188	振動計取付座	1	260	175	フランジ	1	SUS304
186	温度計取付座	1	186	180A	ケーシングドレンアナ	1	(本体取付)
193	アイボルト	1	193	180B	プラグケットドレンアナ	1	(本体取付)
188B	フランジング入口アナ	1	188B	180C	ケーシングドレンアナ	1	(本体取付)
188A	フランジング取付アナ	1	188A	180D	オイルドレンアナ	1	(本体取付)
180E	オイルドレンアナ	1	180E	180A	ケーシングドレンアナ	1	(本体取付)
180D	オイルドレンアナ	1	180D	180B	プラグケットドレンアナ	1	(本体取付)
180C	オイルドレンアナ	1	180C	180A	ケーシングドレンアナ	1	(本体取付)
180B	プラグケットドレンアナ	1	180B	180A	ケーシングドレンアナ	1	(本体取付)
180A	ケーシングドレンアナ	1	180A	175	フランジ	1	SUS304

Fig.2.5 1 次冷却材補助ポンプ構造図

3. 保守管理

3.1 保守管理の概要

1 次冷却材ポンプの保守管理として、施設定期自主検査毎に分解点検を実施し健全性を確認するとともに消耗部品の交換を実施している。分解点検は、消耗部品の交換頻度及び点検内容から全分解と簡易分解点検を交互に実施している。平成3年から平成20年までの間に15回の分解点検を実施し、ポンプの保守管理を行ってきた。分解点検の実績を Table3.1 に示す。

分解点検終了後には、各ポンプ単体の作動検査を実施し、外観、漏えい、温度、振動及び揚程などを測定し異常のないことを確認している。また、「高設定」及び「低設定」運転の状態において1次冷却系統設備としての系統に異常がないことを確認するため機能検査を実施している。

ポンプの電動機については、軸受温度測定や振動測定を実施し基準値以内であることを確認するとともに、定期的にグリスアップ等の保守を実施している。しかし、各ポンプの電動機については設置以来更新しておらず軸受けや絶縁材の経年劣化が懸念されるため、予防保全の観点から平成12年に補助ポンプの電動機を、平成20年に主ポンプの電動機を更新した。

3.2 1次冷却材主ポンプの保守管理

1次冷却材主ポンプの簡易分解点検は、ベアリング及びメカニカルシールを取り外し、ベアリングの清掃・点検、メカニカルシールの交換を実施する。全分解点検は、簡易分解の項目に加え、ポンプケーシングよりシャフト及びインペラの取り外しを行い、清掃後に組込を実施する。1次冷却材主ポンプの主な点検項目及び保守の記録を下記に示す。

(1) 外観目視点検

簡易分解点検は、ケーシング外部、シャフト両端、シャフトスリーブ、カップリング（キーを含む）、ベアリングブラケット、シールカバー、各ボルトについて目視により異常のないことを確認している。全分解点検は、簡易分解点検で実施する部品に加えケーシング内部、インペラ（キーを含む）、シャフト全面について目視により異常のないことを確認している。

第10回点検時において1次冷却材主ポンプ No.1 及び No.2 のポンプ本体と電動機を接続するカップリングに使用しているキーに傷が確認された。Fig.3.1 にカップリングキー外観記録を示す。この傷はポンプ分解組立作業時に生じた傷であり、また微小なことから機能上問題はなく、以降の点検でも傷に進展がないことを確認している。

第13回点検時において1次冷却材主ポンプのベアリングカバーボルト32本のうち3本に伸びが確認された。当ボルトのサイズはM10であり、ポンプの設置以来約16年間使用したものであること、また伸びはボルトのねじ込み部ではなく通し穴部に発生していたことから、原因は以下のように考えられる。

①ボルトの経年劣化

②ベアリングカバーがポンプの水密に影響しない箇所であり、ベアリングカバーボルトのトルク管理をしていなかったことから作業時における締め付け過ぎ。

本事象の対策として、使用しているベアリングカバーボルト32本を全数交換するとともに、再発防止策として分解点検要領書にボルトの外観検査を追加するとともに、ボルトの締め付けは、トルク管理のもとに実施することとした。Table3.2 に締め付けトルク一覧を示す。

(2) センターリング測定

分解点検終了後に、ポンプ本体と電動機のセンターリング測定を行い、測定値が製作メーカーの基準値内となるように調整を行っている。Table3.3にセンターリング基準値を示す。

(3) 液体浸透探傷検査

簡易分解点検では、シャフト両端、キーについて液体浸透探傷検査を実施し異常のないことを確認している。全分解点検では、シャフト全面、キー、インペラ、ケーシングウェアリングについて液体浸透探傷検査を実施している。

液体浸透探傷検査の結果、第12回点検時に主ポンプ No.2、第14回点検時に主ポンプ No.1のインペラに直径約0.2mm程の円形指示模様を確認されている。Fig.3.2に第14回点検時の液体浸透探傷検査記録を示す。これらの指示模様は、インペラが鋳物であるため製造時点で存在した、表面の微小な孔に起因するものと考えられる。機能上問題の無いことを確認しており、指示模様の位置を記録し、以降の点検において進展のないことを確認していく。

(4) クリアランス測定

ポンプの性能維持確認として、分解点検時にケーシングウェアリング寸法及びインペラ寸法からクリアランスを測定している。Table3.4にクリアランス測定記録を示す。測定の結果、クリアランスは製作メーカーの基準値内ではあるが、徐々に広がってきていることから今後の分解点検においても測定を行い十分に注意する必要がある。

(5) 漏えい検査

分解点検終了後のポンプ水張り時及び運転時に、継ぎ手部等からの漏えいがないことを目視により確認している。

(6) 部品交換

部品交換には、運転積算時間等を基準として定期的に交換を実施しているもの、分解点検における寸法測定結果等の状態基準により交換を実施しているもの及び外観点検によりひび割れ等の経年劣化が確認され交換を実施しているものがある。Table3.5に定期的に実施している交換部品を、Table3.6に状態基準及び経年劣化により実施している交換部品を示す。

第5回点検時に主ポンプ No.2のカップリングボルトにおいて、軽微な嚙りが生じたため交換を行った。第8回、第11回及び第15回点検時に主ポンプ No.1及びNo.2のカップリングゴムブッシュにおいて、ひび割れが確認されたため交換を行った。第8回点検時に主ポンプ No.1、No.2及び第15回点検時に主ポンプ No.2のベアリングブラケットの交換を行った。ベアリングブラケットについては、その内径とベアリングの外径からクリアランスを求め製作メーカーの基準値により交換を行っている。ベアリングの外輪はベアリングブラケットとすきまばめで取り付けられており、ポンプの運転時には静止しているのが正常な状態である。しかし、ポンプの長時間運転に伴い磨耗が生じ、ベアリングブラケットとベアリングとのクリアランスが大きくなると外輪に滑りが生じてくることになる。この滑りにより外輪とベアリングブラケットとの間にさらに磨耗が発生し、これによる摩耗粉が軸受けに悪影響を与えてしまうため、ベアリングブラケットのクリアランスは今後とも注意して監視していく必要がある。Table3.7にベアリングブラケットのクリアランス基準を示す。

3.3 1次冷却材補助ポンプの保守管理

補助ポンプの簡易分解点検は、ポンプのケーシングよりインペラと一体となっているベアリン

グケースを取り外し、インペラの清掃、メカニカルシールの交換を実施する。全分解点検は、簡易分解の項目に加えベアリングケースの分解を行いベアリングの交換を実施する。1次冷却材補助ポンプの主な点検項目及び保守の記録を下記に示す。

(1) 外観目視点検

簡易分解点検は、ケーシング内部、インペラ（キーを含む）、シャフト両端、シャフトスリーブ、カップリング、インペラナット、各ボルトについて目視により異常のないことを確認している。全分解点検は、簡易分解点検で実施する部品に加えベアリングケース内部、シャフト全面について目視により異常のないことを確認している。

なお、第14回点検時に1次冷却材補助ポンプ No.2 のインペラキーに傷が確認された。Fig.3.3 にインペラキー外観記録を示す。この傷はポンプ分解組立作業時に生じた傷であり、また微小なことから機能上問題はなく、以降の点検でも傷に進展がないことを確認している。

(2) センターリング測定

分解点検終了後に、ポンプ本体と電動機のセンターリング測定を行い、測定値が製作メーカーの基準値内となるように調整を行っている。Table3.8 にセンターリング基準値を示す。

(3) 液体浸透探傷検査

簡易分解点検では、インペラ、シャフト（インペラ取付部）、キー、ケーシングウェアリングについて液体浸透探傷検査を実施し異常のないことを確認している。全分解点検では、インペラ、シャフト全面、キー、ケーシングウェアリングについて液体浸透探傷検査を実施している。

液体浸透探傷検査の結果、第8回点検時に補助ポンプ No.2、第10回点検時に補助ポンプ No.1 のインペラに直径約 1mm 程の円形指示模様が確認されている。Fig.3.4 に第15回点検時の液体浸透探傷検査記録を示す。これらの指示模様は、インペラが鋳物であるため製造時点で存在した表面の微小な孔に起因するものと考えられる。機能上問題の無いことを確認しており、指示模様の位置を記録し、以降の点検において進展のないことを確認していく。

(4) クリアランス測定

ポンプの性能維持確認として、ケーシングウェアリング寸法及びインペラ寸法からクリアランスを測定している。Table3.9 にクリアランス測定記録を示す。測定の結果、クリアランスは基準内ではあるが、徐々に広がってきていることから、今後の分解点検においても測定を行い十分に注意する必要がある。

(5) 漏えい検査

分解点検終了後のポンプ水張り時及び運転時に、継ぎ手部等からの漏えいがないことを目視により確認している。

(6) 部品交換

部品交換には、運転積算時間等を基準として定期的に交換を実施しているもの、分解点検における寸法測定結果等の状態基準により交換を実施しているもの及び外観点検によりひび割れ等の経年劣化が確認され交換を実施しているものがある。Table3.10 に定期的に実施している交換部品を、Table3.11 に状態基準及び経年劣化により実施している交換部品を示す。

第8回点検時に補助ポンプ No.1、No.2 のナイロンナットの交換を行った。ナイロンナットはナットの内側にナイロンによる回り止めが施されたナットであり、ナイロンにひび割れが確認されたため交換を行った。第11回点検時に補助ポンプ No.1、No.2 のカップリングの交換を行った。

これは、カップリングとシャフトの嵌め合い公差に広がりが生じたことにより、電動機とポンプのセンターリング調整を基準値内に出来なくなったためである。

3.4 性能検査

分解点検終了後に、各ポンプを単体で作動し、ポンプの性能を確認する性能検査を実施している。性能検査では、まず絶縁抵抗測定を実施後、各ポンプを単体で運転し温度、振動、騒音、揚程等を測定する。性能検査の基準値を Table3.12 に示す。

