

河川ポンプ設備
精密診断マニュアル(案)

令和 7 年 3 月

関東地方整備局 関東技術事務所

河川ポンプ設備精密診断マニュアル（案）

目 次

1.	総則	1-1
1.1.	本マニュアル（案）の目的.....	1-1
1.2.	適用範囲	1-2
1.3.	精密診断の基本.....	1-4
1.3.1.	精密診断の目的.....	1-4
1.3.2.	精密診断の適用 ^{出典[6]}	1-5
1.3.3.	精密診断の実施方法.....	1-8
1.4.	精密診断の実施計画.....	1-11
1.4.1.	実施計画の立案.....	1-11
1.4.2.	実施体制の確保.....	1-12
1.5.	計測	1-12
1.6.	診断	1-13
1.7.	報告及び記録活用.....	1-15
1.8.	用語の定義	1-16
1.9.	新たな知見・技術への対応.....	1-17
2.	振動計測・診断（主ポンプ）	2-1
2.1.	基本事項	2-1
2.1.1.	対象設備.....	2-1
2.1.2.	適用範囲.....	2-1
2.2.	計測・診断実施方法.....	2-2
2.2.1.	計測・診断手法の概要.....	2-2
2.2.2.	計測・診断の手順・要領.....	2-4
2.3.	準備	2-5
2.3.1.	資料の収集.....	2-5
2.3.2.	計測箇所の検討.....	2-7
2.3.3.	使用機器（変位測定機器）の手配.....	2-9
2.3.4.	計測時間.....	2-11
2.4.	振動測定	2-11
2.5.	評価・判定	2-13

2.5.1.	振動計測データの解析、診断.....	2-13
2.5.2.	劣化箇所の特定.....	2-13
2.5.3.	劣化程度の判定.....	2-18
2.6.	報告書作成	2-19
2.7.	技術的課題	2-20
3.	振動計測・診断（減速機）	3-1
3.1.	基本事項	3-1
3.1.1.	対象設備.....	3-1
3.1.2.	適用範囲.....	3-1
3.2.	計測・診断実施方法.....	3-2
3.2.1.	計測診断手法の概要.....	3-2
3.2.2.	計測・診断の手順・要領.....	3-4
3.3.	準備	3-5
3.3.1.	資料の収集.....	3-5
3.3.2.	計測箇所の検討.....	3-6
3.3.3.	使用機器（振動加速度計測機器）の手配.....	3-9
3.3.4.	計測タイミング.....	3-10
3.4.	振動測定	3-11
3.5.	評価・判定	3-12
3.5.1.	計測データ解析.....	3-12
3.5.2.	劣化箇所の特定と劣化程度の判定.....	3-13
3.6.	報告書作成	3-18
3.7.	技術的課題	3-19
4.	工業用内視鏡撮影による診断（主ポンプ）	4-1
4.1.	基本事項	4-1
4.1.1.	対象設備.....	4-1
4.1.2.	適用範囲.....	4-1
4.2.	撮影・診断実施方法.....	4-2
4.2.1.	撮影・診断手法の概要.....	4-2
4.2.2.	撮影・診断の手順・要領.....	4-3
4.3.	準備	4-3
4.3.1.	資料の収集.....	4-3
4.3.2.	撮影箇所の検討.....	4-4
4.3.3.	使用機器（工業用内視鏡）の手配.....	4-6

4.3.4.	交換部品及び工具の手配.....	4-6
4.3.5.	撮影日時の検討.....	4-7
4.4.	工業用内視鏡撮影.....	4-8
4.5.	評価・判定	4-10
4.6.	報告書作成	4-16
4.7.	技術的課題	4-17
5.	工業用内視鏡撮影による診断（主原動機）.....	5-1
5.1.	基本事項	5-1
5.1.1.	対象設備.....	5-1
5.1.2.	適用範囲.....	5-1
5.2.	撮影・診断実施方法.....	5-2
5.2.1.	撮影・診断手法の概要.....	5-2
5.2.2.	撮影・診断の手順・要領.....	5-3
5.3.	準備	5-4
5.3.1.	資料の収集.....	5-4
5.3.2.	撮影箇所の検討.....	5-4
5.3.3.	使用機器（工業用内視鏡）の手配.....	5-7
5.3.4.	交換部品及び工具の手配.....	5-7
5.3.5.	撮影日時の検討.....	5-8
5.4.	工業用内視鏡撮影.....	5-9
5.5.	評価・判定	5-11
5.6.	報告書作成	5-15
5.7.	技術的課題	5-16
6.	漏洩電流計測・診断	6-1
6.1.	基本事項	6-1
6.1.1.	対象設備.....	6-1
6.1.2.	適用範囲.....	6-1
6.2.	計測・診断実施方法.....	6-2
6.2.1.	漏洩電流計測・診断手法の概要.....	6-2
6.2.2.	計測・診断の手順・要領.....	6-3
6.3.	準備	6-4
6.3.1.	資料の収集.....	6-4
6.3.2.	計測箇所の検討.....	6-5
6.3.3.	使用機器（漏洩電流計測機器）の手配.....	6-9

6.3.4.	計測タイミングの検討.....	6-10
6.4.	漏洩電流計測.....	6-11
6.5.	評価・判定	6-15
6.6.	報告書作成	6-18
6.7.	技術的課題	6-19
7.	用語解説	7-1
7.1.	振動診断	7-1
7.2.	工業用内視鏡撮影・診断.....	7-3
7.3.	漏洩電流計測.....	7-4
8.	出典	8-1
8.1.	総則	8-1
8.2.	主ポンプの振動計測・診断.....	8-1
8.3.	減速機の振動計測・診断.....	8-2
8.4.	漏洩電流計測・診断.....	8-2
8.5.	参考文献	8-2
9.	参考資料	9-1
9.1.	電動機実機による不具合実験結果.....	9-1
9.1.1.	電動機実機による実験結果.....	9-1
9.1.2.	振動波形の事例.....	9-6
9.2.	事例 振動調査結果報告書の解説.....	9-12
9.3.	報告書様式（事例集）	9-20
9.4.	精密診断技術（既存）の有用性検証.....	9-21

1. 総則

1.1. 本マニュアル（案）の目的

河川ポンプ設備精密診断マニュアル（案）（以下「本マニュアル（案）」という。）は、河川ポンプ設備の精密診断に必要な技術的事項を示すことにより、精密診断の技術水準を確保し河川ポンプ設備の維持管理における状態監視保全の実施に資することを目的とする。

【解説】

(1) 背景

これまでに設置されてきた排水機場等の施設もその多くが 40 年以上を経過し、本格的な維持管理の時代に入り、老朽化の進行が大きな課題となってきた。

河川ポンプ設備は、公共施設としての性格上、万一その機能が損なわれた場合に周辺地域に与える社会経済的影響が大きいため、機能を正常に維持するために維持管理を適切に行うことが重要であり、河川法第 15 条の二及び同施行令第 9 条の三においても、河川管理施設等を良好な状態に保つように維持し、修繕することが定められている。

施設管理者は、ポンプ設備の機能の信頼性確保を図るために、点検・整備の実施とともに劣化の兆候があった場合の健全性確認、劣化状況把握を確実にを行い、修繕、更新等の措置を的確に行うことが求められている。

(2) 精密診断の役割

河川ポンプ設備の維持管理では、排水機能の信頼性確保の点から、故障を未然に防止するために行う予防保全が重要となっている。精密診断は、故障に至る前に、通常の点検では把握できない劣化の状況や原因等を明らかにするための活動であり、老朽化の時代を迎え維持管理において重要な役割を担うものとなる。

(3) 本マニュアル（案）の目的、位置付け（関連基準類との関係）

状態監視型予防保全の推進を目的として改訂された「河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案）（平成 27 年 3 月）」（国土交通省）（以下、「点検・整備・更新マニュアル」という。）において、「点検の結果異常の傾向が認められる場合、あるいは信頼性による取替・更新の標準年数を超えた場合、必要に応じて診断を実施する。」とされている。しかし、これまで待機系設備である河川ポンプ設備に対する精密診断手法について明確に示されたものがなかった。

本マニュアル（案）は、「点検・整備・更新マニュアル」の「3.3 装置・機器の診断」における「精密診断」を行うために必要となる解析の流れと評価の方案を、現在の知見に基づきまとめたものである。

本マニュアル（案）に記載している診断技術の内容は、現時点までの知見に基づく基本的なものであり、診断者は診断精度の向上を目指して技術力向上に努める必要がある。

今後、診断実績の蓄積による知見を踏まえて、経過年数、劣化状況等に見合った結果が

得られるように評価方法の改善を図っていく必要がある。

1.2. 適用範囲

本マニュアル（案）は、河川管理施設として設置されている排水機場、揚水機場、浄化機場等のポンプ設備の維持管理において実施される精密診断に適用する。

【解説】

(1) 本マニュアル（案）の精密診断で対象とする設備・装置

本マニュアル（案）の精密診断は、河川管理施設として設置されている排水機場、揚水機場、浄化機場等のポンプ設備のうち、次の形式・機種・構造の設備・装置を対象とする。

- ・ 主ポンプ（軸形式：立軸形、横軸形）
- ・ 主原動機（ディーゼル機関）
- ・ 動力伝達装置（歯車減速機）
- ・ 監視操作制御設備（コントロールセンタおよび機側操作盤二次側の動力回路・機器を含む）

その他の設備・装置については、その機能・構造等の技術的特性に応じて、本マニュアル（案）に示される関連する知見あるいはプラント等の他分野の知見を参考としての確に実施する必要がある。

(2) 点検・整備等の維持管理のプロセスと本マニュアル（案）を適用する精密診断の関係

一般的な河川ポンプ設備の維持管理では、通常は「実操作」→「点検」→「定常的に実施する整備・修繕」→「実操作」を繰り返す。経年や運転等による設備の劣化が発生すると、装置・機器単位での整備や更新の必要性を評価するため、点検結果及びその他必要な情報を基に健全度評価を実施し、整備・更新等の措置を決定していくこととなる。

本マニュアル（案）は、施設管理者が河川ポンプ設備の点検等の結果に基づき、装置・機器単位での整備や更新の必要性の評価を行う際に、健全度評価において必要になる機器等の劣化の状況やその原因等を明らかにするために実施する精密診断に適用するものである。

点検と装置・機器の診断のフローにおける本マニュアル（案）に示した精密診断の位置付けを図 1-1 に示す。

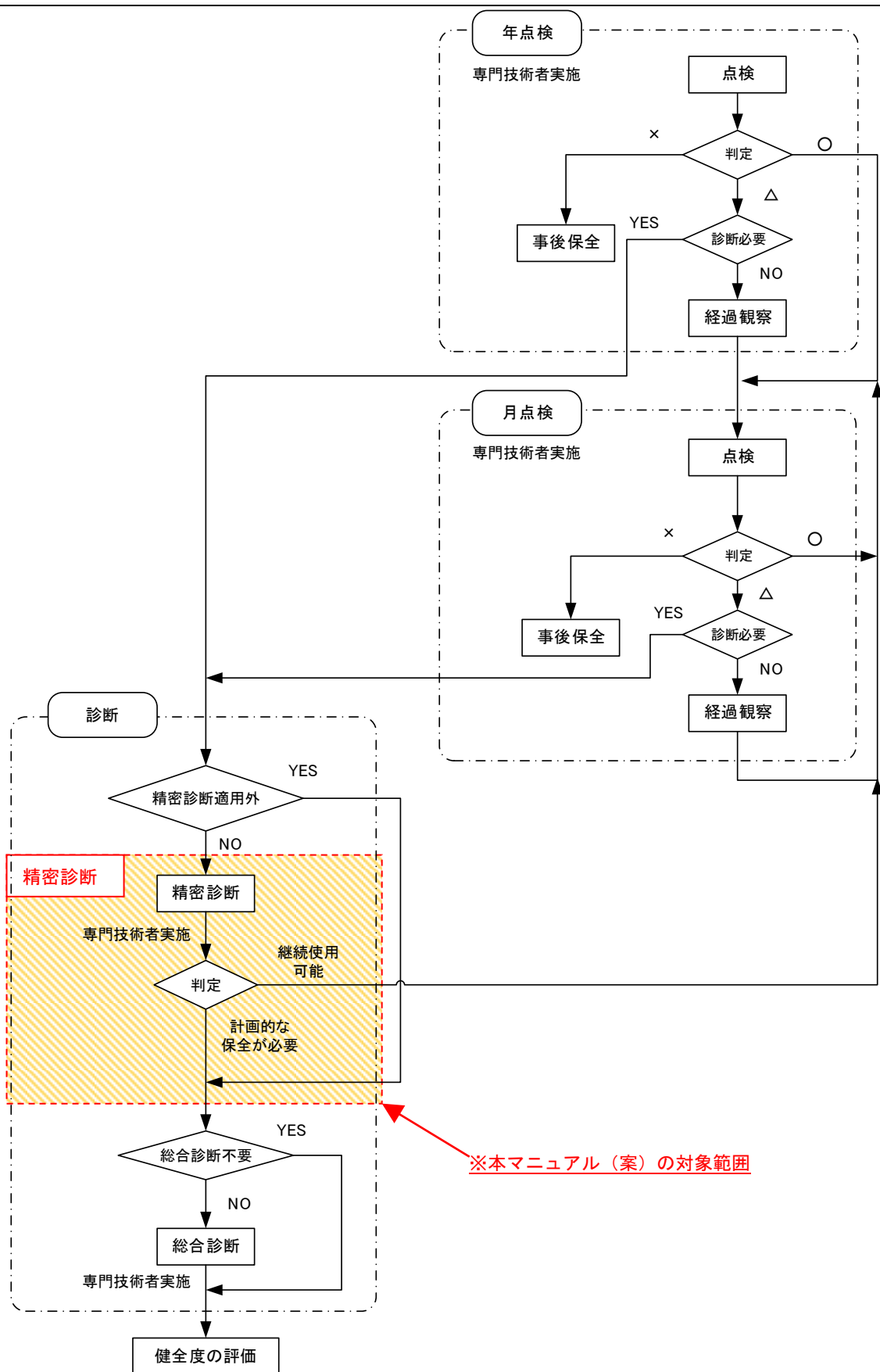


図 1-1 点検と装置・機器の診断のフロー^{出典[1]}における本マニュアル（案）の精密診断の範囲

1.3. 精密診断の基本

1.3.1. 精密診断の目的

精密診断は、河川ポンプ設備の状態監視保全において、傾向管理によって把握された異常の傾向並びに経年による健全度低下の有無について、異常箇所や劣化の程度等を特定、確認するために実施する。

【解説】

ポンプ設備の排水機能の信頼性確保の点からは故障を未然に防止するために行う予防保全の実施が重要であり、この予防保全を効率的、効果的に実施するために状態監視保全技術の導入、適用が進められている。 出典[2]

状態監視保全技術は、「傾向管理」と「精密診断」に大別され、一般的な考え方は次のとおりである。

傾向管理：「年点検時において、計測機器等を使用した点検項目・内容を定量的に把握し、これらの経年的な変化を管理していくことにより、設備や機器の劣化状態を把握し、将来整備すべき機器・部品の選定及び故障時期の推定に役立てるためのデータ管理を傾向管理（トレンド管理）という。」 出典[3]

精密診断：「装置・機器の運転状況において、機能低下の兆候が「振動」「騒音」「温度」などの状態監視項目に現れている場合、その発生箇所・原因の特定や劣化の程度を把握するために実施する計測及び解析をいう。」 出典[4]

傾向管理は、異常の早期発見などの異常の有無までを判定する管理方法であり、原因究明を目的としたものではない。このため、的確な整備時期の判断に繋げる取り組みとして、設備の異常箇所と劣化程度を特定、把握する精密診断が必要となる。

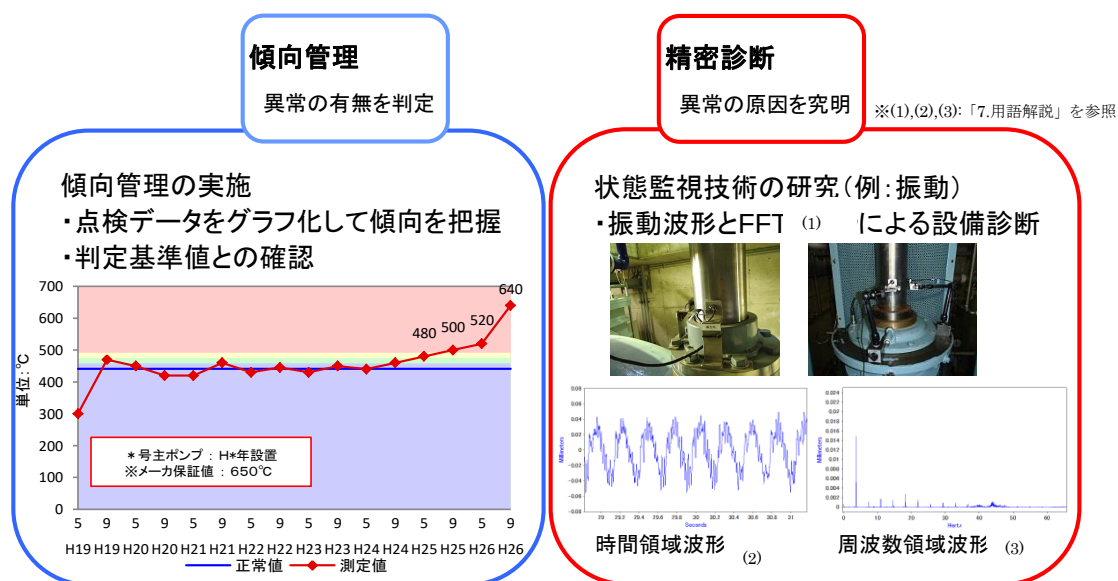


図 1-2 民間の常用系プラントの診断事例 出典[5]

1.3.2. 精密診断の適用^{出典[6]}

施設管理者は、次の2つの場合に精密診断の必要性を判断するものとする。

1. 点検結果において、装置・機器に異常の傾向が認められる場合（△評価の場合）
2. 使用経過年数が信頼性による修繕・取替の標準年数を超えた場合

【解説】

1. 点検結果において、装置・機器に異常の傾向が認められる場合（△評価の場合）

通常の保全のサイクルでは把握できない劣化の状況、劣化原因等の特定を行うための精密診断の必要性を判断する。

但し、傾向管理を実施しなくても機能の低下、局所的な異音の発生や発熱など定性的な事象から十分に異常と判断できる場合は、部分的な分解による異常箇所の同定を行う、故障（×判定）の場合は緊急な修繕を行うなどの措置をとる必要がある。

傾向管理においては、「注意値」を超えた場合に供用年数（設置後の経過年数、あるいは整備・更新後の経過年数）、定性的点検結果と合わせて精密診断の必要性を判断する。

2. 使用経過年数が信頼性による修繕・取替の標準年数を超えた場合

もう一つの精密診断を実施する契機として、信頼性による取替・更新年数が参照されている。（表 1-1、表 1-2 参照）

異常の傾向の有無にかかわらず、健全度の評価を行うために実施する。

表 1-1 河川用ポンプ設備における修繕・取替の標準年数(1) 出典[7]

機器・部品	保全方式	信頼性による修繕・ 取替の標準年数 (年)Yr	平均の修繕・取替 標準年数 (年)Ym	修繕実績の平均値 (年)	取替実績の平均値 (年)
主ポンプ(立軸)					
吐出しベンド(ケーシング)	状態監視	22	(52)	25	37
主軸	時間計画	19	38	19	26
軸継手	時間計画	21	(46)	18	25
外側軸受	時間計画	21	(50)	17	24
インペラ	時間計画	21	(44)	14	17
水中ゴム軸受	時間計画	21	(49)	20	24
グランドパッキン	状態監視	(16)	(38)	19	23
水中セラミックス軸受	時間計画	19	(43)	16	23
無給水軸封装置	時間計画	(20)	(41)	19	27
主ポンプ(横軸)					
吐出しベンド(ケーシング)	状態監視	23	(60)	25	44
主軸	時間計画	14	46	25	34
軸継手	時間計画	18	46	26	34
外側軸受	時間計画	16	38	21	30
インペラ	時間計画	16	43	26	37
水中メタル軸受	時間計画	19	(47)	20	29
グランドパッキン	状態監視	13	34	21	23
軸受用グリースポンプ	状態監視	24	(50)	26	30
水中セラミックス軸受	時間計画	24	(57)	—	17
無給水軸封装置	時間計画	22	53	27	33
主ポンプ(水中)					
インペラ	状態監視	(17)	(34)	16	20
吐出し弁					
弁箱	時間計画	(36)	(93)	20	33
弁体	時間計画	(34)	(86)	22	27
減速機構部およびスピンドル	時間計画	(32)	(63)	21	34
電動機	状態監視	(34)	(75)	22	27
逆流防止弁					
弁箱	事後保全	(37)	(80)	25	31
弁体	事後保全	(31)	(58)	28	32
弁軸	事後保全	(32)	(57)	26	30
ディーゼル機関					
シリンダヘッド	時間計画	13	33	17	21
クランク室	時間計画	15	36	20	28
過給機	状態監視	13	33	20	26
ピストン	時間計画	14	33	20	25
外部軸受	時間計画	19	46	17	25
遠心クラッチ	時間計画	21	(45)	22	30
初期潤滑油ポンプ	状態監視	18	40	19	26
機関オイルパン	状態監視	18	43	24	30
潤滑油濾過器	事後保全	13	32	17	21
クランク軸	時間計画	18	46	24	29
潤滑油冷却器	状態監視	15	35	20	25
排気管	時間計画	16	38	17	23
ラジエータ	時間計画	(28)	(49)	24	32

表 1-2 河川用ポンプ設備における修繕・取替の標準年数(2) 出典[8]

機器・部品	保全方式	信頼性による修繕・ 取替の標準年数 (年)Yr	平均の修繕・取替 標準年数 (年)Ym	修繕実績の平均値 (年)	取替実績の平均値 (年)
減速機(空冷・水冷)					
オイルシール	事後保全	(24)	(47)	22	26
潤滑油ポンプ	状態監視	23	47	20	24
潤滑油濾過器	状態監視	(25)	(50)	21	25
潤滑油冷却器	時間計画	(24)	(49)	19	23
軸受	時間計画	(23)	(46)	19	26
歯車	時間計画	(30)	(58)	24	29
系統機器(燃料系統・冷却水系統・始動空気系統・満水系統)					
<燃料系統>					
燃料貯油槽(地下タンク)	時間計画	21	(55)	21	27
燃料小出槽	時間計画	(24)	(63)	24	29
燃料移送ポンプ	事後保全	19	(40)	16	26
<冷却水系統>					
冷却水用水槽類	時間計画	24	(47)	20	22
冷却水配管	時間計画	19	(44)	20	21
冷却水ポンプ(水中ポンプ)	時間計画	16	(37)	15	20
冷却水ポンプ(陸上)	時間計画	19	(47)	14	21
オートストレーナ	時間計画	12	(30)	14	17
クーリングタワー	時間計画	17	(40)	14	31
管内クーラ	時間計画	20	(44)	22	25
<始動空気系統>					
空気配管	時間計画	(22)	(50)	22	24
空気圧縮機	事後保全	13	32	17	24
始動空気槽	事後保全	18	(46)	18	28
<満水系統>					
補給水槽	時間計画	15	39	13	30
真空ポンプ	時間計画	14	34	19	29
低圧受電設備					
直流電源設備部(制御用)	時間計画	(21)	(59)	-	27
監視操作制御設備(機場)					
<機場集中監視操作盤>	時間計画	20	(49)	16	23
<機側操作盤>	時間計画	(20)	(62)	27	30
<補助継電器盤>	時間計画	(21)	(55)	15	26
<コントロールセンタ>	時間計画	(26)	(53)	19	20
除塵設備(水平コンベア)					
ベルト	時間計画	(25)	(53)	30	32
ローラ・軸受	時間計画	(28)	(52)	25	26
除塵設備(操作制御)					
機側操作盤	時間計画	(31)	(59)	16	26

注記

- ① () として記載している年数は、解析データが少ない為、今後データを収集し更に数値の信頼性を高める必要のある年数である。
- ② 表中の数値は、実績データから解析した暫定値であり、個々の装置・機器の劣化状態を直接的に表すものではなく、あくまで目安である。中長期保全計画においては、各施設における過去の実績等から固有の周期を設定するが、実績がない場合は本表の実績の平均値を用いることができる。
- ③ 信頼性による修繕・取替の標準年数は、この時期から一層注意して健全度を見極めるべき年数である。
平均の修繕・取替の標準年数は、時間計画保全の実施タイミングを検討する1つの指標である。
- ④ 各機器・部品等における修繕、取替などの実施手法は、総合診断の結果に基づき決定する。

1.3.3. 精密診断の実施方法

1. 精密診断には、大別して「計測データ解析による方法」「工業用内視鏡による方法」「分解点検による方法」がある^{出典[9]}。本マニュアル（案）では第1項及び第2項による方法を対象とする。
2. 精密診断の実施においては、既往の点検結果等を把握・分析するとともに、必要に応じて単独或いは複数の計測方法により、それらの計測・分析結果を踏まえて総合的に診断する。
3. 精密診断は、専門技術者あるいは専門技術者と同等の技術力を有する者が行う。

【解説】

(1) 精密診断の方法

計測データ解析による方法には、「振動」「温度」「電流」「潤滑油成分」等について計測・診断するものがある。本マニュアル（案）では「振動計測」、「漏洩電流計測」の手法を対象として記載している。また、実施例、知見がまだ少ないが今後有効に活用できる可能性のある「赤外線サーモグラフィ」による方法について、参考資料に付記している。

工業用内視鏡による方法は、装置・機器の内部に工業用内視鏡を挿入し、観察及び撮影画像により診断するものである。本マニュアル（案）では主ポンプ及び主原動機（ディーゼル機関）を対象とした計測・診断を記載としている。

表 1-3 に、各方法の概要を示す。

表 1-3 本マニュアル（案）記載の精密診断の方法

技術名称	概要	本マニュアル（案）記載の精密診断の方法
「計測データ解析による方法」		
振動計測・解析	稼働中の回転機械の振動の状態（変位、速度、加速度）を計測し、その時間波形、周波数解析波形等から機械の劣化箇所やその程度を診断する。	(1) 主ポンプの軸振動の計測・解析 主ポンプの回転数は極めて低く（1 Hz～数 Hz）、本来「変位」で計測すべき領域である。回転している主軸の変位を渦電流式変位計で非接触で計測し、解析することで、主ポンプの状態を診断する。 【第 2 章】 2-1～
		(2) 歯車減速機の振動計測・解析 減速機の振動は運転時に減速機内部の歯車や軸受等から発生し、軸、軸受を介してケーシングや架台に伝達される。このケーシングや架台の振動（加速度）を計測、解析することで、減速機内部の状態を診断する 【第 3 章】 3-1～
漏洩電流計測・解析	通常の電源電圧の条件下で、測定箇所より下流側の電路について絶縁抵抗に流れる漏洩電流を計測し、劣化箇所等の診断を行う。	・監視操作制御設備の漏洩電流計測・解析 漏洩電流のうち機器に影響を及ぼす抵抗漏洩電流成分のみを検出できる漏電計測器を用いて、測定箇所より下流側の電路における漏洩電流の総量が計測可能で有る。これを用いて、劣化箇所やその程度の診断を行う。 【第 6 章】 6-1～
「工業用内視鏡による方法」		
工業用内視鏡撮影・評価	細いケーブルの先端に装着された柔軟に動く超小型カメラを用いて、僅かな隙間から機械内部の対象に接近し、目視では確認できない箇所の観察・撮影を行う。	(1) 主ポンプ本体の工業用内視鏡撮影・評価 主ポンプの点検口から工業用内視鏡を挿入し、内視鏡のカメラ部を内部の羽根車、案内羽根、主軸、水中軸受、ケーシング等に接近させ、各部の状況（劣化、損傷、異物等）の観察・撮影を行う。本マニュアル（案）の評価指標（案）に照らして診断する。 【第 4 章】 4-1～
		(2) 主原動機（ディーゼル機関）の工業用内視鏡撮影・評価 主原動機（ディーゼル機関）のシリンダーヘッド内部及び過給機内部を、燃料弁やプラグ等の取付孔から挿入した内視鏡により観察・撮影し、劣化状況等を把握する。 【第 5 章】 5-1～

(2) 精密診断の実施手順

精密診断は、対象設備を現場で計測・観察し、その結果に基づき診断を行うものである。
一般には次の手順で実施する。

- ① 実施計画立案
- ② 計測・観察
- ③ 分析・診断
- ④ 診断報告書とりまとめ

1) 実施計画立案

精密診断に着手する際には、まず精密診断を実施する理由、目標を明確にし、対象設備に関する関連情報を十分把握したうえで実施計画を立案する。

2) 計測・観察

実施計画に基づき、実施体制、使用機材の確保を行うとともに、事前に施設管理者等と調整を行い、詳細な作業スケジュールを作成する。

3) 分析・診断

現場における計測・撮影結果に基づき、必要な解析・評価を行い、精密診断の結果をとりまとめる。

診断を担当する専門技術者は、現場で把握した対象設備の状況や関係者からのヒアリング結果、収集した事前情報等を踏まえ、計測・撮影の解析・評価結果に基づき診断を行う。

4) 診断報告書とりまとめ

計測・診断結果を整理し、施設管理者が設備の健全度の評価のために必要とする精密診断報告書を作成する。

1. 4. 精密診断の実施計画

1. 4. 1. 実施計画の立案

1. 精密診断は、事前に実施計画を作成し、関係者と調整の上実施する。
2. 実施計画は、対象施設が精密診断を必要とする理由を整理し、精密診断の目標を明らかにした上で立案する。
3. 精密診断の目標に応じて一つあるいは複数の診断方法を選定する。
4. 精密診断の実施に必要な技術力を有する実施体制を確保する。
5. 現場計測は、対象設備の運転条件、計測可能時期、構内の条件等を踏まえて、診断に必要な計測結果を得られるように計画する。
6. 診断は、計測結果、設備の事前情報並びに関連する技術基準、規格等の最新の知見に基づき行い、的確な評価結果が得られるように計画する。

【解説】

1. 精密診断は、点検の傾向管理において異常の兆候が見られた場合や設置後の経過年数が信頼性による修繕・取替の標準年数を超えた場合に実施するが、着手する際には、精密診断を実施する理由、目標を明確にし、対象設備に関する関連情報（対象施設の役割・機能、設備の現況、これまでの稼働・点検・整備等の履歴等）を十分把握したうえで実施計画を立案する。
2. 実施計画作成においては、対象施設の現在の運転状況、最近の点検結果、傾向管理の結果を踏まえて、精密診断を必要とする理由、精密診断の目標を明らかにする。
3. 精密診断を必要とする理由、精密診断の目標に応じて、適した診断方法を選定するものとするが、状況によっては複数の診断方法を選定することもあり得る。例えば、主ポンプの振動に増大の傾向が見られたため、軸振動の計測、解析を行った結果、羽根車の異常の可能性が明らかになり、工業用内視鏡撮影で損傷が確認される等の場合もあり得る。
4. 現場計測の立案においては、現場計測に当たっての条件等を把握し、診断における解析方針、見通し等を事前に検討した上で必要な計測計画を立案する。
5. 診断は、計測結果についての所要の解析を行い、本マニュアル（案）に記載した評価指標、関連する技術基準、規格等の最新の知見に基づき実施する。

1.4.2. 実施体制の確保

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. 精密診断は一定の専門知識を有する技術者（以下、「専門技術者」という。）が実施するものとする。2. 設備の計測・診断の実務作業における一定の技術水準を保つために、計測・診断業務に必要な知識とスキルを有する者による実施体制を確保するものとする。 |
|--|

【解説】

- ・ 本マニュアル（案）で述べる精密診断を担当する専門技術者には、対象設備の構造・機能や運転状態、異常が生じた際の症状の発現等に関する専門的な知見と計測・診断に関する専門知識が求められる。
- ・ 例えば、主ポンプの機械振動の計測診断では、ISO で定められた機械状態監視診断技術者が有するような機械振動に関する知識と主ポンプの構造や実運転の状況、維持管理に関する知識、経験が必要となる。
- ・ また、設備の運転状況の計測や設備内部の観察などでは、対象の設備の運転や点検口開閉や点検整備における分解組み立て等の作業が必要になることから、対象設備の点検整備を的確に実施できる実施体制を確保する必要がある。
- ・ 現場の実務においては、運転を伴う計測（振動計測、漏電計測）では管理運転時に並行して実施するなど効率的な作業工程を組む必要があり、対象設備のメンテナンス業者等とも緊密に連携できるように計画する必要がある。

1.5. 計測

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. 対象の河川ポンプ設備は河川管理施設としての役割担っており、計測に当たっては施設管理者と連絡調整を十分に行い、その機能に支障が無いように留意する。2. 対象設備の設置状況や管理運転点検等の作業手順に沿った計測方法、計測体制で実施する。3. 計測時は、対象設備の運転状態や計測機器の設置・操作状況等、診断の参考となる計測状況の観察に十分留意する。 |
|--|

【解説】

1. 現場での計測に当たっての一般的留意事項を以下に示す。
 - ・ 施設管理者との連絡調整（施設の運転、点検・整備等の工程調整、地元対応等）
 - ・ 現場における安全管理、関連工事等との調整
 - ・ 管理運転等を実施するメンテナンス業者等との事前調整
 - ・ 照明、計測器用電源の確保
 - ・ 計測作業手順や所要時間を想定した具体的な計測スケジュールの計画
 2. 計測時には、単に計測機器による計測を行うだけでなく、設備の運転状態や計測状況について各技術者とも注意力を集中し観察する。
-

1. 6. 診断

1. 精密診断は、維持管理サイクルにおける健全度の評価に資するように実施する。
2. 精密診断において、計測結果に基づく機器等の評価は、本マニュアル（案）に示された評価基準によるほか、関連する技術基準、規格等の最新の知見に基づき行う。

【解説】

- ・ 精密診断は、表 1-4 に示す健全度の評価に資するように実施する。但し、各診断技術に限界があることから、診断対象となる機器の仕様や現場条件によっては評価が難しい場合がある。精密診断を実施する専門技術者は、評価が難しい場合、その根拠を明確にしたうえで真摯に結果を示す必要がある。
- ・ 精密診断における機器等の評価は、計測結果、事前の運転時及び点検・整備時の履歴情報、当該診断技術に関する技術情報、類似事例、設備等のメーカーからの技術情報等を勘案し、本マニュアル（案）及び関連技術基準、関連規格等に基づき、総合的に実施する。
- ・ 精密診断の結果、予防保全段階に至らず経過観察と評価する場合においては、以後の精密診断の実施について慎重に検討し、傾向管理による予防保全の観点と、より多くの事例を調査してデータを蓄積する観点から、適切な間隔で精密診断を計画・実施する。
- ・ 精密診断の結果について、過去に実施した診断結果がある場合には比較・検証を重ねる。

表 1-4 点検の結果による健全度の評価内容^{出典[10]}

健全度の評価	状態	健全度の評価指標	
		傾向管理が可能なもの	傾向管理が不可能なもの
×	点検の結果、設備・装置・機器・部品の機能に支障が生じており、緊急に措置（整備・取替・更新）が必要な状態	設備・装置・機器・部品の機能が低下あるいは停止もしくは運用不可能である場合	
△1 (予防保全段階)	点検、精密診断、総合診断等の結果、設備・装置・機器・部品の機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置（整備・更新・取替）を行うべき状態	1. 点検の結果、計測値が予防保全値を超過している場合 2. 精密診断、総合診断により早急に措置を行うべきと評価した場合	1. 点検の結果、目視、触診・指触、聴診・聴覚、臭覚によって異常が確認でき、かつ次の条件のいずれかに該当するもの ①総合診断により早急に措置を行うべきと評価した場合 ②建設や整備・更新後間もない運用初期にある場合 ③通常の運用を継続すると故障を起こす可能性が高いと判断した場合 2. 経過年数が平均の取替・更新の標準年数以上である場合
△2 (予防保全計画段階)	点検、精密診断、総合診断等の結果、設備・装置・機器・部品の機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置（整備・更新・取替）を行うことが望ましい状態	1. 点検の結果、計測値が注意値を超え、予防保全値以下の場合 2. 精密診断、総合診断により、2～3年以内に措置を行うことが望ましいと評価した場合	1. 点検の結果、目視、触診・指触、聴診・聴覚、臭覚によって異常が確認でき、かつ次の条件のいずれかに該当するもの ①総合診断により2～3年以内に措置を行うことが望ましいと評価した場合 ②異常の原因が特定できており長期の使用に問題があると判断した場合 2. 経過年数が平均の取替・更新の標準年数近傍(2～3年前)である場合
△3 (要監視段階)	点検の結果、設備・装置・機器・部品の機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態	点検の結果、計測値が異常傾向を示しているが注意値以下の場合	点検の結果、目視、触診・指触、聴診・聴覚、臭覚によって異常が確認できるが、過去の点検結果などから継続使用が可能と判断できる場合
○ (健全)	点検の結果、設備・機器・部品の機能に支障が生じていない状態	点検の結果、計測値が正常値である	点検の結果、目視、触診・指触、聴診・聴覚、臭覚によって異常が認められない場合

注記) 1) 年点検・月点検において、目視・指触・聴覚等による点検項目に関しては、異常が確認された時点で計測項目を適切に設定し管理することを基本とする。

2) △1 及び △2 の評価指標における「平均の取替・更新の標準年数」は、固有の時間計画保全年数を定めている場合は当該年数により評価する。

3) 健全度の評価△1～△3の整理を対象とするが、本表では点検時に判定する×と○を参考として併記した。

1.7. 報告及び記録活用

1. 計測記録、計測結果および診断結果を分かりやすくまとめた診断報告書を作成する。
2. 施設管理者は、診断報告書に基づき、必要な措置を採るものとする。
3. 計測結果や診断結果についての記録は、以降の精密診断の精度向上やポンプ設備の維持管理の改善のために有効に活用する。

【解説】

1. 診断報告書には、測定対象、測定日、測定者、測定方法、測定結果、診断結果を分かりやすくまとめるものとする。

1.8. 用語の定義

- (1) 施設 利水、利水の目的で建設されるポンプ場とその付属施設（流入水路、吐出水槽、吐出樋門、流入樋門、沈砂池送水管）をいう。
- (2) 設備 装置、機器の集合体であり、排水機場設備、揚水機場設備等の施設機能を発揮する構成要素をいう。
- (3) 装置 機器、部品の集合体であり、主ポンプ設備、主ポンプ駆動設備等の設備機能を発揮する構成要素をいう。
- (4) 機器 部品の集合体であり、主ポンプ、主配管等の装置機能を発揮する構成要素をいう。
- (5) 部品 ケーシング、インペラ、主軸、軸受等の機器の構成要素をいう。
- (6) 健全度 設備の稼働及び経年に伴い発生する材料の物理的劣化や、機器の性能低下、故障率の増加等の状態をいう。
- (7) 故障 設備、装置、機器、部品が劣化、損傷等により必要な機能を発揮できないことをいう。
- (8) 保全 設備、装置、機器、部品が必要な機能を発揮できるようにするための点検、整備、更新をいう。
- (9) 予防保全 故障の発生を未然に防止するために実施する保全をいう。
- (10) 事後保全 故障した設備、装置、機器、部品の機能を復旧するための保全をいう。
- (11) 点検 設備の異常ないし損傷の発見、機能の良否の判定のために実施する目視、計測、作動テスト等の作業をいう。
- (12) 管理運転点検 設備の管理運転により、設備全体の機能、状態の把握と機能保持を目的に行う点検をいう。
- (13) 管理運転 設備の作動確認、装置・機器内部の防錆やなじみの確保、運転操作の習熟等を目的に行う試運転をいう。
- (14) 傾向管理 状態監視のうち、点検時に取得した計測データの劣化傾向から、設備や機器の劣化状態を把握し、将来整備の必要な機器等の選定及び故障時期の推定に役立てるためのデータ管理（トレンド管理）をいう。
- (15) 精密診断 装置・機器の運転状況において、機能低下の兆候が「振動」「騒音」「温度」などの状態監視項目に現れている場合、その発生箇所・原因の特定や劣化の程度を把握するために実施する計測及び解析をいう。
- (16) 整備 機能維持のために定期的に、又は点検結果に基づき適宜実施する清掃、給油脂、調整、修理、機器・部品の取替、塗装等の作業をいう。
- (17) 修繕 設備、装置、機器、部品の故障、機能低下に伴う調整、修理等、機器の復旧及び機能及び保持を目的とした作業をいう。
- (18) 取替 故障又は機能低下した機器、部品の機能を復旧するために新品にすることをいう。

-
- | | |
|-----------|--|
| (19)修理 | 設備の機能を確保することを目的に、設備の運転に伴って発生する各部の摩耗、損傷、接合部や接触部のずれ等を溶接や機械加工により正常状態に戻す作業をいう。 |
| (20)分解整備 | 機器の分解を伴う整備をいい、オーバーホールと同義である。分解点検と同時に実施する。 |
| (21)更新 | 故障又は機能低下した設備、装置の機能を復旧するために新しいものに設置しなおすことをいう。 |
| (22)管理者 | 施設の運転操作および保全に関する責任者をいう。 |
| (23)運転操作員 | 設備の運転操作を行うことを管理者から認められた者をいう。 |
| (24)専門技術者 | 設備の保全を行うにあたって、必要にして十分な知識及び実施能力を有する技術者をいう。 |

1. 9. 新たな知見・技術への対応

本マニュアル（案）は、振動計測・診断、工業用内視鏡撮影・診断、漏洩電流計測・診断に関する技術的事項を示すが、各診断方法による評価と判定手法に関し、新たな知見あるいは新しい技術開発が認められた場合、それらの適用を妨げるものではない。

【解説】

- ・ 精密診断は、不具合等の発生箇所・原因の特定や劣化の程度を把握するために実施する計測および解析であり、故障の予兆や異常事象との因果関係が明確な手法が求められる。
- ・ 本マニュアル（案）において示している計測や評価に関する技術的事項は、現状の知見に基づく基本的なものである。
- ・ 診断を実施する者は診断精度の向上を目指して技術力向上に努める必要があり、また実際に得られる診断実績を蓄積してくなかで、診断結果と不具合・故障あるいは整備・更新時に得られる劣化情報を比較し、診断に係る計測・評価方法を改善していくべきものである。
- ・ 本マニュアル（案）に取上げた技術のみならず、主に民間のプラント設備等のメンテナンスにおいて、計測技術及び診断技術の進展は日進月歩であり、各技術の評価基準（ISO 等）に関しても随時改定が行われている。従って、本マニュアル（案）は、技術的根拠がある新たな知見あるいは新しい技術について、それらの適用を妨げないものとする。

2. 振動計測・診断（主ポンプ）

2.1. 基本事項

2.1.1. 対象設備

本章で述べる主ポンプの振動計測・診断は、主ポンプ形式が陸上ポンプの立軸式及び横軸式の主ポンプを対象とする。

2.1.2. 適用範囲

本章で述べる振動計測・診断は、点検で実施される主ポンプ主軸及び軸受の振動の傾向管理において、異常の傾向が認められる場合（△評価）、あるいは信頼性による修繕・取替の標準年数を超えた場合の精密診断に適用する。

【解説】

- ・ 主軸の軸振動及び外側軸受の振動についての傾向管理で、相対値評価で計測値が正常範囲から外れる傾向が続くなど異常の傾向が見られる場合に精密診断の必要性を判断する必要がある。
- ・ その他に、聴診による異常音の検出等の定性的な判断においても通常状態に対し、明らかな差異が確認された場合は、精密診断を行う。

2. 2. 計測・診断実施方法

2. 2. 1. 計測・診断手法の概要

主ポンプの振動計測・診断は、運転時の主軸の振動（変位）を計測・解析することにより行うことを標準とする。

【解説】

- ・ 主ポンプの羽根車、主軸、水中軸受の健全度を評価するために、主軸の振動の変位を時間領域波形として測定・記録し、そのデータを解析評価することで診断を行う技術である。
- ・ 振動計測、振動波形解析及び周波数解析は、民間のプラント設備等のメンテナンスなどで一般的に活用されている技術であり、回転機器に生じた不具合の特定や原因分析を行うことが可能な技術である。
- ・ 主軸の回転速度が低い場合は、ポンプのアンバランスや軸曲がり、羽根車の異常傾向などの検出は、一般的な圧電式加速度センサによるポータブル振動計による計測・解析では難しい面があると考えられ、そのような場合は次に述べる非接触式変位センサ（渦電流式変位計）による計測・解析が適切と考えられる。
- ・ 渦電流式変位計による計測・診断手法の概要紹介

河川用ポンプ設備では、減速機によって減速された回転数が(50m³/s 級のポンプでは)1Hz (60min⁻¹)程度のもことから数 Hz 程度のもも多く、本来「変位」で計測すべき領域になる。この場合、測定対象となるべき機器・部品は、水中軸受、主軸、羽根車などだが、これらは回転しているので、接触させて計測する加速度計では計測することができない。

新しい取り組みとして、国立研究開発法人土木研究所において主ポンプ主軸まわりに渦電流式変位センサを取り付けて計測を行っている^{参考文献 1)}。

精密診断として、周波数分布・主軸中心の横断面上の動きを分析し、主ポンプ羽根車、水中軸受の異常を検出することが可能である。

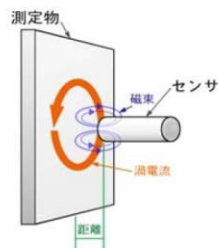
渦電流式変位センサのしくみと原理を図 2-1に示す。

〇しくみ・原理

センサ内のコイルに高周波電流を流すことにより、高周波磁束が発生。

この磁界内に測定対象物(金属)を置くと、対象物表面に渦電流が発生。

この渦電流が、コイルと測定対象物との距離が近いほど大きくなる性質を利用して変位を計測する。



わずかに事例のある、設置が物理的に困難な事例を除けば、基本的にはどのポンプでも適用可能。



設置位置



計測状況

〇長所

・構造が簡単で堅牢、特性が安定しているため信頼性が高い

×短所

・移設する毎に、設備運転前に校正作業を行う必要があるため、準備時間を要する(30分程度)。

・主軸周りが狭隘だとセンサの取り付けが困難。
(研究ではマグネットスタンドで仮設しているためこのような短所が発生するが、本来は常設するものである)

図 2-1 渦電流式変位計による主軸の振動計測^{出典[1]}

- ・ 精密診断に用いる測定パラメータと評価方法の組み合わせ事例を以下に示す。

測定パラメータ : 主軸変位 (軸横断方向 2 軸測定)

解析方法 : 各軸最大変位量、変位波形周波数解析、変位測定値を用いた速度変換値、オービット解析^{参考資料(4)}

- ・ 対象設備の規模、構造、運転状態、検知したい事象あるいは計測技術の特性などにより上記の方法によらない場合は、専門技術者が的確に判断するものとする。
この場合、専門技術者は活用する計測・解析技術の適用範囲、計測精度等の特性を熟知し、精密診断で検知したい事象との適合を確認した上で行い、その点を含め報告をまとめるものとする。

2.2.2. 計測・診断の手順・要領

振動計測器を用いた計測・診断フローを図 2-2に示す。

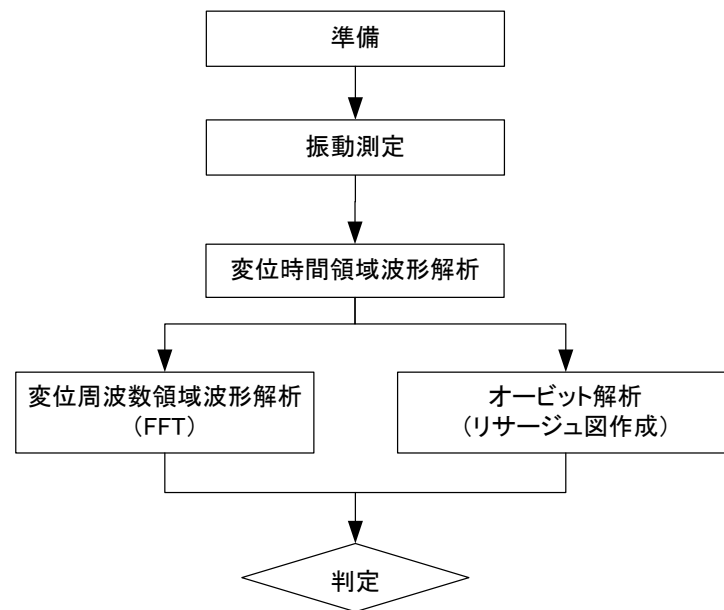


図 2-2 診断のフロー

2.3. 準備

2.3.1. 資料の収集

振動計測による精密診断は、対象設備の仕様の把握が必要であることから、資料を収集し、当該情報をもとに異常が起きた際に発生する周波数を事前に計算する。

【解説】

- ・ 計測前に、対象設備の構造・仕様の把握が必要であるため、既設完成図書等から詳細を確認する。特に、振動の形態に影響を及ぼす主軸、羽根車及びこれを支持・拘束する水中軸受、外部軸受、減速機との連結部等について把握する。
- ・ 精密診断の事前準備として、対象設備の仕様の把握が必要で主な項目は次のとおりである。なお、周波数の計算方法については、2.5.2項を参照のこと。

- ① 主ポンプ回転速度
- ② 主軸仕様（軸径、軸材質）
- ③ 軸受構造、材質
- ④ 保護管の有無
- ⑤ 主原動機の回転数
- ⑥ 羽根車数
- ⑦ 案内羽根数
- ⑧ 振動初期値

[注意事項]

- ・ 仕様は完成図書に記載されていないものもある（案内羽根数等）。
- ・ ノウハウに当たるものもあるので、開示されない場合もあるが、可能な限りメーカーに確認することが必要である。
- ・ 初期値についての考え方は、「河川用ポンプ設備状態監視ガイドライン（案）（平成 27 年 1 月）」に示されており、「据付時、分解整備完了時の振動測定値を初期値とする。また、新規設置（更新）時又は最新整備時後から 1 年程度で機器が安定した状態の測定データの平均値を基本とする。」とある。しかしながら、測定するポンプ設備が初期状態（正常）であるかは一度の調査では判別できないケースが多い。その場合は、逆に注意値を次の方法で設定し、測定値がそれ以下であることを確認して当該値を「初期値」とする方法がある。以降に詳細を示す。

① 製作時の施工管理情報から注意値を設定する方法

河川ポンプ設備の軸受は、ゴム、セラミックス、フェノールやテフロン系樹脂など多様な素材が採用され、素材や規模によって製作管理値は異なる。また、羽根車や主軸の釣り合い精度や真直度も製作時に管理値があり、それらの具体的な数値が把握できれば、異常有無を判断するための指標となり得る。例えば製作時（又は整備時）における主軸真直度の最大値（絶対値）と水中軸受の内径管理値（設計値からの許容最小値）の合算値をもって「注意値」としての判断指標と考える。

② ISO 7919-3^{出典[2]}を準用して注意値を設定する方法

注 意 値： $9,000/N^{1/2}$ ($\mu\text{m P-P}$) 以上 (N：主軸回転数(rpm))

予防保全値： $13,200/N^{1/2}$ ($\mu\text{m P-P}$) 以上 (N：主軸回転数(rpm))

なお、この ISO 7919-3 は、本来 1000rpm 以上の機械への評価であるが、(国研)土木研究所でこれまで測定したデータと照らし合わせて「当面の目安として準用可能」としている。なお、図 2-3 に示すゾーンは、ISO 7919-3 の示すゾーンラインを、1,000rpm 以下に延長したものが最も設備異常の有無と振動測定結果との相関を示していた結果から、河川ポンプ設備の主軸振動値の評価に準用する^{参考文献 2)}。

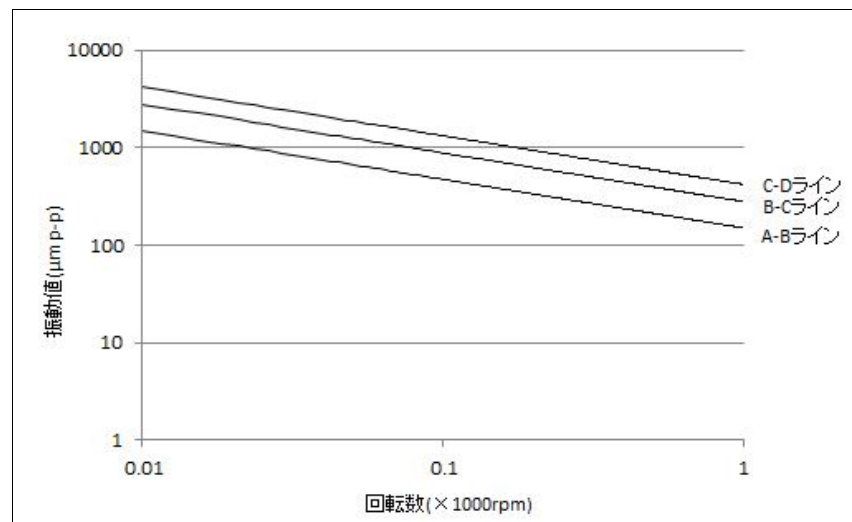


図 2-3 河川ポンプ設備の主軸振動値の評価ゾーン

③ メーカーの振動許容値（ただし主軸振動値としての許容値）から注意値を設定する方法

主ポンプ主軸振動の管理値は明確でない場合が多い。よって設備管理者は、主ポンプ主軸振動の管理値の有無についてポンプメーカーに確認しておくことが望ましい。

④ 芯出し(芯ずれ)の基準^{出典[3]}を参考に注意値を設定する方法

たわみ継手 中間軸あり	0.15mm
たわみ継手 中間軸なし	0.05mm
リジット継手	0.05mm

2.3.2. 計測箇所の検討

変位計測位置は、グランド部直近の主軸露出部を標準とする。

【解説】

- ・ 振動計測用センサの取り付け可否を確認する。
- ・ 軸露出部が測定ポイントとなる。軸表面の状態を確認し、傷や腐食による凹凸がない面を測定する。ただし、機械加工された面が保持されていれば、塗装されていてもデータの精度に影響がない。
- ・ 立軸・横軸ポンプとも、水中軸受・羽根車の状態を評価するために実施するので、近い箇所の測定を優先するものとし、困難な場合は軸露出部のいずれか(主軸本体で測定できない場合、精度が低下する恐れはあるが主軸接合フランジの側面など)を現場状況に応じて選定するものとする。図 2-4～図 2-6に測定箇所の標準を示す。

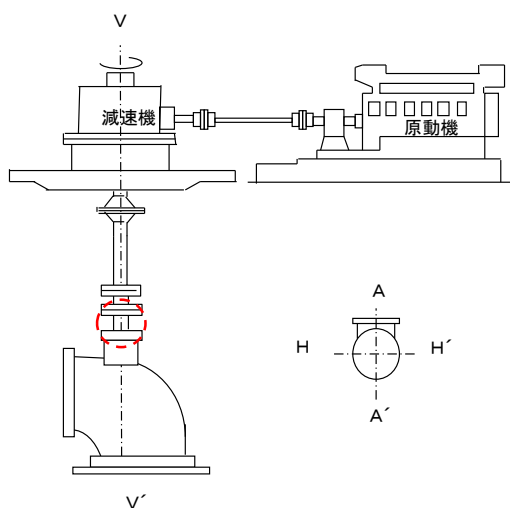


図 2-4 立軸ポンプ設備振動（変位）測定箇所（参考）

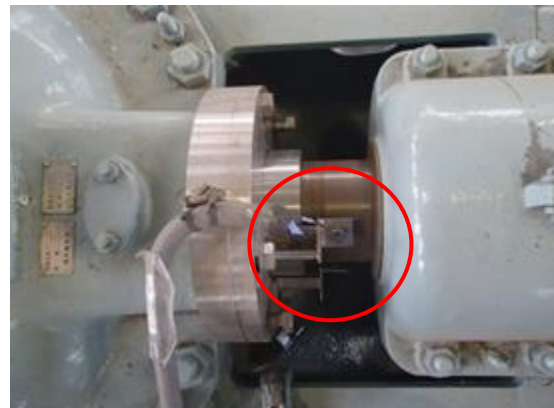
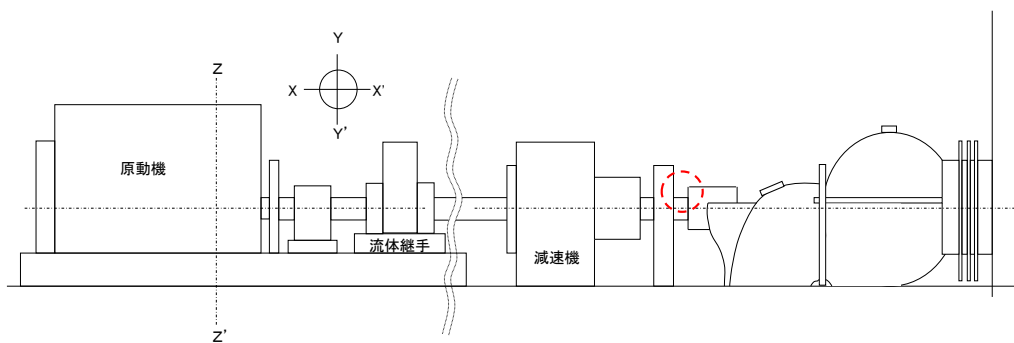


図 2-5 横軸ポンプ設備振動（変位）測定箇所（参考：固定金具による常設方式）

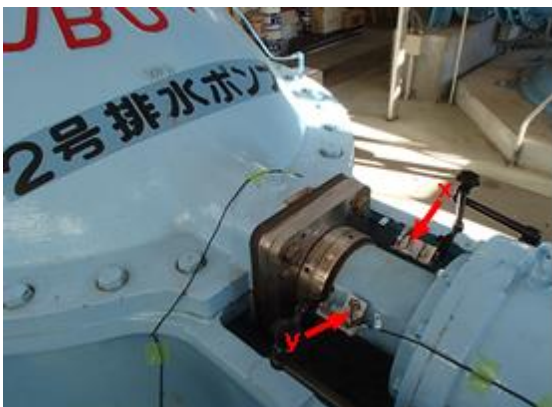


図 2-6 横軸ポンプ設備振動（変位）測定箇所（参考：マグネットスタンド）

- ・ 図 2-6写真左図の垂直水平方向の測定では、主軸の自重の影響のため、垂直方向の振幅が大きい傾向にあることから、図 2-6写真右図のとおり左右上方 45° からの測定方法もある。

2.3.3. 使用機器（変位測定機器）の手配

計測器は、渦電流式変位センサ、設置架台、渦電流式変位計、データロガー等を組み合わせた、変位が計測可能、かつ時間領域波形を収録できる機器を標準とする。

【解説】

- 使用する機器の用途を次のとおり示す。

センサ部	: 非接触タイプの渦電流式変位センサ
渦電流式変位計	: 軸振動の僅かな変化を距離に変換する処理計
データロガー	: データの記録
- 仮設による方法で計測する場合は、計測機器の材質による調整（キャリブレーション）を行う。
- センサ部と変位計（アンプ・演算部）は同一メーカーのものを使用することが望ましい。渦電流式変位計の設置は、ポンプ運転前に行う。以下に、既往の設備における測定手法として、機器構成と接続方法の事例を図 2-7に示す。
- センサ設置架台は、測定精度や設置に要する手間の省略を考慮し、センサ部を金具等で固定し主ポンプに常設することが望ましいが、既設に固定金具がなく設置に改造等が必要となる場合などは、着脱式の仮設のものを使用することができる。常設として設置すれば、仮設のものより精度の高い状態監視情報を得られること、実排水運転時の測定が容易となる。



図 2-7 渦電流式変位計による計測機器の構成

立軸設置架台（マグネットスタンド）	立軸設置架台（マグネットスタンド）主軸塗装
	
横軸設置架台（マグネットスタンド）	固定金具による常設方式
	

図 2-8 振動（変位）計測状況（計測事例）

【参考】変位測定機器の選定

①渦電流式変位計

- 測定範囲 : 一つの目安として、軸振動変位が大きいと想定されるポンプ（低回転数の場合など）では 0～5mm のものを、軸振動変位が小さいと想定されるポンプ（高回転数の場合など）では 0～1 mm または 0～2 mm のものが適切な場合が多いので、これに対応するセンサを採用する。
- 測定対象 : 主軸材質が SUS403 または S35C が主流のため、仮設による方法で複数のポンプ設備に適用する場合は、材質による調整(キャリブレーション) 機能が必要
- 分解能 : 1 μ m 程度
- アンプ部 : データロガーへは電圧（1 V～5 V/FS）によるアナログ出力が可能なものとする。
- 系統数 : 軸の振れ回りの把握のため、直交した 2 方向の測定を同時に行うので、センサならびに出力は 2 系統必要

②データロガー

- サンプリング周波数^{参考資料(5)} : 1,000Hz または 1,280Hz の設定ができるもの（通常のデータロガーでは複数のサンプリング周波数を選択できる）
- チャンネル（ch）数 : 3ch 以上（回転データを測定しない場合は、2ch でも可）
- データ記録時間 : 30 分以上（記録媒体はコンパクトフラッシュ(CF)を用いる機種が多い）

2.3.4. 計測時間

管理運転における主ポンプの運転開始直前から停止までの全時間において振動計測を実施する。

【解説】

- ・ 運転中だけでなく始動時や停止時の主軸の動きが重要な情報となるため、運転開始直前から停止まで全時間の測定データを収録する。現場条件等により困難な場合はこの限りではない。また、毎回同じ条件で計測すること。

2.4. 振動測定

運転条件（負荷等）、測定箇所、測定装置の型式等測定時の条件が計測毎に一定となるよう留意の上、振動測定を実施する。

【解説】

- ・ 測定手順の具体的な内容を次に示す。
 - ① 計測面の清掃
計測面をウエス等で清掃し、グリスやゴミ等を除去する。
 - ② 計測機器の組立・設置
計測機器の構成部品をそれぞれ組み立て、主ポンプにセンサを設置する。
 - ③ 計測条件の設定
サンプリング周波数（1,000Hz または 1,280Hz）やチャンネル条件、動作モードを設定する。なお、傾向管理において異常傾向が認められた場合は、点検時と測定条件を合わせる必要がある。
 - ④ 計測の開始
管理運転の開始直前から、データの収録を開始する。また、測定中の回転数、弁開度等の負荷条件は、一定に保つことが望ましい。
 - ⑤ 計測の終了
管理運転終了後、データの収録および変位測定を終了する。



図 2-9 計測機器の組立・設置事例

2. 5. 評価・判定

2. 5. 1. 振動計測データの解析、診断

振動波形の特徴から劣化傾向を判断することが基本であり、FFT 処理後の周波数分布やオービット解析を併用して総合的に診断する。

【解説】

- ・ 劣化箇所の特定は、一般的な主軸振動特性の関係（振動波形、周波数分布、軸の軌跡）の見方に基づいて行うものとするが、今後の調査研究から得られる知見により追加していくものである。
- ・ 解析の流れは、波形解析ソフトを使用し、①波形の確認、②FFT 処理、③周波数分布と波形との比較、④周波数分布とオービットとの比較、⑤異常の有無及び異常箇所の特定を標準とする。
- ・ ベント管直近にスラスト軸受（外部軸受）がある場合あるいは診断上の参考とするため、必要に応じて変位データを微分し速度変換値として評価する。具体的な流れは、巻末に「事例 振動調査結果報告書の解説」を添付するので参考とする。

2. 5. 2. 劣化箇所の特定

実際の振動波形及び発生周波数の特徴から異常兆候を把握し、劣化箇所を特定する。

【解説】

- ・ 実際の振動波形はいろいろな要素が入り複雑になっているので、その中から振動の特徴を見つけ出し診断する。なお、異常兆候と振動波形・発生周波数について以降に示す。

① 主ポンプ軸受の水中軸受の「ゆるみ・がた」

〔特徴〕

- ・ ゆるみ・がたがある場合は、回転周波数成分（ n ）と、その分数調波成分^{参考資料(9)}が卓越する。
- ・ 図 2-10に示すとおり、水中軸受けが摩耗して「ゆるみ・がた」が生じると、回転数成分より大きな周期の（周波数が低い）分数調波成分が回転数成分に重なる波形になると言われている。しかし、河川ポンプ設備に対する調査事例で、分数調波成分が顕著に現れた事例が少ないことから、分数調波が検出されたポンプ設備については慎重に診断を行う必要がある。
- ・ 民間の常用系プラントのポンプでは、分数調波成分は 0.5 近辺に現れる。立軸ポンプでは回転数の $0.7n$ 程度、横軸ポンプでは $0.4n$ 程度とも言われていることから、水中軸受の摩耗指標として $0.4n \sim 0.7n$ の範囲の分数調波成分を検証するものとする。

- ・過去の調査結果で分数調波が確認されなかった設備に検出されるようになった場合は、回転数成分の変化傾向と併せて検討を行う。
- ・オービットの形が円形から崩れている場合はその形状によって、軸当たり（オービットに直線部分がある）や基礎系統のガタがある（オービットが細長く伸びる）場合が多い。河川ポンプ設備では明確な解析事例は無いが、オービットが大きく内側に1個巻いていれば水中軸受の摩耗(ハイドロホワール)が疑われる。

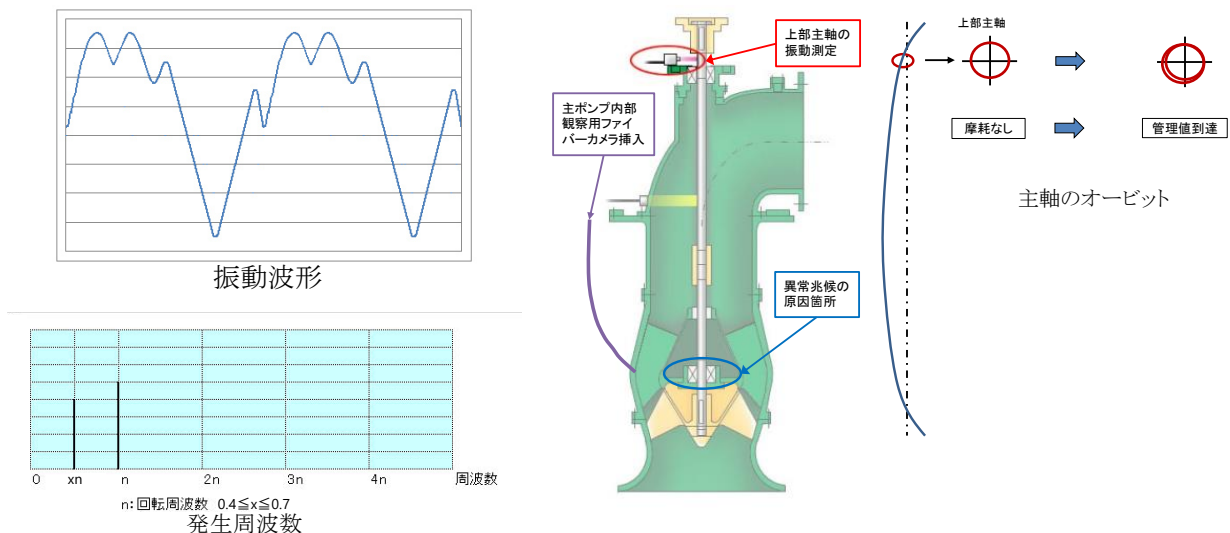


図 2-10 主軸振動特性の関係（主ポンプ軸受の水中軸受のゆるみ・がた）

② 主軸のアンバランス

〔特徴〕

- ・アンバランスがある場合は、回転周波数成分（ n ）が大きく卓越する。アンバランスによる変位量は、回転数の増加とともに増加する傾向がある。
- ・アンバランスが原因の両振幅値は、回転数の増大とともに増加していくので、ポンプ運転直後、停止時の挙動を時間領域波形で確認する。
- ・主軸のアンバランス発生要因は、羽根車の不均一な摩耗、使用による主軸の摩耗変形などが考えられる。
- ・羽根車が局部的に腐食している場合、あるいは逆に概ね均等に腐食している場合はアンバランスとなりにくく、またグランド部のパッキン・シールの構造や軸受の位置によって変位量に現れにくい場合もある。

- ・ (国研)土木研究所の報告^{参考文献1)}によると、 $\phi 1350$ mmの立軸斜流ポンプの羽根車が局部的に摩耗していた事例では、整備前後の主軸振幅の差はさほど大きくなく十数%程度であった。しかし波形及び周波数分布には整備前後で大きな違いがあったことから、ポンプ主軸の変位計による精密診断では、振幅について傾向管理で行っている下記相対値指標だけでなく、同機種測定結果との相互判定や他の異常兆候の視点と合わせた診断が重要になる。

注 意 値：初期値の2.5倍以上^{出典[4]準用}

予防保全値：初期値の6.3倍以上^{出典[4]準用}

- ・ 露出部の軸受やシール部における温度上昇の有無も確認することが望ましい。

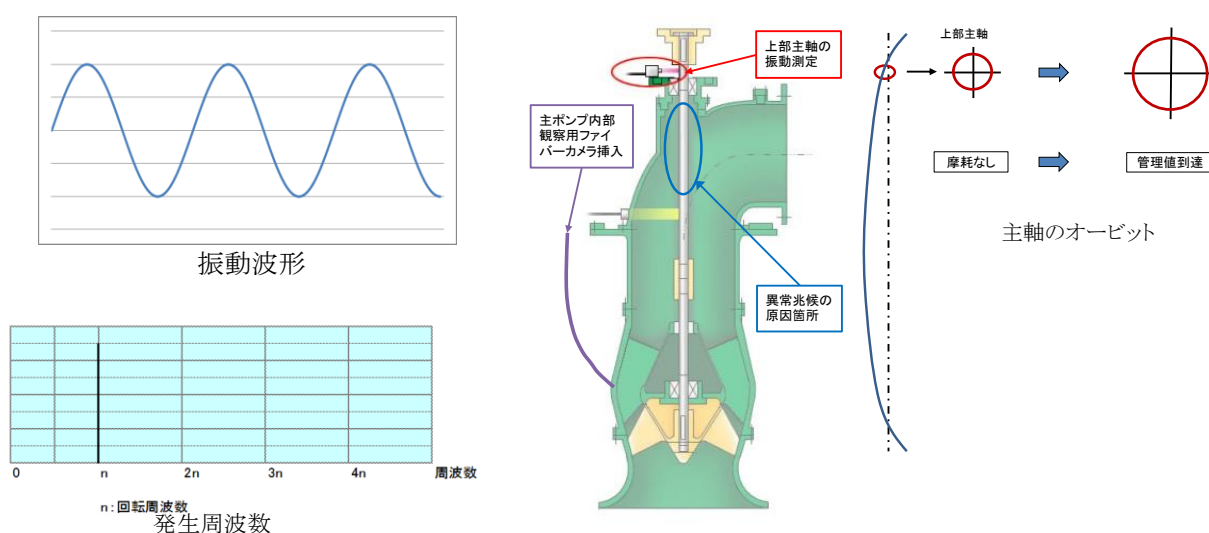


図 2-11 主軸振動特性の関係（主軸のアンバランス、主軸の曲がり）

③ 主軸の曲がり

〔特徴〕

- ・ 軸曲がりがある場合は、運転開始時から振幅が大きい。周波数分布の特徴はアンバランスと同様に回転周波数成分（n）が大きく卓越する。
- ・ 時間領域波形の確認で発見できる可能性が高い。軸曲がりが発生している場合は、始動時から主軸の振幅及び両振幅が大きいことが特徴である。
- ・ 時間領域波形において両振幅ではなく振幅（片振幅）に回転に同期した大きく突出したピークがある場合は、主軸表面のキズ（ランナウト）を疑う。特に図 2-12に示すようにピークの立ち上がりが先鋭である場合、あるいは波形を拡大したピーク部分の形状が全て似ている場合は可能性が高い。

- ・ キズがある位置で測定した時間領域波形では精密診断は難しいので、キズが無い位置で再度測定する必要がある。固定型センサの場合は、再調整が必要となる。
- ・ 軸曲がりによる変位量が 1.0 mm P-P 程度の大きさになると、目視確認により振れ回っている様子が見分けられる場合がある。
- ・ 軸曲がりの原因は、主軸のミスアライメントが原因である場合があることから、ミスアライメントに対する診断も合わせて実施する。

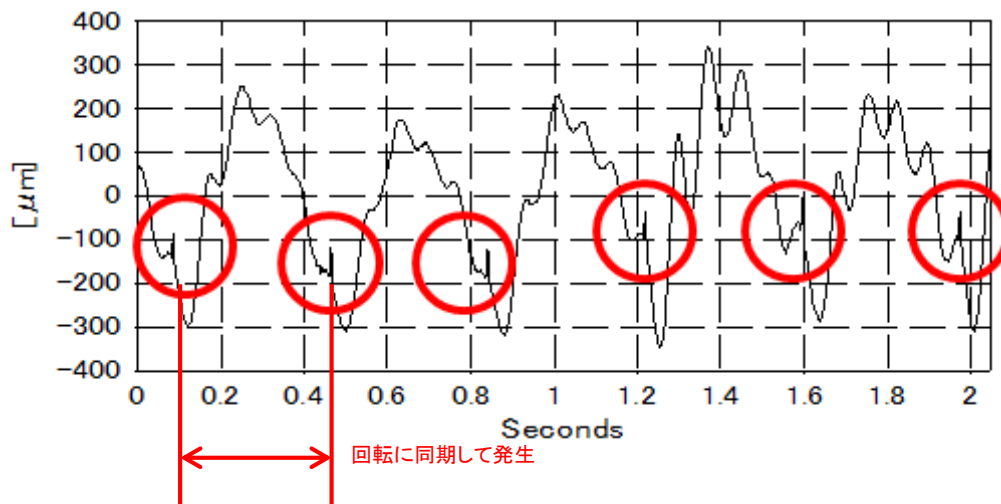


図 2-12 回転に同期したピークの例

④ 主軸のミスアライメント（芯ずれ等）

〔特徴〕

- ・ ミスアライメントがある場合は、回転周波数成分（ n ）と、その高調波成分が大きく卓越する。
- ・ 回転数成分の高調波に関し、2 倍成分が顕著な場合は主軸継ぎ手における芯ずれが存在する可能性がある。また、3 倍以上の高調波も見られる場合はその他のミスアライメントの可能性も合わせて総合的に検討する。面開き、面振れがある場合は、主軸方向の振動も発生している可能性が高いので、減速機における振動測定結果も参考にする。
- ・ ミスアライメントは、軸受や羽根車の性能や信頼性に影響を与え、主軸曲がりの原因にもなる可能性があるため、振幅同様傾向管理が重要となる。

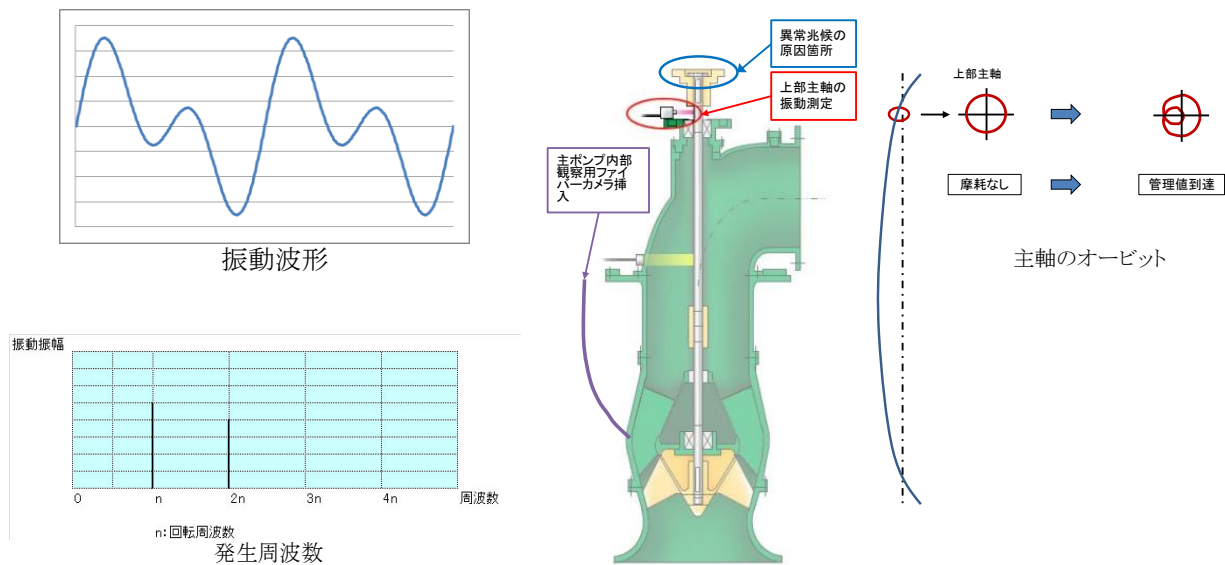


図 2-13 主軸振動特性の関係（主軸のミスアライメント）

⑤ 羽根車の摩耗

〔特徴〕

- 河川ポンプ設備の実績では、回転周波数成分（ n ）と羽根数の積（羽根車の枚数を z として zn 成分という。 $z=6$ 枚なら $6n$ となる）の成分が大きく現れる傾向がある。（ただし、常用系プラントで多く用いられる渦巻ポンプでは、羽根車が正常な状態ほど当該周波数が大きくなるとされている。）
- 時間領域波形を確認し、各 1 周期のなかで羽根車枚数 z と同数のピークがある場合、その発生原因は羽根車周りの構造的問題であると考えられる。この場合、FFT によって周波数分布を解析し、 zn 成分が検出されていたものが定量的に減少しかつ回転数成分が上昇する、あるいは検出できなかった羽根車成分が突然検出される場合に異常を疑うものとする。
- （国研）土木研究所の報告によると、現在のところ、 zn 成分の有無で異常か否かを判定することは難しいので、継続した測定と zn 成分の変化に着目することが重要である。また、診断精度を高くするには、データの蓄積が必要となる。これまでの診断事例では、 zn 成分が見られても、SCS 製の羽根車の場合にはほとんど摩耗が見られない。SC 製の場合は摩耗が見られた例があるので注意する。
- 一般的に渦巻きポンプでは、吐出口にベーンが設けられ羽根車で水に与えられた遠心力を吐出管方向に案内する。よって、渦巻ポンプではポンプ 1 回転当たり羽根車の枚数分ベーンを通過するため、羽根車が健全なほど zn 成分が顕著になると言われている。河川用ポンプでは、コンクリートケーシング

で似た現象が見られる。コンクリートケーシング（特にダブルボリュートケーシング）では、羽根車成分（zn）およびその 2 倍成分、が突出して検出されることが多い。羽根車の劣化との因果関係を今後の整備データから検証していく必要がある

- ・ 図 2-14に示すように、オービットの形がコイル状に巻いている形状である場合、回転方向に一致した水平な接線の数が、FFT の次数（zn）と一致すれば羽根車の摩耗などが疑われる