温度測定は、電動機ケーシング、電動機軸受、ポンプ軸受及びポンプシール部について実施している。温度測定記録を Table3.13 に示す。測定は各軸受温度が飽和するまで行い、飽和の確認は、JEC2137 に基づき 1 時間で温度上昇が 2°C 以内になることとしている。温度測定の基準値はポンプについては JIS B8301、電動機については JEC2137 に基づいており、測定を行うことで軸受やメカニカルシールからの異常な発熱の有無を確認している。測定の結果、試験実施時の季節の違いによる温度の変動はあるものの、全て基準値内であり異常な発熱のないことを確認した。

振動測定は、電動機ケーシング、電動機軸受及びポンプ軸受について実施しており、測定箇所毎に軸平行、軸直角、垂直の 3 方向を測定している。振動測定記録を Table3.14 に示す。振動測定の基準値は JIS B8301 に基づいており、測定を行うことで軸受の異常やセンターリングの不良等を確認している。測定の結果、測定値は基準値と比べ十分に低い値であるとともに経年変化による値の上昇がないことを確認した。

騒音測定は、ポンプから 1m 離れた周囲 4 箇所において実施している。騒音測定記録を Table3.15 に示す。騒音測定の基準値は製作メーカーの基準値に基づいており、測定を行うことで軸受の異常やポンプの組込み不良等を確認している。測定の結果、測定値は全て基準値内であるとともにポンプや軸受からの異音がないことを確認した。なお、1 次冷却材主ポンプの測定値が基準値のほぼ上限であるが、これはポンプ作動時の水流からの音によるものである。

揚程の測定は、ポンプを定格流量で運転している時の出入口圧力を測定し算出している。揚程測定記録を Table3.16 に示す。測定の結果、測定値は基準値を満足していることを確認した。なお、付録に揚程の算出方法を示す。

3.5 機能検査

機能検査では、1 次冷却材ポンプを「高設定」及び「低設定」で運転し、ポンプ及び 1 次冷却系統の各流量、圧力が所定の性能を満足すること及び異常な振動、異音等がないことを確認している。また、熱交換器 2 基の流量バランスを確認するとともに、熱交換器の 1 次冷却系入口圧力と 2 次冷却系出口圧力の値を比較し、2 次冷却系出口圧力が高いことを確認している。これは万が一熱交換器の伝熱管に漏えいが発生した際に放射性物質を外部に放出させないためである。Table3.17 に第 15 回点検時の機能検査の結果を示す。

Table3.1 自主点検の実績

点検回数	点検実施日	分解点検実績
第1回	H3.8.27～9.25	簡易分解（主ポンプ No.1） （補助ポンプ No.1） 全分解（主ポンプ No.2） （補助ポンプ No.2）
第2回	H4.11.10～11.26	簡易分解（主ポンプ No.1、2） 全分解（補助ポンプ No.1、2）
第3回	H6.1.19～2.9	簡易分解
第4回	H7.4.25～5.29	全分解
第5回	H8.7.15～8.1	全分解
第6回	H9.10.3～10.23	簡易分解
第7回	H11.1.18～2.18	全分解
第8回	H12.4.25～6.2	簡易分解
第9回	H13.10.9～11.30	全分解
第10回	H15.1.17～2.17	簡易分解
第11回	H15.12.18～H16.2.3	簡易分解
第12回	H16.12.14～H17.2.2	全分解
第13回	H18.1.10～3.3	簡易分解
第14回	H18.12.15～H19.2.7	全分解
第15回	H20.4.1～5.16	簡易分解

注) 第3回以降、主ポンプ、補助ポンプの分解点検内容は同一である。

Table3.2 締付けトルク一覧

対象機器	名称	ボルト、ナットサイズ	トルク値 (N・m)
1次冷却材 主ポンプ	ケーシングカバーボルト	M20 (ナット)	132.39～153.96
	シールカバーボルト	M12 (ナット)	27.46～32.36
	ベアリングカバーボルト	M10 (ボルト)	15.69～18.63
	カップリングボルト (ポンプ側)	M30 (ナット)	228.49～266.74
	カップリングボルト (モータ側)	M24 (ボルト、ナット)	362～453
	ドレンフランジボルト	M10 六角穴付ボルト	21～25
	ベアリングブラケットボルト	M16 (ナット)	70.61～82.38
1次冷却材 補助ポンプ	ケーシングカバーボルト	M16 (ナット)	70.61～82.38
	ベアリングスタンド	M12 (ボルト)	70.61～82.38
	カップリングボルト	M8 (ボルト、ナット)	7.85～9.31
	ドレンフランジボルト	M10 六角穴付ボルト	15.69～18.63

注) トルク値はボルト、ナットに潤滑油を塗布した場合の値

Table3.3 センターリング基準値

項目	基準値 (mm)
偏芯度 (周)	±0.05
偏芯度 (面)	±0.05
面間距離	225±2.5

Table3.4 クリアランス測定記録

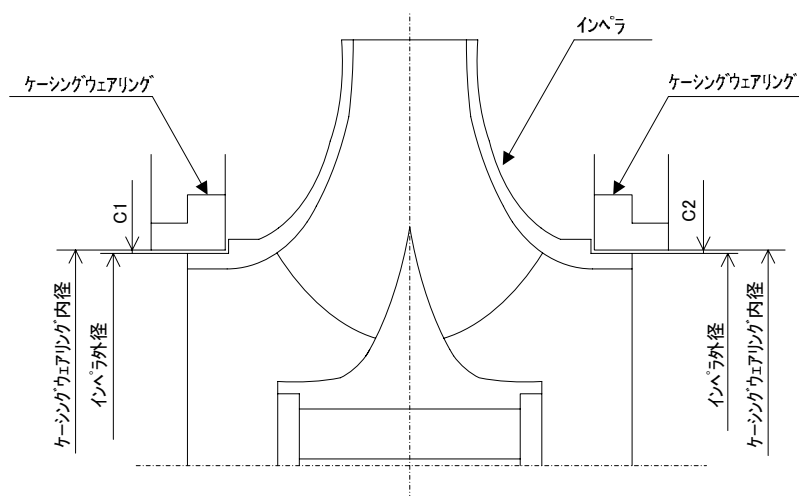
(単位 : mm)

点検回数	測定箇所			
	主ポンプ No.1		主ポンプ No.2	
	カップリング側 C2	反カップリング側 C1	カップリング側 C2	反カップリング側 C1
第1回	—	—	0.60	0.62
第4回	0.65	0.65	0.67	0.65
第5回	0.64	0.64	0.66	0.64
第7回	0.64	0.64	0.66	0.64
第9回	0.63~0.65	0.66~0.69	0.63~0.65	0.61~0.68
第12回	0.64~0.68	0.64~0.68	0.66~0.67	0.63~0.67
第14回	0.64~0.68	0.64~0.68	0.66~0.68	0.63~0.67

注) 第1回から第7回までは測定値の最大値を、第9回からは測定値の最大値と最小値を記録している。

基準値 カップリング側 : 0.59~1.34(mm)、反カップリング側 : 0.59~1.34(mm)

クリアランス測定箇所



クリアランス=ケーシングウェアリング寸法-インペラ寸法

C1 : 反カップリング側クリアランス

C2 : カップリング側クリアランス

クリアランス記録（最大値）の推移

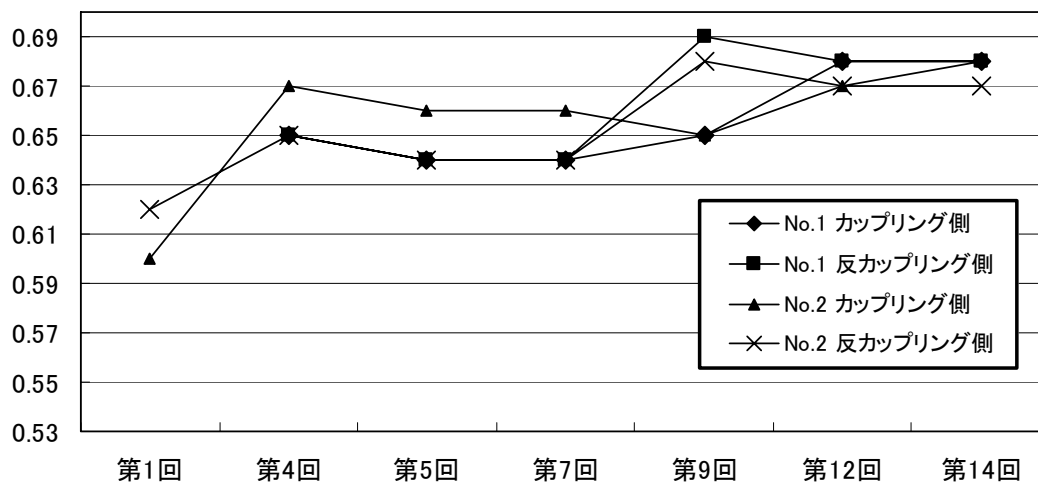


Table3.5 定期的実施している交換部品

全分解点検		簡易分解点検	
部品名	員数	部品名	員数
メカニカルシール	4	メカニカルシール	4
ベアリングワッシャー	4	ベアリングワッシャー	4
Oリング	28	Oリング	20
ボールベアリング	4		
ベアリングブッシュ	4		
ベアリングナット	4		

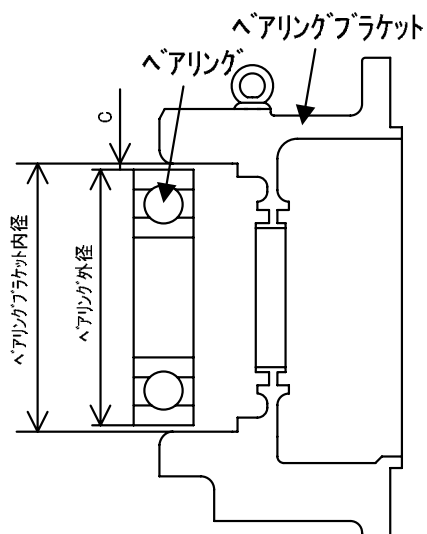
Table3.6 状態基準及び経年劣化による交換部品

点検回数	部品名	員数	対象機器
第5回	カップリングボルト	8組	主ポンプ No.2
第8回	ベアリングブラケット (カップリング側)	2	主ポンプ No.1、No.2
	カップリングゴムブッシュ	16	主ポンプ No.1、No.2
第11回	カップリングゴムブッシュ	16	主ポンプ No.1、No.2
第15回	ベアリングブラケット (カップリング側、 反カップリング側)	2	主ポンプ No.2
	カップリングゴムブッシュ	16	主ポンプ No.1、No.2