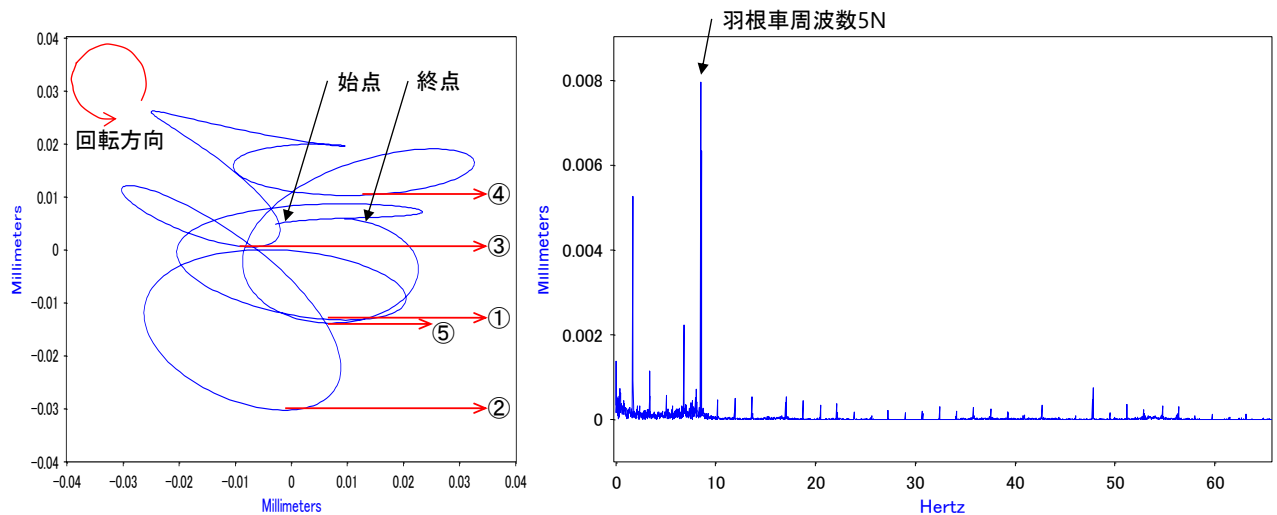


図 2-14 オービットと FFT による羽根車の摩耗例

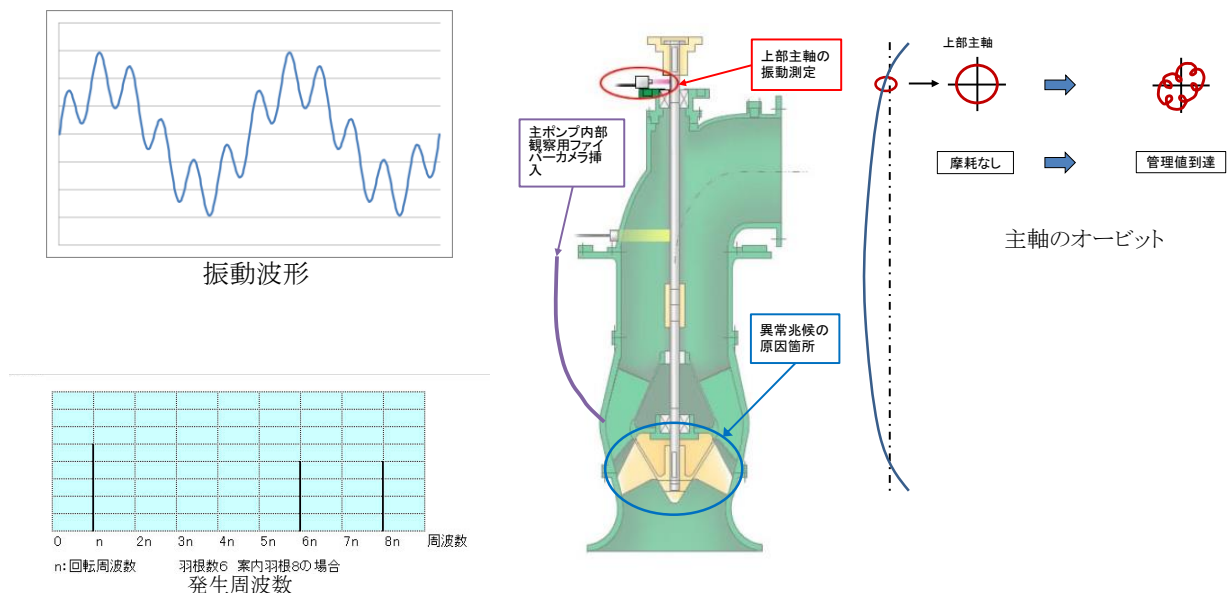


図 2-15 主軸振動特性の関係（羽根車の摩耗）

2.5.3. 劣化程度の判定

劣化程度の判定方法は、時間領域波形・周波数分布・オービット解析とも相対判定を基本とするが、絶対判定・相互判定を併用する。
--

【解説】

- 劣化程度の判定の考え方は以下に示すが、主ポンプの振動は各機場に特性があり様々であることから、健全度評価に対応する評価指標（○、△1～3、×）については本マニュアルに明記していない。専門技術者は、本マニュアルの記載事項並びに主ポンプの構造や実運転の状況、維持管理の状況を踏まえ、機械振動に関する知識、経験を基に総合的に判定するものとする。
- 劣化程度の判定は、一般的に以下に示す方法がある。
 - 相対判定…初期値からの変化量により判断
 - 絶対判定…これまでの実績等から定めたしきい値（同一部位で測定した振動値を「判定基準値」と比較）により判定
 - 相互判定…同一仕様の設備の振動の出方を比較して判断
- 時間領域波形・周波数分布・オービット解析等を総合的に行うが、基本的に正常な運転状態を初期値とした相対判定を採用する。
- 過去の故障発生時の測定データや、ポンプあるいは減速機の整備前後の測定データがある場合は、それを元にした絶対判定も有効である。
- 同一機場に同じ仕様の設備が複数台ある場合は相互判定も劣化程度の判定に有効である。相互判定の活用方法として、号機単位による劣化把握をすることで整備時期の優先付けに活用できる。

2. 6. 報告書作成

報告書は、計測対象、計測日、計測者、計測方法、計測結果、診断結果を分かりやすくまとめたものとする。

【解説】

- ・ 報告書は、表 2-1内の項目が明記してあることが望ましい。
- ・ 巻末に「事例 振動調査結果報告書の解説」を添付するので参考とする。
- ・ 報告書は、施設管理者及び診断を行った者が適切に保管することとし継続性に配慮する。

表 2-1 報告書に記載すべき項目

大項目	小項目
計測概要	点検日、排水機場名、計測者名
計測対象	号機、診断に必要となる設備仕様
計測方法	使用機器、計測箇所、計測条件（特記事項）
計測結果	波形グラフ、FFT（周波数分布）グラフ、必要に応じて過年度計測情報（比較検討資料）
診断結果	診断の対象機器を明らかにした上で、計測結果を根拠とした分かりやすい見解をまとめる。

2.7. 技術的課題

(1) 精密診断の適用

- ・ 本マニュアル（案）を適用するにあたっては、計測技術者及び報告書を活用する管理者とも(2)項以下に示す課題を明確に認識しておく必要がある。
- ・ 「1.総則」に明記したとおり、精密診断は技術確立を目指し研究段階であり、有効性を検証するための計測機会を確保することから、当面傾向管理と並行して実施する。
- ・ 診断技術の向上を図るためには、整備前・後の振動計測データと整備時の計測項目情報を照らし合わせて更なる検証を重ねていく必要がある。
- ・ 本マニュアル（案）に記載している診断技術は、現状の知見に基づく基本的なものであり、診断者は診断精度の向上を目指して資格制度や講習などを活用した継続研鑽、実地による診断経験の蓄積により技術力向上に努める必要がある。
- ・ 対象設備の規模、構造、運転状態、計測対象事象あるいは計測技術の特性などにより本マニュアル（案）と別の方法による場合は、各診断結果に留意するとともに、計測データ蓄積により精密診断の方法としての妥当性を検証するものとする。

(2) 計測データ蓄積

- ・ 振動に現れる判断指標の実証データを積み上げる必要がある。
- ・ 現地での計測準備における作業方法及び計測に当たって、同一条件での運転、計測でなければ計測データの連続性に欠け傾向管理が難しいことから、同一設備を継続的に計測する際は、以下の点に留意する必要がある。
 - ① 計測箇所は一度決めたら、同一箇所でも継続的に計測を行い、むやみに変更しない。そのため、計測箇所を正確に記録する。
 - ② 計測時の運転状態（運転時の水位、弁開度、機関回転数、クラッチのスリップ率等）は、可能な限り同一にすること。
 - ③ 計測機器、解析ソフトウェアは、できるだけ同一の機材を継続的に用いること。また、使用するセンサは計測対象設備毎に同じ個体とし、仕様が同じセンサであっても計測対象設備を変えたりしない。（例えば、同一仕様の振動センサが二つ有る場合、原動機振動計測用、減速機振動計測用に、用途を固定する）
- ・ 横軸ポンプ設備は、主軸のラジアル荷重を複数の軸受で受けているため、軸受の摩耗による振れ周りが立軸ポンプのように出現するかは未確認である。今後の検証が必要である。
- ・ 分解整備前後で振動波形の違いがはっきり出るとの知見があるため、主ポンプ設備の整備後について振動計測データを取得・蓄積しておき、以降の診断の基礎資料としていく必要がある。

(3) 常設振動計設置の取組状況と検討事項

- ・ これまでの渦電流式変位計を用いた診断結果から、ポンプの有する特徴（主ポンプ軸受のゆるみ・がた、主軸のアンバランス、主軸のミスアライメント、羽根車腐食など）を把握できた事例があった。このように、点検時にケーシングにおける振動値（加速度センサによる振動）を測定しただけでは得られない情報を得ることができる。
- ・ 仮設方式（マグネットスタンド）よりも、常設方式の固定センサの方が剛性の高い（マグネットのずれがない等）取付方法と同一箇所での継続的な測定方法を採用できるので、ノイズが少ない良好な測定データを得ることができる。そのことによって、精密診断時、主軸の動きそのものを捉えるためには、固定センサによる波形の方が見やすいことが解った。よって、常設方式の固定センサにおける振動測定システムの標準化を視野に入れて早急に進める必要がある。
- ・ 常設方式の導入の際には、導入コストと維持コストの確保が必要となるので、狭小による軸封部への設置のしにくさや整備工事内で取り付けるなど、診断技術の確立状況も見据えて計画的に検討していく必要がある。

(4) 整備データ記録

- ・ 現状においては、整備データが点検あるいは診断に充分活かされていない。ポンプ設備毎に建設時や分解整備後の初期値記録に努める必要がある。これによって、設備毎の相対判定の精度向上を図ることができる。
- ・ 対象機器の物理的な劣化と、現れる二次効果パラメータ（ポンプを運転することによって二次的に発生する振動や温度などのパラメータ）の関連性を検証する。
- ・ 整備直前の計測データを記録し、整備時の摩耗や損傷状況と比較する。
- ・ 河川ポンプ設備ならではの構造に起因する二次効果パラメータの特徴がないか実験的な手法での検証が必要である。
- ・ 図 2-6写真左図の垂直水平方向の測定では、垂直方向の振幅が大きい傾向にある。これは、自重による軸のたわみが影響しているものと推量する。この方法ではマグネットスタンドアームの姿勢が異なるのでその影響が出る可能性がある。横軸の場合は図 2-6写真右図のとおり左右上方 45° からの測定方法の適否を含め今後の検証が必要である。

(5) 点検業務の振動測定結果の活用

- ・ 年点検では、図 2-16に示すポンプの外部軸受等の振動を測定し傾向管理を行っている。必要に応じて、これらのデータを活用することが望ましい。

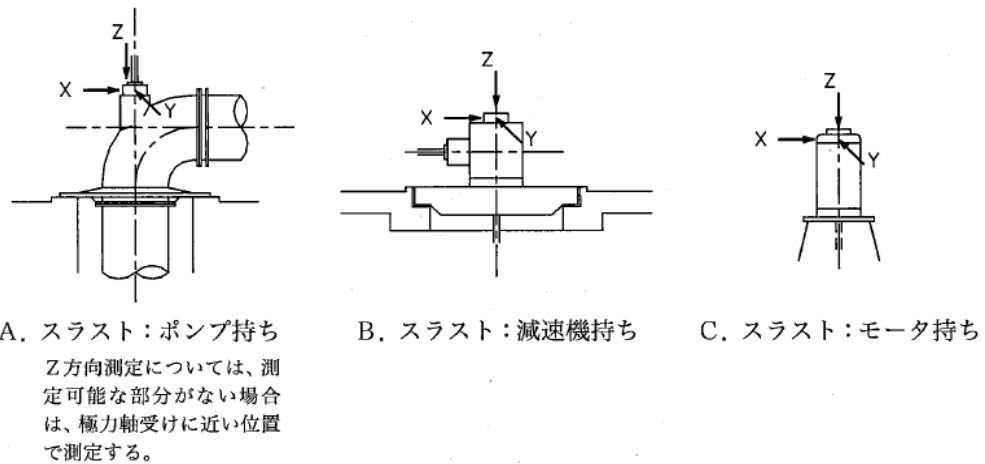


図 2-16 立軸ポンプの振動測定位置^{出典[6]}

(6) 診断技術確立への取り組み

- ・ 分解整備時の記録と精密診断結果の検証を重ねることで、新たな指標が得られれば診断方法を改訂していく。
- ・ 現場における最新設備診断技術の実用性を高めるために、民間技術プラントにおける維持管理技術を調査し状態監視への導入可能性を検討する。また、新たな技術の導入検討においては、現場における適応性を評価していく。

3. 振動計測・診断（減速機）

3.1. 基本事項

3.1.1. 対象設備

本章で述べる振動計測・診断は、主ポンプ形式が陸上ポンプの立軸式及び横軸式の場合の歯車減速機（内部及び周辺の軸受及び歯車を含む）を対象とする。

3.1.2. 適用範囲

本章で述べる振動計測・診断は、点検で実施される減速機本体軸受の振動の傾向管理において、異常の傾向が認められる場合（△評価）、あるいは信頼性による修繕・取替の標準年数を超えた場合に適用する。

【解説】

- ・ 減速機本体の軸受の振動については傾向管理が実施されるが、相対値評価で計測値が正常範囲から外れる傾向が続くなど異常の傾向が見られる場合に精密診断の必要性を判断する必要がある。
- ・ その他に、聴診による異常音の検出等の定性的な判断においても通常状態に対し、明らかな差異が確認された場合は、精密診断を行う。

3.2. 計測・診断実施方法

3.2.1. 計測診断手法の概要

減速機の振動計測・診断は、減速機の振動計測・診断は、運転時に減速機内部の歯車等から発生する振動が軸、軸受を介して伝達されたケーシング或いは架台の振動（加速度）を計測・解析することで行う。

【解説】

- ・ 振動計測、振動波形解析及び周波数解析は、広く一般的に使用されている技術であり、さまざまな文献より、回転機器に生じた不具合の特定や原因分析を行うことが可能な技術である。
- ・ 計測方法としては、軸受等の回転軸支持部において加速度計を用いるのが一般的であるが、測定及び解析手法は、専門技術者や学識経験者が常に技術開発を進めており、最適手法を特定できる現状にはない。
- ・ 歯車や軸受に関し、異常が発生したときに現れる基本的な振動現象についてはほぼ学術的に解明されているので、その現象を的確に把握できる測定方法が課題となる。
- ・ ここでは、関東地整のこれまでの試行結果、試験結果から河川ポンプ設備の歯車、軸受の振動の計測、解析は市販のハンディ型加速度計（時間領域波形収録機能付き）で計測可能であることがわかったので、この方法を標準として以下に示す。

[ポータブル振動計（FFT アナライザ付）を用いた計測・診断手法]



(出典：(株) リオンホームページより)



図 3-1 ポータブル振動計（FFT アナライザ付）と振動計測状況

-
- ・ 減速機の精密診断では、構成部品の健全度を評価するために、減速機ケーシング（天板の回転軸支持部）や入出力軸周りの適切な箇所で加速度を時間領域波形として測定・記録する。

精密診断に用いる測定パラメータと評価方法の組み合わせ事例を以下に示す。

測定パラメータ : 入力軸、中間軸、出力軸周りの加速度（1箇所につき3方向測定）

評価方法 : 加速度波形周波数解析、加速度測定値を用いた速度変換値

- ・ 歯車と軸受を同時に精密診断するためには、複数のサンプリング周波数で時間領域波形を記録する方法が最適であり、民間ではそのような技術の開発・導入が行われている。この場合、次の事項に留意する必要がある。
 - ① 高い周波数による大きなデータ量が解析に必要となる。
 - ② 複数の振動データを収集できるシステムが必要となる。
 - ③ 既製品を導入する場合、診断を実施する専門技術者はセンサ特性や内部アルゴリズムを充分理解する必要がある。
- ・ ここでは、減速機、軸受を対象とした振動診断においては、歯車の噛み合い周波数を考慮したサンプリング周波数で計測し、時間領域波形とFFTを併用する考え方を標準として定めるが、その他の計測手法については目的及び内部アルゴリズムを勘案した上で適切であると専門技術者が判断すれば採用可能なものとする。

3.2.2. 計測・診断の手順・要領

振動計測器を用いた計測・診断フローを図 3-2に示す。

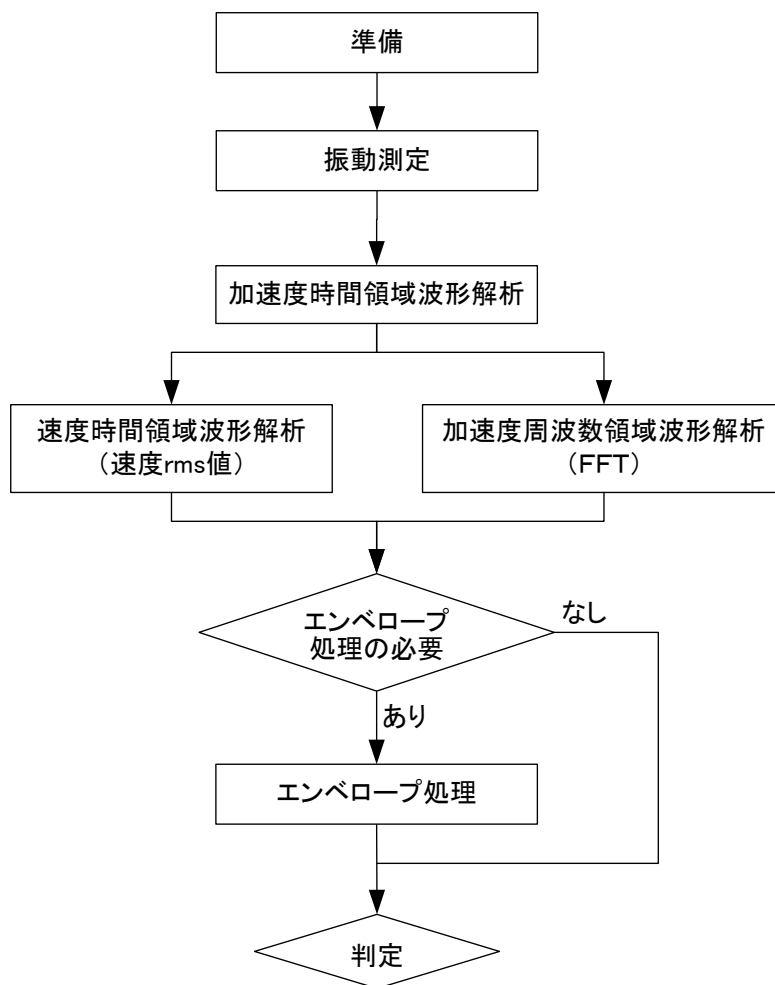


図 3-2 診断のフロー

3.3. 準備

3.3.1. 資料の収集

振動計測による精密診断は、対象設備の仕様の把握が必要であることから、資料を収集し、当該情報をもとに軸受等に異常が起きた際に発生する周波数を事前に計算する。

【解説】

- ・ 精密診断の事前準備として、対象設備の仕様の把握が必要で主な項目は次のとおりである。

- ① 減速機仕様（回転数、歯車数、型式）
- ② 転がり軸受の型番（寸法）
- ③ 使用潤滑油の油種
- ④ 主要部材の材質
- ⑤ 使用軸受の異常時発生周波数の計算：（図 3-3参照）
- ⑥ 減速機歯車の噛み合い周波数の計算：噛み合い周波数（Hz）
＝歯数×軸回転数（Hz）

[注意事項]

- ・ 仕様は完成図書に記載されていないものもある（歯数、軸受の型番）。
- ・ 転がり軸受は、型番が判っても寸法まで開示されてない。
- ・ ノウハウに当たるものもあるので、開示されない場合もあるが、可能な限りメーカーに確認することが必要である。（軸受については、回転数が判ればメーカー HP で発生周波数の検索は可能。ただし、全ての型番が網羅されているわけではない。特に複列軸受やスラスト軸受については、異常時の発生周波数が荷重などの運転条件に大きく影響するため公表されていない。）



図 3-3 異常時の発生周波数 参考文献 1)

3.3.2. 計測箇所の検討

測定箇所は、減速機ケーシング（天板の回転軸支持部）、減速機入出力軸軸受ケーシング、減速機架台を標準とし、必要に応じて主原動機本体、主原動機出力軸の軸受も測定するものとする。
--

【解説】

- ・ 振動計測用センサの取り付け可否を確認する。（振動計測用センサについては 3.3.3 項を参照）
- ・ 振動測定箇所については、表 3-1、図 3-4、図 2-4の①、②、③を標準とする。
- ・ 軸受台及び軸受箱の測定位置は、図 3-6に示すとおり 3 方向での測定を基本とする。
- ・ 定位置及び測定方向（H（水平方向）,V（垂直方向）,A（軸方向））については、機器図等の中に記入しておき、間違いや誤解を避ける工夫をする。（精密診断では回転軸方向を明確にするため、H・V・A を用いる。）
- ・ 振動測定箇所について、歯車・軸受の状態を評価するために実施するので、近い箇所の測定を優先するが、減速機構造等により標準的な測定箇所によりがたい場合は、入出力軸の軸受に近く剛性が高い位置で測定する。
- ・ 管理運転時の水位条件等により原動機のみ運転となる場合は、ポンプ及び減速機の運転がないため、減速機周辺の測定は行わない。
- ・ センサ取付箇所は平坦な箇所を選択すること（マグネット式のセンサ取付において、接地面が全面で接触しない場合、正常に測定できない）。マグネット全面が接触できない場合は、ニードル式の測定機器の使用を検討する。また、近くに剛性が高い箇所がある場合は、その箇所を代わりに計測する。
- ・ 計測箇所には、以降の振動計測を考慮して、図 3-7のように正確な計測位置のマーキング等を行う。

表 3-1 振動測定箇所

設備名	装置区分	測定箇所	主ポンプ 設備振動 測定箇所	参 考	
				「点検・整備・更新 マニュアル」による 振動測定箇所 ^{出典[1]}	「点検・整備指針」 による 年点検時の振動測 定箇所 ^{出典[2]}
減速機	減速機本体	軸受部	①、②、	○	○
	クラッチ	軸受部	③、⑤	○	○
主原動機 (ディーゼル機関)	機関本体関係	外部軸受部	④*	○	—

※) ①、②、③の振動測定値を補完するため、必要に応じて実施する。この部分の測定は、傾向管理においては、主原動機本体ではなく外部軸受そのものの異常を把握するため行うが、精密診断では減速機部で確認された未知周波数成分が当該軸受の異常や主原動機の運転に由来するものであるかなどの判定にも活用する。ただし減速機の出力軸受が天板部で支持されている場合は①、③、⑤を選択する。

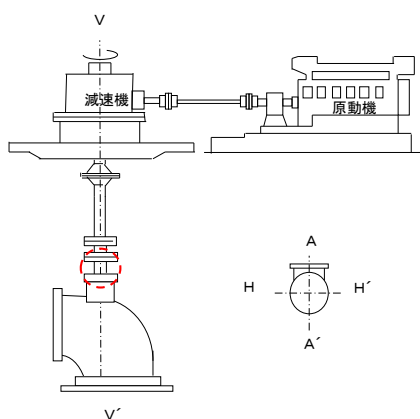


図 3-4 立軸ポンプ設備振動（加速度）測定箇所（参考）

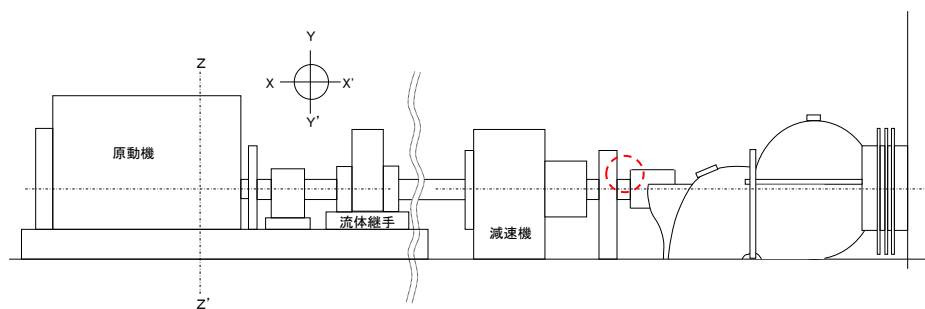


図 3-5 横軸ポンプ設備振動（加速度）測定箇所（参考）

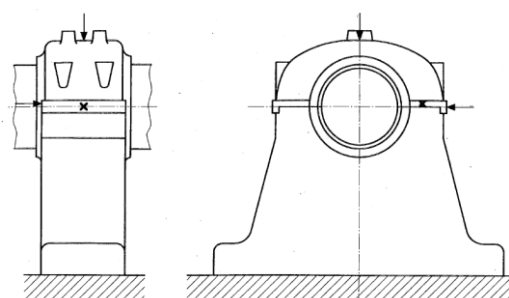


図1 軸受台（ベディスタル形軸受）の測定点

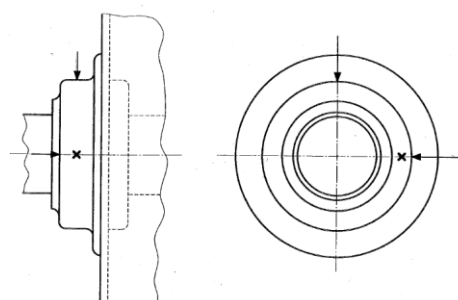


図2 軸受箱（ハウジング形軸受）の測定点

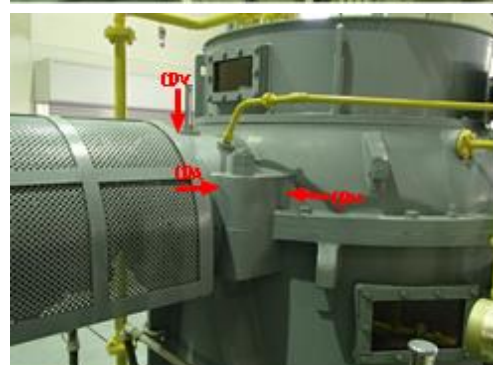
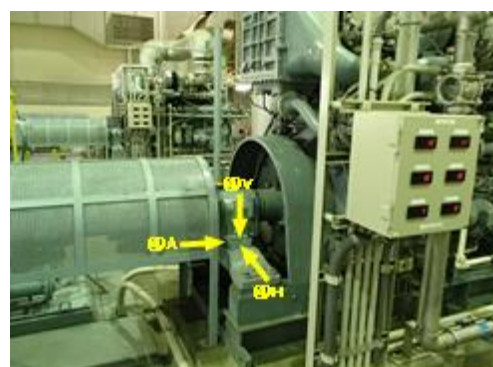


図 3-6 軸受部の測定位置^{出典[3]}



図 3-7 測定点のマーキング事例（左：測定位置のシール表示、右：測定方向の記載）

3.3.3. 使用機器（振動加速度計測機器）の手配

計測器は、加速度振動が計測可能、かつ時間領域波形を収録できるポータブル振動計を標準とする。

【解説】

- ・ 従来から機械設備における振動測定には加速度計が標準的に使用されている。しかし、一般的に傾向管理に使用するポータブル振動計は、加速度をある一定時間計測し、その計測値（または速度・変位の換算値）を即時に表示する機能のものが殆どで、時間領域波形をそのまま収録できる機能を有していない場合が多い。
- ・ 本マニュアル（案）は、計測の簡便性を考慮し、SD メモリカードまたは CF などに当該波形を収録できる機能を有するポータブル振動計の使用を前提としている。
- ・ 計測結果は、ポータブル振動計（FFT アナライザ付）用の専用ソフトウェアあるいは解析ソフトウェアを用いて周波数解析を行うものである。
- ・ データの比較を適切に行うためには、ポータブル振動計（FFT アナライザ付）のメーカー及び型式は統一することが望ましい。振動計を変更しなければならない場合は、従前の振動計と同一条件で計測し、加速度値、速度値、記録波形の変化を確認する必要がある。また、振動計は点検・校正を行ったものを使用する。
- ・ 加速度波形を収録する場合のサンプリング周波数は、立軸ポンプ減速機の噛み合い周波数が、ガスタービンの減速機を除くと概ね 500Hz 以下であることから、3 倍程度を考慮して 2,000Hz までは確実に把握できるスパンを想定し、サンプリング周波数のスパンは 4,000Hz 以上とする。



図 3-8 振動（加速度）計測状況（計測事例）

【参考】波形収録機能付ポータブル振動計 主要要目例

使用センサ : 圧電式振動加速度ピックアップ

センサ取付方法 : マグネット式

計測項目 : [表示機能]

加速度 (m/s^2 Peak 値)

速度 (mm/s rms 値)

変位 (μm P-P 値)

[収録機能]

時間領域波形(加速度)

ただし収録時間は、1 回の計測につき数秒であり、機種及び計測時のサンプリング周波数により異なる

付加機能 : FFT

必要に応じて軸受診断機能

3.3.4. 計測タイミング

管理運転時、主ポンプの運転状態が安定している時に振動測定を実施する。

【解説】

- ・ 開操作時で、運転 5 分後以降に計測することを基本とするが、5 分以上管理運転できない場合は、可能な限り運転状態が安定している状態で測定する。また、毎回同じ条件で計測することが望ましい。
- ・ 立軸ポンプにおいては、吐出管圧力計の指針が安定した状態を確認してから測定する。

3.4. 振動測定

運転条件（負荷等）、測定箇所、測定装置の型式等測定時の条件が計測毎に一定となるよう留意の上、計測を実施する。
--

【解説】

- ・ 計測手順の具体的な内容を次に示す。
 - ① 計測面の清掃
計測面をウエス等で清掃し、グリスやゴミ等を除去する。
 - ② 計測条件の設定
計測機器の設定（サンプリング周波数等）を確認する。なお、傾向管理において異常傾向が認められた場合は、点検時と計測条件を合わせる必要がある。
 - ③ 計測の実施
計測箇所にセンサ（ピックアップ）を取り付け、計測を実施する。また、計測中の回転数、弁開度等の負荷条件は、一定である必要がある。



図 3-9 計測事例

3.5. 評価・判定

3.5.1. 計測データ解析

ポータブル振動計（FFT アナライザ付）により測定した加速度波形の特徴と、周波数分布及び速度換算 rms 値の解析を行い、併用して総合的に診断する。

【解説】

- 解析方法の例について以下に示す。

①加速度波形の確認

本項では、加速度の時間領域波形を「加速度波形」という。加速度波形では、全ての測定方向（H・V・A）について周期的に繰り返すピークの有無を確認する。ピークがある場合、軸受あるいは歯車に異常が発生している可能性がある。

②加速度の FFT 処理

加速度波形を FFT 処理し、周波数分布を把握する。

各ピーク値と予め算定しておいた軸受の異常時発生周波数、歯車の噛み合い周波数と比較する。

原因不明の周波数ピークについては原動機からの振動伝搬による場合がある。4 サイクルディーゼル機関では、機関回転数の 1/2 毎の周波数の振動が発生する（たとえば、機関回転数 900rpm=15Hz の場合、7.5Hz 毎に振動が発生する）。これと近似した周波数の振動が見られた場合、原動機からの振動伝搬であることが多い。

③ 速度換算 rms 値の算出

全ての測定方向の加速度波形から速度換算 rms 値を求め、その大きさを評価する。

④ エンベロープ処理

加速度波形で周期的に繰り返すピークがある場合、エンベロープ処理を行って包絡線を求め当該波形の周波数を算定し、軸受の異常時発生周波数と比較する。エンベロープ処理では、加速度波形に対して「絶対値処理」や「移動平均」等により高い周波数を除去することで包絡線を得る。得られた包絡線を対象として FFT を行くと包絡線の周波数を知ることができる。

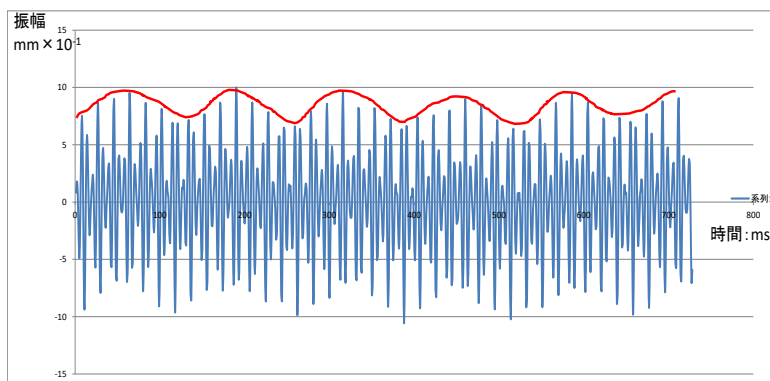


図 3-10 エンベロープ処理（赤線で包絡線を示す）

3.5.2. 劣化箇所の特定と劣化程度の判定

劣化程度の判定方法は、相対判定と絶対判定を適切に活用するものとする。

【解説】

- 劣化程度の判定の考え方については、ISO を参考にした速度 rms 値による初期値、注意値、予防保全値の考え方や軸受、歯車の劣化レベルの判定例、波高率（CF）を参考とする考え方を以下に示したが、減速機の振動は各機場に特性があり様々であることから、健全度評価に対応する評価指標（○、△1～3、×）については本マニュアルに明記していない。専門技術者は、本マニュアルの記載事項並びに減速機の構造や実運転の状況、維持管理の状況を踏まえ、機械振動に関する知識、経験を基に総合的に判定するものとする。
- 傾向管理においては、加速度波形からポータブル振動計（FFT アナライザ付）で換算して算出した変位量を状態監視の対象としているが、この方法では、概ね 10Hz 以下の低い周波数に起因する異常兆候を把握できない可能性がある。
- 精密診断では、現場においてポータブル振動計（FFT アナライザ付）を用いた加速度波形の確認（測定機器に表示機能がある場合に限る）及び速度 rms 値の測定を行う。また、波形収録機能を用いて時間領域波形を記録した後、ポータブル振動計用の専用ソフトウェアあるいは解析ソフトウェアを用いて周波数解析を行う。
- 傾向管理で行われている初期値状態の速度 rms 値を精密診断における初期値として評価する。
- 減速機を構成する軸受等の部品は、初期値が明らかでは無いことが多い。よって、振動計測から構成部品の異常の有無を判定する絶対判定の指標として、速度の rms 値を併用する。
- 振動値で用いている rms (root mean square) とは「実効値」を意味し、時間領域波形における両振幅の二乗平均値の平方根である。大きいほど振動エネルギーが大きい。
- 「河川ポンプ設備点検・整備標準要領（案）（平成 28 年 3 月）」（国土交通省）（以下、「点検・整備標準要領」という。）によれば、振動値の傾向管理を行う場合、相対判定法が用いられる。振動による精密診断は比較的容易に実施できるため、1 度実施した診断結果において異常がないと評価された場合においても必要に応じて以後計画的に実施することが可能であり、精密診断時の計測データによる傾向管理を行うこともできる。相対判定における注意値、予防保全値の考え方は、点検・整備標準要領を参照し、下記のとおりとする。

注意値 : 初期値の 2.5 倍 (=B 上限/A 上限) 以上^{出典[4]準用}

予防保全値 : 初期値の 6.3 倍 (=C 上限/A 上限) 以上^{出典[4]準用}

ここで、A～C の評価ゾーンは ISO 10816-1 による（表 3-4 参照）。

なお、この評価指標は、ISO 10816-1 の速度 rms 値による絶対評価値を参考にしているが、2017 年に ISO 10816-1 が廃止され、代わって制定された ISO20816-1 にも適合している（図 3-11参照）。

	ゾーン境界値 振動速度 mm/s(rms)			
0.28				0.28
0.45				0.45
0.71				0.71
1.12	A/B 境界 0.71～4.5			1.12
1.8		B/C境界 1.8～9.3		1.8
2.8				2.8
4.5				4.5
7.1			C/D境界 4.5～14.7	7.1
9.3				9.3
11.2				11.2
14.7				14.7
18				18
28				28
45				45

図 3-11 ISO20816-1 非回転部分における機械振動の測定と評価

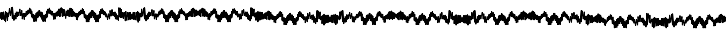
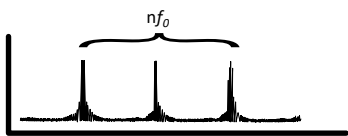
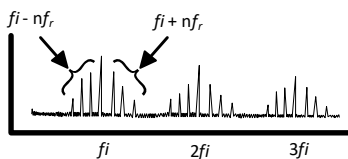
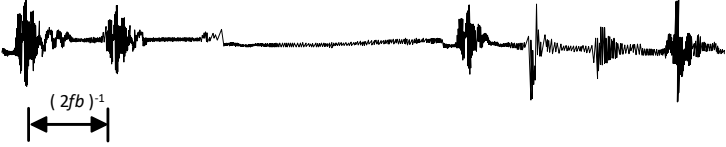
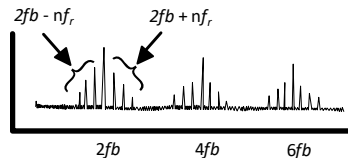
- ・ 減速機軸受及び歯車の劣化レベル判定例を以降に示す。

[軸受の劣化レベル判定]

- ①「加速度波形確認」→「周波数分布 (FFT 処理)」→「各軸受の異常時発生周波数と比較」
- ②「加速度波形をエンベロープ処理」→「エンベロープ処理波形を FFT 処理」→「各軸受の異常時発生周波数と比較」
- ③「加速度波形を積分処理」→「速度換算 rms 値算定」

異常時発生周波数と周波数ピークが一致した場合、速度換算 rms 値による相対判定と絶対判定を実施し、ゾーンを確認して対応方針を決定する。なお、エンベロープ処理を行わない場合でも、速度換算 rms 値がゾーン C あるいは D にある場合、再度測定を行い同じ傾向を示すか確認する。相対判定を重視し、加速度波形のピーク値が過年度の測定値から増加傾向にあるときは、分解整備を計画する。

表 3-2 軸受の異常と波形の特徴

項目	時間領域波形の特徴	周波数領域波形の特徴
正常		
外輪傷		
内輪傷		
転動体傷		

凡例

n : 回転数 f_o : 外輪1点に傷がある場合の発生周波数

f_i : 内輪1点に傷がある場合の発生周波数 $2f_b$: 転動体の1点傷あがる場合の発生周波数

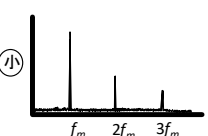
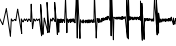
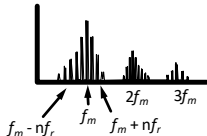
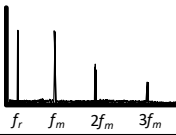
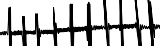
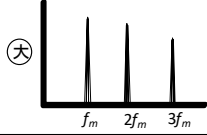
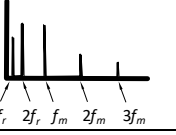
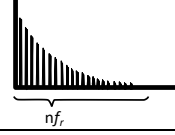
[歯車の劣化レベル判定]

①「加速度波形確認」→「周波数分布 (FFT 処理)」→「歯車の噛み合い周波数と比較」

②「加速度波形を積分処理」→「速度換算 rms 値算定」

測定が適正であれば、加速度波形の FFT 処理において噛み合い周波数が検出される。当該周波数が他の周波数ピークに対し卓越しており、なおかつ速度換算 rms 値がゾーン C または D にある場合、再度測定を行い同じ傾向を示すか確認する。相対判定を重視し、加速度波形のピーク値が過年度の測定値から増加傾向にあるときは、分解整備を計画する。

表 3-3 歯車の異常と波形の特徴

項目	時間領域波形の特徴	周波数領域波形の特徴	項目	時間領域波形の特徴	周波数領域波形の特徴
正常			ピッチ誤差 歯形異常 塑性変形		
取付偏心			噛み合い異常 全歯面損傷		
取付偏角			歯の欠損 局部異常		

凡例
fm: 噛み合い周波数 fr: 軸回転数

【参考】機械振動の評価基準 (JIS B 0906 (ISO 10816-1) 抜粋)

- 2017 年に ISO20186 シリーズが策定されるまで、速度 rms 値の絶対評価表として表 3-4 に示す ISO 10816-1 があったが、現在は廃止されており、公的な絶対値評価指標はない状態である。しかしながらこの考え方は、ISO20186-1 にも活かされているため、参考として示す。
- 機械のクラスは、排水機場ポンプ設備の減速機の場合、「クラスⅢ」に相当する（小型のポンプの場合「クラスⅡ」のこともある）。
- 評価の目安は、注意値が評価ゾーン BC 間の値（クラスⅢの場合 4.5mm/s）とし、予防保全値は評価ゾーン CD 間の値（クラスⅢの場合 11.2mm/s）とする。

表 3-4 機械振動の評価基準

振動速度のrms値 mm/s	クラス I	クラス II	クラス III	クラス IV
0.28	A	A	A	A
0.45				
0.71				
1.12	B	B	B	B
1.80	C			
2.8	C	C	C	
4.5				D
7.1	D	D	D	
11.2				
18				
28				
45				

[評価ゾーン]

ゾーンA：新しく設置された機械の振動値は通常、このゾーンに含まれるであろう。

ゾーンB：このゾーンの振動値の機械は、一般に何の制限もなく長期運転が可能であると考えられる。

ゾーンC：このゾーンの振動値の機械は、長期間の連続運転は期待できないと考えられる。一般に改善処置のための適切な機会が生じるまでの限定した期間だけこの振動条件で運転できる。

ゾーンD：このゾーンの振動値の機械は、損傷を起こすのに十分なほどに厳しいと、通常考えられる。

[機械のクラス]

クラス I：通常の運転条件の下で、全体の完成機の一部の構成要素として組み込まれたエンジン及び機械[代表例 出力15kW以下の汎用電動機]

クラス II：特別な基礎を持たない中形機械(代表例 出力15kW～75kWの電動機)及び特別な基礎上に堅固に据え付けられたエンジン又は機械(300kW以下)

クラス III：大形原動機及び大形回転機で、剛基礎又は振動の測定方向に比較的高い剛性をもつ重い基礎上に据え付けられたもの。

クラス IV：大形原動機及び大形回転機で、振動の測定方向に比較的柔らかい剛性をもつ基礎上に据え付けられたもの(代表例 出力10MW以上のターボ発電機セット及びガスタービン)

【参考】時間領域波形の波高率（CF）を参考とする考え方

- ・ 波高率（CF：クレスト・ファクタ）は、振動波形のピーク値の実効値に対する比率を表す。軸受ベアリングの損傷の発見に有効とされている。
- ・ 歯車減速機の振動解析において、波高率（CF）を異常状態の判定の目安とする考え方が一部のポンプメーカーから示されている。
- ・ 異常状態の判定の目安
 良好：2～4
 注意：4～8
 危険：8～12

3.6. 報告書作成

報告書は、計測対象、計測日、計測者、計測方法、計測結果、診断結果を分かりやすくまとめたものとする。

【解説】

- ・ 報告書は、表 3-5内の項目が明記してあることが望ましい。
- ・ 報告書は、施設管理者及び診断を行った者が適切に保管することとし継続性に配慮する。

表 3-5 報告書に記載すべき項目

大項目	小項目
計測概要	排水機場名、点検日、計測者名
計測対象	号機、診断に必要となる設備仕様
計測方法	使用機器、計測箇所、計測条件（特記事項）
計測結果	波形グラフ、FFT（周波数分布）グラフ、必要に応じて過年度計測情報（比較検討資料）
診断結果	診断の対象機器を明らかにした上で、計測結果を根拠とした分かりやすい見解をまとめる。

3.7. 技術的課題

(1) 精密診断の適用

- ・ 本マニュアル（案）を適用するにあたっては、計測技術者及び報告書を活用する管理者とも(2)項以下に示す課題を明確に認識しておく必要がある。
- ・ 「1.総則」に明記したとおり、精密診断は技術確立を目指し研究段階であり、有効性を検証するための計測機会を確保することから、当面傾向管理と並行して実施する。
- ・ 診断技術の向上を図るためには、整備前・後の振動計測データと整備時の計測項目情報を照らし合わせて更なる検証を重ねていく必要がある。
- ・ 本マニュアル（案）に記載している診断技術は、現状の知見に基づく基本的なものであり、診断者は診断精度の向上を目指して資格制度や講習などを活用した継続研鑽、実地による診断経験の蓄積により技術力向上に努める必要がある。

(2) 計測データ蓄積

- ・ 振動に現れる判断指標の実証データを積み上げる必要がある。
- ・ 現地での計測準備における作業方法及び計測に当たって、同一条件での運転、計測でなければ計測データの連続性に欠け傾向管理が難しいことから、同一ポンプ設備を継続的に計測する際は、以下の点に留意する必要がある。
 - ① 計測箇所は一度決めたら、同一箇所でも継続的に計測を行い、むやみに変更しない。そのため、計測箇所を正確に記録する。
 - ② 計測時の運転状態（運転時の水位、弁開度、機関回転数、クラッチのスリップ率等）は、可能な限り同一にすること。
 - ③ 計測機器、解析ソフトウェアは、できるだけ同一の機材を継続的に用いること。また、使用するセンサは計測対象設備毎に同じ個体とし、仕様が同じセンサであっても計測対象設備を変えたりしない。（例えば、同一仕様の振動センサが二つ有る場合、原動機振動計測用、減速機振動計測用に、用途を固定する）

(3) 常設振動計設置の取組状況と検討事項

- ・ 測定対象を減速機、主原動機の外側軸受として精密診断を行う場合には、使用する圧電式振動加速度計に、波形収録やFFT機能が必要となる。ポータブル振動計ではこれらの機能を有する機種が少ないうえ、測定方法を統一しても測定データのばらつきを完全には排除できないことから、これらの測定対象にも、ロガーなどに波形を収録できる機能を有する常設方式の測定機器設置を進める必要がある。

(4) 振動計測機器の選定

- ・ 振動計に関わる統一規格はなくメーカーが独自に仕様を決定している。機器毎にセンサのわずかな構造、増幅回路、フィルタ、振動量変換回路の点が異なり計測値に影響する。また、メーカーにより計測値（実効値、ピーク値など）の定義、振動加速度→速度、変位への変換（積分）などのアルゴリズムの考え方が異なる。よって、振動計測・解析にあたっては、同一メーカー・同一機種（ソフトウェアによる場合を含む）による継続的な計測が望ましい。

(5) 整備データ記録

- ・ 現状においては、整備データが点検あるいは診断に充分活かされていない。ポンプ設備毎に建設時や分解整備後の初期値記録に努める必要がある。これによって、設備毎の相対判定の精度向上を図ることができる。
- ・ 対象機器の物理的な劣化と、現れる二次効果パラメータ（ポンプを運転することによって二次的に発生する振動や温度などのパラメータ）の関連性を検証する。
- ・ 整備直前の計測データを記録し、整備時の摩耗や損傷状況と比較する。

(6) 診断技術確立への取り組み

- ・ 分解整備時の記録と精密診断結果の検証を重ねることで、新たな指標が得られれば診断方法を改訂していく。
- ・ 現場における最新設備診断技術の実用性を高めるために、民間技術プラントにおける維持管理技術を調査し状態監視への導入可能性を検討する。また、新たな技術の導入検討においては、現場における適応性を評価していく。

4. 工業用内視鏡撮影による診断（主ポンプ）

4.1. 基本事項

4.1.1. 対象設備

本章で述べる工業用内視鏡撮影による診断は、陸上ポンプのポンプ形式が立軸式及び横軸式の主ポンプを対象とする。

4.1.2. 適用範囲

本章で述べる工業用内視鏡撮影による診断は、点検時の管理運転において得られた「振動」などの傾向管理の結果、装置・機器に異常の傾向が認められる場合（△評価）、あるいは信頼性による修繕・取替の標準年数を超えた場合に適用する。

【解説】

- ・ 点検時の管理運転において得られた「振動」などの傾向管理の結果、異常の傾向が認められる場合には精密診断の必要性を判断する。
- ・ その他に、聴診による異常音の検出等の定性的な判断においても通常状態に対し、明らかな差異が確認された場合は、精密診断を行う。
- ・ そのような場合、ポンプ本体内部の状況を直接目視、観察する工業用内視鏡撮影による診断が有効となる場合がある。

[参考事例]

（状態）1号主ポンプの動力消失後の慣性回転時間が他号機に比べて短い。

（1号：9秒、他号機：20秒）

（対応）主ポンプの各軸受部、回転部の異常が無いことを確認。特にケーシング内の軸受部、インペラーライナー間の隙間については、工業用内視鏡により異常接触や異物が無いことを目視確認した。

（結果）点検及び確認運転の結果を踏まえて、「当面の稼働に問題ない」と判断し、次年度に主ポンプ分解整備を実施予定とした。

4.2. 撮影・診断実施方法

4.2.1. 撮影・診断手法の概要

1. 工業用内視鏡撮影は、精密診断として、主ポンプ内部の不具合原因の分析・特定を行う。
2. 工業用内視鏡撮影は、撮影条件に応じて適切な内容で実施する。
3. 工業用内視鏡撮影を実施する者は、主ポンプの構造を十分に習熟したうえで撮影に臨むものとする。

【解説】

- ・ 工業用内視鏡は、柔軟に動くカメラおよびケーブルにより、僅かな隙間から内部の対象に接近し、目視では確認できない箇所の観察を、大規模な分解をせずに実施できる診断技術である。
- ・ 主ポンプの羽根車、案内羽根、主軸、水中軸受、ケーシングの健全度を評価するために、目視では確認できない主ポンプ内部の観察を工業用内視鏡によって撮影・診断する。ただし、保護管がある場合は主軸の撮影ができない等、各ポンプによって特徴があることに注意する。
- ・ 診断を担当する技術者は、主ポンプ設備の構造・機能や経年による劣化・損傷の傾向等の知識を有し、ポンプ内部の各部位を内視鏡により撮影した映像の理解に十分な技量を有する必要がある。
- ・ 工業用内視鏡撮影の作業イメージを図 4-1に示す。

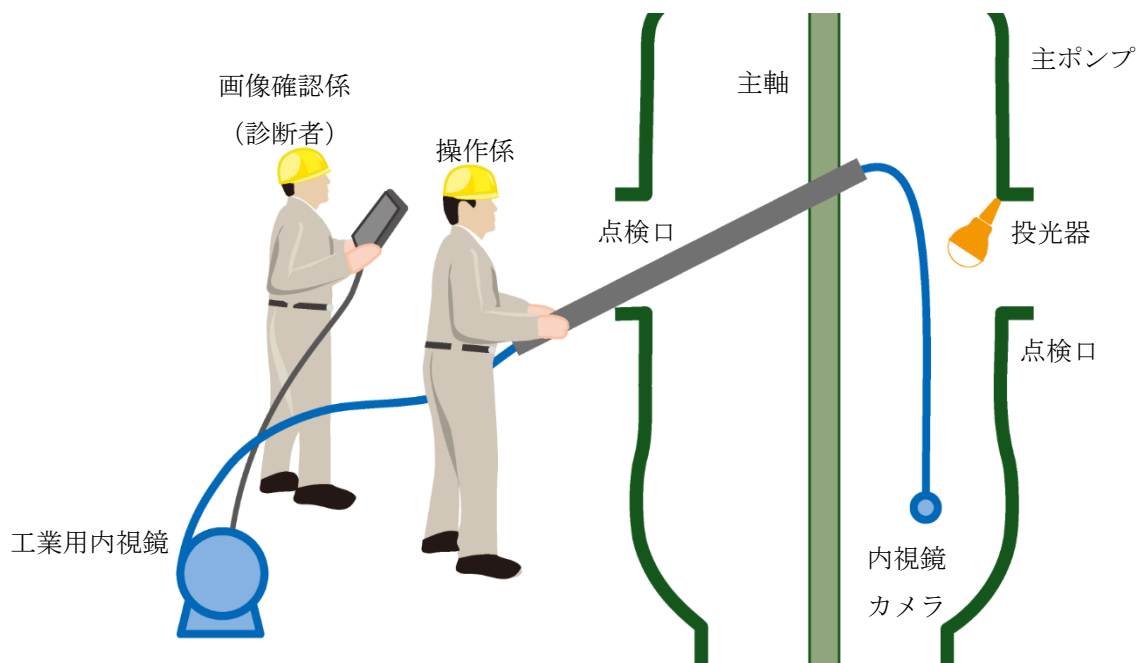


図 4-1 工業用内視鏡撮影の作業イメージ

4.2.2. 撮影・診断の手順・要領

工業用内視鏡を用いた撮影・診断フローを図 4-2に示す。

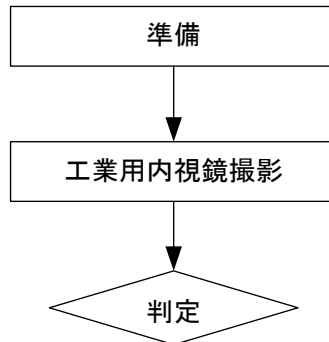


図 4-2 診断のフロー

4.3. 準備

4.3.1. 資料の収集

主ポンプの構造・仕様を把握するために、撮影対象設備の詳細を確認できる資料を収集する。

【解説】

- ・ 撮影前に、対象設備の構造・仕様の把握が必要であるため、既設完成図書等から詳細を確認する。主な項目は次のとおりである。

- ① 主ポンプ断面図
- ② 点検口仕様（位置、内径、外径）
- ③ 羽根車仕様（枚数、材質、塗装）
- ④ 案内羽根仕様（枚数、材質、塗装）
- ⑤ ケーシング仕様（材質、塗装）
- ⑥ 保護管の有無
- ⑦ 主軸・軸受仕様（材質）

ノウハウに当たるものもあるので、開示されない場合もあるが、可能な限りメーカーに確認することが望ましい。

4.3.2. 撮影箇所の検討

工業用内視鏡の撮影箇所は、主ポンプ内部のポンプ羽根車、案内羽根、主軸、水中軸受、ケーシングを対象とする。

【解説】

- ・ 収集した資料から撮影箇所を検討する。
- ・ 撮影は、全体を確認できるよう、図 4-3のように5方向（A～E）以上から行うことが望ましい。

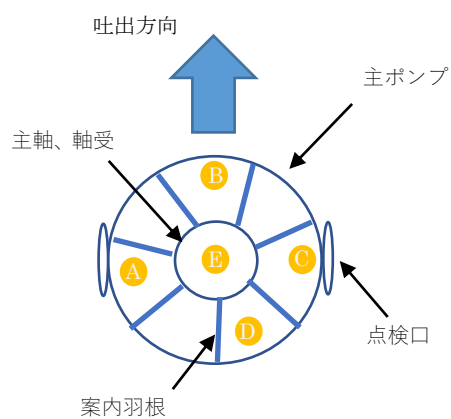


図 4-3 撮影方向の例（主ポンプ断面図）

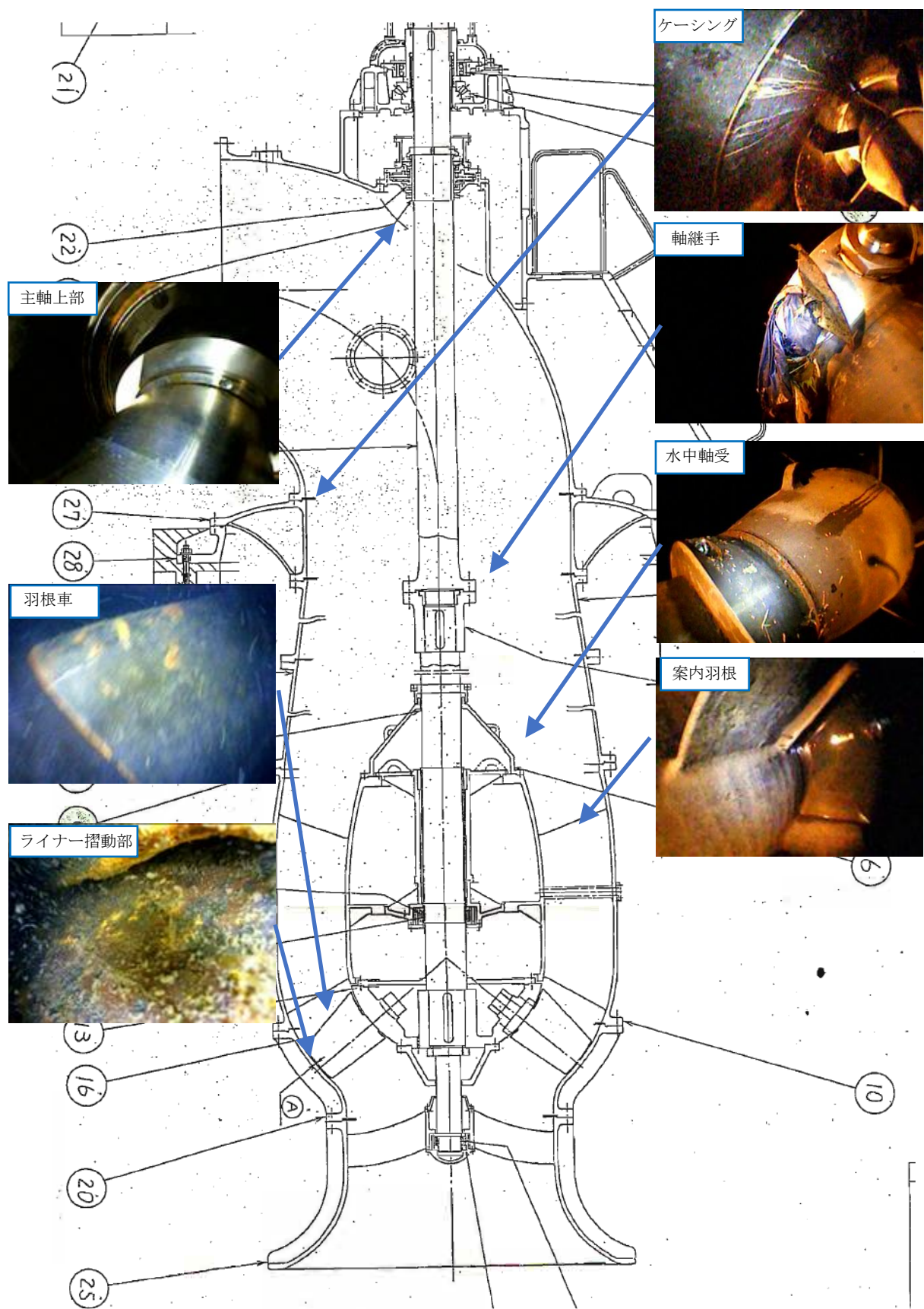


図 4-4 主ポンプの工業用内視鏡撮影箇所例

4.3.3. 使用機器（工業用内視鏡）の手配

工業用内視鏡は、主ポンプ内部の暗所や水中も鮮明に確認できるポータブルな機器を標準とする。

【解説】

<性能要件>

- ・ 画素数 : 30 万画素以上
- ・ 光源 : 超高輝度レーザーダイオードまたは高輝度 LED
- ・ 防水（挿入部） : IP67 相当以上

4.3.4. 交換部品及び工具の手配

工業用内視鏡は、点検口からカメラを挿入するため、点検口の開放・復旧に必要な交換部品（パッキン等）や工具の手配を行う。

【解説】

- ・ 交換部品の例を図 4-5に示す。



図 4-5 交換部品の例（パッキン）

4.3.5. 撮影日時の検討

工業用内視鏡撮影は、主ポンプの運転が見込まれない時に、実施する。

【解説】

- ・ 工業用内視鏡撮影を実施するには、点検口の開放が必要となり、点検口の開放中は、主ポンプの運転ができない。したがって、主ポンプの運転が見込まれる雨天時等の撮影は避ける必要がある。
- ・ 点検口を開放・復旧するため、作業終了後に主ポンプを運転し、点検口から水漏れが無いことを確認する必要がある。したがって、工業用内視鏡撮影後に試運転を行うことができる日を選定することが望ましい。しかし、水位条件により、工業用内視鏡撮影当日に主ポンプの運転が実施できないことがある。その場合の例として、施設管理者の了承の下、管理運転がおこなわれる直近の日に工業用内視鏡撮影を実施し、管理運転時に復旧状況の確認（水漏れの有無）を実施した例がある。

4. 4. 工業用内視鏡撮影

主ポンプの点検口から工業用内視鏡のカメラ（ケーブル）を挿入し、撮影を行う。

【解説】

- ・ 診断を担当する技術者は、注意深く観察し、異常の無い箇所と劣化の可能性のある箇所を見分けていき、劣化が疑われる箇所を重点的に確認する。
- ・ 劣化が発見された場合、劣化箇所を重点的に撮影し、記録する。
- ・ 撮影手順の具体的な内容を次に示す。
 - ① 点検口の開放
チェーンブロック等を利用して、主ポンプの点検口蓋を取り外す。
 - ② 照明の設置
暗所での撮影を避けるため、投光器を設置し、主ポンプ内部を照らす。
 - ③ 予備撮影
工業用内視鏡のカメラ（ケーブル）を主ポンプ内部へ挿入し、対象の撮影を試みることで、計画通り撮影が実施できるか確認する。
 - ④ 工業用内視鏡撮影
工業用内視鏡のカメラ（ケーブル）を主ポンプ内部へ挿入し、対象を撮影・記録する。
 - ⑤ 点検口の復旧
点検口を清掃した後、パッキンを交換し、点検口を復旧する。
 - ⑥ 復旧の確認
主ポンプを運転し、点検口から水漏れが無いことを確認する。



図 4-6 工業用内視鏡撮影の実施事例

4.5. 評価・判定

撮影結果から、対象の劣化程度を診断する。

【解説】

- ・ 過去の事例や知見を参考にして、対象の劣化程度を診断する。評価指標（案）を表 4-1から表 4-6に示す。ただし、評価指標（案）は、サンプル数がまだ少ないことから、参考として使用するものとする。また、評価の際は、材質の違いにより劣化の進行が異なることに注意する。
- ・ 図 4-7のように汚れが錆やガタのように見える場合があるため、評価には、十分注意すること。



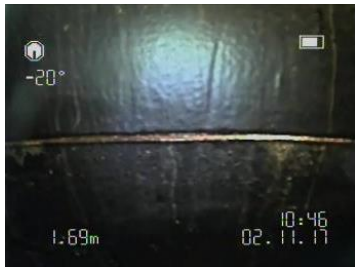
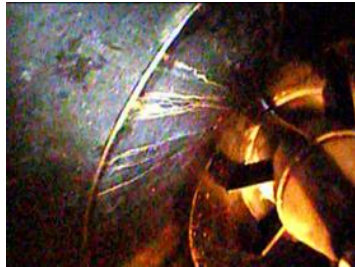
内視鏡撮影



工場整備時

図 4-7 工業用内視鏡撮影結果と工場整備時の比較

表 4-1 ケーシング（鋳鉄）の評価指標（案）

評価	工業用内視鏡撮影結果	画像	
○	概ね良好		
△3	軽度な劣化・損傷		
△2	中度な劣化・損傷		
△1	重度な劣化・損傷		
×	顕在劣化・損傷		

凡例： ○ 機能に支障が生じていない状態

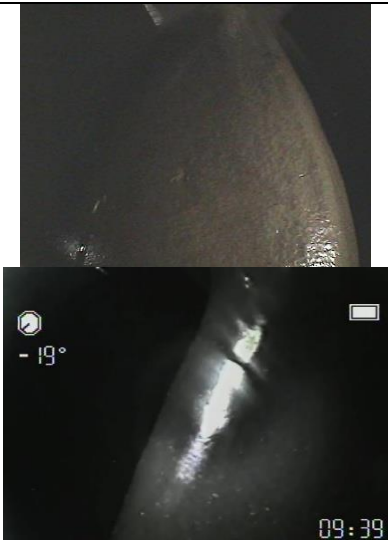
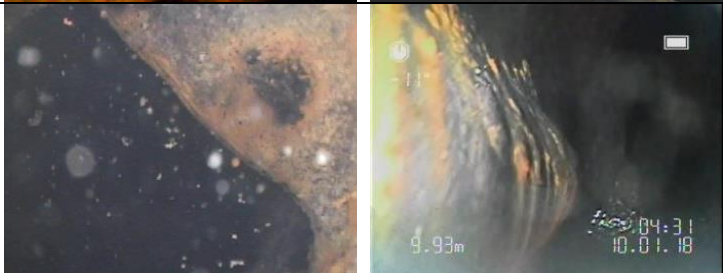
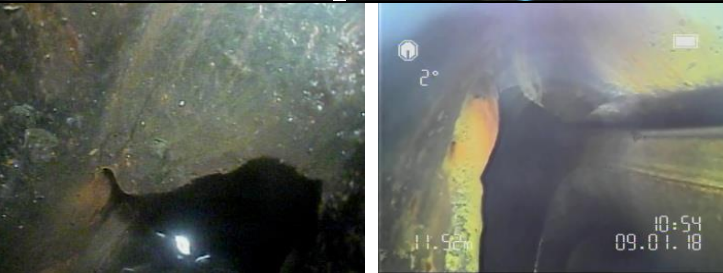
△3 機能に支障が生じていないが、経過観察が必要な状態

△2 機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態

△1 機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態

× 機能に支障が生じており、緊急に措置(修繕・更新・取替)が必要な状態

表 4-2 案内羽根（鋳鉄）の評価指標（案）

評価	工業用内視鏡撮影結果	画像
○	概ね良好	
△3	軽度な劣化・損傷	
△2	中度な劣化・損傷	
△1	重度な劣化・損傷	
×	顕在劣化・損傷	

凡例： ○ 機能に支障が生じていない状態

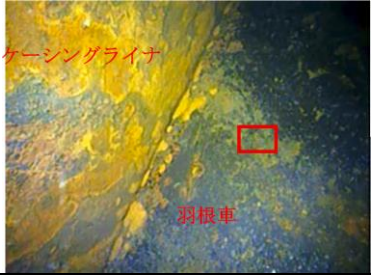
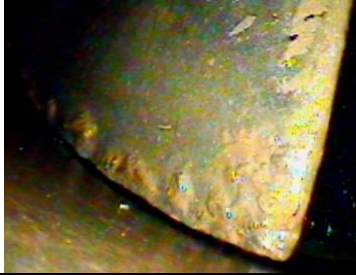
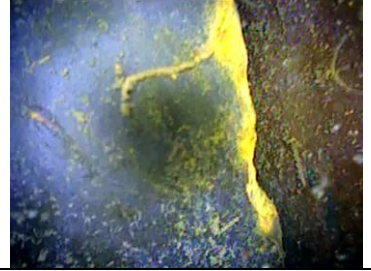
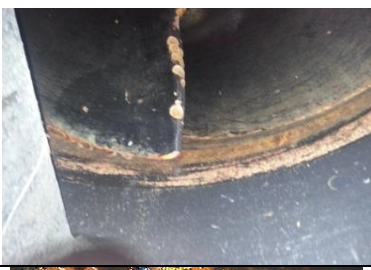
△3 機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態

△2 機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態

△1 機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態

× 機能に支障が生じており、緊急に措置(修繕・更新・取替)が必要な状態

表 4-3 羽根車（炭素鋳鉄鋼）の評価指標（案）

評価	工業用内視鏡撮影結果	画像	
○	概ね良好		
△3	軽度な劣化・損傷		
△2	中度な劣化・損傷		
△1	重度な劣化・損傷		
×	顕在劣化・損傷		

凡例： ○ 機能に支障が生じていない状態

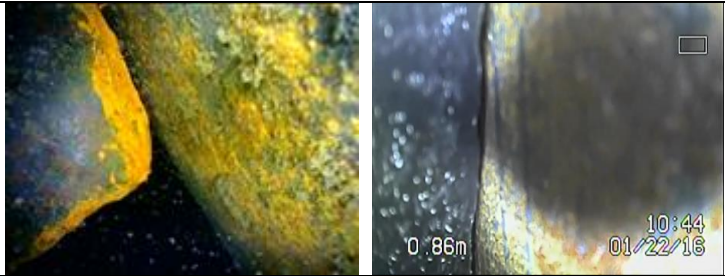
△3 機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態

△2 機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態

△1 機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態

× 機能に支障が生じており、緊急に措置(修繕・更新・取替)が必要な状態

表 4-4 ケーシングライナ（鋳鉄）の評価指標（案）

評価	工業用内視鏡撮影結果	画像
○	概ね良好	
△3	軽度な劣化・損傷	
△2	中度な劣化・損傷	
△1	重度な劣化・損傷	
×	顕在劣化・損傷	

凡例： ○ 機能に支障が生じていない状態

△3 機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態

△2 機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態

△1 機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態

× 機能に支障が生じており、緊急に措置（修繕・更新・取替）が必要な状態

表 4-5 ケーシングライナ（ステンレス鍍鋼）の評価指標（案）

評価	工業用内視鏡撮影結果	画像	
○	概ね良好		
△3	軽度な劣化・損傷		
△2	中度な劣化・損傷		
△1	重度な劣化・損傷		
×	顕在劣化・損傷		

凡例： ○ 機能に支障が生じていない状態

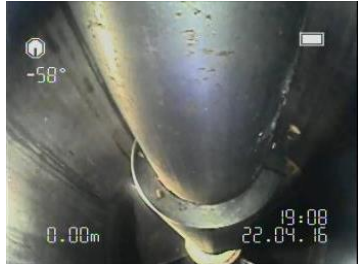
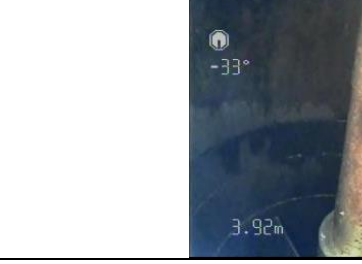
△3 機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態

△2 機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態

△1 機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態

× 機能に支障が生じており、緊急に措置(修繕・更新・取替)が必要な状態

表 4-6 主軸（ステンレス鋼）の評価指標（案）

評価	工業用内視鏡撮影結果	画像	
○	概ね良好		
△3	軽度な劣化・損傷		
△2	中度な劣化・損傷		
△1	重度な劣化・損傷		
×	顕在劣化・損傷		

凡例： ○ 機能に支障が生じていない状態

△3 機能に支障が生じていないが、経過観察が必要な状態

△2 機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態

△1 機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態

× 機能に支障が生じており、緊急に措置(修繕・更新・取替)が必要な状態

4.6. 報告書作成

報告書は、撮影対象、撮影日、撮影者、撮影方法、撮影結果、診断結果を分かりやすくまとめたものとする。

【解説】

- ・ 報告書は、表 4-7内の項目が明記してあることが望ましい。
- ・ 動画で撮影を実施した場合、必要なデータを静止画像として、抽出する。
- ・ 報告書は、施設管理者及び診断を行った者が適切に保管することとし継続性に配慮する。

表 4-7 報告書に記載すべき項目

大項目	小項目
撮影概要	排水機場名、点検日、撮影者名
撮影対象	号機、診断に必要な設備仕様
撮影方法	使用機器、撮影箇所、撮影条件（特記事項）
撮影結果	静止画像
診断結果 （評価）	診断の対象機器を明らかにした上で、撮影結果を根拠とした分かりやすい見解をまとめる。

4.7. 技術的課題

(1) 精密診断の適用

- ・ 本マニュアル（案）を適用するにあたっては、診断技術者及び報告書を活用する管理者とも(2)項以下に示す課題を明確に認識しておく必要がある。
- ・ 本診断技術は、現状の知見に基づく基本的なものであり、診断者は診断精度の向上を目指して資格制度や講習などを活用した継続研鑽、実地による診断経験の蓄積により技術力向上に努める必要がある。

(2) 撮影データ蓄積

- ・ 本マニュアル（案）に評価指標（案）を示したが、サンプル数がまだ少ないことから、工業用内視鏡撮影画像の判断指標の実証データを積み上げる必要がある。なお、ポンプによってそれぞれ内部構造や材質が変わるため、注意する必要がある。

(3) 診断技術確立への取り組み

- ・ 工業用内視鏡では、汚れが錆のように見えてしまうことがある。ポンプの構造によっては、図 4-8のような清掃用具を使用することで、図 4-9から図 4-11に示すように、汚れの確認ができる。
- ・ 分解整備時の記録と精密診断結果の検証を重ね、新たな指標が得られれば診断方法を改訂していく必要がある。



図 4-8 清掃用具

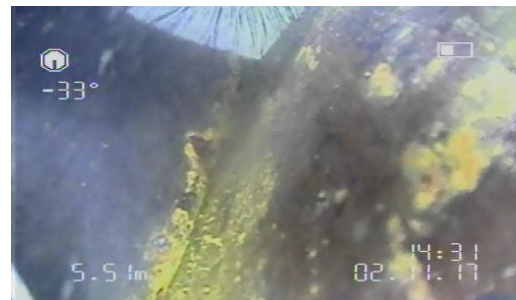


図 4-9 清掃前



図 4-10 清掃中



図 4-11 清掃後

(4) 作業の効率化

- 工業用内視鏡撮影を行うにあたっては、前述のとおり、点検口の開放・復旧が必要である。図 4-12に示すような点検窓を導入することで点検口蓋の取り外しやパッキンの交換が不要とできる技術もある。



図 4-12 工業用内視鏡に対応した点検窓（出典：クボタ機工株式会社 カタログ）

5. 工業用内視鏡撮影による診断（主原動機）

5.1. 基本事項

5.1.1. 対象設備

本章で述べる工業用内視鏡撮影による診断は、ディーゼル機関の主原動機を対象とする。

5.1.2. 適用範囲

本章で述べる工業用内視鏡撮影による診断は、点検の結果、主原動機（ディーゼル機関）の過給機入口排気温度や各気筒排気温度の傾向管理において、異常の傾向が認められる場合（△評価）、あるいは信頼性による修繕・取替の標準年数を超えた場合に適用する。

【解説】

- ・ 主原動機（ディーゼル機関）の過給機入口排気温度や各気筒排気温度の傾向管理において異常の傾向が見られた場合には精密診断の必要性を検討することとなるが、過給機及びシリンダ内部の状況確認においては工業用内視鏡による撮影・診断が有効な場合がある。工業用内視鏡によるディーゼル機関内部の観察は、エンジンメーカーにおいても、過給機、シリンダ内部等の損傷の有無等の確認で利用される場合がある。
- ・ エンジン内部全体の確認はできないが、工業用内視鏡を挿入した箇所の明らかな傷や損傷、腐食等の状況は確認できる。
- ・ ディーゼル機関の工業用内視鏡撮影は、部分的な分解によって可能となるが、各機器によって構造が異なり、内視鏡の挿入位置と撮影対象間の距離や構造により撮影の難易、可否が左右される。困難な場合は、さらに広い範囲の部分分解による方法の検討が必要となる。
- ・ エンジンの運転に支障は無く緊急性はないが傾向管理で異常の傾向が見られた場合に、現在の状態を確認するために工業用内視鏡撮影を行うのは有効な方法と考えられる。ただし、内視鏡で確認できる範囲は限られており、損傷具合を必ずしも明瞭に確認できるとは限らない点等も念頭に置く必要がある。
- ・ その他に、聴診による異常音の検出等の定性的な判断においても通常状態に対し、明らかな差異が確認された場合は、精密診断を行う。

5.2. 撮影・診断実施方法

5.2.1. 撮影・診断手法の概要

1. 工業用内視鏡撮影は、精密診断として、主原動機内部の不具合原因の分析・特定を行う。
2. 工業用内視鏡撮影は、撮影条件に応じて適切な内容で実施する。
3. 工業用内視鏡撮影を実施する者は、主原動機の構造を十分に習熟したうえで撮影に臨むものとする。

【解説】

- ・ 工業用内視鏡は、柔軟に動くカメラおよびケーブルにより、僅かな隙間から内部の対象に接近し、目視では確認できない箇所の観察を、大規模な分解をせずに実施できる診断技術である。
- ・ 主原動機の構成部品の健全度を評価するために、シリンダーヘッド内部や過給機内部等の目視では確認できない箇所を工業用内視鏡によって撮影・診断する。ただし、主原動機の構造によっては、撮影ができない等、各原動機によって特徴があることに注意する。
- ・ 診断を担当する技術者は、原動機の構造・機能や経年による劣化・損傷の傾向等の知識を有し、ポンプ内部の各部位を内視鏡により撮影した映像の理解に十分な技量を有する必要がある。
- ・ 主原動機の工業用内視鏡撮影のイメージを図 5-1に示す。

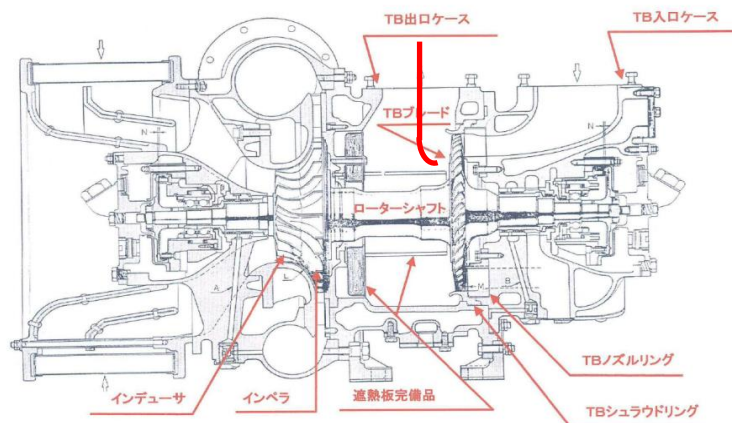


図 5-1 過給機内部の工業用内視鏡撮影イメージ

5.2.2. 撮影・診断の手順・要領

工業用内視鏡を用いた撮影・診断フローを図 5-2に示す。

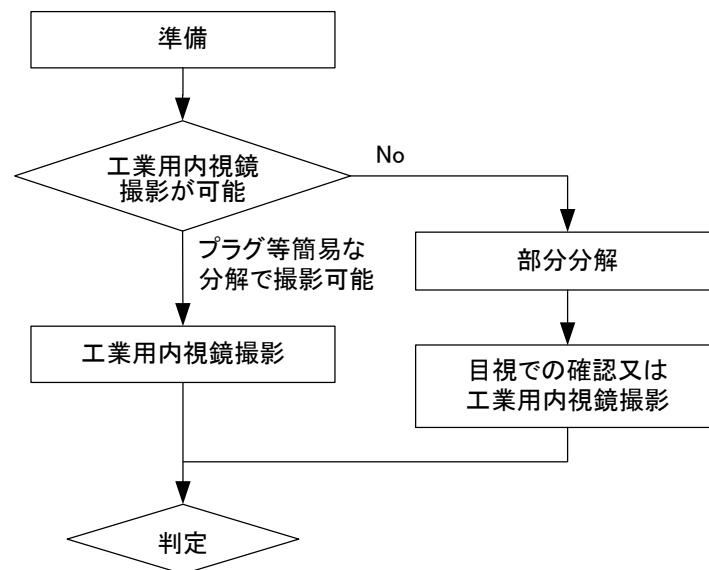


図 5-2 診断のフロー

5.3. 準備

5.3.1. 資料の収集

主原動機の構造・仕様を把握するために、撮影対象設備の詳細を確認できる資料を収集する。

【解説】

- ・ 撮影前に、対象設備の構造・仕様の把握が必要であるため、既設完成図書等から詳細を確認する。主な項目は次のとおりである。

- ① 主原動機の図面
- ② シリンダーヘッドの構造
- ③ 過給機のプラグ位置（温度計プラグ等を含む）

図面等では確認できないことがあるため、必要に応じてメーカーに確認することや、事前に現地を確認することが望ましい。

5.3.2. 撮影箇所の検討

工業用内視鏡の撮影箇所は、主原動機内部のピストンヘッド、シリンダーライナ、給排気弁、タービンプレード、ノズルリング等を対象とする。

【解説】

- ・ ディーゼル機関は、部分的な分解によって、工業用内視鏡撮影が可能となる。しかし、各機器によって構造が異なるため、軽微な分解では撮影できないことがある（図 5-3参照）。一方、撮影が容易な場合もある（図 5-4参照（プラグから過給機まで距離が短く容易に撮影可能な例））。したがって、事前にディーゼル機関の構造を把握し、目的箇所の撮影が可能であるか検討する必要がある。
- ・ 給排気管や空気冷却器、潤滑油冷却器、冷却配管等も機器によっては、部分的な分解で撮影できることがある。
- ・ シリンダ内部の内視鏡撮影では、油分やススの影響で明るい画像が得にくく、シリンダーライナの状態を判断できるような鮮明な画像の撮影は困難な場合が多い。シリンダーライナは内面だけでなく冷却水がまわる外面の腐食が懸念される場合があり、状況により分解点検による方法も考慮する必要がある。
- ・ シリンダ内部の内視鏡撮影は、作業の工程や効率性の観点から、過給機の内視鏡撮影と同時に実施することを考慮する。