Table3.7 ベアリングブラケットのクリアランス基準

項目	基準値 (mm)
カップリング側	0.008~0.061
反カップリング側	0.008~0.061

ベアリングブラケットのクリアランス測定箇所



クリアランス $C = \text{ベアリングブラケット内径} - \text{ベアリング外径}$

Table3.8 センターリング基準値

項目	基準値 (mm)
偏芯度 (周)	± 0.05
偏芯度 (面)	± 0.05
面間距離	260 ± 0.25

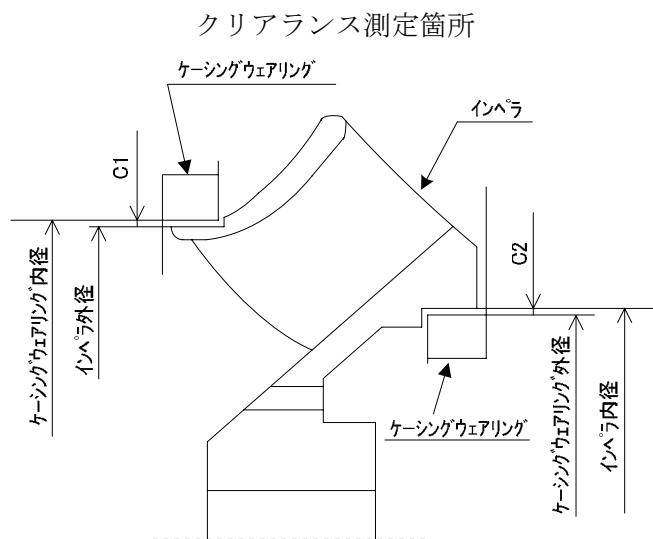
Table3.9 クリアランス測定記録

(単位：mm)

点検回数	測定箇所			
	補助ポンプ No.1		補助ポンプ No.2	
	カップリング側 C2	反カップリング側 C1	カップリング側 C2	反カップリング側 C1
第1回	0.48	0.51	0.46	0.58
第2回	0.48	0.53	0.46	0.58
第3回	0.49	0.53	0.49	0.54
第4回	0.47	0.54	0.46	0.54
第5回	0.48	0.56	0.48	0.57
第6回	0.48	0.56	0.48	0.57
第7回	0.48	0.56	0.48	0.57
第8回	0.48	0.56	0.48	0.57
第9回	0.44~0.48	0.52~0.57	0.45~0.48	0.56~0.58
第10回	0.47~0.50	0.52~0.58	0.44~0.47	0.58~0.58
第11回	0.49~0.51	0.51~0.57	0.44~0.47	0.57~0.59
第12回	0.47~0.50	0.52~0.58	0.44~0.51	0.58~0.58
第13回	0.64~0.68	0.64~0.68	0.66~0.67	0.63~0.67
第14回	0.64~0.68	0.63~0.68	0.64~0.66	0.63~0.67
第15回	0.64~0.68	0.63~0.68	0.64~0.66	0.59~0.71

注) 第1回から第8回までは測定値の最大値を、第9回からは測定値の最大値と最小値を記録している。

基準値 カップリング側：0.44~1.02(mm)、反カップリング側：0.51~1.16(mm)



クリアランス=ケーシングウェアリング寸法-インペラ寸法

C1：反カップリング側クリアランス

C2：カップリング側クリアランス

クリアランス記録（最大値）の推移

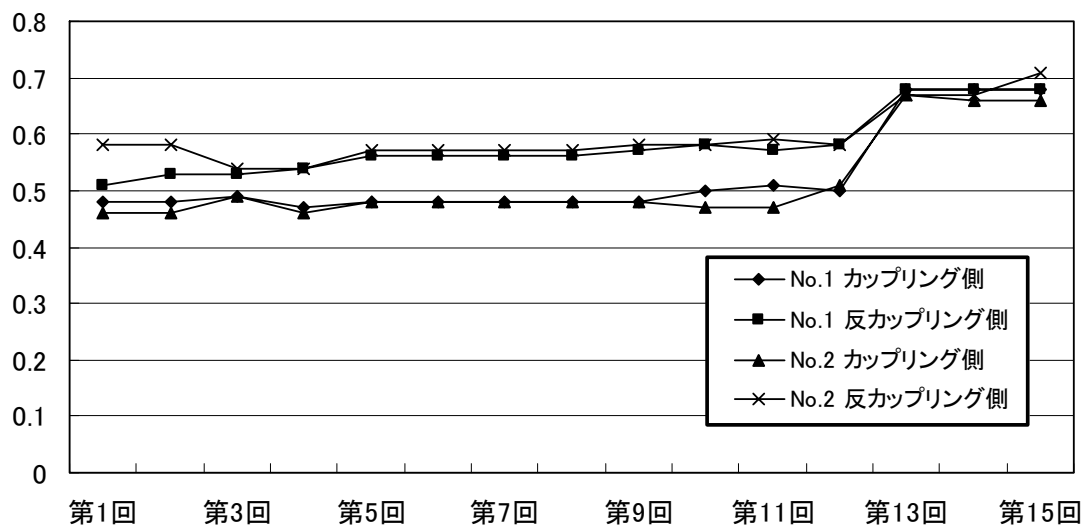


Table3.10 定期的に行っている交換部品

全分解点検		簡易分解点検	
部品名	員数	部品名	員数
メカニカルシール	2	メカニカルシール	2
インペラワッシャー	2	インペラワッシャー	2
Oリング	14	Oリング	4
潤滑油	1	潤滑油	1
ボールベアリング	4		
ベアリングナット	2		
ベアリングワッシャー	2		
シートパッキン	2		

Table3.11 状態基準及び経年劣化による交換部品

点検回数	部品名	員数	対象機器
第8回	ナイロンナット	16	補助ポンプ No.1、No.2
第11回	カップリング (ポンプ側)	2	補助ポンプ No.1、No.2

Table3.12 性能検査基準値

項目	基準値	
	主ポンプ	補助ポンプ
絶縁抵抗測定	0.4MΩ以上	0.2MΩ以上
電動機温度	周囲温度+55℃以下	周囲温度+55℃以下
ポンプ温度	周囲温度+40℃以下	周囲温度+40℃以下
振動	55 μ m以下	70 μ m以下
騒音	100 d B (A) 以下	95 d B (A) 以下
揚程	流量 1200 m ³ /h 以上に おいて 46m以上	流量 270 m ³ /h 以上に おいて 4m以上

Table3.13 温度測定記録 (1 / 2)

1. 1次冷却材主ポンプ

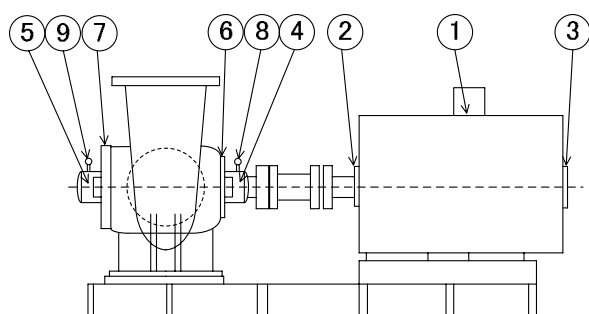
(単位: °C)

測定箇所		第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回	第14回	第15回	
主ポンプ No.1	電動機	1	37.6	31.0	35.5	33.0	39.2	33.0	36.1	37.6	36.2	34.1	30.0	31.4	36.2	36.1	33.6
		2	32.7	25.0	28.0	26.5	29.3	27.0	26.7	26.3	26.1	31.2	27.0	34.0	32.2	26.9	32.6
		3	33.6	25.5	27.0	31.7	30.7	28.0	27.5	27.3	27.0	31.4	28.0	30.3	27.9	29.5	30.9
	ポンプ	4	36.2	28.0	33.0	30.0	35.3	32.5	30.3	35.0	31.1	29.3	32.0	31.6	32.7	31.7	34.5
		5	35.0	26.0	32.0	31.0	34.6	29.0	28.9	31.6	28.1	26.9	32.0	33.3	35.0	29.8	32.0
		6	31.4	19.5	27.5	20.5	28.3	29.0	23.1	29.8	23.0	20.5	21.0	21.2	23.5	22.6	22.2
		7	31.2	18.0	26.5	21.0	27.6	27.5	23.6	27.9	22.6	20.2	20.0	21.4	24.0	23.2	21.9
		計器1	37.6	28.5	35.4	31.5	35.9	34.5	30.6	34.9	31.1	31.1	33.2	31.7	33.0	32.4	35.7
	計器2	35.3	25.9	32.5	31.4	35.1	30.1	28.9	31.5	28.0	27.2	33.0	33.9	35.6	30.5	33.2	
	周囲温度	27.5	24.0	23.0	24.3	26.2	23.0	21.0	25.2	26.7	20.5	22.5	22.0	22.2	21.7	23.2	
主ポンプ No.2	電動機	1	39.1	31.0	36.5	35.2	40.6	34.0	35.8	40.4	36.5	35.5	32.5	34.4	35.6	37.3	38.9
		2	34.4	26.0	30.5	26.5	30.2	28.5	32.1	29.6	27.8	33.5	35.5	37.5	32.8	23.4	28.4
		3	35.9	26.0	30.0	27.3	30.1	28.0	26.3	29.6	28.1	35.1	25.0	35.0	27.4	28.3	28.4
	ポンプ	4	36.7	29.0	37.0	33.0	36.7	35.0	31.9	37.1	32.4	34.1	33.0	31.6	34.2	32.3	35.2
		5	35.4	27.0	36.0	33.0	36.7	33.5	29.3	33.5	30.1	30.2	29.0	31.7	30.9	33.1	32.4
		6	32.1	19.0	29.0	25.0	29.6	30.0	24.4	32.0	23.7	22.6	22.0	26.9	24.7	24.5	22.2
		7	32.0	19.0	28.0	24.0	29.2	29.5	23.7	30.9	23.8	21.8	22.0	21.5	24.7	24.7	22.0
		計器3	38.3	29.7	38.8	34.3	36.6	36.1	32.1	35.8	32.4	33.9	34.6	32.6	34.2	34.0	35.7
	計器4	36.1	26.8	37.0	34.1	36.5	35.2	29.4	32.9	29.8	30.4	29.6	32.4	31.4	34.1	33.6	
	周囲温度	25.0	23.0	24.0	21.7	26.0	24.0	21.4	23.9	23.2	21.0	24.0	23.6	26.6	23.5	23.6	

注) 計器はポンプに常設の軸受温度計を示す。計器1 : (TI2123)、計器2 : (TI2124)、
計器3 : (TI2133)、計器4 : (TI2134)