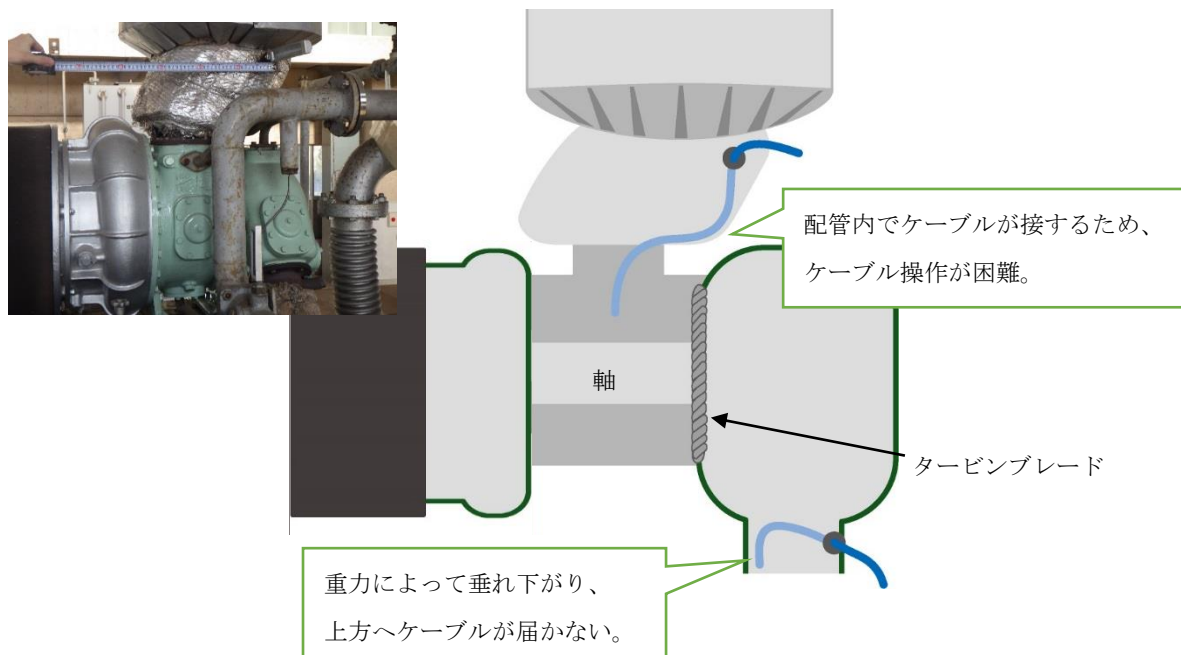


図 5-3 過給機内部工業用内視鏡撮影検討図（参考）

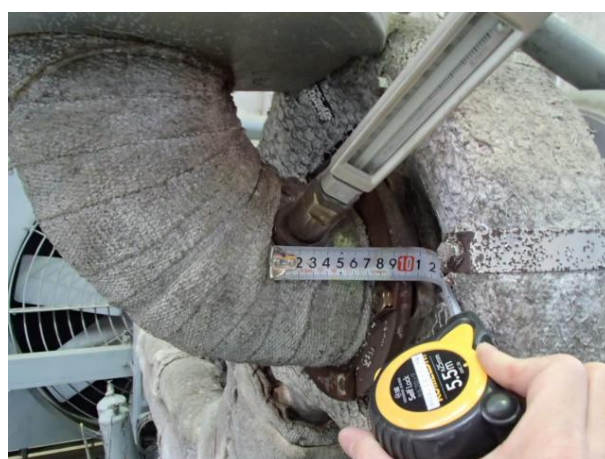


図 5-4 プラグから過給機内部の撮影が可能な例

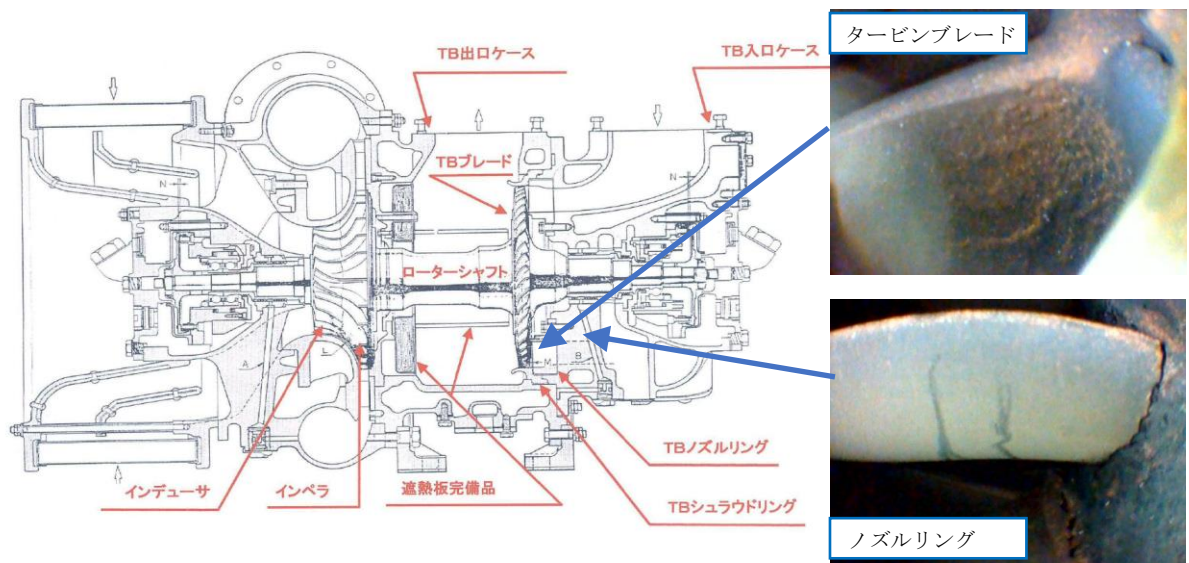


図 5-5 過給機内部の内視鏡撮影箇所例

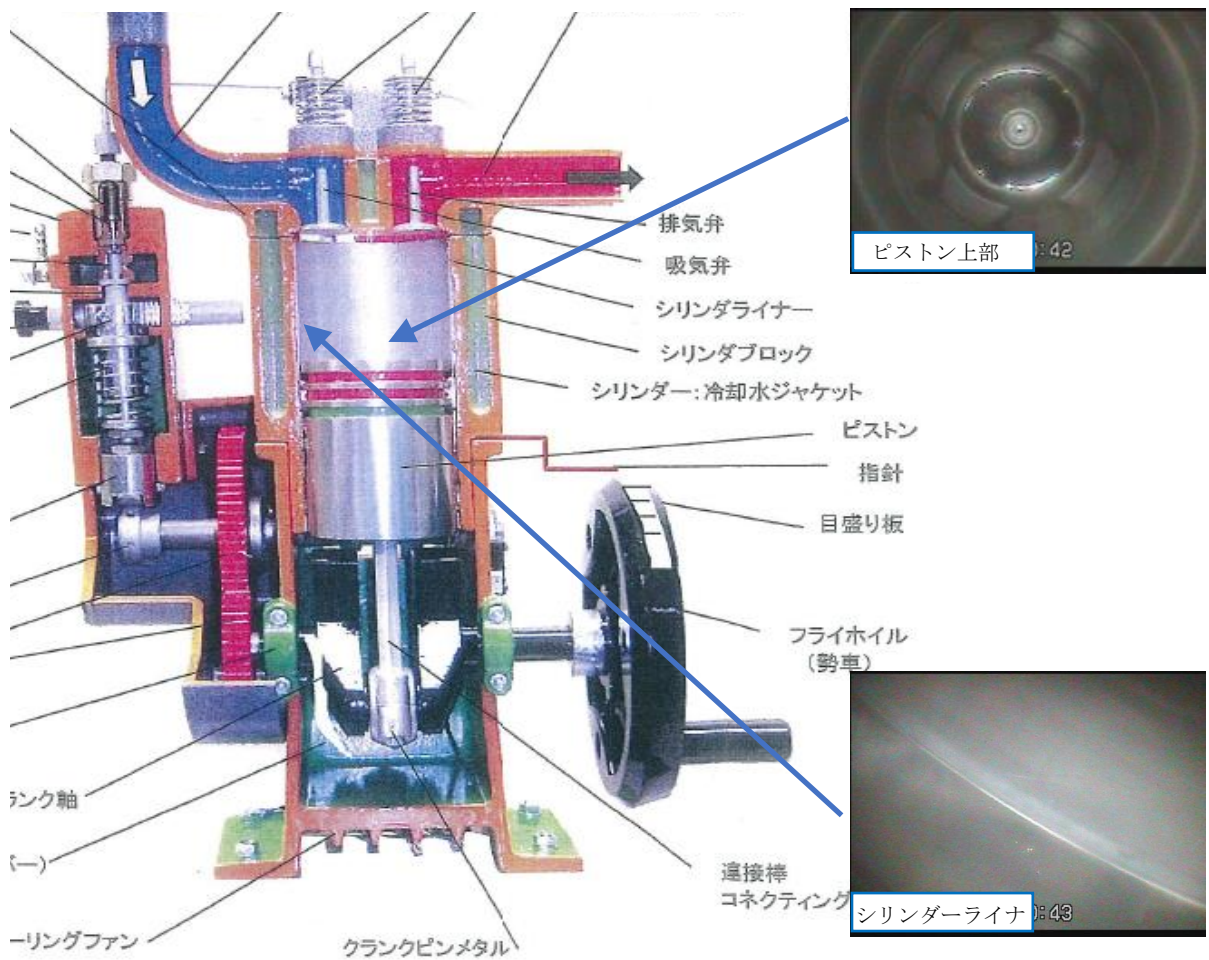


図 5-6 ピストン上部およびシリンダーライナーの工業用内視鏡撮影箇所例

5.3.3. 使用機器（工業用内視鏡）の手配

工業用内視鏡は、主原動機内部の暗所も鮮明に撮影できる耐油性のポータブルな機器を標準とする。

【解説】

- ・ シリンダ内部は暗所であり、照度が低い機器で撮影すると、内部を撮影できないことがある。また、同じ機器で異なるディーゼル機関の撮影を行った際も、ディーゼル機関の構造によって、撮影できる場合とできない場合がある。
- ・ ディーゼル機関の内部には、油が溜まっていることがあるので、機器の挿入部は耐油性が必要である。

5.3.4. 交換部品及び工具の手配

撮影対象設備の確認をできる資料の収集、撮影条件等の確認、分解・復旧に必要な交換部品（ガスケット等）の手配を行う。

【解説】

- ・ 交換部品の例を図 5-7に示す。



図 5-7 交換部品の例（ガスケット）

5.3.5. 撮影日時の検討

工業用内視鏡撮影は、主ポンプの運転が見込まれない時に、実施する。

【解説】

- ・ 工業用内視鏡撮影を実施するには、主原動機の分解が必要となり、分解中は、主ポンプの運転ができない。したがって、主ポンプの運転が見込まれる雨天時等の撮影は避ける必要がある。
- ・ 分解・復旧を伴うため、作業終了後に主原動機を運転し、不具合が無いことを確認する必要がある。したがって、工業用内視鏡撮影後に試運転を行うことができる日を選定することが望ましい。

5.4. 工業用内視鏡撮影

主原動機を部分的に分解し、工業用内視鏡によって撮影を行う。

【解説】

- ・ 現場での撮影時、診断を担当する技術者は、注意深く観察して、異常の無い箇所と劣化の可能性のある箇所を見分けていき、劣化の疑われる箇所を重点的に確認する。
- ・ 劣化が発見された場合、劣化箇所を重点的に撮影し、記録する。
- ・ 撮影手順の具体的な内容を以降に示す。

(1) シリンダ内部の撮影

① ボンネット蓋の分解

ボンネット蓋を取り外す。

② 燃料弁の抜き出し

ボンネット内部の諸配管を分解し、燃料弁を抜き出す。

③ 工業用内視鏡撮影

工場用内視鏡のカメラを燃料弁取付穴から挿入し、撮影対象を確認する。
必要に応じ、ターニングによりピストン位置を確認しながら撮影する。

④ 復旧

①～②を逆の手順で復旧し、空気抜きを行って調整を行う。

⑤ 復旧の確認

試運転を行い、不具合がないことを確認する。

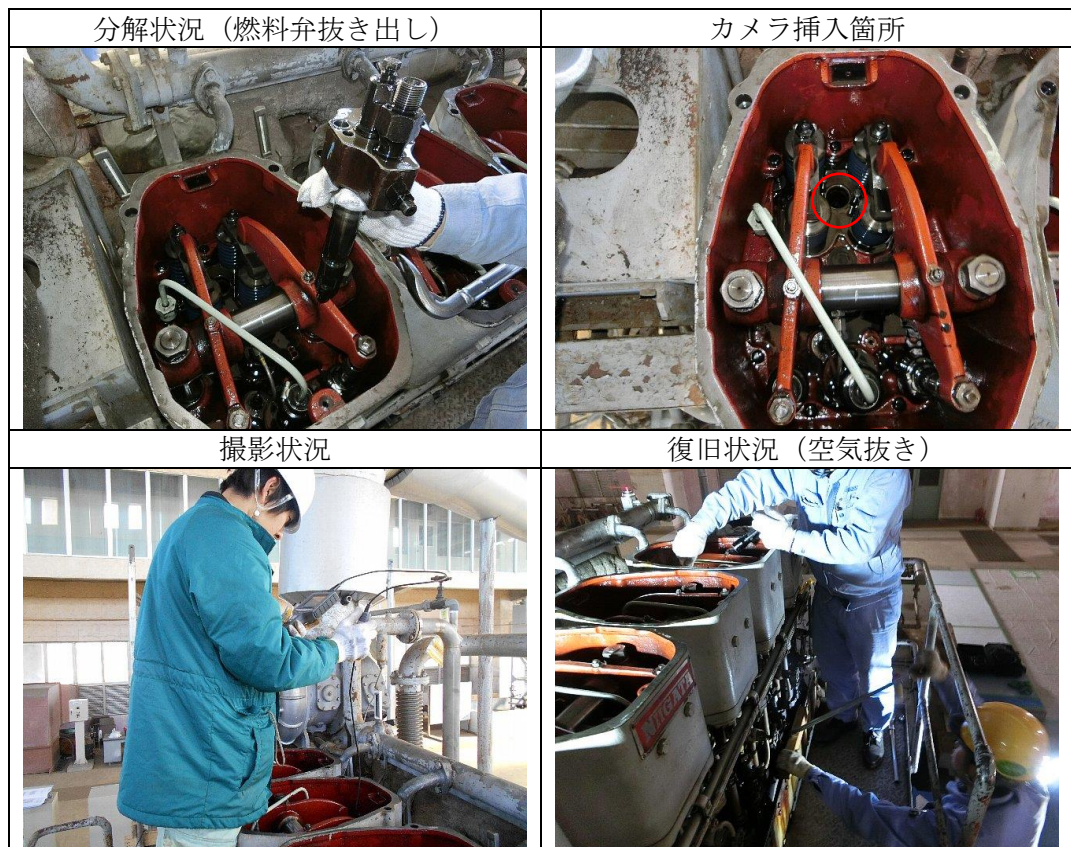


図 5-8 工業用内視鏡撮影事例（参考）

(2) 過給機内部の撮影

① プラグの分解

プラグを取り外す。

② 工業用内視鏡撮影

工場用内視鏡のカメラをプラグの穴から挿入し、撮影対象を確認する。
なお、プラグの穴からうまく撮影ができない場合は、排気管を分解することで、撮影を容易にする方法もある。

③ 復旧

プラグを復旧する。

④ 復旧の確認

試運転を行い、復旧を確認する。

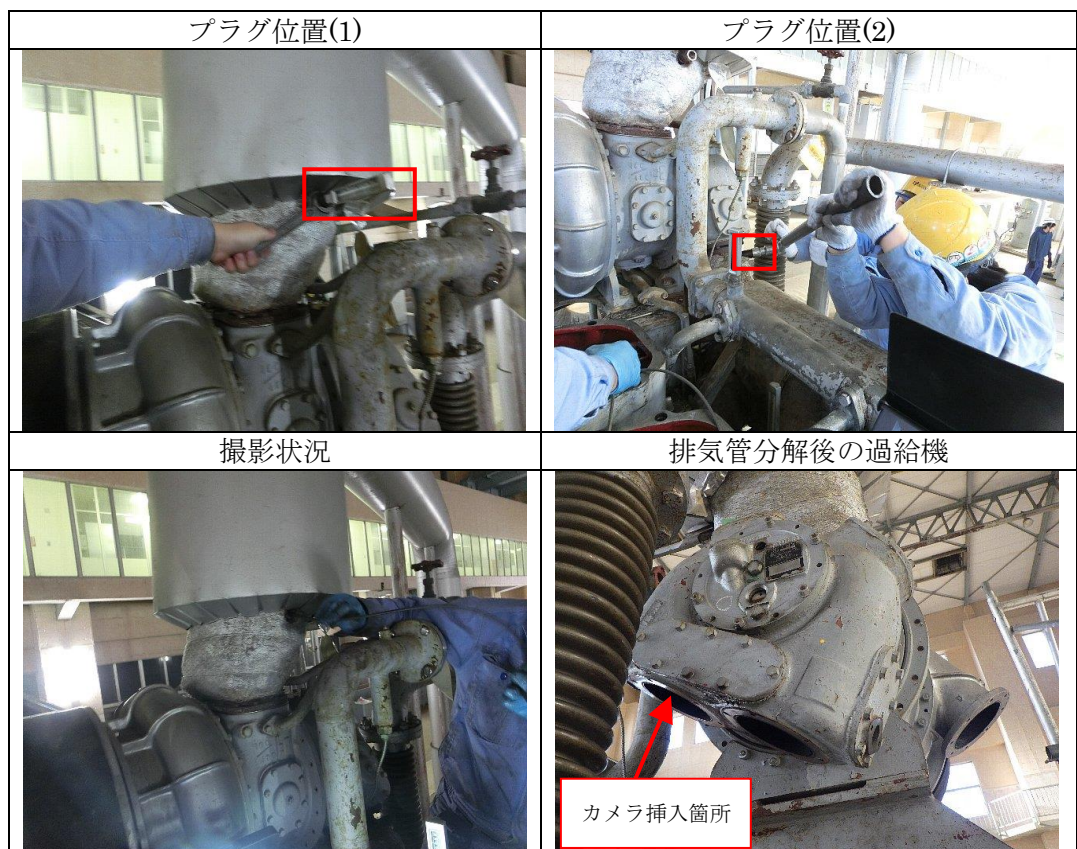


図 5-9 工業用内視鏡撮影事例（参考）

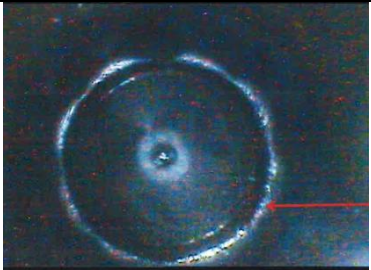
5. 5. 評価・判定

撮影結果から、対象の劣化程度を診断する。

【解説】

- ・ 撮影結果から過去の事例や知見を参考に、劣化程度の診断を実施する。なお、評価指標（案）を表 5-1から表 5-3に示す。ただし、評価指標（案）は、サンプル数がまだ少ないことから、参考として使用するものとする。

表 5-1ピストン上部の評価指標（案）

評価	工業用内視鏡撮影結果	画像	
○	概ね良好		
△3	軽度な劣化・損傷		
△2	中度な劣化・損傷		
△1	重度な劣化・損傷		
×	顕在劣化・損傷		

凡例： ○ 機能に支障が生じていない状態

△3 機能に支障が生じていないが、状態の経過観察が必要な状態

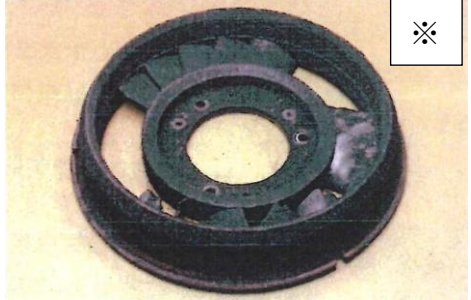
△2 機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態

△1 機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態

× 機能に支障が生じており、緊急に措置(修繕・更新・取替)が必要な状態

※デジタルカメラを使用して撮影した画像（工業用内視鏡で撮影した画像ではない）

表 5-2 ノズルリングの評価指標（案）

評価	工業用内視鏡撮影結果	画像	
○	概ね良好		 ※
△3	軽度な劣化・損傷		
△2	中度な劣化・損傷		
△1	重度な劣化・損傷		
×	顕在劣化・損傷		 ※

凡例： ○ 機能に支障が生じていない状態

△3 機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態

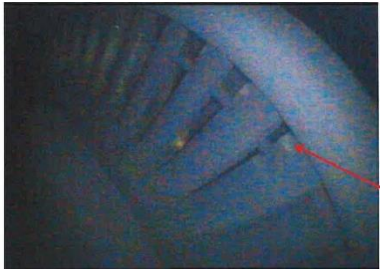
△2 機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態

△1 機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態

× 機能に支障が生じており、緊急に措置(修繕・更新・取替)が必要な状態

※デジタルカメラを使用して撮影した画像（工業用内視鏡で撮影した画像ではない）

表 5-3 タービンブレードの評価指標（案）

評価	工業用内視鏡撮影結果	画像
○	概ね良好	
△3	軽度な劣化・損傷	
△2	中度な劣化・損傷	
△1	重度な劣化・損傷	
×	顕在劣化・損傷	

凡例： ○ 機能に支障が生じていない状態

△3 機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態

△2 機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態

△1 機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態

× 機能に支障が生じており、緊急に措置(修繕・更新・取替)が必要な状態

5. 6. 報告書作成

報告書は、撮影対象、撮影日、撮影者、撮影方法、撮影結果、診断結果を分かりやすくまとめたものとする。

【解説】

- ・ 報告書は、表 5-4内の項目が明記してあることが望ましい。
- ・ 動画で撮影を実施した場合、必要なデータを静止画像として、抽出する。
- ・ 報告書は、施設管理者及び診断を行った者が適切に保管することとし継続性に配慮する。

表 5-4 報告書に記載すべき項目

大項目	小項目
撮影概要	排水機場名、点検日、撮影者名
撮影対象	号機、診断に必要な設備仕様
撮影方法	使用機器、撮影箇所、撮影条件（特記事項）
撮影結果	静止画像
診断結果 （評価）	診断の対象機器を明らかにした上で、撮影結果を根拠とした分かりやすい見解をまとめる。

5.7. 技術的課題

(1) 精密診断の適用

- ・ 本マニュアル（案）を適用するにあたっては、診断技術者及び報告書を活用する管理者とも(2)項以下に示す課題を明確に認識しておく必要がある。
- ・ 本診断技術は、現状の知見に基づく基本的なものであり、診断者は診断精度の向上を目指して資格制度や講習などを活用した継続研鑽、実地による診断経験の蓄積により技術力向上に努める必要がある。

(2) 撮影データ蓄積

- ・ 本マニュアル（案）に評価指標（案）を示したが、サンプル数がまだ少ないことから、工業用内視鏡撮影画像の判断指標の実証データを積み上げる必要がある。なお、原動機によってそれぞれ内部構造や仕様が異なるため、注意する必要がある。

(3) 診断技術確立への取り組み

- ・ 分解整備時の記録と精密診断結果の検証を重ねることで、新たな指標が得られれば診断方法を改訂していく。
- ・ 過給機内部の撮影等で、工業用内視鏡カメラの挿入経路が複雑な場合、図 5-10 のようにガイドチューブ（スコープを通し、任意の形に曲げて固定できる）を使用する方法も検討することが望ましい。



図 5-10 セミフレキシブルガイドチューブ（出典：オリンパス株式会社カタログ）

- ・ 給気弁や排気弁を撮影する場合、図 5-11に示すように、工業用内視鏡の進行方向と反対側にカメラを向ける必要があることから、大きくカメラを曲げることができる機器の性能と操作者の高い技量が必要となる。

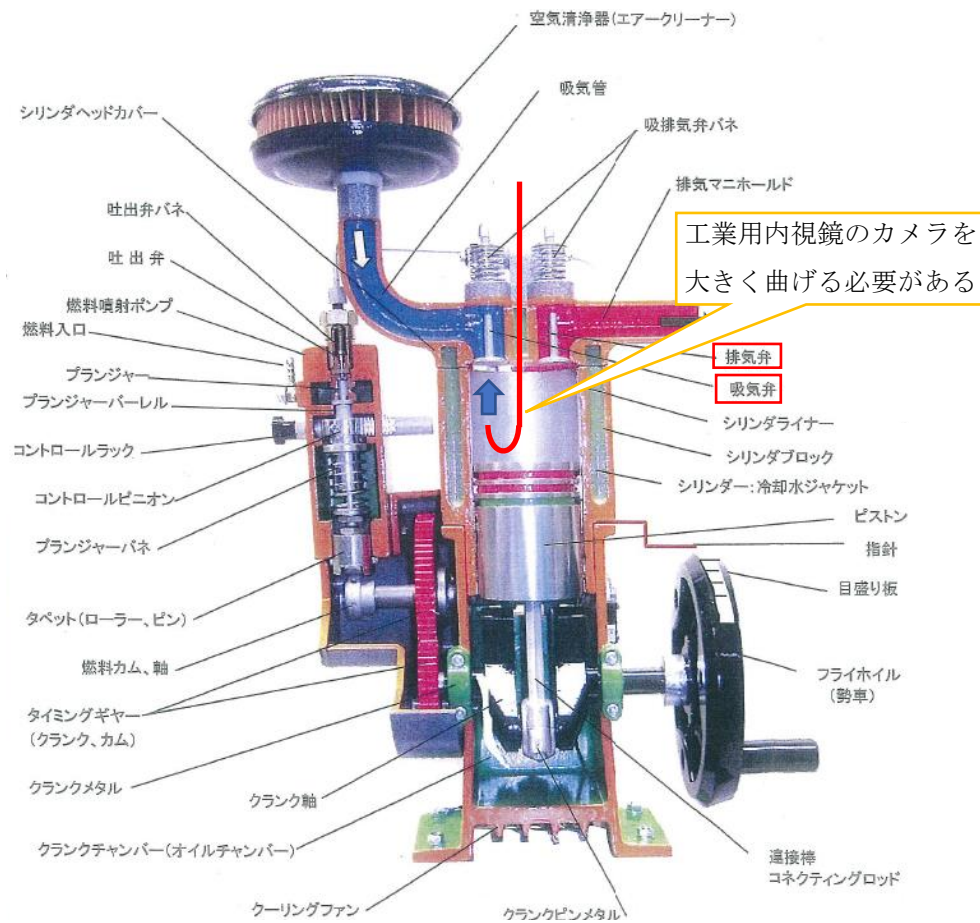


図 5-11 排気弁・給気弁の撮影方法

6. 漏洩電流計測・診断

6.1. 基本事項

6.1.1. 対象設備

本章で述べる漏洩電流計測・診断は、揚排水ポンプ設備（自家発電設備や系統機器設備を含む）のコントロールセンタおよび機側操作盤二次側の動力回路・機器を含む電路を対象とする。

6.1.2. 適用範囲

本章で述べる漏洩電流計測・診断は、点検の結果、対象電路に含まれる装置の絶縁抵抗値に異常変動が見られた場合、あるいは信頼性による修繕・取替の標準年を超えた場合に適用する。

【解説】

- ・ 絶縁抵抗値は計測時の天候及び運転条件等により変動することがあるため、絶縁抵抗値の変動の原因が、機器の劣化に起因するものか、環境条件等に起因するものか、判定することが困難である。このため、漏洩電流計測・診断は、定期点検時の絶縁抵抗値が評価基準値を満たしていても、傾向管理により絶縁抵抗値に変動が見られるような設備を計測対象とすることが効果的と考えられる。また、絶縁抵抗値の変動が、計測時の環境条件や計測誤差による変動の一般的な許容範囲を超過するような異常な変動が見られた際には、漏洩電流計測による精密診断を継続的に実施する。

6.2. 計測・診断実施方法

6.2.1. 漏洩電流計測・診断手法の概要

漏洩電流計測・診断は、通常の運転で印加されている電源電圧の条件下で、測定箇所より下流側の電路についての漏洩電流の総量を検出することができる計測器を用いて、対象の動力回路、装置の漏電箇所の特定、劣化程度の把握を行うものである。

【解説】

- ・ 漏洩電流計測は、通常の運転で印加されている電源電圧の条件下で、測定箇所より下流側の電路について、漏洩電流の総量を検出することができる技術である。
- ・ 漏洩電流計測は、特別な下準備が不要かつ活線状態での計測が可能であり、対象電路の漏洩電流の検出及び劣化状況の判定を行う。河川用ポンプ設備における適用の範囲は、コントロールセンタおよび機側操作盤を含めた二次側の動力回路及び機器等の電路である。
- ・ 漏洩電流は大別して I_0 （以降 I_o と記述する）、 I_{gr} （計測原理によっては I_{or} と呼称）、 I_{gc} （計測原理によっては I_{oc} と呼称）の3種類があり、 I_o は I_{gr} と I_{gc} の合成電流である。発熱を伴う危険な漏洩電流は I_o を構成する電流のうち、絶縁抵抗に流れる電流 I_{gr} のみである。実際に感電事故・漏電火災等の被害に直結する漏洩電流が I_{gr} であるため、 I_o 値を検出するだけでは漏洩電流の状況を正しく評価することはできない。
- ・ 本マニュアル（案）に述べる漏電計測器は、漏洩電流のうち機器に影響を及ぼす抵抗漏洩電流成分のみを検出できる技術であり、設備の維持管理に有効な技術である。
- ・ 漏洩電流計測のイメージ図を図 6-1に示す。

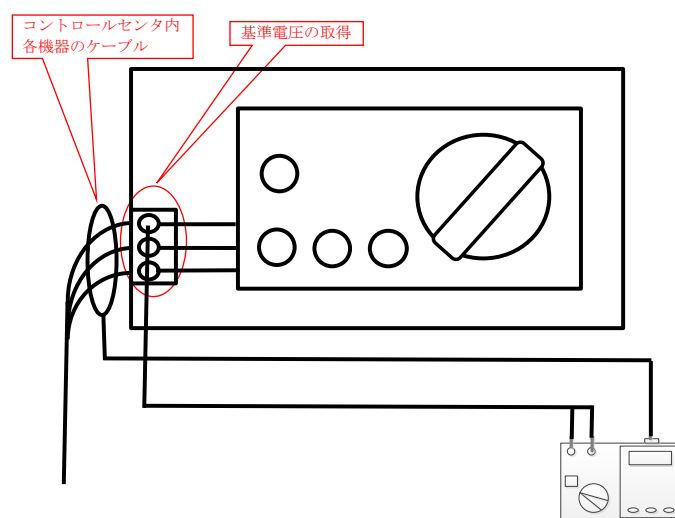


図 6-1 漏電電流計測のイメージ図

6.2.2. 計測・診断の手順・要領

漏電計測器を用いた漏電計測・診断フローを図 6-2に示す。

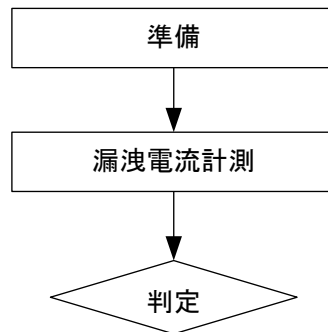


図 6-2 漏電計測器計測・診断フロー

6.3. 準備

6.3.1. 資料の収集

計測対象設備の確認をできる資料の収集を行う。

【解説】

- ・ 結線図を入手し、測定回路（結線方法等）を確認する。
- ・ 対象電路において、使用予定機器が計測可能であるか確認する（スター結線の場合、計測できない機器がある）。
- ・ 計測機器に不具合があると、正確な計測が実施できないため、計測機器の点検・校正を行う。

[参考]

- ・ 結線図を入手できない場合、または結線図から測定回路の結線方法が確認することができない場合、漏洩電流計測前に現地で図 6-3のようにボルトテストを使用して、対地電圧を計測することで結線方法を確認する方法もある。



図 6-3 ボルトテスト（参考）

6.3.2. 計測箇所の検討

漏電計測は、コントロールセンタまたは機側操作盤内における動力電源主幹より下流側にて行う。

【解説】

- ・ 漏電計測は、計測用クランプを設置した箇所から下流側の電路について、漏洩電流の総量を検出することができるため、計測用クランプの設置位置が上流であるほど、検出される漏洩電流値は大きくなる。
- ・ 以降に計測箇所の例を示す。

(1) コントロールセンタ

図 6-4に示すように、コントロールセンタ内の動力線を計測する。

なお、コントロールセンタ型の場合、機側操作盤に動力線が通っていないことが多いため、コントロールセンタより下流で計測を実施する場合は、電動機手前の配線での計測が考えられる。ただし、配線状況により、漏電計測器が設置できない場合があることと、電動機の電磁誘導により影響を受ける可能性があることに注意が必要である。



図 6-4 コントロールセンタの計測箇所（参考）



図 6-5 電磁誘導による影響

(2) 機側操作盤

機側操作盤内において、動力主幹電源遮断器直下が、最も電源に近く、計測可能な箇所であることから、動力主幹電源遮断器直下にて計測を実施する。

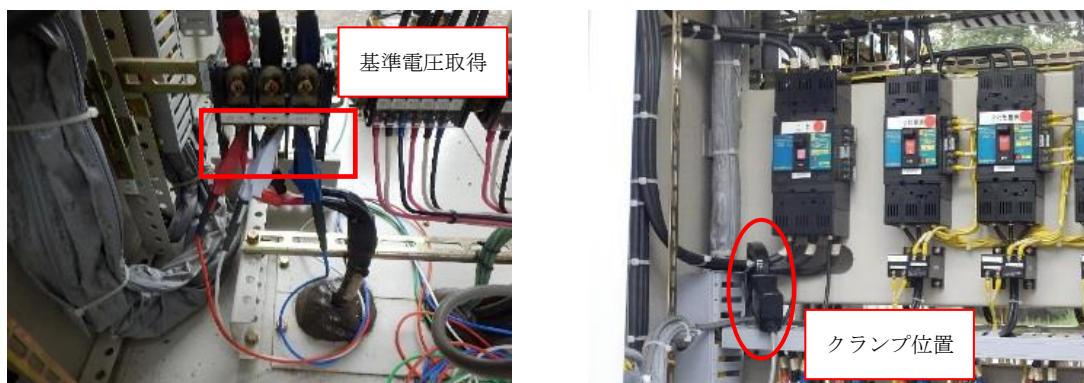


図 6-6 機側操作盤の計測箇所（動力主幹電源遮断器直下）（参考）

[参考]

- 機側操作盤内で不具合箇所の特定を行う場合は、複数の箇所について計測を実施し、差分を評価する。なお、計測箇所の例を図 6-7、図 6-8に示す。

① 動力主幹電源遮断器直下のケーブル

機側操作盤内において、動力主幹電源遮断器直下が、最も電源に近く、計測可能な箇所である。したがって、機側操作盤から電動機にかけて漏洩電流の発生状況を概略的に確認することを目的に計測を実施する。

② 電動機用配線用遮断器直下のケーブル

漏洩電流が発生している機器を特定するため、動力主幹電源遮断器直下のケーブルより下流側の機器にて計測を行い、機器を絞込む必要がある。したがって、動力主幹電源遮断器から電動機用配線用遮断器間にある機器の漏洩電流の発生状況を確認することを目的に計測を実施する。

③ 機側操作盤の盤外に出る直前のケーブル

機側操作盤外に出るケーブルは鋼管等による保護または埋設されている可能性があり、電動機の漏洩電流を正確に計測することが難しい可能性が高い。したがって、電動機用配線用遮断器から電動機間にある機器及び下流のケーブル及び電動機の漏洩電流の発生状況を確認することを目的に計測を実施する。

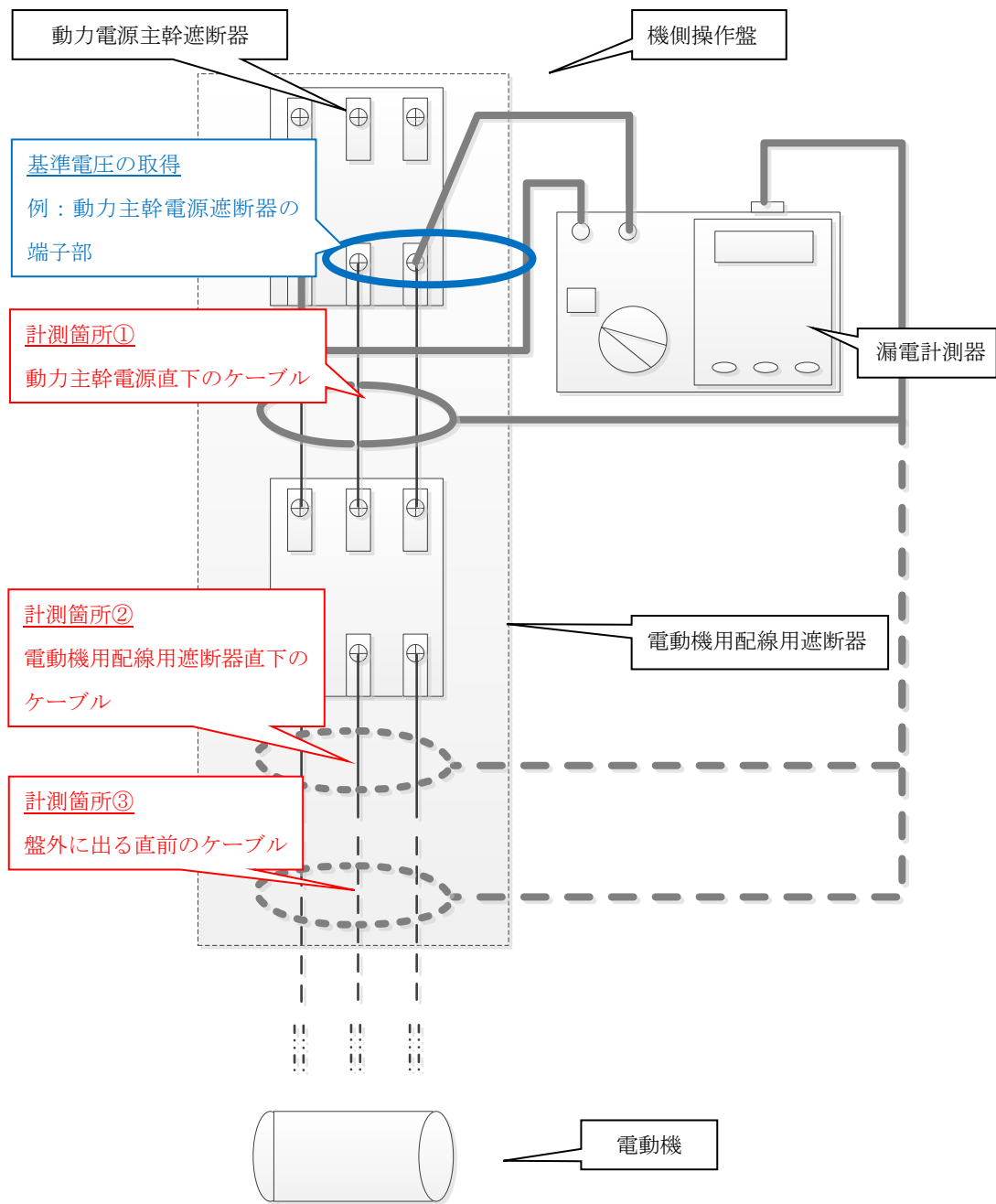


図 6-7 機側操作盤の計測箇所（イメージ）（参考）

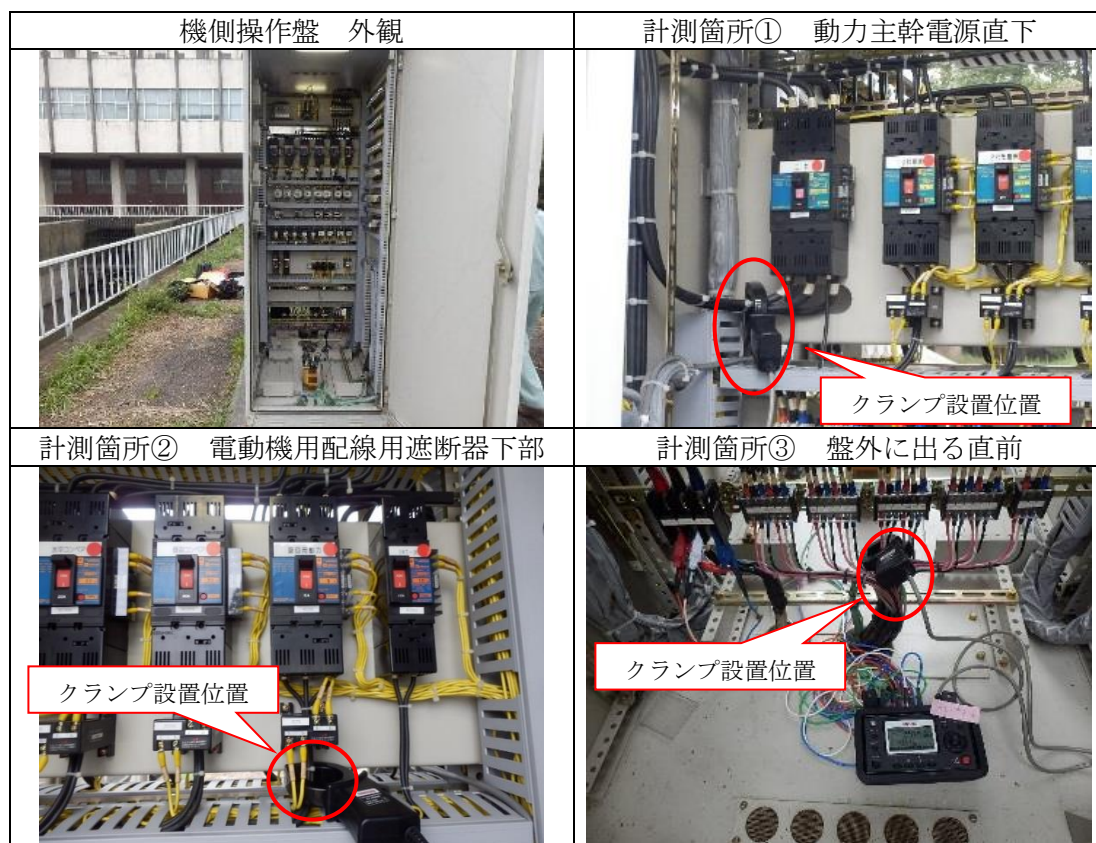


図 6-8 機側操作盤の計測箇所（参考）

6.3.3. 使用機器（漏洩電流計測機器）の手配

漏洩電流計測器は、対象電路の任意の箇所でも漏洩電流が計測可能、かつポータブルな計測器を標準とする。

【解説】

- ・ 各性能要件に関する考え方を以下に示す。
 - (1) 抵抗漏洩電流成分（ I_{gr} 値もしくは I_{or} 値）、 I_o 値が計測可能であること
 I_o 値は絶縁抵抗に流れる電流 I_{gr} 成分と対地静電容量による漏洩電流成分である I_{gc} 成分の合成電流である。そのため、 I_o 値のみで診断をすると絶縁抵抗の劣化とは異なる環境条件による漏洩電流値の基準超過も考えられるため、実際に感電事故・漏電火災等の被害に直結する漏洩電流 I_{gr} が計測できることが必須となる。また、 I_{gr} 値が I_o 値を上回る三相逆流現象の確認を行うために I_o 値の計測が必要となる（三相逆流現象については表 6-1を参照）。
 - (2) 1mA 以下の漏洩電流が計測可能であること
漏洩電流値の評価基準に基づき評価を行うことを考慮すると、1mA 以下の小さな漏洩電流の計測が必要となる。（漏洩電流値の評価基準等については 6.5.評価にて後述する）。
 - (3) 分解能が最低 0.1mA 以下であること
(2)と同様、漏洩電流値の評価基準に基づき評価を行うことを考慮すると、1mA の分解能では、機器の劣化状態を十分に把握することができず、最低限 0.1mA の単位で計測結果が得られることが望ましい。（漏洩電流値の評価基準等については 6.5.評価にて後述する）。

表 6-1 各計測項目における考え方

漏洩電流 I_{gr} 値	機器の故障・劣化状況の評価するために計測を実施する。 具体的な評価方法等については「6.5.評価」にて後述する。
漏洩電流 I_o 値	I_o は I_{gr} と I_{gc} の合成電流であるため、 I_o と I_{gr} の関係性は基本的に $I_o > I_{gr}$ であり、三相の計測において I_{gr} が I_o を超えるような例外（三相逆流現象）が発生した場合は、2つの電路（R相・T相）の内、R相側の機器・配線が劣化していることが予想される。 したがって、三相逆流現象の発生を確認するため、 I_o 値の計測を実施する。

[参考]

- ・ 計測対象によっては次の性能要件をもつ漏電計測器の採用が望ましい。

(1) 周囲環境の影響が少ないこと

漏電計測器は電磁誘導等ノイズの影響により、計測結果が増減する恐れがあり、計測値の信頼性確保を図るため、周囲環境の影響を低減させることができる計測方式の採用が望ましい。

(2) 測定可能回路の種類が多いこと

漏電計測器によって、測定可能回路は異なり、測定回路が三相スター結線の場合、測定できない機器もあるため、測定可能回路の種類は、多いことが望ましい。

(3) 電圧の補正機能を持つこと

測定回路対地電圧のバランスが悪い場合、測定結果に影響が出ることがある。したがって、対地電圧のアンバランスを補正した条件で漏洩電流計測が可能な機器を採用することが望ましい。

6.3.4. 計測タイミングの検討

対象電路の運転時、任意のタイミングで漏電計測を実施する。

【解説】

- ・ 運転時間が短い機器もあるため、速やかに計測を実施する。

6. 4. 漏洩電流計測

漏洩電流計測器を使用し、対象電路の任意の箇所をクランプすることにより、漏洩電流を計測する。

【解説】

- ・ 計測手順の具体的な内容を次に示す。
 - ④ 計測条件の記録
漏洩電流は温度や天候等の条件によって変化するため、条件を記録する。
 - ⑤ 漏電計測器本体の計測設定
測定電路に適したモードに機器の設定を合わせる。
 - ⑥ 漏洩電流計測器の設置
計測用クランプで計測箇所を挟み込む。基準電圧を取得する必要がある場合、基準電圧取得用ケーブルのクリップで被計測電路の端子を挟み込む。
 - ⑦ 計測開始
クランプで挟み込んだケーブルより下流にて発生している漏洩電流を計測する。

[参考]

計測時の留意事項を次に示す。

① 基準電圧取得状況の確認

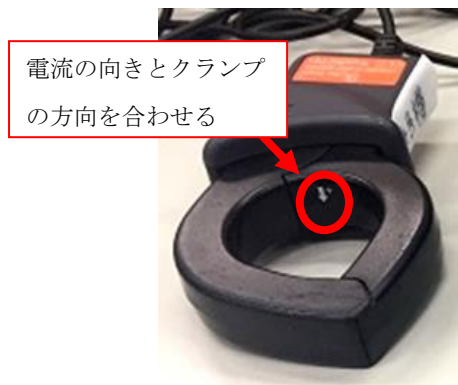
基準電圧取得用ケーブルの接続位置により正しい計測結果が得られない恐れがあるため、適宜設置位置を確認し、計測中は一定の位置となるよう確認する。

② 機器間の電流方向の確認

盤内の上流側機器（動力主幹電源遮断器）から下流側機器（盤外に出るケーブル）における一連の配線を確認し、各機器の電流の向き（入方向・出方向）を明確にする。また、基準電圧を取得する箇所と漏洩電流を計測したい箇所が同一電路上にあることを確認する。

③ クランプの設置方向の確認

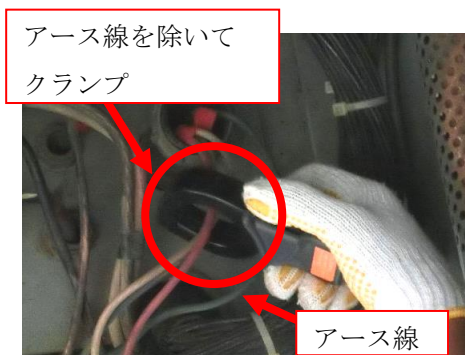
クランプする方向に誤りがあると、正しい計測結果が得られない恐れがあり、電流の流れる方向に対し、クランプの向きを合わせる。



クランプの方向（例）

④ アース線を除いた計測

アース線を含みクランプした場合、漏洩電流値の正しい計測結果が得られない恐れがあることから、アース線の位置関係、配線状況等を十分に確認し、アース線を避けて計測する（計測したい箇所にてアース線を避けてクランプできない場合、他のクランプできる箇所を確認する）。



クランプ設置方法（正）



クランプ設置方法（誤）

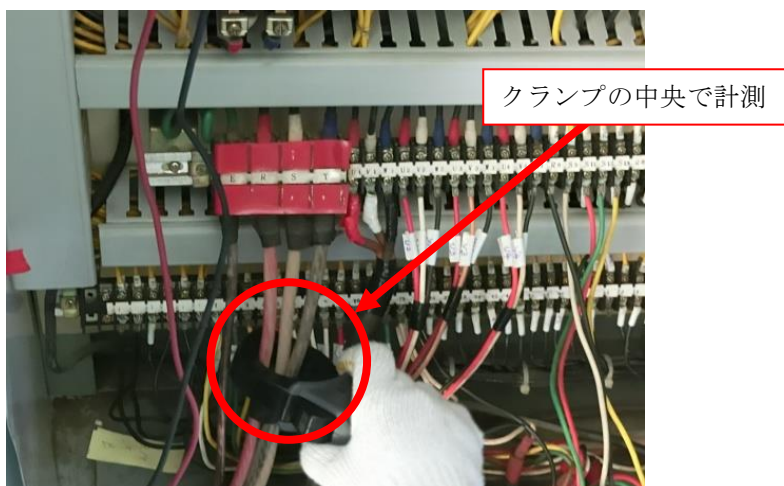
⑤ 配線本数の確認

クランプするケーブルに過不足がある場合、正しい計測結果が得られない恐れがあり、クランプの設置時に挟み込むケーブルの本数を十分に確認する

(R 相、S 相、T 相の各端子から 2 本以上ケーブルが出ていることがあり、その場合、各相のケーブルを全てクランプし、ケーブルの数が不均一にならないようにする)。

⑥ クランプの設置位置

可能な限りクランプの中央で計測することとし、計測の際は、クランプを掴み、設置状態を保持することが望ましい。なお、同一ケーブルでもクランプする位置により若干の計測誤差が生じることから、クランプ位置は同一であることが望ましい。また、クランプする位置はテープ等の目印を設け、定期的な計測を行うことを推奨する。



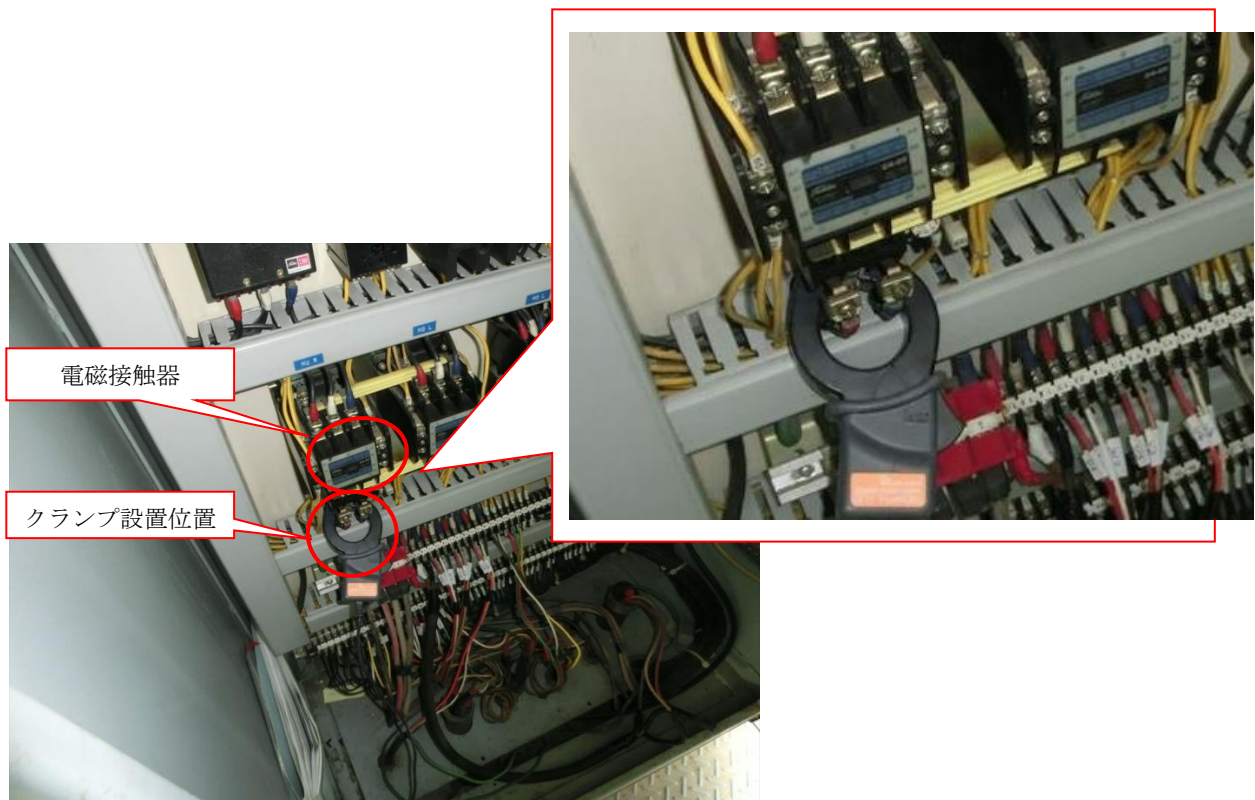
クランプ設置方法 (正)

表 6-2 計測時に留意すべき項目

再計測や 他電路の測定	・ 一度、クランプをケーブルから離し、計測器本体に表示される値が安定する (0 になる) のを待ってから再度計測する。
過度な漏洩電流 (Igr)	・ 10mA を超える漏洩電流値 (Igr) が確認された場合、計測箇所に発熱等の異常がない限り、適宜クランプの設置状況等を見直す (例：クランプするケーブルの不足。アース線の有無、電流の入出力方向等を確認)。
Igr が Io を 超える場合	・ 計測結果において Igr が Io を超える場合、R 相が T 相より劣化している可能性がある (通常は R 相、T 相で同様に劣化が進行する)。



① 基準電圧の取得 動力主幹電源遮断器 端子部における取得例



② 計測用クランプの設置 電磁接触器直下ケーブルでの計測例

6.5. 評価・判定

劣化程度の判定方法は、電気設備の技術基準の解釈及びメーカー実績値を参考にし、計測値に応じて評価する。
--

【解説】

- ・ 漏電計測は、単純に計測結果そのものから評価を行うのではなく、6.4[参考]に整理した留意事項に従い、各計測結果の正否を確認した上で計測結果の評価を行う必要がある。
- ・ 漏洩電流の基準値は電気設備の技術基準の解釈（平成 28 年 5 月 経済産業省発行）により 1mA 以下と規定（図 6-9参照）されている。なお、1mA という基準は漏洩電流値 (I_o 、 I_{gr} 、 I_{or}) において特別な区別等は設けられておらず、漏洩電流 I_o 値、 I_{gr} (I_{or}) 値^(注1)の双方における共通の基準値である（図 6-10 参照）。
- ・ 計測機器メーカーに漏洩電流値 (I_{gr} 値) が 1mA を超える場合の機器の状態について確認したところ、 I_{gr} 値が 1mA を超えるような漏洩電流が対象の機器から検出されたとしても、早急に取替・更新が必要な状態（機器が故障している状態や著しく劣化した状態）にはないという。したがって、1mA 以下という基準値は機器の劣化兆候を判断するために参照するのが望ましいと考える。また、計測機器メーカーの実績によれば、10mA を超える漏洩電流値が検出された場合、機器が故障・著しく劣化している可能性があるとのことである^(注2)。

注 1) 漏洩電流は大別して I_o 、 I_{gr} (I_{or})、 I_{gc} の 3 種類があり、 I_o は I_{gr} と I_{gc} の合成電流である。 I_{gr} とは実際に感電事故・漏電火災等の被害に直結する漏洩電流であり、 I_{gc} とは静電容量分に流れる安全かつ熱を持たない漏洩電流である。なお、計測方法の差別化のため、 I_{gr} を I_{or} と呼称することがあるが、 I_{or} そのものは、抵抗成分の漏洩電流であり、 I_{gr} と同義である。

注 2) 漏電計測を実施した事例として、某印刷工場において UV ランプの分電盤で計測したところ、計測箇所全 9 箇所の内、1 箇所にて I_{gr} 値が 10mA 以上で検出されたが、メンテナンス・交換は未実施のまま継続使用された。この半年後、 I_{gr} 値が高かった当該箇所から出火した。

【低圧電路の絶縁性能】（省令第5条第2項、第58条）

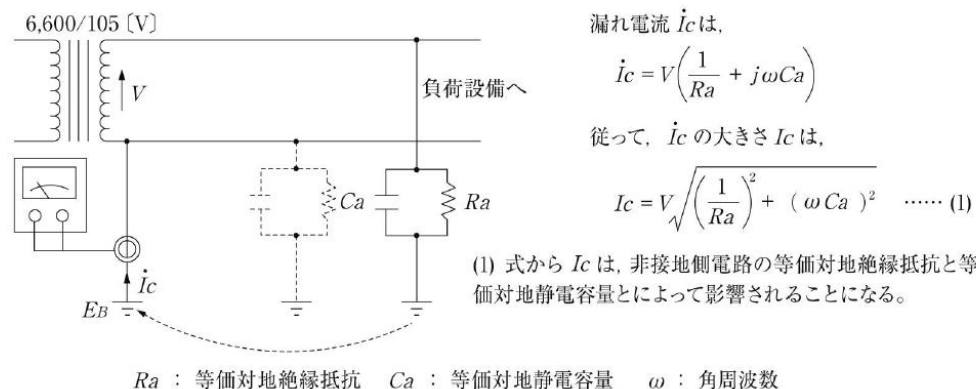
第14条 電気使用場所における使用電圧が低圧の電路（第13条各号に掲げる部分、第16条に規定するもの、第189条に規定する遊戯用電車内の電路及びこれに電気を供給するための接触電線、直流電車線並びに鋼索鉄道の電車線を除く。）は、第147条から第149条までの規定により施設する開閉器又は過電流遮断器で区切ることのできる電路ごとに、次の各号のいずれかに適合する絶縁性能を有すること。

- 一 省令第58条によること。
- 二 絶縁抵抗測定が困難な場合においては、当該電路の使用電圧が加わった状態における漏えい電流が、1mA以下であること。

図 6-9 漏洩電流の基準値

（経済産業省発行 電気設備の技術基準の解釈 第 14 条から引用）

第二号は、一般家庭では停電して行う屋内配線等の絶縁抵抗測定が困難になってきたため、停電せずに絶縁性能を判定する漏えい電流による絶縁性能基準を明確にしたものである。漏れ電流計により測定する「漏えい電流測定」は、①対地絶縁抵抗による電流の他に、対地静電容量による電流が含まれること、②接地側電線の絶縁状態が確認できないこと等により、必ずしも絶縁抵抗値に換算できない。しかし、対地静電容量による電流の影響を含めた漏えい電流が1mA以下の場合、対地絶縁抵抗による電流は基本的にこの値より小さくなり、省令第58条で定める絶縁抵抗値の基準と同等以上の絶縁性能を有しているものとみなすことができる。この値は、低圧電路に1mA程度の漏れ電流があっても人体に対する感電の危険はなく（人体に通じる電流を零から漸次増していくと1mA前後ではじめて感じる。）、この程度の漏れ電流では、仮にこれが1箇所集中したとしても過去の経験に照らして火災の発生はほとんど考えられないという理由に基づいて定められたものである。



解説14. 1図

図 6-10 漏洩電流の基準値における考え方

（経済産業省発行 電気設備の技術基準の解釈の解説 第 14 条から引用）

- ・ 各設備の環境（湿度、使用条件）、電源電圧により、機器の故障・劣化が明らかとなる漏洩電流が異なるため、10mA という値もまた、あくまで目安としての参考値に留まる。現状、機器の故障・著しい劣化状況を把握するための明確な評価基準がなく、現実的には継続的に漏洩電流の計測を行う中で、管理者が評価基準の設定及び対応を判断する必要がある。
- ・ 一般的な基準値（1mA 以下）とメーカーの知見を踏まえ、漏洩電流の評価指標の考え方を表 6-3に、フローを図 6-11に整理する。

表 6-3 評価指標の考え方

漏洩電流(Igr)の計測値	判断内容	参考基準
$10\text{mA}^{(\text{注}1)} < \text{Igr}(\text{Ior})$	機器の故障、著しい劣化が予想される。 (評価指標: $\Delta 1$ 相当)	機器メーカー実績
$1\text{mA} < \text{Igr}(\text{Ior}) \leq 10\text{mA}^{(\text{注}1)}$	機器の劣化が予想される。 (評価指標: $\Delta 2$ 相当)	機器メーカー実績
$\text{Igr}(\text{Ior}) \leq 1\text{mA}^{(\text{注}2)}$	健全な状態と判断される。 (評価指標: $\bigcirc$ 相当)	電気設備技術基準 ^(注2)

注 1) 10mA という閾値はメーカーの過去実績に基づく目安(参考値)であり、実際の精密診断にあたっては、継続的に漏洩電流の計測を行う中で、計測値等を把握し、適宜基準値の設定を行うことが望ましい。

注 2) 電気設備の技術基準の解釈: 1mA は漏洩電流 I_o 値、 I_{gr} (I_{or}) 値の双方における共通の基準値である。

注 3) 評価指標については目安として記載している。

注 4) 電気設備の劣化タイプは、脆化タイプなので、劣化兆候が現れると急速に悪化すると考え、 $\Delta 3$ を設けない。

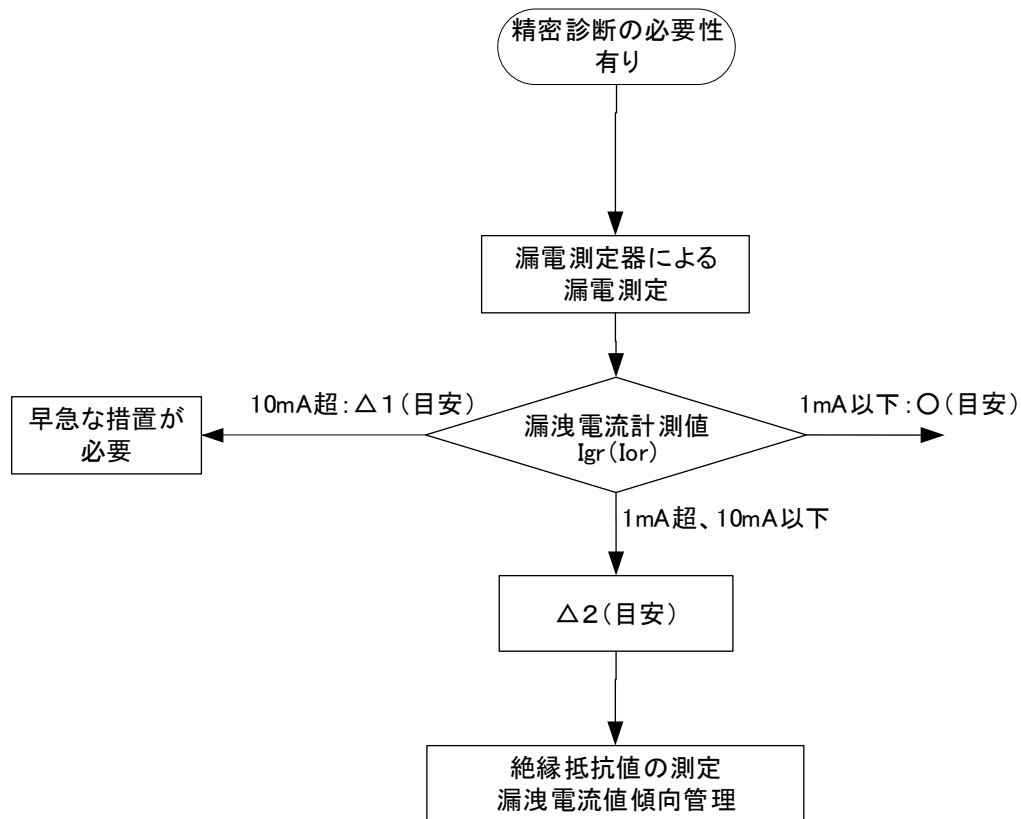


図 6-11 評価フロー

6. 6. 報告書作成

報告書は、計測環境、計測対象、計測箇所、計測結果、診断結果等を分かり易くまとめたものとする。
--

【解説】

- ・ 報告書は、表 6-4内の項目が明記してあることが望ましい。
- ・ 報告書は、施設管理者及び診断を行った者が適切に保管することとし継続性に配慮する。

表 6-4 報告書に記載すべき項目

大項目	小項目
計測環境	計測日時、天気、温度、湿度、計測時刻、計測者名
計測対象	施設名、機器名、診断に必要となる設備仕様
計測方法	使用機器、計測箇所、計測条件（特記事項）
計測結果	各計測対象機器の Igr 値、Io 値
診断結果（評価）	基準値と比較した際の評価・判定結果

6.7. 技術的課題

(1) 精密診断の適用

- ・ 本マニュアル（案）を適用するにあたっては、診断技術者及び報告書を活用する管理者とも(2)項以下に示す課題を明確に認識しておく必要がある。
- ・ 本診断技術は、現状の知見に基づく基本的なものであり、絶縁抵抗値に異常な傾向が見られる装置についての漏電計測・診断の範囲となっている。機場のポンプ設備（自家発電設備や系統機器設備を含む）全体の漏電箇所の特特定、劣化程度の判定を行う場合は、事前に機場の対象設備の構成や特性に応じた実施方法を検討する必要がある。
- ・ 診断者は診断精度の向上を目指して資格制度や講習などを活用した継続研鑽、実地による診断経験の蓄積により技術力向上に努める必要がある。

(2) 計測データ蓄積

- ・ 河川ポンプ設備においては、漏洩電流計測・診断の実績がまだ少なく、今後継続的にデータを蓄積し、知見を増やしていく必要がある。

(3) 診断技術確立への取り組み

- ・ 本精密診断は、装置に負荷がかかっている活線状態でのみ計測が可能な計測方法である。そのため、運用上管理運転をすることができない設備についてはこの計測方法による精密診断を適用できない。
- ・ 現在も最も重要な課題は、機器の故障・著しい劣化状態を判断するための基準値が、メーカー独自の基準になっていることである。経済産業省発行の電気設備基準における基準値（1mA）からは、劣化の兆候を判断することはできるが、1mA を超える漏洩電流値については、継続的に漏洩電流の計測を行う中で、管理者が基準値の見直しを判断する必要がある。

(4) 精度の高い診断技術を導入するための検討課題

- ・ 漏洩電流は、天気、温度、湿度、高調波、磁界等、様々な周囲環境の影響を受ける。したがって、傾向管理を実施する際は、計測条件を確認し、十分に注意することが必要である。

7. 用語解説

7.1. 振動診断

FFT（高速フーリエ変換）

FFT とは Fast Fourier Transform の略をいう。時間領域波形において、どのような周波数成分が含まれているかデジタル的に高速処理して解析する手法をいう。振動波形は、振動全体のレベルを表す平均値と基本周波数(正弦波) 及びその整数倍の周波数成分の和として考えることができる。時間領域における有限個のデータを基に、この周波数の組み合わせと成分量を高速で計算する方法が高速フーリエ変換である。変換する周波数分解能はサンプリング周波数に依存するため、解析したい周波数がある場合は、エリアジング(実際の周波数より低い周波数と誤認する現象)を防ぐためサンプリング周波数はその 2 倍以上にする必要がある。また、有限個のデータを繋げて変換するために、データのつなぎ目が連続でない場合本来存在しない周波数が検出される。一般的には、その影響を低減するために、つなぎ目の振幅を弱める窓関数を採用する。

時間領域波形

時間をパラメータとして表した振動波形をいう。

周波数領域波形

FFT 等により、時間領域波形のデータから変換して、どのような周波数成分が含まれているかを表した周波数分布をいう。一般的に、横軸は周波数、縦軸は周波成分量としてグラフ化する。

サンプリング周波数

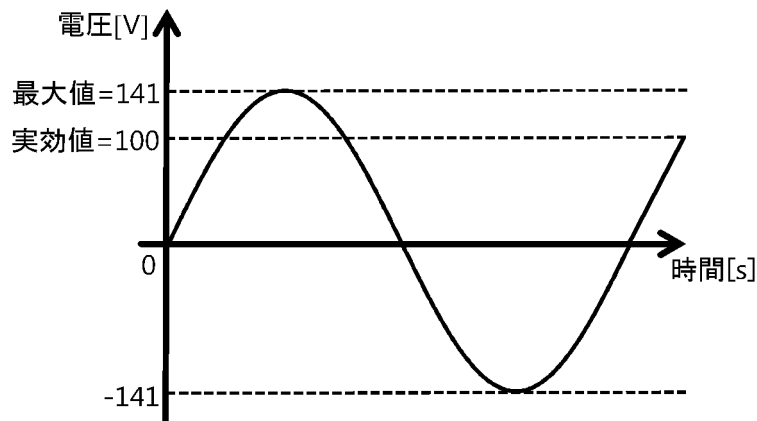
時間領域のアナログデータをデジタル化するときにおける 1 秒間当たりのサンプリング数をいう。(例えば、サンプリング周波数が 100Hz なら、1 秒間に 100 のデータが記録される。)

Peak（ピーク）値（波形）

時間領域波形の最大値をいう。

rms 値

rms とは root mean square の略をいう。振動の実効値をいい、時間領域で並べた両振幅の二乗平均値平方根である。振幅だけでは捉えにくい振動エネルギーの大きさを示す指標として用いる。身近な例では、交流電源電圧が実効値で示されている。交流 100V は、片振幅約 141V の正弦波(東日本では周波数 50Hz) の実効値を意味する。設備診断では、主に速度 (mm/s) を指標として活用される。



P-P 値

「両振幅」を表し、P-P とは Peak to Peak の略をいう。比較的低い振動数で回転する機械の診断指標として採用される。なお、一般的に振動工学において「振幅」といえば「片振幅」を意味し、「両振幅」と使い分けられている。「片振幅」は単位の後、O-P を付して表す。

分数調波成分

基本周波数の分数倍にあたる周波数を基本周波数の分数調波または略して分数波という。

ミスアライメント

主軸継ぎ手部における「芯ずれ」「面開き」「芯振れ」「面振れ」を総称して「ミスアライメント」という。繋ぐ 2 つの主軸の芯が平行にずれている場合を「芯ずれ」、角度がついている場合を「面開き」という。また、2 つの軸芯は合っているが継ぎ手部だけにずれが発生している場合を「芯振れ」、継ぎ手のフランジが軸芯に対して斜めになっている場合を「面振れ」という。

高調波成分

基本周波数の整数倍の周波数を次数成分又は高調波成分あるいは分かりやすい表現として倍数成分という。

ピーク値（周波数分布）

周波数分析結果の最大値をいう。

エンベロープ処理

ころがり軸受や歯車の異常の場合、振幅の周期的な変化になって現れることがある。この周期的に変化する高周波数の振動の周期性を抽出し、時間領域波形にする処理をいう。一般的には移動平均（複数の連続するデータの平均を、データを 1 つずつずらしながら並べていく。平均するデータの数を大きく取るほどなめらかな線形になる）

と絶対値処理（0点を境にしてデータを時間軸で折り返し重ね合わせる）で求める。

二次効果パラメータ

設備診断には、大別して、設備の性能や機能を示す「主効果パラメータ」を利用する方法と、設備の稼働により発生する「二次効果パラメータ」を利用する方法がある。主効果パラメータは、設備が本来の目的を遂行する際に観測される状態パラメータであり、電動機では出力パワーやトルク、回転数がこれに相当し、ポンプでは吐出圧力や吐出流量などが相当する。二次効果パラメータとは、設備が稼働することにより変化する振動や音響、温度などの付随的な状態パラメータをいう。診断のために専用のセンサが必要であることや、通常は複雑な信号処理を必要とするなどの欠点はあるが、異常の早期発見及び異常の原因や発生位置を正確に同定するにはこの方法による診断が適している。

7.2. 工業用内視鏡撮影・診断

工業用内視鏡

工業用内視鏡は、柔軟に動くカメラおよびケーブルにより、僅かな隙間から内部の対象に接近し、目視では直接確認できない箇所の観察を大規模な分解をせずに実施できる診断技術である。

7.3. 漏洩電流計測

漏洩電流

電路以外に流れる電流のこと。絶縁体の内部や表面を通じ、線間や大地間に流出する電流であり、人体を傳かすれば感電を引き起こすため、漏洩電流は小さく抑えなければならない。

絶縁抵抗

絶縁物に直流電圧を印加すると、ごくわずかの電流が流れる。この電流と印加電圧の比を絶縁抵抗としているが、この電流は絶縁物を貫通する電流と絶縁物の表面を流れる電流の合計である。

I_0 (I_0)

漏洩電流のこと。漏洩電流は絶縁抵抗劣化による漏洩電流成分 (I_{gr}) と対地静電容量による漏洩電流成分 (I_{gc}) とに分けることができる。絶縁抵抗の劣化とは無関係である I_{gc} を含んだ値となることに加え、 I_{gr} が I_0 より大きくなることもある。

I_{gr}

絶縁抵抗劣化による漏洩電流成分のこと。感電事故・漏電火災等の被害に直結するのが絶縁抵抗劣化による漏洩電流成分である I_{gr} であり、 I_0 値を検出するだけでは漏洩電流の状況を正しく評価することはできない。

I_{gc}

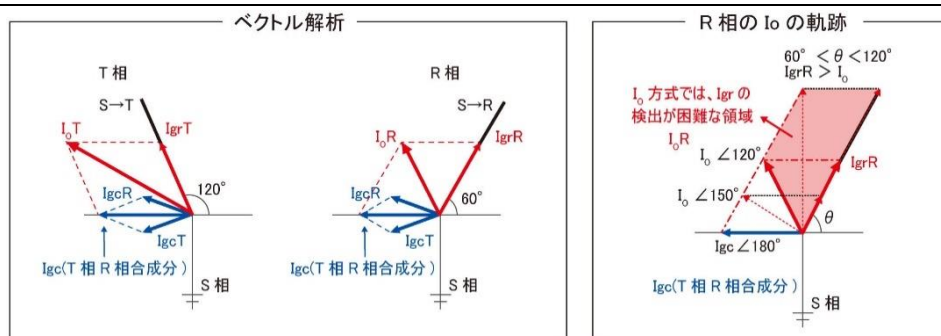
対地静電容量による漏洩電流成分のこと。電路の絶縁性能とは無関係であり、漏洩電流を増大させる要因となる。

分解能

器械装置などで物理量を計測・識別できる能力。本マニュアル（案）では「最小表示桁」のことを指す。

三相逆流現象

I_0 は I_{gr} と I_{gc} の合成電流であるため、通常であれば I_0 と I_{gr} の関係性は $I_0 > I_{gr}$ である。しかし、下図に示すような I_{gr} が I_0 を超えるような事例を三相逆流現象とよぶ。

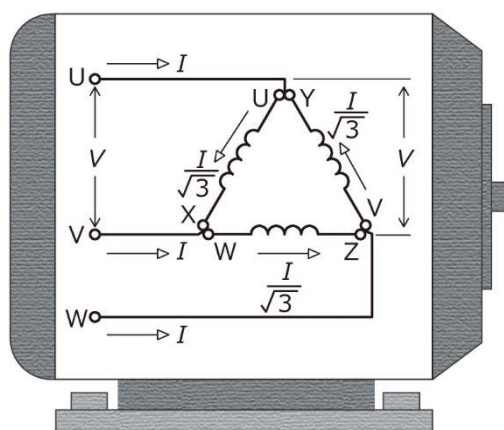


クランプ

クランプは回路を切断することなく電流を計測する際に用いられる。計測時は計測誤差を小さくするため、ケーブルがクランプの中央に来る位置で計測することが望ましい。

デルタ結線

電動機の各相（3 組）の固定子巻線 U-X、V-Y、W-Z を次々と輪になるように接続し、各巻線の接続点から、それぞれ口出線を外部に引き出す結線をデルタ（ Δ ）結線という。



デルタ結線

8. 出典

8.1. 総則

- [1] 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課、水管理・国土保全局河川環境課：河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案），p.3-17，2015.3
- [2] 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課、水管理・国土保全局河川環境課：河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案），p.2-7～2-8，2015.3
- [3] 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課、水管理・国土保全局河川環境課：河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案），p.3-14，2015.3
- [4] 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課、水管理・国土保全局河川環境課：河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案），p.3-16，2015.3
- [5] 振動技術研究会：ISO に基づく 機械設備の状態監視と診断（振動 カテゴリーⅡ）第 2.3 版，p.3，2010.3
- [6] 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課、水管理・国土保全局河川環境課：河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案），p.3-16，2015.3
- [7] 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課、水管理・国土保全局河川環境課：河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案），p.2-22，2015.3
- [8] 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課、水管理・国土保全局河川環境課：河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案），p.2-23，2015.3
- [9] 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課施工安全企画室：河川ポンプ設備点検・整備標準要領（案），p.26，2016.3
- [10] 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課、水管理・国土保全局河川環境課：河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案），p.4-5，2015.3

8.2. 主ポンプの振動計測・診断

- [1] 総合政策局公共事業企画調整課：河川用ポンプ設備状態監視ガイドライン（案），p15,2015.1
 - [2] JIS B 0910（ISO 7919-1）：非往復動機械の機械振動・回転軸における測定及び評価基準-一般的指針，p.21，1999.
-

-
- [3] 国土交通省総合政策局建設施工企画課：機械工事施工管理基準（案）， p.255, 2010.4
 - [4] JIS B 0906（ISO 10816-1）：機械振動・非回転部分における機械振動の測定と評価-一般的指針， p.6～10, p.13,1998
 - [5] 一般社団法人河川ポンプ施設技術協会：河川ポンプ設備点検・整備実務要領, p 3-27,2017.2

8.3. 減速機の振動計測・診断

- [1] 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課、水管理・国土保全局河川環境課：河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案）， p.4-15～4-16, 2015.3
- [2] 社団法人河川ポンプ施設技術協会：揚排水機場設備点検・整備指針（案）同解説， p.103～104, 2010.1
- [3] JIS B 0906（ISO 10816-1）：機械振動・非回転部分における機械振動の測定と評価-一般的指針， p.3, 1998.
- [4] JIS B 0906（ISO 10816-1）：機械振動・非回転部分における機械振動の測定と評価-一般的指針， p.6～10, p.13,1998

8.4. 漏洩電流計測・診断

- [1] 大臣官房技術調査課電気通信室、総合政策局建設施工企画課、河川局河川環境課：河川構造物長寿命化及び更新マスタープラン～持続可能な維持管理システムの確保に向けて～， p.10, 2011.6

8.5. 参考文献

- 1) 藤野健一， 田中義光， 上野仁士：河川ポンプ設備の状態監視技術に関する調査，平成23年度国土交通省国土技術研究会， 2011.
- 2) 藤野健一， 田中義光， 上野仁士：アセットマネジメントに向けた河川ポンプ設備の状態監視保全技術， 土木技術資料， 2013.8

9. 参考資料

9.1. 電動機実機による不具合実験結果

9.1.1. 電動機実機による実験結果

- ・ 更新となった老朽化した電動機を用いて不具合を人為的に発生させ、振動計測・解析をした結果について取りまとめたので診断の参考とされたい。
- ・ 振動計測における計測対象は、振動が発生する機器・装置であり、今回の実験においては電動機である。振動計測は計測する方向（H、V、A）毎にピックアップを計測対象に接触させる必要があり、電動機の各方向から振動計測を行う。



図 9-1 実験装置

実験で使用した電動機および内蔵の軸受諸元は以下のとおりである。

【電動機】

- ・メーカー : 明電舎
- ・型式 : TISP70-TB1BA3
- ・定格容量 : 1.5kW
- ・定格電圧 : 3 相 200
- ・周波数 : 50Hz
- ・回転数 : 930rpm
- ・極数 : 6P
- ・台数 : 2 台



図 9-2 電動機

【軸受】

- ・メーカー : NSK
- ・型式 : 6205ZZ
- ・種類 : 単列深溝玉軸受
- ・個数 : 2 個



図 9-3 軸受（電動機内蔵）

実験項目は、回収した電動機 2 台※に対して、下記に示す①～⑥の運転状態を再現し、振動計測を実施した。（他に漏電計測、温度分布計測も測定した）

運転時間は電動機を回収した施設での実際の操作時間（開・閉 1 往復）を参照し、15 分×2 回を実施した。

実験の実施順序は、下記に示す①～⑥の通りである。④～⑥の実験項目は、実施することにより電動機が焼損する恐れがあるため、③の軸受に傷を付ける項目を先行させた。

また、②における抵抗器の設置、及び④における固定子の加工等の措置は、②及び④の各実験項目実施後に元の状態に復元する。

③の項目で加工する軸受の傷は復元できない。

※電動機 2 台共に同様に実験を行うことで、計測データの比較を行った。

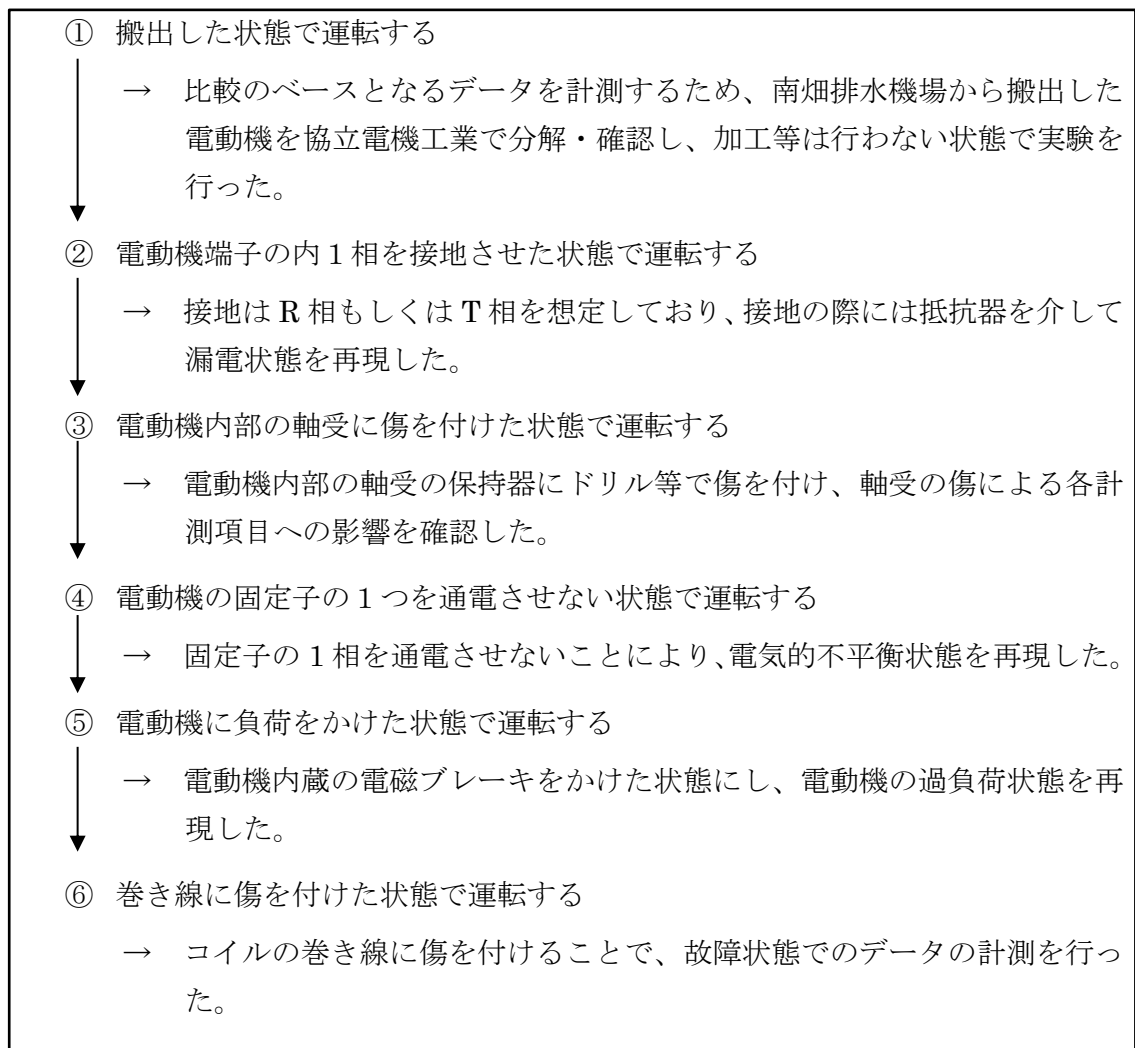


図 9-4 実験順序

ここで、上記のそれぞれの周波数は以下のとおりであり、この周波数を基に実験結果を考察する。なお、電動機のすべり率は以下のように求めた。

$$N_s \text{ (同期速度)} = 120 \times f / p = 120 \times 50 / 6 = 1000 \text{ [rpm]}$$

f : 電源の周波数[Hz]

p : 極数

$$s \text{ (すべり率)} = (N_s - N) / N_s = (1000 - 930) / 1000 = 7 \text{ [%]}$$

N : 実験時の電動機の回転数[rpm]