基準値 電動機 : 周囲温度 + 55°C以下、ポンプ : 周囲温度 + 40°C以下

主ポンプ温度測定箇所



- 1 : 電動機ケーシング
- 2 : 電動機軸受 (カップリング側)
- 3 : 電動機軸受 (反カップリング側)
- 4 : ポンプ軸受 (カップリング側)
- 5 : ポンプ軸受 (反カップリング側)
- 6 : ポンプシール部 (カップリング側)
- 7 : ポンプシール部 (反カップリング側)
- 8 : 常設温度計 (計器1、計器3)
- 9 : 常設温度計 (計器2、計器4)

Table3.13 温度測定記録 (2 / 2)

2. 1次冷却材補助ポンプ

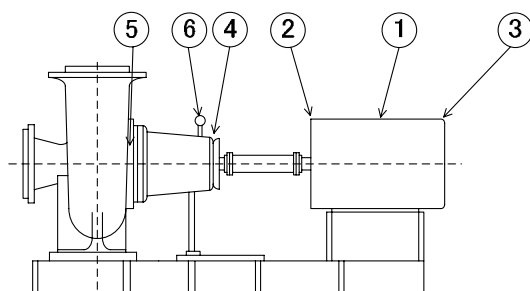
(単位: °C)

測定箇所		第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回	第14回	第15回	
補助ポンプ No.1	電動機	1	48.6	43.5	47.0	46.5	44.0	47.0	48.6	49.7	46.9	44.5	46.5	48.8	44.9	46.9	45.2
		2	45.4	43.0	45.0	44.0	47.5	42.0	43.2	44.8	42.8	41.2	44.0	34.6	43.3	43.4	42.6
		3	38.6	27.0	34.0	33.5	34.0	33.5	35.4	39.0	38.3	37.8	36.0	44.4	36.0	36.5	32.0
	ポンプ	4	33.3	28.0	30.0	28.0	31.0	29.0	28.5	30.9	29.8	26.8	28.5	28.3	28.5	28.5	28.7
		5	32.3	24.5	30.0	26.0	27.0	25.0	23.1	27.5	26.8	22.6	24.0	23.8	22.1	19.0	24.4
		計器1	34.1	29.2	31.1	30.6	32.8	30.4	28.2	30.4	30.1	28.0	29.0	28.4	28.6	28.4	29.2
	周囲温度		26.8	20.0	24.0	21.5	24.0	22.0	20.2	23.6	22.2	20.2	20.5	21.9	20.4	20.9	22.5
補助ポンプ No.2	電動機	1	49.3	43.0	46.0	44.5	42.0	44.5	47.6	48.1	48.0	45.8	46.0	43.9	47.2	45.0	43.0
		2	43.7	42.5	44.0	40.5	45.0	41.0	41.7	43.4	43.6	39.9	41.5	33.6	36.0	43.1	40.2
		3	30.7	35.0	33.5	30.5	32.0	27.5	35.7	37.4	37.8	35.2	37.0	42.3	31.7	36.1	32.2
	ポンプ	4	31.4	26.5	29.5	26.5	30.0	28.0	27.4	30.4	29.3	25.9	27.5	27.9	28.1	28.7	28.4
		5	30.9	24.5	31.0	25.5	25.5	26.5	26.2	29.2	27.6	21.8	21.0	24.2	22.5	23.0	25.2
		計器2	32.9	28.1	31.6	28.9	32.3	30.1	28.4	30.5	30.1	27.1	28.9	28.5	28.8	28.9	29.1
	周囲温度		25.1	20.5	24.0	21.5	24.0	21.5	20.1	23.6	22.2	19.4	22.0	20.9	20.5	20.5	21.8

注) 計器はポンプに常設の軸受温度計を示す。計器1 : (TI2143)、計器2 : (TI2153)

基準値 電動機 : 周囲温度 + 55°C 以下、ポンプ : 周囲温度 + 40°C 以下

補助ポンプ温度測定箇所



- 1 : 電動機ケーシング
- 2 : 電動機軸受 (カップリング側)
- 3 : 電動機軸受 (反カップリング側)
- 4 : ポンプ軸受 (カップリング側)
- 5 : ポンプシール部
- 6 : 常設温度計 (計器1、計器2)

Table3.14 振動測定記録 (1 / 4)

1. 1次冷却材主ポンプ No.1

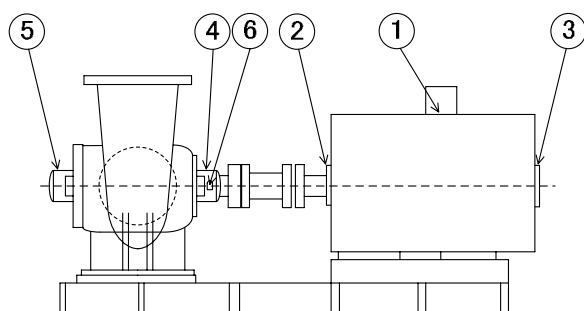
(単位: μm)

測定箇所		第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回	第14回	第15回	
電動機	1	軸平行	2.5	3.0	5.0	1.8	2.2	3.0	1.8	2.2	3.0	2.6	2.0	2.5	2.5	4.5	3.1
		軸直角	5.0	8.0	3.0	4.5	8.0	4.0	4.5	4.5	5.5	3.1	4.0	3.0	5.0	2.4	3.8
		垂直	2.0	4.0	6.0	1.6	2.5	1.5	1.1	1.2	2.2	2.0	2.0	4.5	3.0	2.7	1.5
	2	軸平行	2.0	3.0	3.5	1.8	2.3	3.0	1.0	3.5	3.0	2.8	2.0	1.5	2.5	4.4	3.8
		軸直角	4.5	10.0	4.0	5.0	7.0	4.0	1.5	3.0	6.0	3.6	4.8	2.0	4.5	2.6	3.1
		垂直	2.5	5.0	4.0	2.8	2.3	1.5	1.9	2.5	2.5	2.2	4.0	3.5	4.0	3.5	2.5
	3	軸平行	2.0	2.0	3.0	1.7	2.5	3.0	2.0	4.0	3.0	2.6	2.5	0.5	4.0	3.0	3.6
		軸直角	5.0	10.0	7.0	3.5	7.0	5.0	4.0	2.8	5.0	4.0	3.0	4.5	4.0	9.3	2.4
		垂直	1.4	5.0	7.0	1.2	2.0	1.5	1.0	1.3	2.2	1.4	2.0	3.0	2.0	9.4	1.3
ポンプ	4	軸平行	5.0	2.0	5.0	8.0	10.0	7.0	5.0	5.0	6.5	6.2	7.2	3.0	8.0	6.1	6.5
		軸直角	6.0	4.0	5.0	9.5	12.0	4.0	6.0	5.0	6.5	4.2	8.1	4.0	6.0	7.5	4.6
		垂直	5.0	6.0	3.5	8.0	8.0	4.0	3.0	4.0	4.0	2.8	7.0	2.0	6.0	5.6	3.2
	5	軸平行	6.5	6.0	6.0	9.0	10.0	6.0	7.0	5.5	6.5	6.4	7.0	2.0	7.0	3.8	6.2
		軸直角	6.5	4.0	3.5	4.5	5.0	4.5	4.0	3.5	4.0	3.8	3.8	3.5	4.0	7.0	4.3
		垂直	6.0	5.0	5.0	8.0	6.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.5	4.0	6.5	7.0	4.8
計器	軸直角	4.3	4.0	4.6	8.0	7.9	3.6	5.5	4.3	3.7	3.5	6.9	3.5	5.1	4.5	3.1	

注) 計器はポンプに常設の振動計 (SI2122) を示す。

基準値 $55\mu\text{m}$ 以下

主ポンプ振動測定箇所



- 1 : 電動機ケーシング
- 2 : 電動機軸受 (カップリング側)
- 3 : 電動機軸受 (反カップリング側)
- 4 : ポンプ軸受 (カップリング側)
- 5 : ポンプ軸受 (反カップリング側)
- 6 : 常設振動計 (計器)

Table3.14 振動測定記録 (2 / 4)

2. 1次冷却材主ポンプ No.2

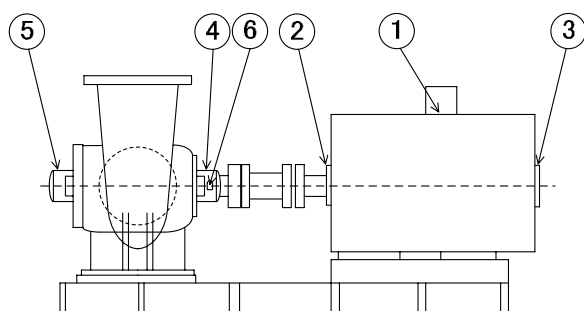
(単位: μm)

測定箇所		第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回	第14回	第15回	
電動機	1	軸平行	4.0	3.0	4.0	4.0	2.5	4.5	3.0	5.0	4.5	8.4	9.0	4.5	8.0	4.9	6.9
		軸直角	4.0	4.0	6.0	2.5	4.0	4.0	6.0	3.8	6.0	5.2	6.0	3.5	4.5	7.7	5.8
		垂直	1.5	1.5	3.0	1.0	2.0	1.5	1.0	1.5	2.5	2.0	3.0	7.0	3.0	2.3	2.0
	2	軸平行	4.0	3.5	5.0	4.0	3.0	3.5	3.5	4.5	5.0	8.0	10.0	4.5	7.0	6.5	6.8
		軸直角	6.5	6.0	5.0	6.0	6.0	4.0	6.0	5.0	7.0	8.1	9.0	1.0	5.5	6.7	5.5
		垂直	4.0	4.0	8.0	3.5	2.9	5.0	3.2	3.0	3.5	5.8	7.0	2.5	4.0	4.4	3.6
	3	軸平行	5.0	3.0	5.0	5.0	2.5	2.5	2.5	5.5	4.5	7.6	9.0	0.5	10.5	9.0	6.5
		軸直角	3.0	3.0	2.0	4.5	3.5	2.0	4.5	3.0	4.5	3.4	2.0	2.0	2.5	7.2	4.0
		垂直	1.5	1.5	4.0	1.0	0.9	1.5	1.2	4.0	2.5	4.0	4.0	1.5	3.0	2.5	2.4
ポンプ	4	軸平行	8.0	9.0	9.0	9.0	8.0	7.0	9.0	8.0	8.0	8.8	9.0	3.0	9.5	6.6	7.7
		軸直角	10.0	5.0	6.0	10.0	9.0	7.5	7.0	6.5	5.5	9.0	8.0	6.0	7.0	8.2	5.7
		垂直	8.0	3.0	11.0	7.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.5	6.8	8.0	3.5	6.0	5.5	4.1
	5	軸平行	10.0	9.0	8.0	8.0	8.0	6.0	8.0	7.5	9.0	8.4	8.0	1.5	7.0	4.8	7.8
		軸直角	5.0	4.0	6.0	5.0	6.0	4.0	4.0	5.0	6.0	5.2	4.0	4.5	4.5	8.7	3.8
		垂直	10.0	5.0	4.0	5.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0	7.0	9.0	4.0	6.5	7.7	6.6
計器	軸直角	11.0	8.0	9.9	9.3	9.6	7.8	7.1	7.0	7.1	8.4	7.9	8.0	6.6	6.1	5.6	

注) 計器はポンプに常設の振動計 (SI2132) を示す。

基準値 $55\mu\text{m}$ 以下

主ポンプ振動測定箇所



- 1 : 電動機ケーシング
- 2 : 電動機軸受 (カップリング側)
- 3 : 電動機軸受 (反カップリング側)
- 4 : ポンプ軸受 (カップリング側)
- 5 : ポンプ軸受 (反カップリング側)
- 6 : 常設振動計 (計器)

Table3.14 振動測定記録 (3 / 4)

3. 1次冷却材補助ポンプ No.1

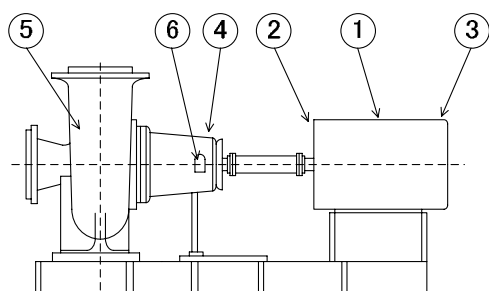
(単位: μm)

測定箇所		第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回	第14回	第15回	
電動機	1	軸平行	1.0	1.5	0.6	0.5	0.7	1.8	0.7	0.5	1.2	1.9	0.7	2.8	1.0	1.5	1.8
		軸直角	1.8	1.2	1.5	1.4	2.3	2.4	2.5	1.5	1.2	1.4	1.2	2.5	2.0	2.1	2.1
		垂直	0.6	1.0	0.7	1.3	0.7	0.8	0.6	1.4	1.5	1.1	1.2	2.5	1.0	1.2	1.1
	2	軸平行	1.2	0.5	0.8	0.7	0.7	2.0	0.5	0.8	0.8	0.6	0.5	4.0	1.5	1.2	0.6
		軸直角	2.5	1.0	1.4	1.2	1.9	1.5	1.0	1.3	1.1	1.4	1.0	2.5	1.5	1.1	1.4
		垂直	0.5	0.5	0.7	0.9	0.9	0.8	0.5	0.6	0.8	1.0	0.8	1.7	1.0	0.7	0.7
	3	軸平行	0.9	1.5	0.8	1.0	1.2	2.2	0.7	0.7	1.5	1.0	1.0	3.2	1.0	1.6	0.9
		軸直角	1.8	1.5	1.5	1.6	2.1	2.0	1.2	1.3	1.7	2.1	1.4	2.0	1.5	0.9	1.7
		垂直	0.5	1.5	0.7	1.0	1.3	1.0	0.4	0.6	1.0	0.8	0.6	2.0	1.0	0.9	0.8
ポンプ	4	軸平行	0.5	0.4	0.5	0.3	0.3	1.5	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	0.5	0.5	0.7	0.3
		軸直角	0.6	1.0	0.7	0.5	0.6	0.5	0.3	0.4	1.0	0.6	0.6	0.9	0.5	0.5	1.4
		垂直	0.5	0.2	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.4	0.3	0.6	0.5	0.5	0.3
	5	軸平行	1.5	0.4	1.0	0.4	0.5	1.7	0.3	0.5	0.8	0.9	0.6	0.4	1.0	1.0	1.4
		軸直角	0.6	1.0	0.9	0.5	0.7	0.8	0.3	0.7	0.8	0.6	0.5	0.2	1.0	0.8	1.5
		垂直	0.2	0.2	0.5	0.3	0.5	0.5	0.2	0.4	0.5	0.4	0.5	0.3	0.5	0.5	0.6
計器	軸直角	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	

注) 計器はポンプに常設の振動計 (SI2142) を示す。

基準値 $70\mu\text{m}$ 以下

補助ポンプ振動測定箇所



- 1 : 電動機ケーシング
- 2 : 電動機軸受 (カップリング側)
- 3 : 電動機軸受 (反カップリング側)
- 4 : ポンプ軸受 (カップリング側)
- 5 : ポンプケーシング
- 6 : 常設振動計 (計器)

Table3.14 振動測定記録 (4 / 4)

4. 1次冷却材補助ポンプ No.2

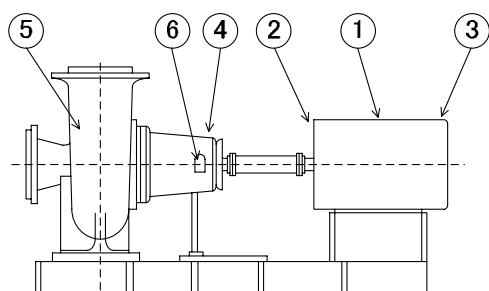
(単位: μm)

測定箇所		第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回	第14回	第15回	
電動機	1	軸平行	0.7	0.5	0.7	0.5	0.7	0.8	1.0	0.7	1.0	1.2	0.6	4.0	1.0	1.7	2.4
		軸直角	1.6	1.5	1.2	1.7	2.4	2.1	1.1	1.3	2.4	2.0	1.8	12.0	2.5	2.7	2.5
		垂直	0.7	0.5	0.8	0.7	0.9	0.7	0.8	1.0	1.2	1.2	1.6	5.0	1.5	1.4	1.2
	2	軸平行	0.5	0.5	0.7	0.4	0.8	1.1	0.7	0.8	0.7	0.4	1.0	1.5	2.0	1.3	0.7
		軸直角	1.5	1.0	1.2	0.9	1.2	1.2	1.0	1.2	1.7	1.2	1.2	3.0	2.0	0.9	1.5
		垂直	0.6	0.5	0.7	0.6	0.8	0.6	0.7	0.7	1.1	0.8	0.8	2.0	1.0	0.7	0.7
	3	軸平行	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.7	0.7	0.9	1.2	1.0	1.4	2.5	2.0	2.7	1.0
		軸直角	1.8	1.5	1.2	1.2	1.8	1.6	1.1	1.3	1.8	1.6	1.8	6.0	2.0	1.0	1.4
		垂直	0.5	0.5	0.6	0.6	0.9	0.4	0.5	0.8	1.0	0.6	0.4	3.0	1.0	1.0	0.9
ポンプ	4	軸平行	0.3	0.5	0.5	0.7	0.8	0.8	0.3	0.7	0.8	0.6	0.8	0.4	1.5	0.9	0.4
		軸直角	0.5	0.5	0.7	0.3	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.3	0.8	0.5	1.0	0.8	0.7
		垂直	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.7	0.2	0.4	0.6	0.5	0.5	0.3
	5	軸平行	0.5	0.5	0.8	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.6	1.0	0.6	0.2	0.5	1.1	1.4
		軸直角	0.5	0.5	0.8	0.5	0.7	0.8	0.3	0.4	0.8	0.4	0.6	0.2	0.5	0.8	1.3
		垂直	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.3	0.2	0.3	0.5	0.2	0.4	0.3	0.5	0.4	0.6
計器	軸直角	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	

注) 計器はポンプに常設の振動計 (SI2152) を示す。

基準値 $70\mu\text{m}$ 以下

補助ポンプ振動測定箇所



- 1 : 電動機ケーシング
- 2 : 電動機軸受 (カップリング側)
- 3 : 電動機軸受 (反カップリング側)
- 4 : ポンプ軸受 (カップリング側)
- 5 : ポンプケーシング
- 6 : 常設振動計 (計器)

Table3.15 騒音測定記録

(単位：dB)

測定箇所		第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回	第14回	第15回
主ポンプNo.1	1	99	99	99	99	98	100	93	100	100	100	98	99	98	97	99
	2	99	99	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99	98	98	99
	3	99	99	99	100	100	99	100	100	100	99	98	99	98	98	99
	4	98	97	95	98	99	99	97	98	98	97	97	97	97	96	98
	暗騒音	60	65	50	54	56	56	58	57	55	56	68	69	63	62	66
主ポンプNo.2	1	98	99	98	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	99	99
	2	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	98
	3	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	98	99
	4	98	98	98	99	99	99	97	99	99	97	98	97	98	97	99
	暗騒音	57	65	50	61	56	57	60	56	55	57	64	68	63	62	64
補助ポンプNo.1	1	62	72	60	61	64	61	63	63	65	69	66	68	68	66	69
	2	62	70	60	60	62	64	62	60	65	67	64	68	68	64	71
	3	60	70	60	62	66	62	62	63	66	69	66	69	68	65	70
	4	57	70	61	61	64	60	63	63	66	69	66	68	66	65	68
	暗騒音	45	60	45	52	56	56	58	57	55	56	63	68	60	60	66
補助ポンプNo.2	1	62	70	60	61	67	63	69	70	67	68	65	68	68	66	71
	2	62	70	62	61	65	65	66	67	66	67	67	68	67	66	69
	3	62	70	61	61	64	61	69	68	66	68	67	68	67	65	68
	4	63	70	60	61	65	64	69	71	67	67	66	67	68	65	67
	暗騒音	47	60	40	54	56	56	60	57	55	57	64	62	60	63	68

注) 基準値 主ポンプ：100 d B (A) 以下、補助ポンプ：95 d B (A) 以下

ポンプ騒音測定箇所

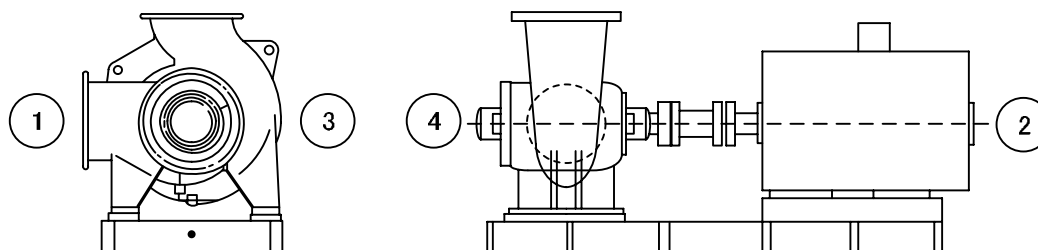


Table3.16 揚程測定記録

1. 1次冷却材主ポンプ

点検回数	主ポンプ No.1		主ポンプ No.2	
	流量 (m ³ /h)	揚程 (m)	流量 (m ³ /h)	揚程 (m)
第1回	1215	48.3	1218	48.4
第2回	1203	48.3	1204	49.3
第3回	1221	48.2	1229	49.3
第4回	1214	48.4	1213	49.2
第5回	1217	48.3	1208	49.2
第6回	1213	47.7	1214	48.1
第7回	1212	48.3	1215	49.3
第8回	1215	48.2	1215	49.0
第9回	1210	48.4	1215	49.1
第10回	1210	48.4	1210	49.3
第11回	1213	48.3	1213	49.3
第12回	1218	48.0	1215	49.0
第13回	1218	47.9	1219	48.9
第14回	1221	47.2	1208	48.9
第15回	1232	47.8	1224	49.1