図 9-5 電動機、軸受の周波数

項目		周波数 (Hz)	備考
電動機	電動機回転数からの周波数	15.5	930rpm より算出
	電源周波数の 2 倍 ※1	100.0	関東エリア
	すべり率を考慮した周波数 ※2	7.0	s : すべり率
軸受	内輪傷がある場合の周波数	83.9	メーカ HP より
	外輪傷がある場合の周波数	55.5	
	保持器に傷がある場合の周波数	6.17	
	転動体に傷がある場合の周波数	72.9	

※1 回転子と固定子のエアギャップに不均一があると、回転子と固定子の間に不平衡吸引力が生じ、回転磁界の回転とともに回転子、固定子およびフレームが振動し、電源周波数（50Hz）の 2 倍の周波数成分が顕著に表れる。（「ISO 基準に基づく機械設備の状態監視と診断」より）

※2 固定子巻線に不平衡が存在する場合は、不平衡磁気吸引力が発生し、電源周波数の 2 倍の周波数で振動する。また、回転子巻線に不平衡がある場合、すべり周波数の 2 倍の $2sf$ で振幅変調を受ける。電流診断の場合、電源周波数に振幅変調周波数 $2sf$ が発生する。（「ISO 基準に基づく機械設備の状態監視と診断」より）

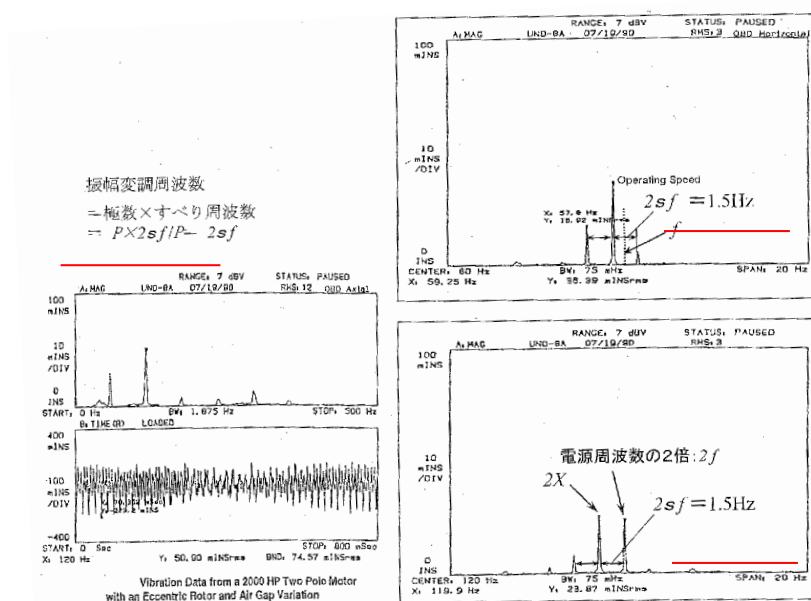
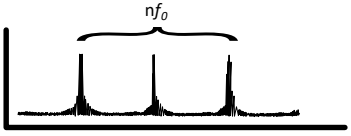
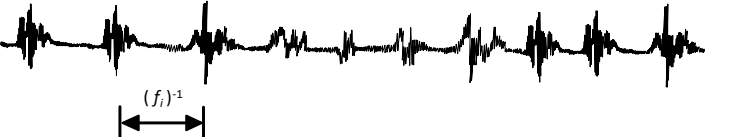
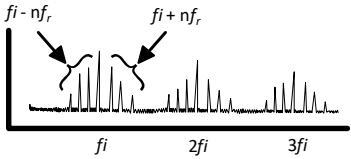
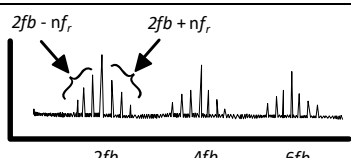


図 9-6 すべり率を考慮した周波数（「ISO 基準に基づく機械設備の状態監視と診断」）

表 9-1 軸受の異常と波形の特徴

項目	時間領域波形の特徴	周波数領域波形の特徴
正常		
外輪傷		
内輪傷		
転動体傷		

凡例

n : 回転数 f_o : 外輪1点に傷がある場合の発生周波数

f_i : 内輪1点に傷がある場合の発生周波数 $2f_b$: 転動体の1点傷あがる場合の発生周波数

なお、上記の周波数について、各実験で以下の周波数特性の有無を確認する。電動機の固定子の1つを通電させない状態とは、電気的不平衡状態として電源周波数の2倍(2f)の100Hzで顕著な周波数を表すものとする。また、電動機に負荷をかけた状態については、それぞれ軸曲がりや回転子が偏心するものとして、すべり周波数の2倍(2sf)で振幅変調される93Hz、107Hzで顕著な周波数を表すものとする。同様に、巻き線に傷を付けた状態については、巻線の不平衡が発生するものとして、すべり周波数の2倍(2sf)で振幅変調される。

電動機の運転時の状況		確認周波数	
		電動機	軸受
①	搬出した状態	15.5 Hz	—
②	電動機端子の内1相を接地させた状態		—
③-1	電動機内部の軸受(出力側)の外輪に傷を付けた状態		83.5 Hz 55.5 Hz
③-2	電動機内部の軸受(出力側)の玉、保持器に傷を付けた状態		72.9 Hz
④	電動機の固定子の1つを通電させない状態	100.0 Hz	
⑤	電動機に負荷をかけた状態	93.0Hz	
⑥	巻き線に傷を付けた状態	107.0Hz	

9.1.2. 振動波形の事例

① 搬出した状態（基準となる振動波形）

電動機に不具合がない状態（無負荷）を下に示す。この波形より周波数は16.6Hzであり、表 9-1 の電動機の周波数 15.5Hz と近く、電動機の周波数特性が表れるグラフとなっている。

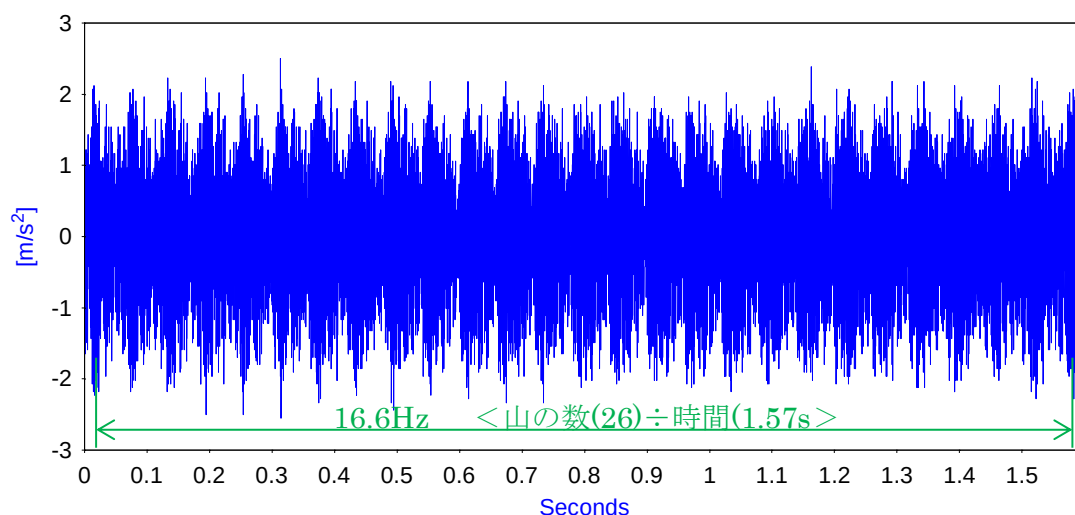


図 9-7 基準振動波形（正回転、V 方向）

② 電動機端子の内 1 相を接地させた状態

電動機端子の内 1 相を接地させた状態での振動波形を以下に示す。①の波形と比較しあまり変化が見られないことから、漏電状態を振動波形で確認することはできなかった。

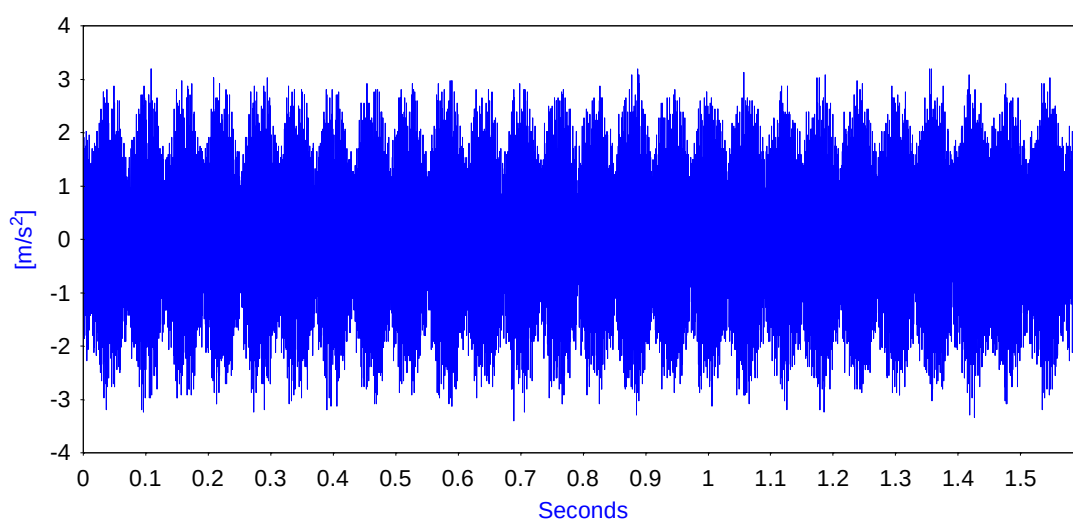


図 9-8 振動波形（正回転、V 方向、電動機端子の内 1 相を接地させた状態）

③ -1 内部の軸受（出力側）の外輪に傷を付けた状態での運転

内部の軸受（出力側）の外輪に傷を付けた状態での振動波形を以下に示す。
この波形より発生周波数は約 59Hz であり、表 9-1 の軸受外輪パルス周波数 55.5Hz と近似値であり、周期が等しい同様な波形であることから、軸受の外輪傷周波数特性の波形が確認できた。

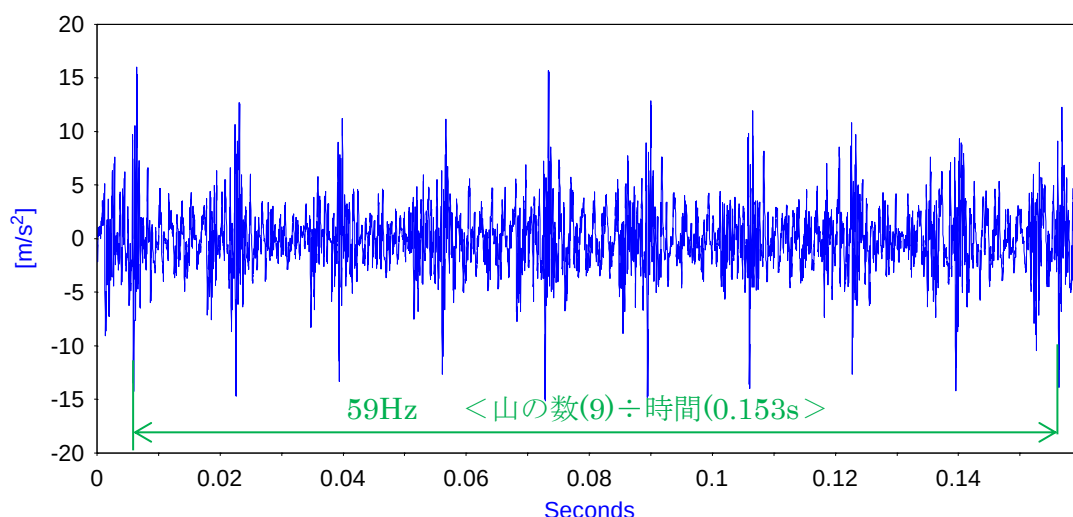


図 9-9 振動波形（正回転、V 方向、内部の軸受（出力側）の外輪に傷を付けた状態）

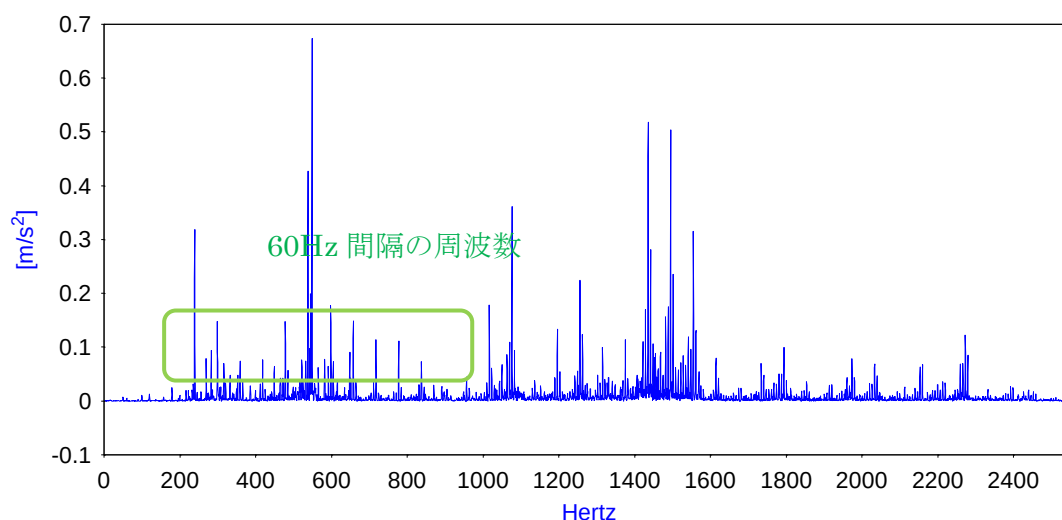


図 9-10 FFT 解析結果

（正回転、V 方向、内部の軸受（出力側）の外輪に傷を付けた状態での運転）

図 9-10 の FFT 解析結果に示すように、約 60Hz 間隔＝外輪傷発生周波数で周期的にピークがあり、軸受の外輪に何らかの不具合が起きていることが考えられる波形が確認できた。

③ -2 内部の軸受（出力側）の玉、保持器に傷を付けた状態での運転

内部の軸受（出力側）の玉、保持器に傷を付けた状態での振動波形を以下に示す。この波形より発生周波数は約 6.6Hz であり、表 9-1 の保持器パルス周波数 6.17Hz と近似値であることから、軸受の保持器の傷発生周波数特性の波形が確認できた。

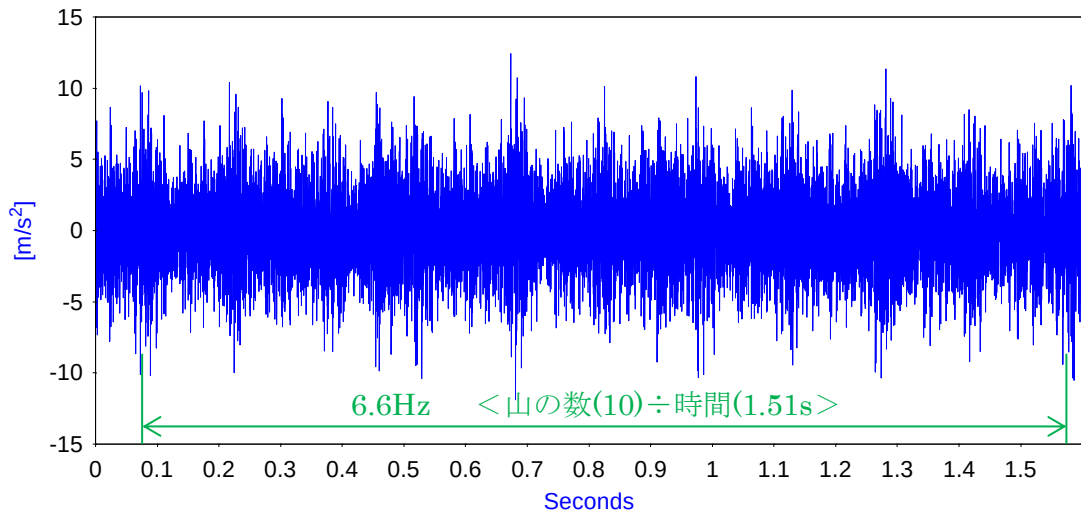


図 9-11 振動波形

（正回転、V 方向、内部の軸受（出力側）の玉、保持器に傷を付けた状態）

図 9-10 の FFT 解析結果に示すように、約 80Hz 間隔＝転動体発生周波数で周期的にピークがあり、軸受の転動体に何らかの不具合が起きていることが考えられる波形が確認できた。なお、転動体傷によって発生する周波数は、転動体が 1 回転すると内輪と外輪に 2 回衝突するので、衝突間隔の周波数は、転動体自転周波数 36.5Hz の 2 倍であるとなるため、転動体パルス周波数約 73Hz であり、このことから転動体（玉）に不具合が生じていることが予測できる。また、ピーク周波数に 6Hz 間隔（保持器）も確認できた。

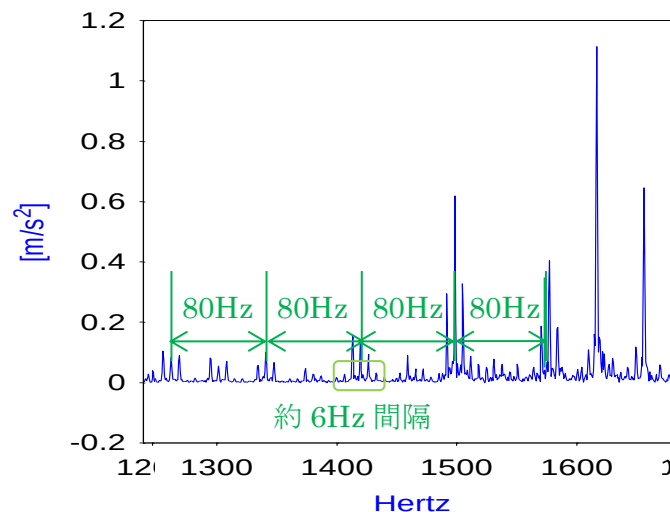


図 9-12 FFT 解析結果

（正回転、V 方向、内部の軸受（出力側）の玉、保持器に傷を付けた状態での運転）

④ 電動機の固定子の 1 つを通电させない状態の振動波形

電動機の固定子の 1 つを通电させない状態での振動波形を以下に示す。振動波形には複数の成分が含まれており、周期的な特性を読み取れないが、FFT 解析結果から、電源周波数の 2 倍である 100Hz の周波数ピークが発生していることから、電動機の電氣的不平衡の特性の波形が確認できた。

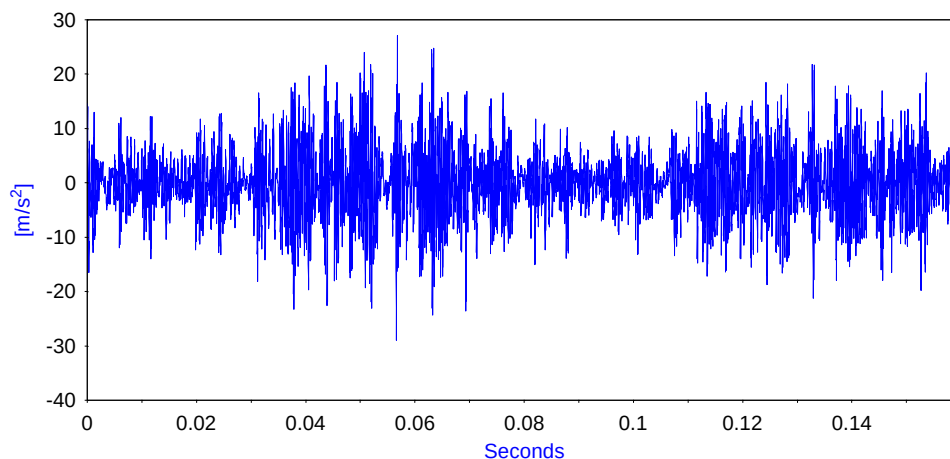


図 9-13 振動波形

(正回転、H 方向、電動機の固定子の 1 つを通电させない状態での運転)

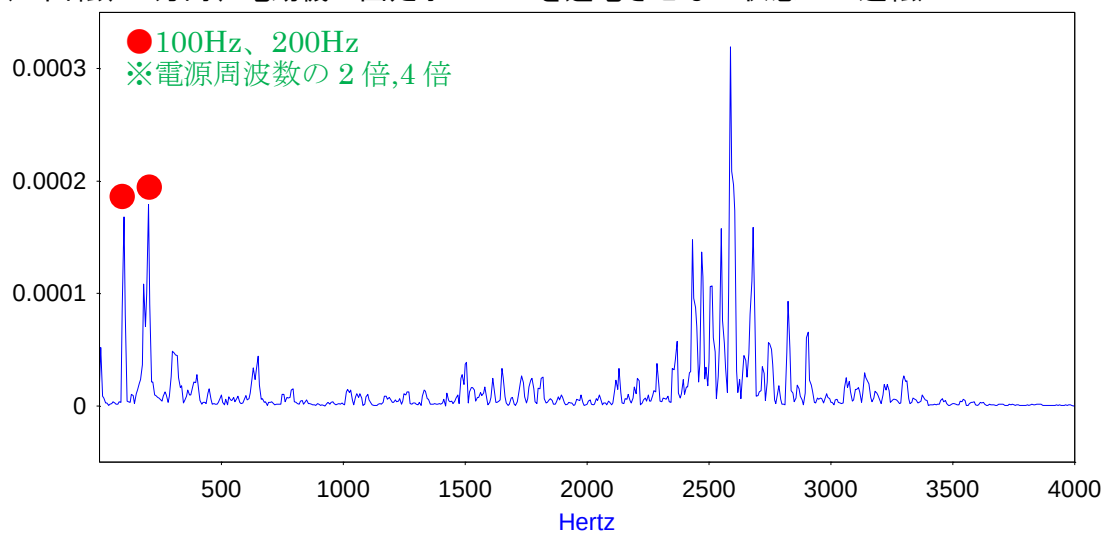


図 9-14 FFT 解析結果

(正回転、H 方向、電動機の固定子の 1 つを通电させない状態での運転)

⑤ 振動波形電動機に負荷をかけた状態の振動波形

振動波形電動機に負荷をかけた状態での振動波形を以下に示す。振動波形からは、大きな特徴は確認できなかった。

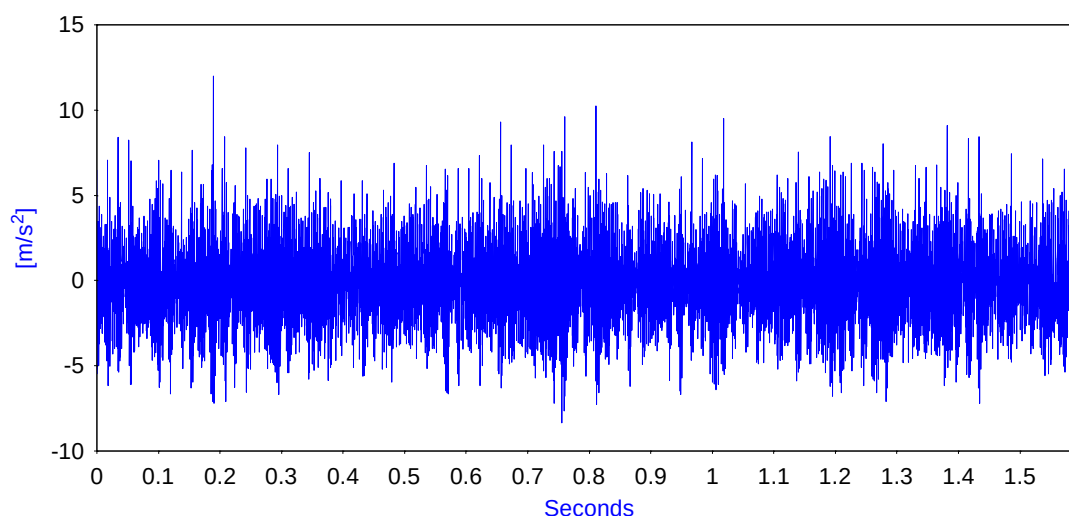


図 9-15 振動波形（正回転、V 方向、振動波形電動機に負荷をかけた状態での運転）

また、FFT 解析結果からも新たな周波数ピークは確認できなかった。ただし、軸受に③－１の検証で使用した外輪傷をつけた同一電動機にて本検証を行ったが、その際に周期的に発生した周波数が逆に発生しなくなった。

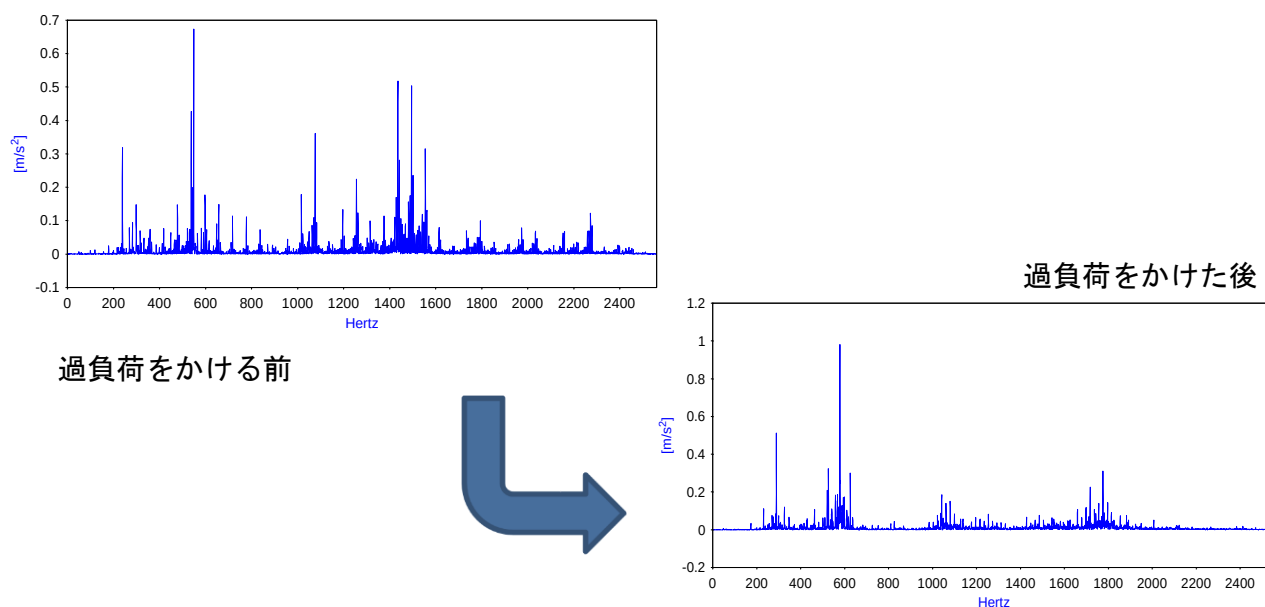


図 9-16 FFT 解析結果（正回転、V 方向、振動波形電動機に負荷をかける前後）

⑥ 巻き線を束ね通电させ短絡状態の振動波形

巻き線を束ね短絡させた状態での振動波形を以下に示す。振動波形からは、大きな特徴は確認できなかった。③－２の検証と同一電動機であるため、似たような振動波形となった。

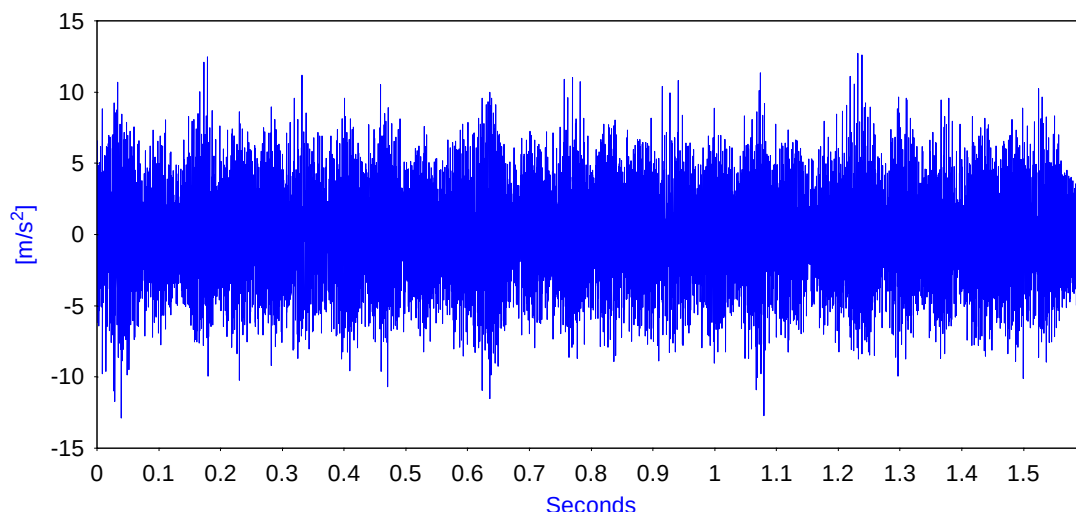


図 9-17 振動波形（正回転、V 方向、短絡状態での運転）

また、FFT 解析結果からは、100Hz（電源周波数の 2 倍）周期で周波数が確認できた。また、振動速度で FFT 解析を実施したところ、100Hz 及び 200Hz（電源周波数の 2 倍及びその高調波）と前述同様 100Hz 周期の周波数が確認できた。これは、短絡時に発生する周波数（電源周波数の 2 倍及びその高調波）であり、本検証でその特徴が確認できた。

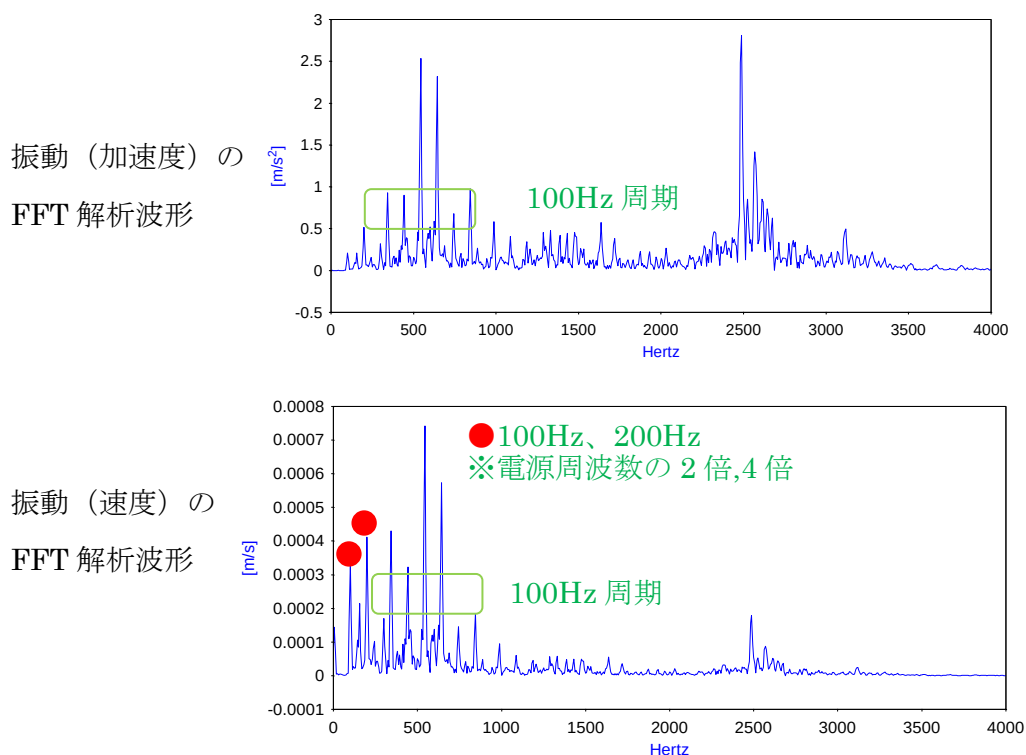


図 9-18 FFT 解析結果（正回転、V 方向、短絡させた状態での運転）

9. 2. 事例 振動調査結果報告書の解説

事例 振動調査結果報告書の解説

〇〇排水機場 ポンプ設備

振動調査結果 報告書

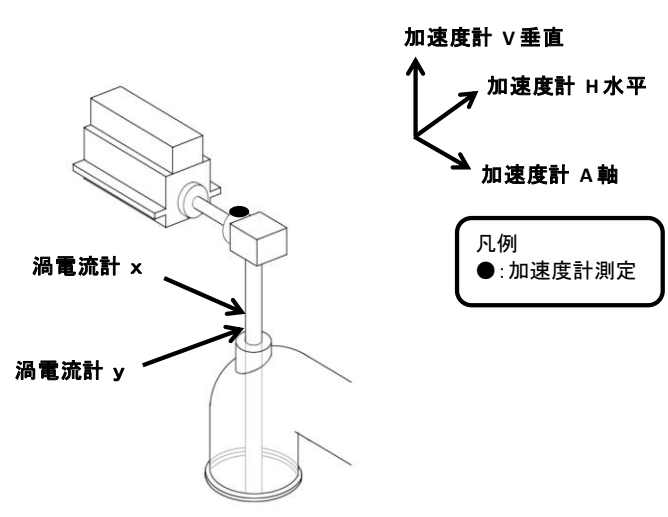
平成〇〇年〇〇月

関東技術事務所

凡例

- ①前回または次回測定時との測定条件の整合に用いる
- ②主ポンプ振動解析に必要な諸数値
- ③当該ポンプの諸元

ポンプ仕様・計測箇所

計測日時 ①	平成〇〇年〇月〇〇日	計測者	関東技術事務所	〇〇
〇〇排水機場	1号ポンプ	2号ポンプ		
運転時間 ①	13:10 ~ 13:45	14:00 ~ 14:30		
形式	立軸軸流	立軸軸流		
口径(mm)	900	900		
主軸径(mm)	不明	不明		
軸受材質 ②	セラミックス	セラミックス		
保護管有無	無	無		
原動機回転数(理論値)	1500rpm 25Hz	1500rpm 25Hz		
主軸回転数(理論値)	315rpm 5.25Hz	315rpm 5.25Hz		
羽根車数	4	4		
案内羽根数	7	7		
吐出弁開度 ①	75%	75%		
計測位置・方向 ①				
特記事項	測定時に気になった事があれば記載する。			
機場写真 ①				

設備診断結果

別様に示す、「計測波形・周波数解析」「リサージュ図」「軸受・歯車発生周波数表」を基に、当該設備の状態を、以下のように推定する。

機器名	〇号ポンプ	
異常項目	診断	所見 診断した考えを記載する。
水中軸受のゆるみ・がた	○	回転数の分数成分が見られないので、劣化兆候はないと判断する。
主軸のアンバランス	△3	回転数成分が突出しており、x,y方向のP-P値 ¹⁾ は前年度より上昇し、現在も大きいので主軸周りに何らかのアンバランスは存在する。今後の傾向に注意する。
芯ずれ	○	回転数の整数倍の周波数が、大きく見られないので、現段階では大きな劣化はないと判断する。
羽根車の摩耗	○	ZN(羽根車数×回転数)成分が大きく見られないので、現段階では大きな劣化はないと判断する。
ベアリングの異常	○	ベアリングの異常時発生周波数が、減速機側軸受加速度のA方向から検出されている(詳細は「軸受・歯車発生周波数表」を参照)が、微弱なので、現段階では大きな劣化はないと判断する。
減速機歯車の異常	○	・rms ²⁾ 値が大きいので、異常を示すものではないと考えるが、今後の傾向に注意する。 ・理論値とは若干の差があるが、歯車の噛み合いによると思われる周波数が見られる。
その他所見 必要に応じて診断の考えを記載する。 ・H〇〇.〇主ポンプ、減速機〇/H完了、H〇〇.〇エンジン〇/H完了 ・減速機側軸受のA方向は、振幅が周期的に変化している。これは、転がり軸受や歯車の異常である可能性があるため、p.9に示すとおりエンベロープ処理を行いFFT解析をした。周期的に変動する高周波数の振動の周期性を抽出し、軸受の仕様を把握している範囲では、異常時に発生する周波数243.75Hzが発生していた。		

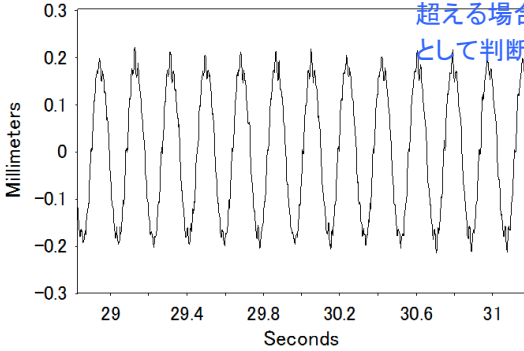
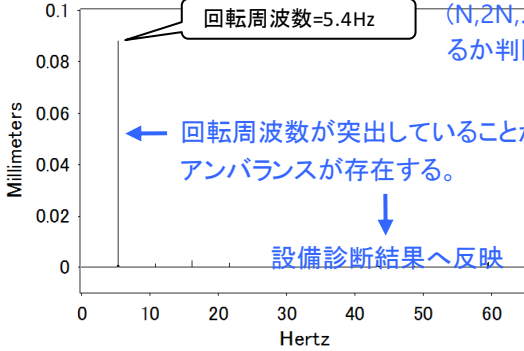
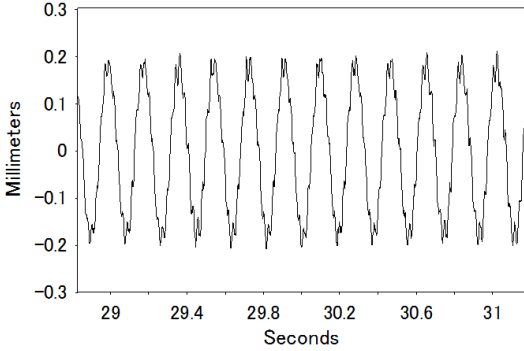
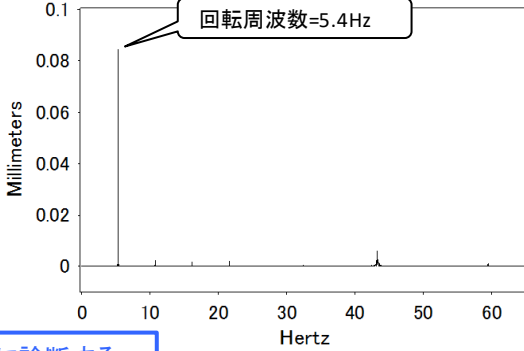
凡例

- 機能に支障が生じていない状態
- △3 機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態
- △2 機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態
- △1 機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態
- × 機能に支障が生じており、緊急に措置(修繕・更新・取替)が必要な状態

1)P-P(Peak to Peak)値: 両振幅
2)rms値: 振動速度の実効値(mm/s)