注) 基準値 流量 1200 m³/h 以上において 46m以上

2. 1次冷却材補助ポンプ

点検回数	補助ポンプ No.1		補助ポンプ No.2	
	流量 (m ³ /h)	揚程 (m)	流量 (m ³ /h)	揚程 (m)
第1回	270	4.2	270	4.0
第2回	273	4.3	274	4.7
第3回	271	4.2	272	4.1
第4回	275	4.1	271	4.0
第5回	275	4.2	275	4.0
第6回	274	4.3	274	4.1
第7回	273	4.1	273	4.1
第8回	273	4.1	272	4.1
第9回	273	4.2	272	4.0
第10回	270	4.3	272	4.0
第11回	272	4.1	272	4.0
第12回	274	4.1	272	4.0
第13回	274	4.3	272	4.0
第14回	274	4.4	274	4.1
第15回	274	4.1	271	4.0

注) 基準値 流量 270 m³/h 以上において 4m以上

Table3.17 機能検査記録

1. 低設定運転

測定項目	基準値	測定値
系統流量 (m ³ /h)	270 以上	482～491
1次冷却材熱交換器 No.1 の流量 (m ³ /h)	—	233～242
1次冷却材熱交換器 No.2 の流量 (m ³ /h)	—	227～249
1次冷却材熱交換器 No.1 1次冷却系入口圧力 (MPa)	—	0.123
1次冷却材熱交換器 No.1 2次冷却系出口圧力 (MPa)	—	0.296
1次冷却材熱交換器 No.2 1次冷却系入口圧力 (MPa)	—	0.124
1次冷却材熱交換器 No.2 2次冷却系出口圧力 (MPa)	—	0.314

注) 低設定運転時の確認事項

- ①1次冷却系の系統流量を 270 m³/h 以上に設定できること。
- ②1次冷却系の1次冷却材熱交換器入口圧力が、2次冷却系の1次冷却材熱交換器出口圧力よりも低いこと。
- ③ポンプ及び系統に異常がないこと。

2. 高設定運転

測定項目	基準値	測定値
系統流量 (m ³ /h)	2400 以上	2476～2493
1次冷却材熱交換器 No.1 の流量 (m ³ /h)	1200 以上	1203～1218
1次冷却材熱交換器 No.2 の流量 (m ³ /h)		1204～1217
1次冷却材熱交換器 No.1 1次冷却系入口圧力 (MPa)	—	0.258
1次冷却材熱交換器 No.1 2次冷却系出口圧力 (MPa)	—	0.296
1次冷却材熱交換器 No.2 1次冷却系入口圧力 (MPa)	—	0.260
1次冷却材熱交換器 No.2 2次冷却系出口圧力 (MPa)	—	0.314

注) 高設定運転時の確認事項

- ①1次冷却系の系統流量を 2400m³/h 以上に設定できること。
- ②1次冷却材熱交換器の流量を 1200m³/h 以上に設定できること。
- ③1次冷却系の1次冷却材熱交換器入口圧力が、2次冷却系の1次冷却材熱交換器出口圧力よりも低いこと。
- ④ポンプ及び系統に異常がないこと。

1. 1 次冷却材主ポンプ No.1

1次冷却材主ポンプNo.1カップリングキー部キズ位置

第10回定期点検

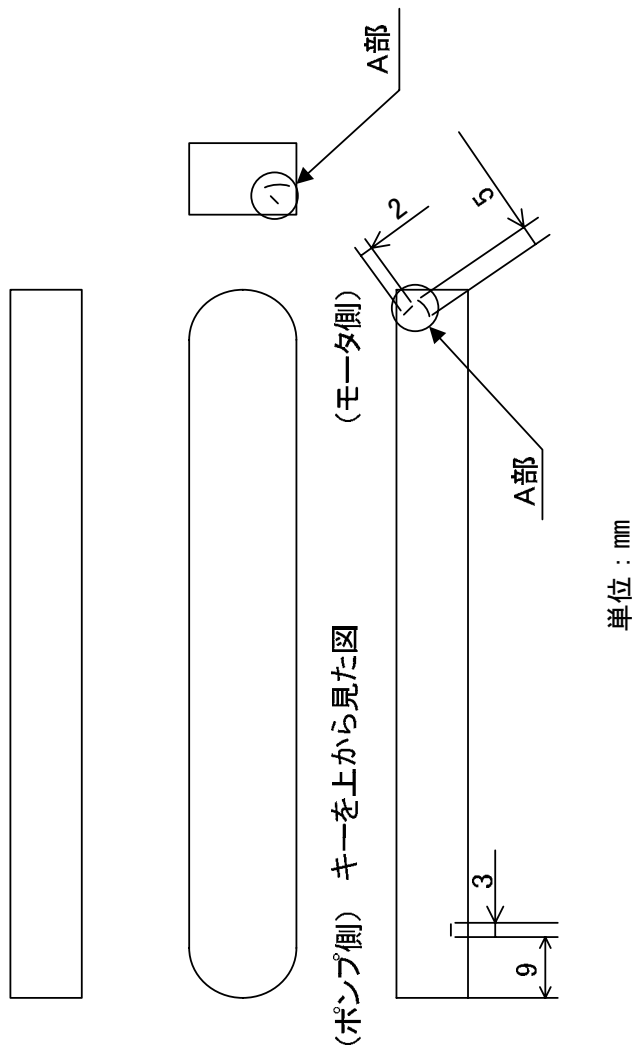


Fig.3.1 カップリングキー外觀記録 (1 / 2)

2. 1 次冷却材主ポンプ No.2

1 次冷却材主ポンプ No.2 カップリングキー部キズ位置

第10回定期点検

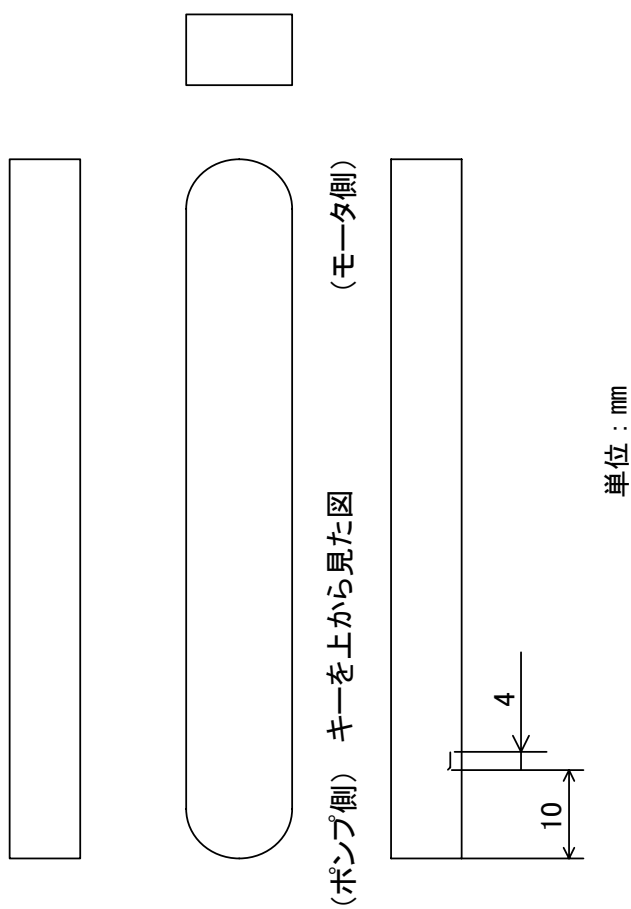


Fig.3.1 カップリングキー外觀記録 (2 / 2)

1. 1 次冷却材主ポンプ No.1

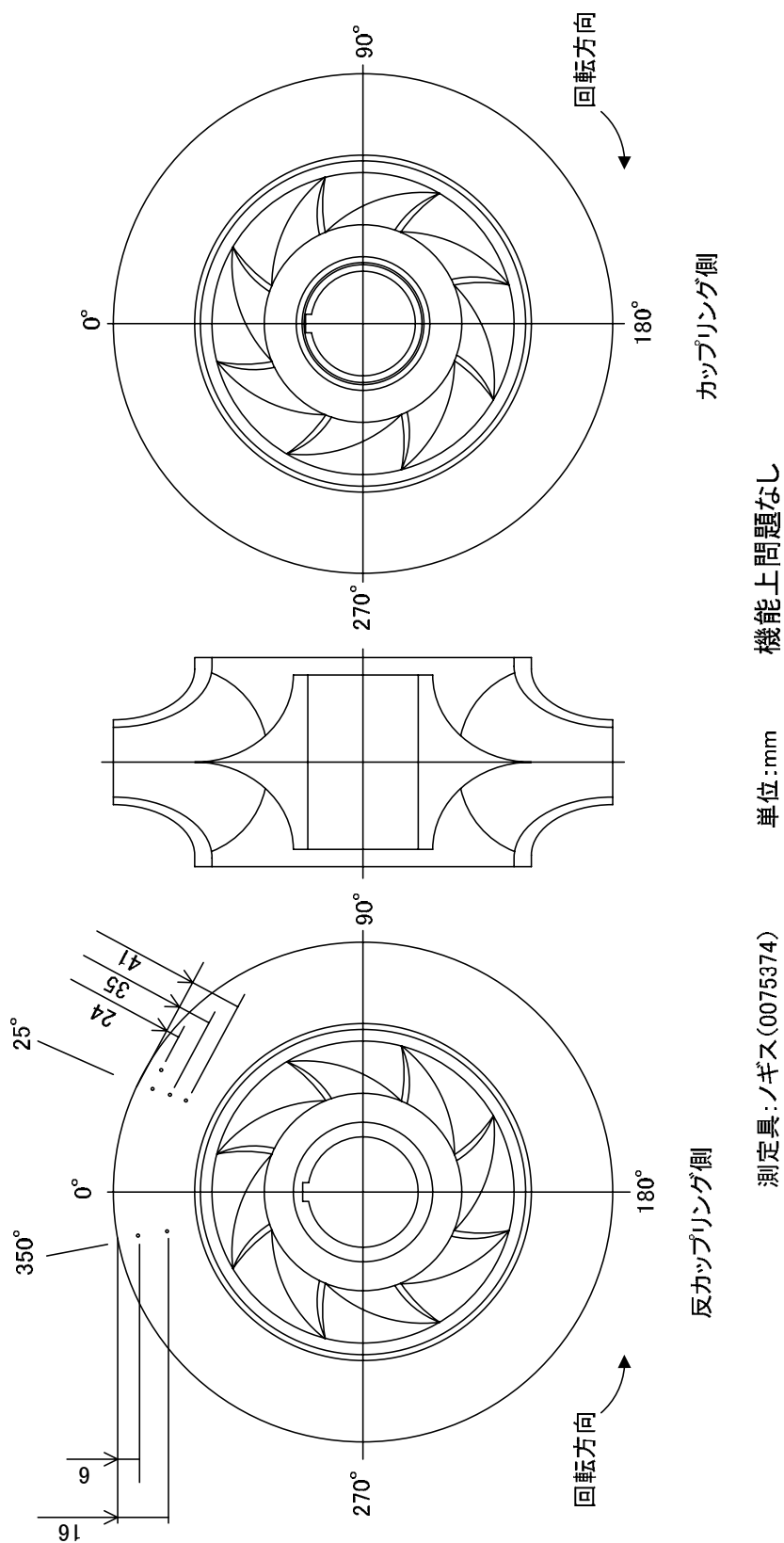
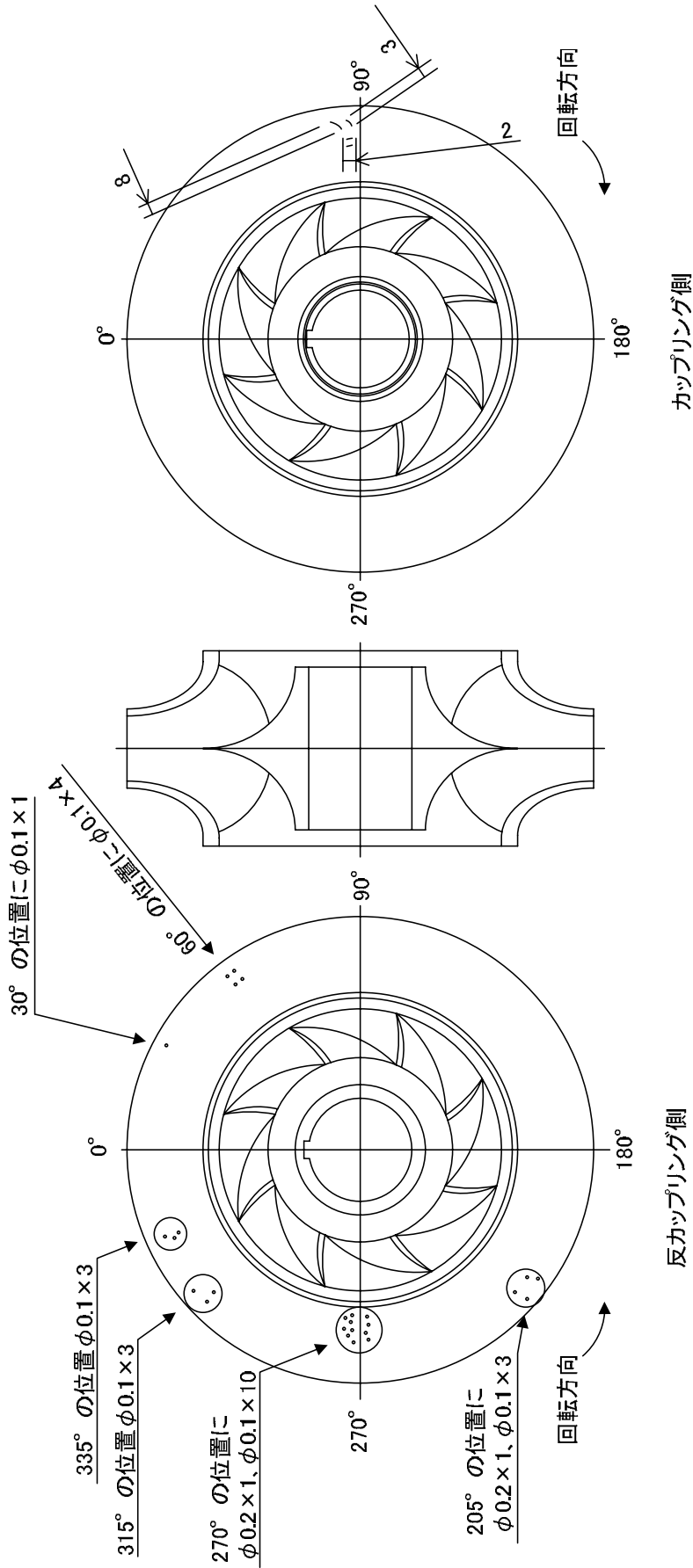


Fig.3.2 第14回点検時の液体浸透探傷検査記録(1/2)

2. 1 次冷却材主ポンプ No.2

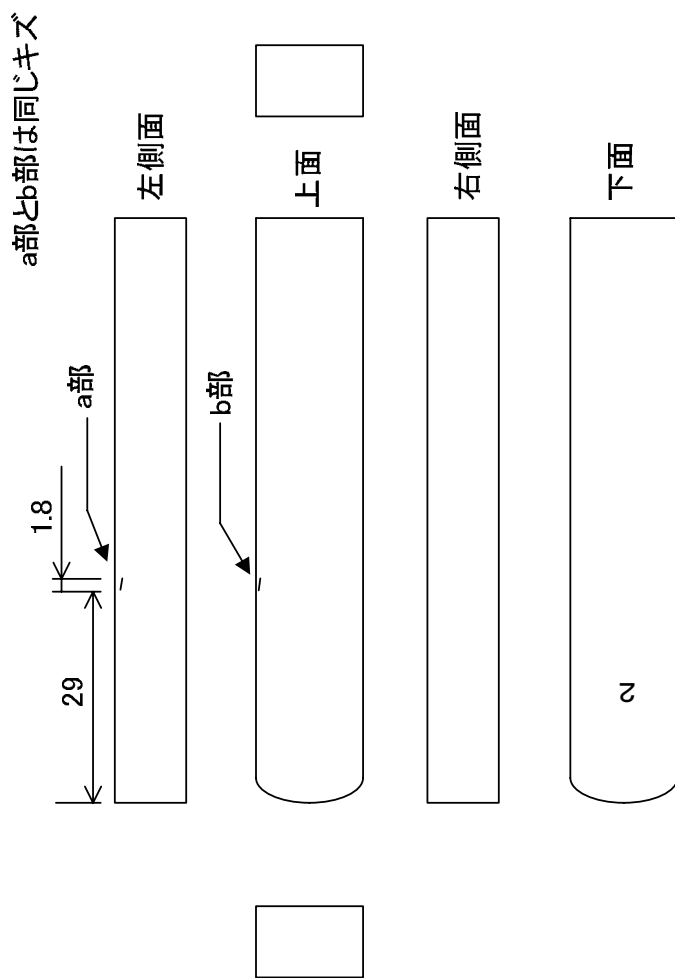


測定具:ノギス(0075374) 単位:mm 機能上問題なし

Fig.3.2 第14回点検時の液体浸透探傷検査記録(2/2)

1次冷却材補助ポンプNo.2インペラキー部キズ位置

第14回定期点検



測定具:ノギス(00075374) 単位:mm 機能上問題なし

Fig.3.3 インペラキー外観記録

1. 1 次冷却材補助ポンプ No.1

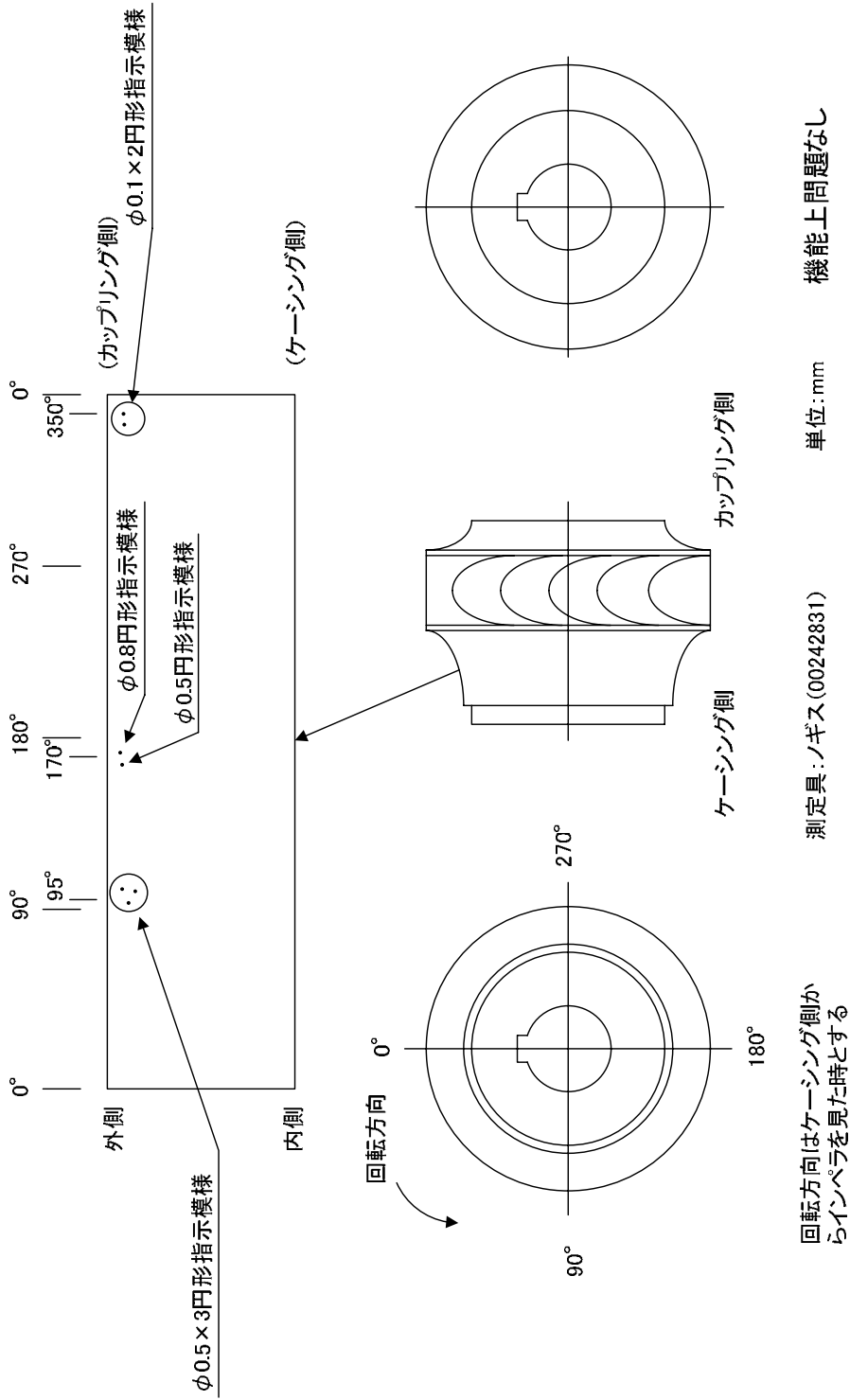


Fig.3.4 第15回点検時の液体浸透探傷検査記録 (1 / 2)

2. 1 次冷却材補助ポンプ No.2

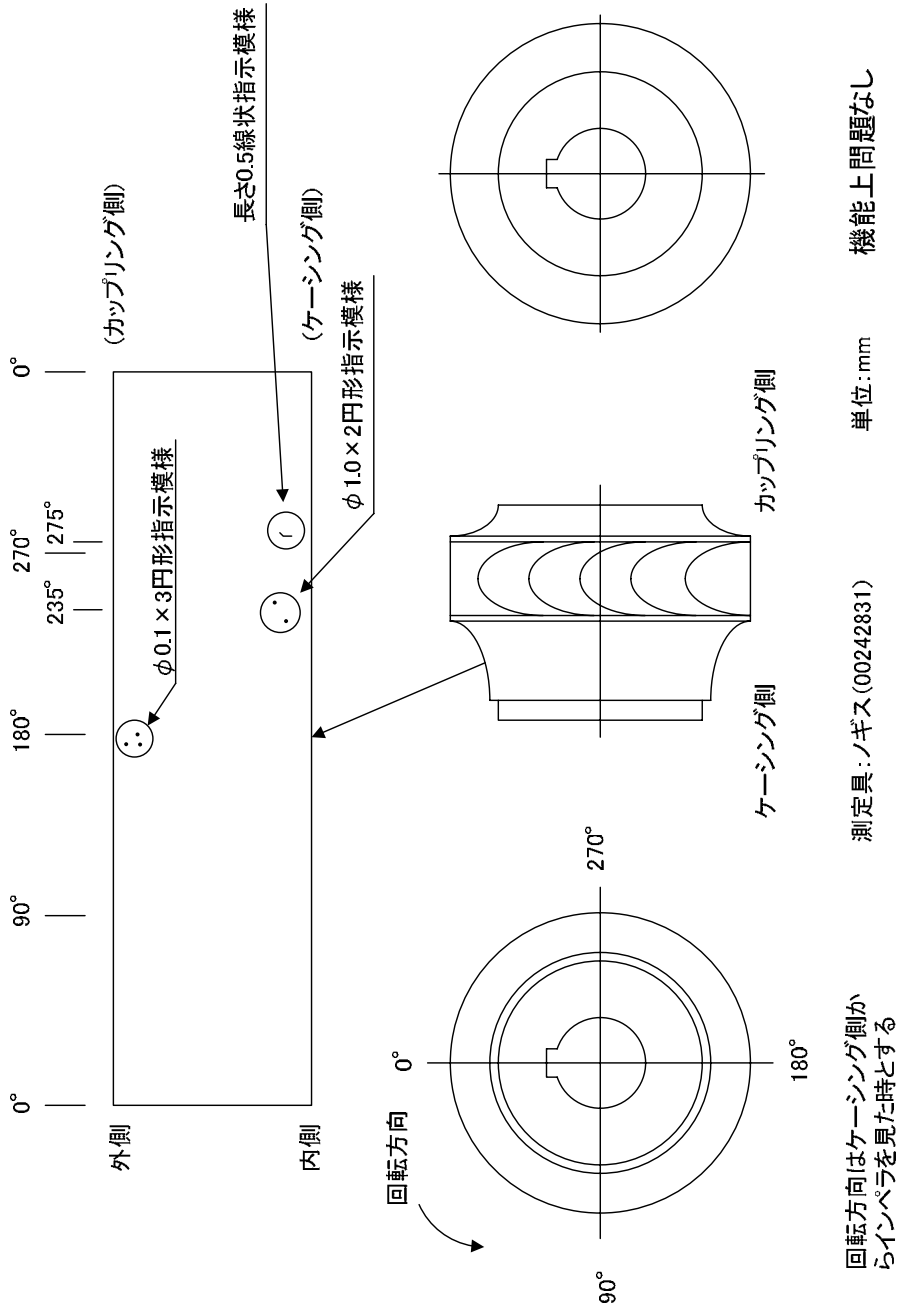


Fig.3.4 第15回点検時の液体浸透探傷検査記録 (2 / 2)

4. まとめ

本報告書にて 1 次冷却材ポンプの保守管理及び実績について纏めた。これにより、これまでの点検において 1 次冷却材ポンプの性能が維持されていることが確認された。

ポンプの経年変化としては液体浸透探傷検査における指示模様、クリアランス測定における値の広がり確認された。液体浸透探傷検査の指示模様については傷が微小であり進展もないことから、今後も分解点検において検査を実施し、傷の変化を確認していくこととする。クリアランスの測定については値の上昇傾向がみられるが、基準値に一番近づいている補助ポンプ No.1 のカップリング側において基準値との差（基準値－第 15 回測定値）が 0.34mm であるのに対し、過去の上昇幅（第 15 回測定値－第 1 回測定値）が 0.2mm であることから経過を観察し、今後の測定値を管理することとする。

1 次冷却材ポンプの保守管理を適切に実施することは、原子炉の安全安定な運転を行うために重要である。今回纏めた分解点検時のデータやポンプ運転時のデータを生かして、今後の保守管理を合理的に実施するとともに、トラブル等の予兆の早期発見に努め原子炉の安全安定運転を目指す。

謝辞

研究炉加速器管理部山下清信部長のご指導のもと、JRR-3 管理課の方々に技術的な助言、協力を頂きました。本報告書をまとめるにあたり、ご指導を頂いた JRR-3 管理課寺門義文課長にはここに感謝の意を表します。

付録 揚程の算出方法

1 次冷却材ポンプの揚程は JIS B8301 より以下のように求める。

$$H = H_1 - H_2 \quad \dots \textcircled{1}$$

H : 全揚程 (m)

H₁ : ポンプの出口側断面における吐出し水頭 (m)

H₂ : ポンプの入口側断面における吸込み水頭 (m)

ここで、

$$H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} \quad \dots \textcircled{2}$$

$$H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g} \quad \dots \textcircled{3}$$

z₁ : 基準面からの高さ。ここでは、床から出口側圧力計配管までの高さ (m)

z₂ : 基準面からの高さ。ここでは、床から入口側圧力計配管までの高さ (m)

p₁ : 出口側圧力 (Pa)

p₂ : 入口側圧力 (Pa)

ρ : 密度 (1000kg/m³)

g : 重力加速度 (9.8m/s²)

U₁ : 出口側の平均速度 (m/s)

U₂ : 入口側の平均速度 (m/s)

②、③を①に代入し、設置圧力計の単位である MPa に単位換算することで以下の式となる。

$$H = \frac{(P_1 - P_2) \times 10^6}{\rho g} + Z + V$$

P₁ : 出口側圧力計の指示値 (MPa)

P₂ : 入口側圧力計の指示値 (MPa)

Z : 計器高差。ポンプの出口圧力計及び入口圧力計の設置高さから生じる圧力差の補正 (m)

$$Z = (z_1 - z_2)$$

V : 速度水頭。ポンプの出口側配管及び入口配管の径の違いから生じる流速の差による圧力の補正 (m) $V = (U_1^2 - U_2^2) / 2g$

速度水頭の算出方法

速度水頭は JIS B8301 より以下のように求める。

$$U = \frac{Q}{A}$$

U : 平均速度 (m/s)

Q : 流量 (m³/s)

A : 配管の断面積 (m²)

ポンプの定格流量と配管の断面積から平均速度を求める。

(1) 1次冷却材主ポンプ No.1、No.2

1次冷却材主ポンプ出口側 : 流量 1200 (m³/h)、配管 400A
(1200/3600)

$$U_1 = \frac{1200/3600}{(0.40/2)^2 \times \pi} = 2.65 \text{ (m/s)}$$

1次冷却材主ポンプ入口側 : 流量 1200 (m³/h)、配管 450A
(1200/3600)

$$U_2 = \frac{1200/3600}{(0.45/2)^2 \times \pi} = 2.09 \text{ (m/s)}$$

1次冷却材主ポンプの速度水頭は以下となる。

$$V = \frac{U_1^2 - U_2^2}{2g} = 0.13 \text{ (m)}$$

(2) 1次冷却材補助ポンプ No.1、No.2

1次冷却材補助ポンプ出口側 : 流量 270 (m³/h)、配管 200A
(270/3600)

$$U_1 = \frac{270/3600}{(0.20/2)^2 \times \pi} = 2.38 \text{ (m/s)}$$

1次冷却材補助ポンプ入口側 : 流量 270 (m³/h)、配管 250A
(270/3600)

$$U_2 = \frac{270/3600}{(0.25/2)^2 \times \pi} = 1.52 \text{ (m/s)}$$

1次冷却材補助ポンプの速度水頭は以下となる。

$$V = \frac{U_1^2 - U_2^2}{2g} = 0.17 \text{ (m)}$$

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光の度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位		
	名称	記号	
面積	平方メートル	m ²	
体積	立方メートル	m ³	
速度	メートル毎秒	m/s	
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²	
波数	毎メートル	m ⁻¹	
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³	
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²	
比	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg	
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²	
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m	
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³	
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³	
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²	
屈折率 ^(b)	(数字の)	1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(e)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電流量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照度	ルーメン	lm	cd sr ^(e)	cd
放射線量	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	s ⁻¹	m ⁻² cd
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	s ⁻¹
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号 rad 及び sr が用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。
(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号 sr を単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d) ヘルツは周期現象についての、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみに使用される。
(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大さは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で "radioactivity" と記される。
(g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートン毎メートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	kg s ⁻²	
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エントロピー	ジュール毎キログラム	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m kg s ⁻³ A ⁻¹
表面電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量	クーロン毎キログラム	C/kg	m ² s A
放射強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ³ s ⁻¹ mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ⁻¹⁵ cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーバ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベベル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁻⁴ cd m ⁻²
フォトル	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx = 1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G = 1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≐ (10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3 元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≐」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガランマ	γ	1 γ = 1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 fフェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1 cal=4.1868 J (「15°C」カロリー), 4.1868 J (「IT」カロリー), 4.184 J (「熱化学」カロリー)
マイクロン	μ	1 μ = 1 μm=10 ⁻⁶ m