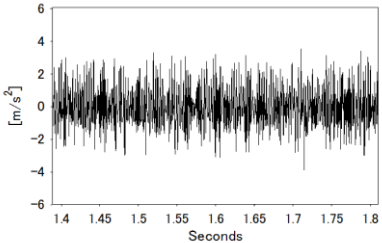
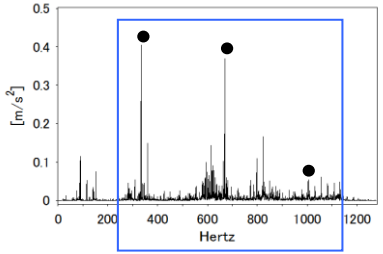
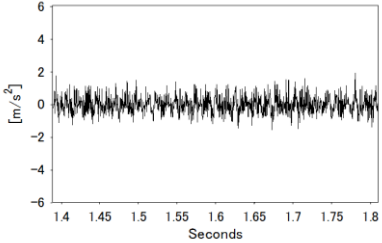
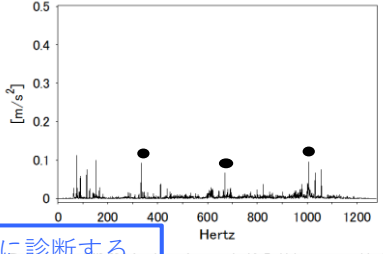
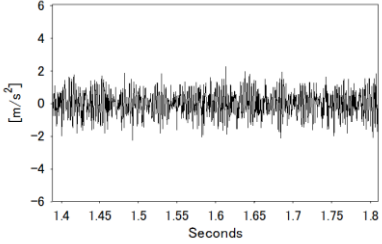
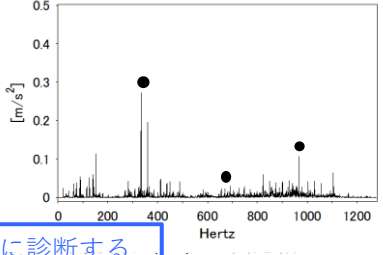
点検・整備・更新マニュアルp4-5,表4.2-1 点検の結果による健全度の評価内容から、「健全度の評価」及び「状態」の項目を引用している。

計測波形・周波数解析

機器名		〇号ポンプ	
主ポンプ振動 変位(mm)を測定し、解析する。			
渦電流		サンプリング周波数 1000Hz	
x 方向	計測波形 → 振動振幅が0.2mmP-Pを超える場合を目安として判断する。  P-P値 0.46mm → 0.2mmを超え、前年度より上昇していると断した。 rms値 0.14mm ↓ 設備診断結果へ反映	周波数解析 → 損傷特有の成分 (N, 2N, ... Zn)が突出しているか判断する。 Z:羽根枚数  ← 回転周波数が突出していることからアンバランスが存在する。 ↓ 設備診断結果へ反映	
	y 方向  P-P値 0.44mm rms値 0.13mm x方向と同様に診断する		

計測波形・周波数解析

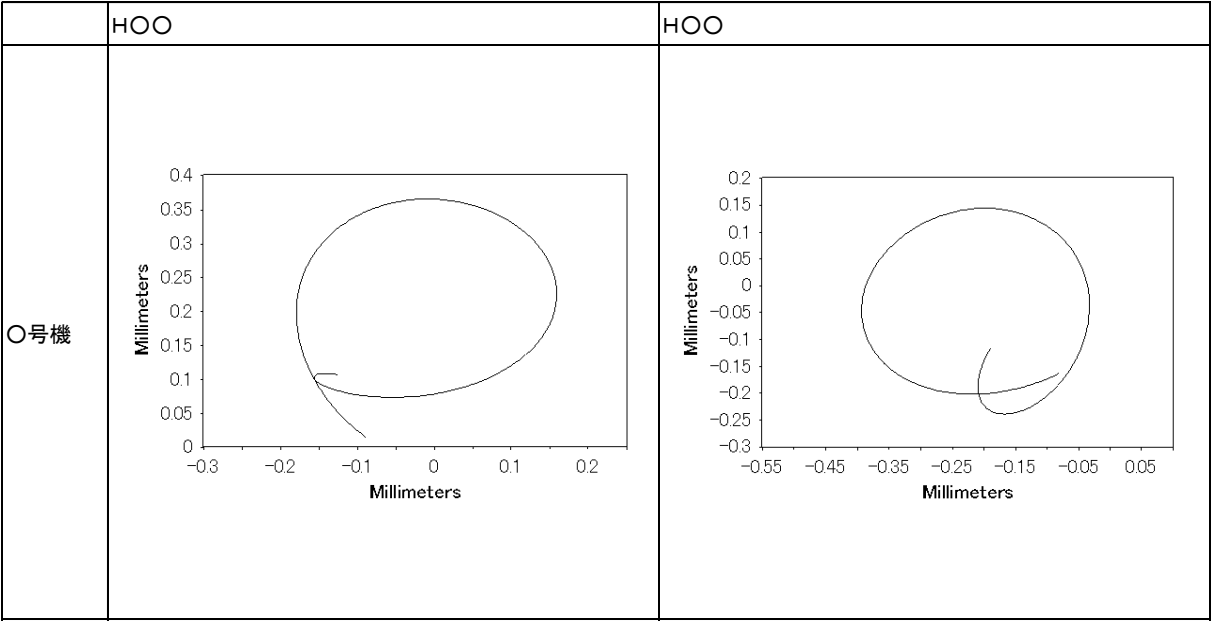
マニュアル本文の診断方法(3.5.2.劣化箇所の特定と劣化程度の判定,pp.3-13~3-17)に基づき診断する。

機器名		〇号ポンプ	
減速機側軸受 振動 変位(m/s ²)を測定し、解析する。		サンプリング周波数 2560Hz	
	計測波形 → rms値が4.5mm/sを 超える場合を目安 として判断する。	周波数解析 → 軸受・歯車発生周波数表の 発生周波数と一致すれば 異常を疑う。	
H 方 向	 rms値 0.57mm/s → 4.5mm/sを超えていないと判断した。 (加速度積分値)	 rms値が大きくないので、異常を示すものではないと考えるが、今後の傾向に注意する。 ↓ 設備診断結果へ反映 ●印の周波数 (Hz) : 出力軸:335 ± 5, 出力軸2倍:670 ± 5, 出力軸3倍:1005.3 ± 5	
V 方 向	 r m s 値 0.51mm/s(加速度積分値)	 H方向と同様に診断する 出力軸2倍:670.6, 出力軸3倍:1005.6 ±	
A 方 向	 r m s 値 0.57mm/s(加速度積分値)	 H方向と同様に診断する 出力軸2倍:669.4, 出力軸3倍:1004.1	

周波数解析で回転周波数が検出されているので、リサージュ図の形が円形となりアンバランスが疑われる。

リサージュ図

横:x方向 縦:y方向 軸1回転当たりのデータを抽出
(カットオフ周波数: 回転周波数のローパスフィルタによりデータ処理)



軸受・歯車発生周波数表

要素	仕様項目	回転数(rpm)理論値	振動原因	周波数(Hz)理論値	周波数(Hz)実測値	周波数発生有無
主軸		314.5161	アンバランス	5.2419	5.41667	
主軸		314.516129	ミスアライメント	5.2419	5.4167	
滑り軸受		314.516129	摩耗	2.6210	2.7083	
転がり軸受			損傷等			
入力軸	ピッチ径		外輪軌道面	164.0000	169.4668	
円すいころ	ボール径		内輪軌道面	236.0000	243.8668	
30315DDF+K	接触角		保持器	10.3000	10.6433	
	玉数		玉・コロ	65.8000	67.9934	
転がり軸受			損傷等			
入力軸	ピッチ径		外輪軌道面	165.0940	170.5972	
自動調心ころ	ボール径		内輪軌道面	234.9060	242.7363	
22315	接触角		保持器	10.3180	10.6619	
	玉数		玉・コロ	138.8770	143.5063	
転がり軸受			損傷等			
出力軸	ピッチ径		外輪軌道面	66.4000	68.6134	
円すいころ	ボール径		内輪軌道面	80.6000	83.2867	
32026DF+K	接触角		保持器	2.3700	2.4490	
	玉数		玉・コロ	25.9000	26.7633	
転がり軸受			損傷等			
出力軸	ピッチ径		外輪軌道面	38.6750	39.9642	
円筒ころ	ボール径		内輪軌道面	50.5750	52.2609	
N230	接触角		保持器	2.2750	2.3508	
	玉数		玉・コロ	38.6750	39.9642	
減速機歯車	入力回転数(rpm)	1500.0000	入力軸周波数	25.0000	25.8333	
	入力軸歯数	13	中間軸周波数	5.2419	5.4167	
	出力軸歯数	62	噛み合い周波数	325.0000	335.8335	○
	出力回転数(rpm)	314.5161				
ポンプ	羽根数	4	羽根車成分	20.9677	21.6667	
	案内羽根数	7	案内羽根成分	36.6935	37.9167	

噛み合い周波数(Hz)
= 歯数 × 回転数 / 60

減速機入力側軸受振動(加速度)の周波数解析で
突出した周波数と一致すれば異常を疑う。
※真に異常か否かは経年変化比較により
振動値の急激な上昇を注視して判断する。

↓
設備診断結果へ反映

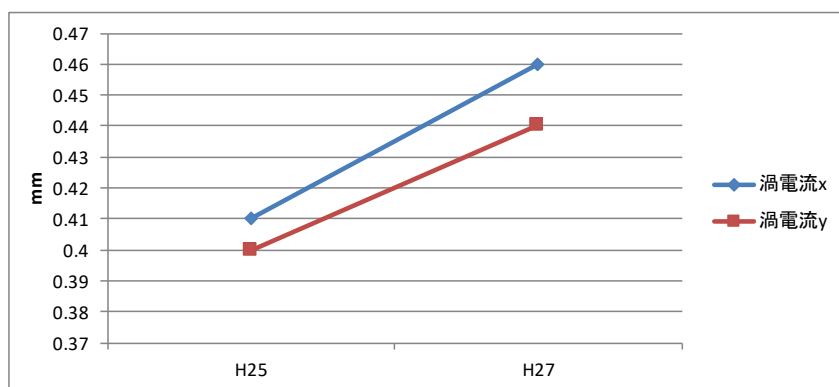
前年度の各計測値との比較により、安定した推移を示すものなのか、
上昇・下降した値を示すものであるか傾向をつかむ。

対前年度比較

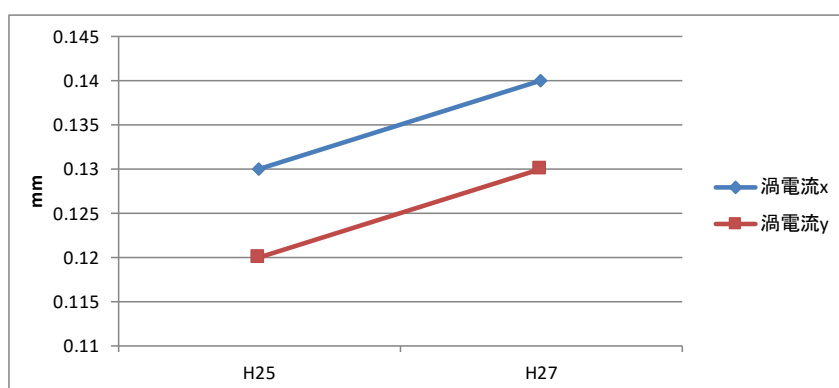
機器名	○号ポンプ
-----	-------

経年変化(傾向管理)比較

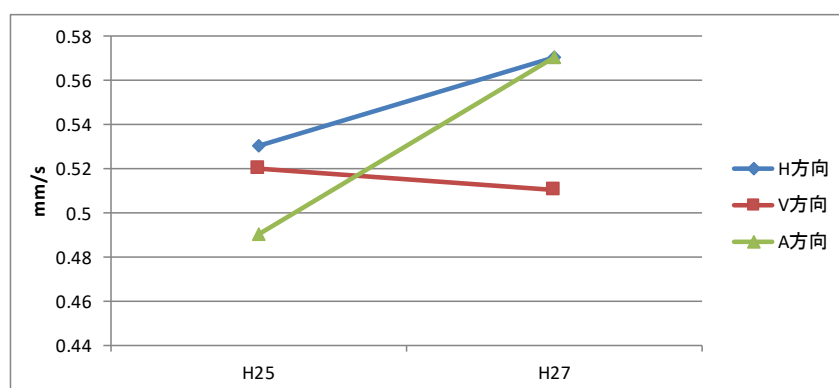
主ポンプ P-P値



主ポンプ rms値



減速機入力側軸受 速度 rms値



例えば、振動値の急激な上昇があれば異常を疑い、
周波数解析とも併せて複合的に診断する。

↓
設備診断結果へ反映

9.3. 報告書様式（事例集）

- (1) 振動調査結果 報告書（事例）
- (2) （主ポンプ）工業用内視鏡調査結果 報告書（事例）
- (3) （主原動機）工業用内視鏡調査結果 報告書（事例）
- (4) 漏洩電流調査結果 報告書（事例）

〇〇排水機場 ポンプ設備
振動調査結果 報告書

平成▲▲年■月

関東技術事務所

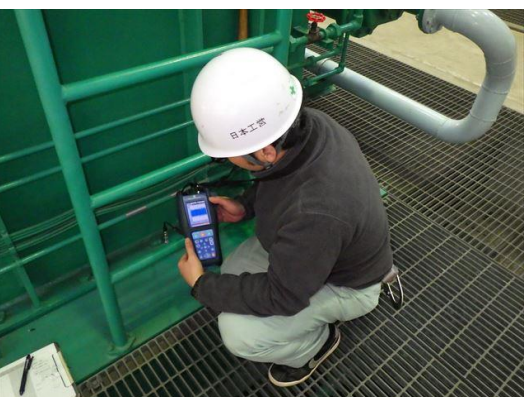
ポンプ仕様・計測箇所

[illegible]

写真台帳(主ポンプ振動測定)

機場外観	対象機器
	
備考:	備考: ○号主ポンプ
作業状況	作業状況
	
備考: 測定に必要な治具の組立。	備考: 主ポンプ主軸露出部に治具を設置して測定。
作業状況	作業状況
	
備考: 主ポンプ振動測定状況。	備考:

写真台帳(減速機振動測定)

対象機器	作業状況
	
備考: ○号減速機	備考: 減速機入力側軸受測定状況。
作業状況	作業状況
	
備考: 減速機天板中間軸軸受測定状況。	備考: 減速機天板出力軸軸受測定状況。
作業状況	作業状況
	
備考: 減速機架台測定状況。	備考: 原動機架台測定状況。

設備診断結果

別様に示す、「計測波形・周波数解析」「リサージュ図」「軸受・歯車発生周波数表」を基に、当該設備の状態を、以下のように推定する。

機器名	○号ポンプ	
異常項目	診断	所見
水中軸受のゆるみ・がた	○	回転数の分数成分が見られないので、劣化兆候はないと判断する。
主軸のアンバランス	△3	・回転数成分が突出しており、x方向の振動値(P-P値 ¹⁾ 、rms値 ²⁾ は前年度より微増傾向にあるため、主軸周りに何らかのアンバランスは存在すると思われる。 ・卓越の度合いの経年変化はほとんどないが、今後の傾向に注意する。
芯ずれ	△3	回転数の整数倍の周波数が広く分布しており、芯ずれの傾向があるため、今後の傾向に注意する。
羽根車の摩耗	○	・過年度から時間領域波形に大きな変化がなく、現段階では大きな劣化はないと判断する。 ・過年度から周波数領域波形においてZN成分等の特徴に変化がなく、現段階では劣化はないと判断する。
ベアリングの異常	○	仕様を把握している範囲では、異常時に発生する周波数が発生しておらず、波形からも特徴が見いだせないことから、異常はないものと判断する。
減速機歯車の異常	△3	・rms値が大きくないので、異常を示すものではないと考えるが、今後の傾向に注意する。 ・理論値とは若干の差があるが、歯車の噛み合いによると思われる周波数が見られる。特に噛み合い周波数の2倍が見られるので注意する。
その他所見 ・H12.3主ポンプおよび減速機O/H完了 ・H26.3エンジンO/H完了		

凡例 ○ 機能に支障が生じていない状態
 △3 機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態
 △2 機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態
 △1 機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態
 × 機能に支障が生じており、緊急に措置(修繕・更新・取替)が必要な状態
 出典)河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案),p.4-5 表4.2-1,2015.3

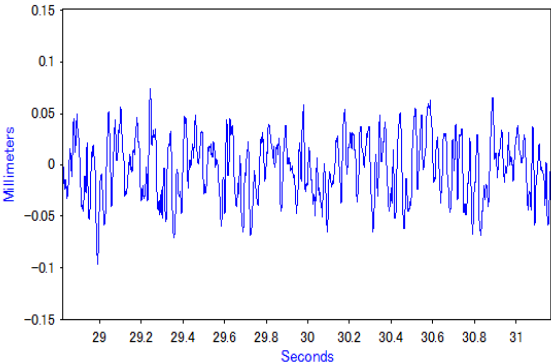
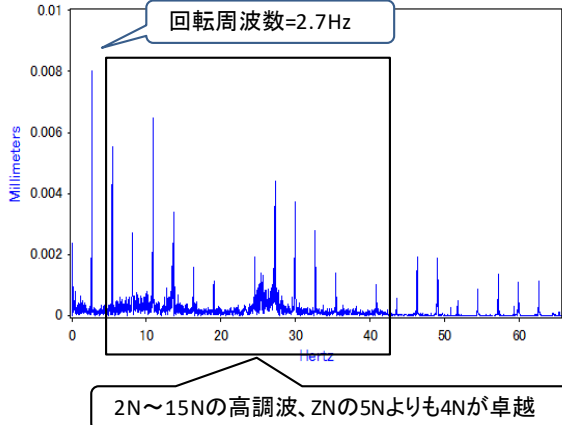
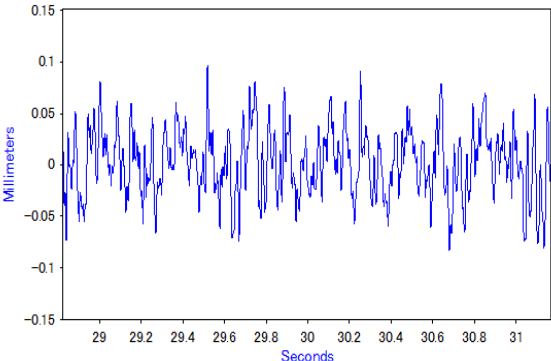
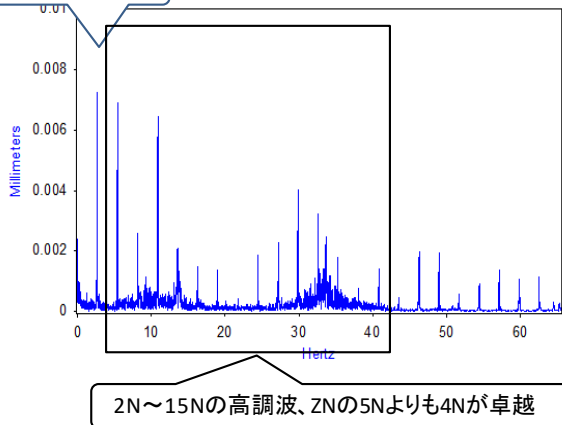
1)P-P(Peak to Peak) 値: 両振幅
 2)rms値: 振動速度の実効値(mm/s)

計測波形・周波数解析

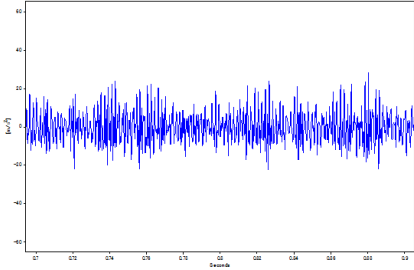
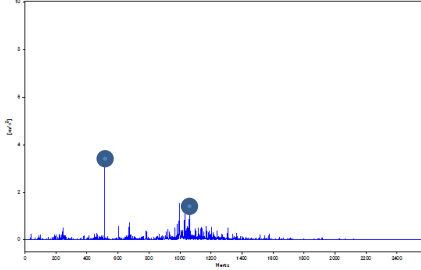
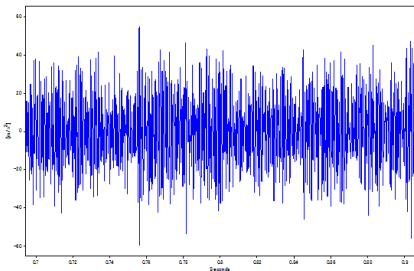
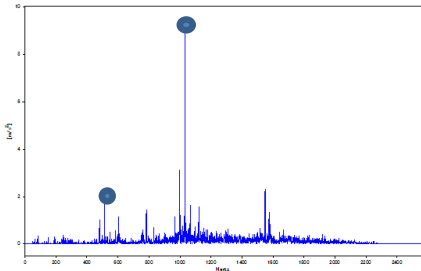
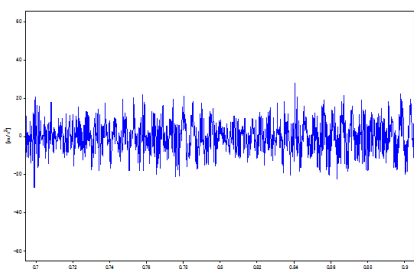
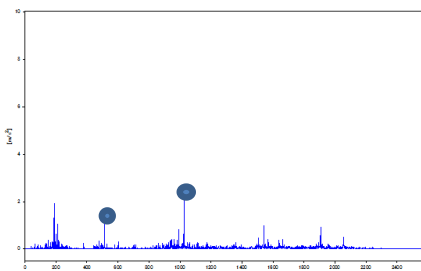
機器名	〇号ポンプ
-----	-------

主ポンプ振動

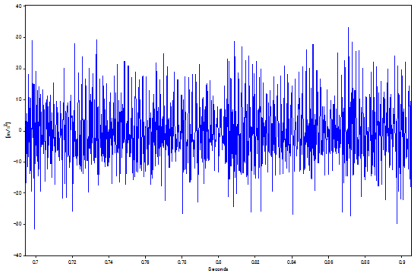
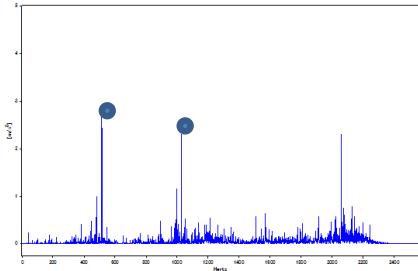
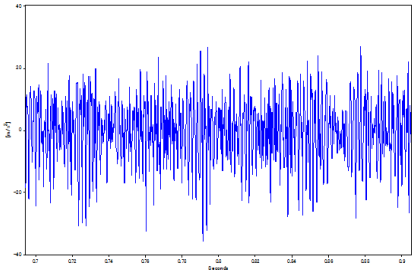
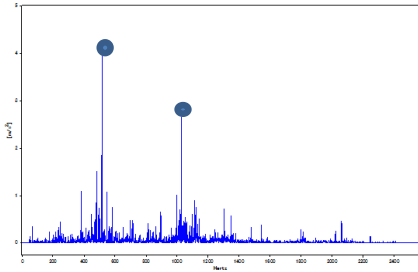
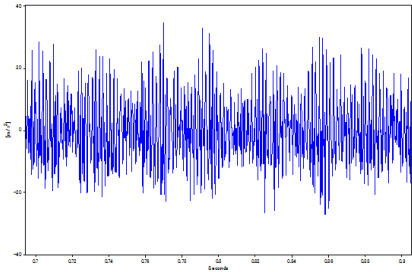
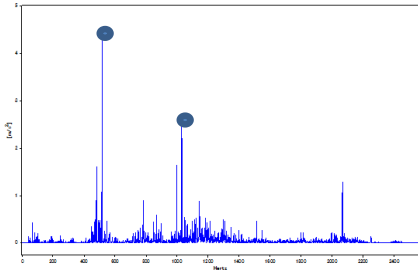
渦電流	サンプリング周波数 1000Hz
-----	------------------

	計測波形	周波数解析
x 方向	 P-P値 0.20mm rms値 0.03mm	 回転周波数=2.7Hz 2N~15Nの高調波、2Nの5Nよりも4Nが卓越
y 方向	 P-P値 0.22mm rms値 0.03mm	 回転周波数=2.7Hz 2N~15Nの高調波、2Nの5Nよりも4Nが卓越

計測波形・周波数解析

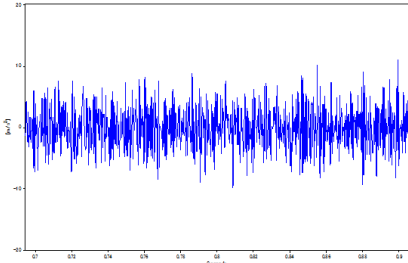
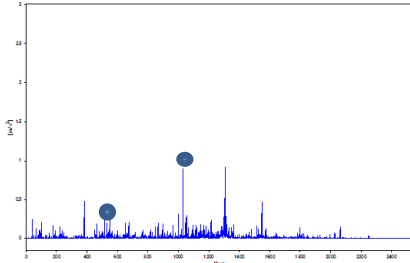
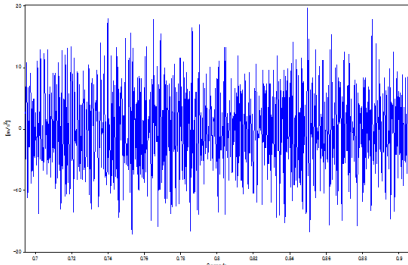
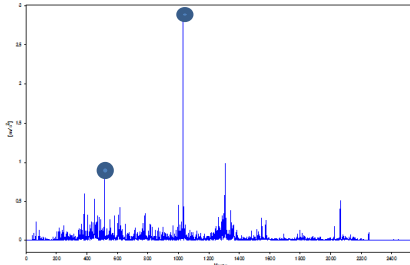
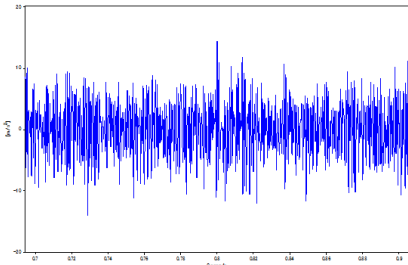
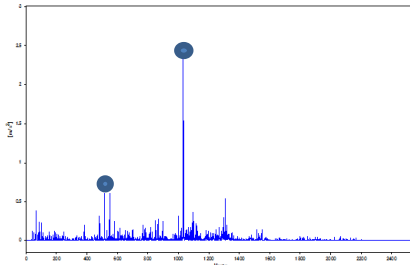
機器名		〇号ポンプ	
減速機入力側軸受 振動		サンプリング周波数 5120Hz	
	計測波形	周波数解析	
H 方向			
	rms値 2.61mm/s(加速度積分値)	●印の周波数(Hz) : 入力軸:516.25,入力軸2倍:1033.13	
V 方向			
	rms値 3.47mm/s(加速度積分値)	●印の周波数(Hz) : 入力軸:516.875,入力軸2倍:1033.75	
A 方向			
	rms値 3.85mm/s(加速度積分値)	●印の周波数(Hz) : 入力軸:514.375,入力軸2倍:1028.75	

計測波形・周波数解析

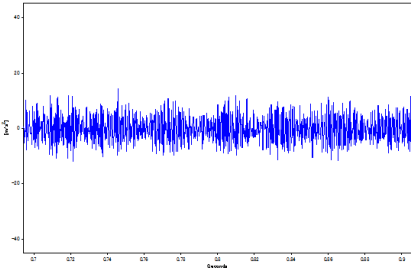
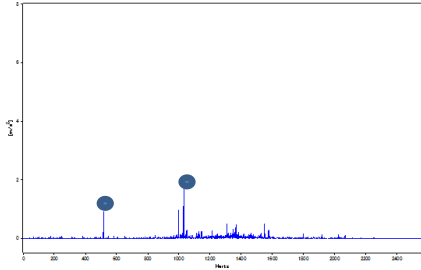
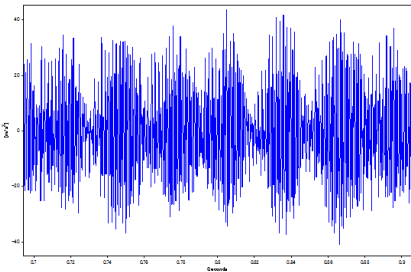
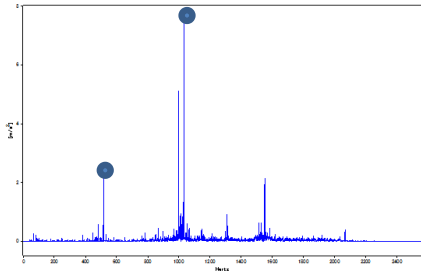
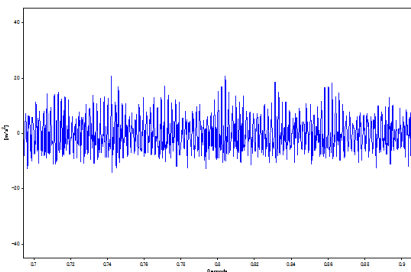
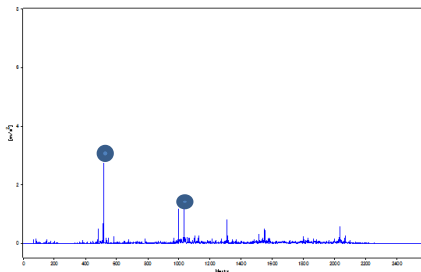
機器名		〇号ポンプ	
減速機天板中間軸軸受 振動		サンプリング周波数 5120Hz	
	計測波形	周波数解析	
H 方向			
	rms値 2.51mm/s(加速度積分値)	●印の周波数(Hz) : 入力軸:515.00,入力軸2倍:1030.63	
V 方向			
	rms値 3.28mm/s(加速度積分値)	●印の周波数(Hz) : 入力軸:515.625,入力軸2倍:1031.25	
A 方向			
	rms値 3.28mm/s(加速度積分値)	●印の周波数(Hz) : 入力軸:516.25,入力軸2倍:1032.50	

エンベロープ処理

計測波形・周波数解析

機器名		〇号ポンプ	
減速機天板出力軸軸受 振動		サンプリング周波数 5120Hz	
	計測波形	周波数解析	
H 方向			
	rms値 1.92mm/s(加速度積分値)	●印の周波数(Hz) : 入力軸:516.62,入力軸2倍:1031.88	
V 方向			
	rms値 1.80mm/s(加速度積分値)	●印の周波数(Hz) : 入力軸:515.62,入力軸2倍:1031.88	
A 方向			
	rms値 2.28mm/s(加速度積分値)	●印の周波数(Hz) : 入力軸:516.25,入力軸2倍:1032.50	

計測波形・周波数解析

機器名		〇号ポンプ	
減速機架台 振動		サンプリング周波数 5120Hz	
	計測波形	周波数解析	
H 方向			
	rms値 0.93mm/s(加速度積分値)	●印の周波数(Hz) : 入力軸:516.25,入力軸2倍:1033.13	
V 方向			
	rms値 2.77mm/s(加速度積分値)	●印の周波数(Hz) : 入力軸:516.785,入力軸2倍:1033.75	
A 方向			
	rms値 1.58mm/s(加速度積分値)	●印の周波数(Hz) : 入力軸:516.875,入力軸2倍:1033.75	

エンベロープ処理

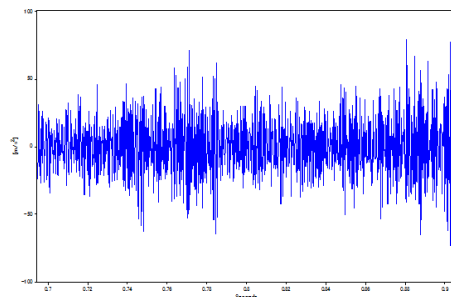
原動機架台 振動

サンプリング周波数 5120Hz

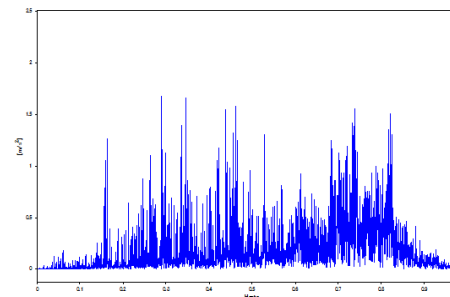
計測波形

周波数解析

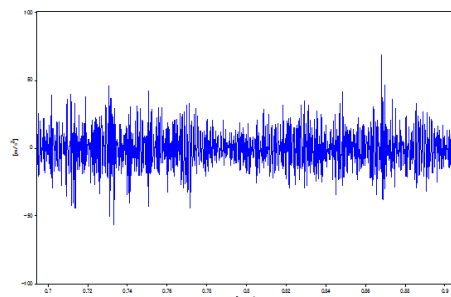
H
方向



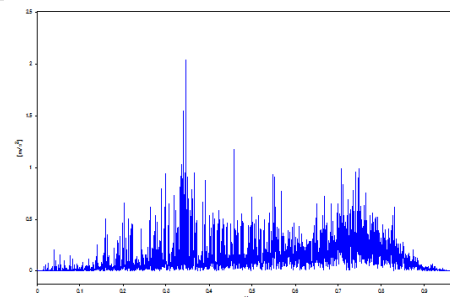
rms値 3.48mm/s(加速度積分値)



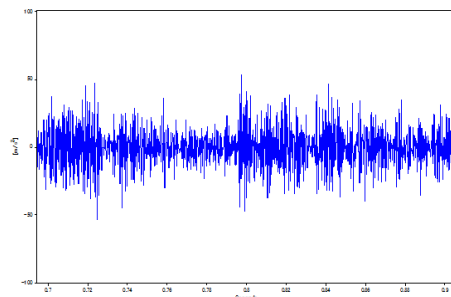
V
方向



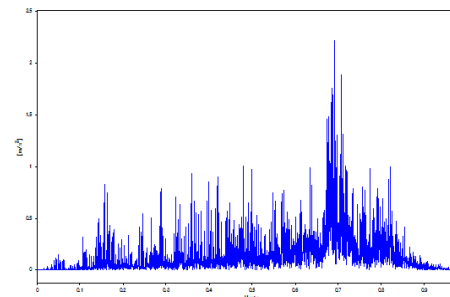
rms値 2.17mm/s(加速度積分値)



A
方向

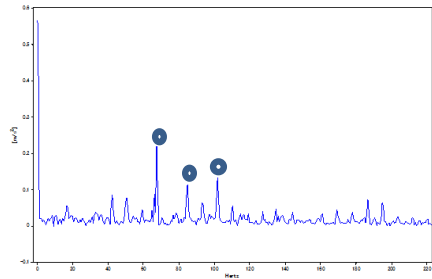


rms値 2.23mm/s(加速度積分値)

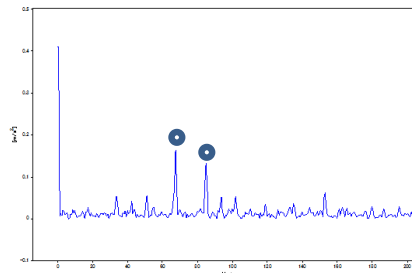


3方向とも10Hz毎に
エンジン回転数
(1006rpm $\div$ 17Hz)の
1/2の周波数が分布

計測波形・周波数解析

機器名		〇号ポンプ
減速機天板中間軸軸受 振動 エンベロープ処理		サンプリング周波数 5120Hz
	エンベロープ処理関数	周波数解析
H 方向		
V 方向		
A 方向	Movavg(□,10) Getpeak(□,0,1,0,2,0) →軸受の異常発生周波数と一致せず	 ○印の周波数(Hz) : 67.42,84.90,101.76

計測波形・周波数解析

機器名		○号ポンプ
減速機架台 振動 エンベロープ処理		サンプリング周波数 5120Hz
	エンベロープ処理関数	周波数解析
H 方向		
V 方向	Movavg(□,10) Getpeak(□,0,1,0,2,0) →軸受の異常発生周波数と一致せず	 ○印の周波数 (Hz) : 67.42,84.90
A 方向		

リサーチ図

横:x方向 縦:y方向 軸3回転当たりのデータを抽出
(カットオフ周波数:羽根車周波数のローパスフィルタによりデータ処理)

	平成△△年△月△△日	平成▲▲年▲月▲▲日
○号機	平成■●年■月■●日	平成□□年□月□□日

軸受・歯車発生周波数表

○号機

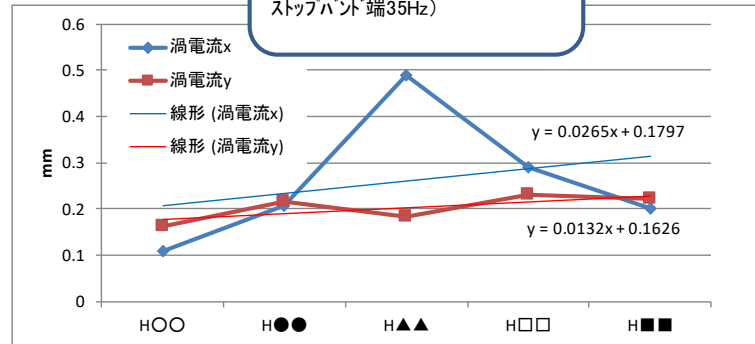
要素	仕様項目	回転数 (rpm) 理論値	振動原因	周波数(Hz)理論値	周波数(Hz)実測値	周波数発生有無
主軸		162	アンバランス	2.7000	2.7167	
主軸		162	ミスアライメント	2.7000	2.7167	
滑り軸受		162	摩耗	1.3500	1.3583	
転がり軸受			損傷等			
32232DB	ピッチ径		外輪軌道面	133.8960	134.7227	
組合円錐コロ	ボール径		内輪軌道面	176.4380	177.5273	
φ160	接触角		保持器	7.0470	7.0905	
	玉数		玉・コロ	56.1406	56.4872	
転がり軸受			損傷等			
23224CA	ピッチ径		外輪軌道面	133.4870	134.3112	
自動調心コロ	ボール径		内輪軌道面	176.8470	177.9389	
φ120	接触角		保持器	7.0256	7.0690	
	玉数		玉・コロ	57.3083	57.6621	
転がり軸受			損傷等			
32232DB	ピッチ径		外輪軌道面	94.9640	95.5503	
組合円錐コロ	ボール径		内輪軌道面	125.0360	125.8080	
φ160	接触角		保持器	4.7482	4.7775	
	玉数		玉・コロ	37.9223	38.1564	
転がり軸受			損傷等			
NU2232	ピッチ径		外輪軌道面	85.8000	86.3297	
単列円筒コロ	ボール径		内輪軌道面	112.2000	112.8927	
φ160	接触角		保持器	4.7667	4.7961	
	玉数		玉・コロ	40.5167	40.7669	
転がり軸受			損傷等			
22244CA	ピッチ径		外輪軌道面	21.7350	21.8692	
自動調心コロ	ボール径		内輪軌道面	28.9310	29.1096	
φ220	接触角		保持器	1.1440	1.1511	
	玉数		玉・コロ	9.1990	9.2558	
転がり軸受			損傷等			
NU1052	ピッチ径		外輪軌道面	28.7030	28.8802	
単列円筒コロ	ボール径		内輪軌道面	35.2970	35.5149	
φ260	接触角		保持器	1.1960	1.2034	
	玉数		玉・コロ	12.8038	12.8829	
減速機歯車	入力回転数(rpm)	983.7179	入力軸周波数	16.3953	16.4965	
	入力軸歯数	31	中間軸周波数	11.0490	11.1172	
	中間軸入力歯数	46	噛み合い周波数	508.2542	511.3922	○
	中間軸出力歯数	34	出力軸周波数	2.6833	2.6999	
	出力軸歯数	140	噛み合い周波数	375.6662	377.9856	
	出力回転数(rpm)	160.9998				
ポンプ	羽根数	5	羽根車成分	13.5000	13.5834	
	案内羽根数	7	案内羽根成分	18.9000	19.0167	

対前年度比較

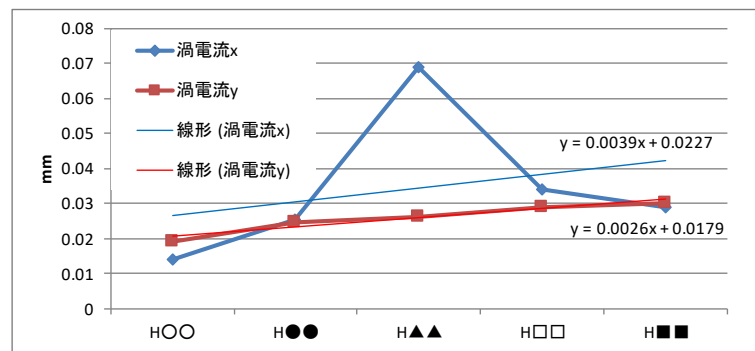
機器名 | ○号ポンプ

経年変化(傾向管理)比較

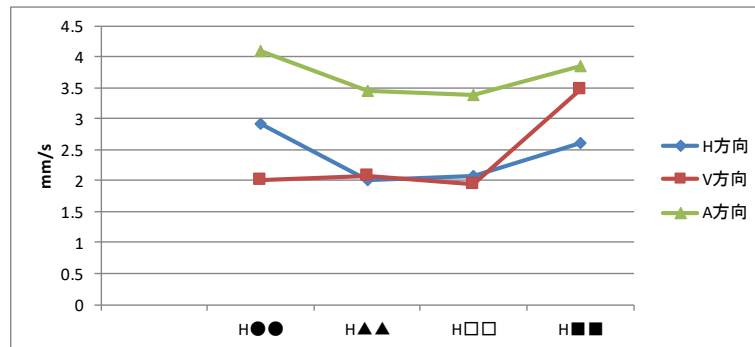
主ポンプ P-P値



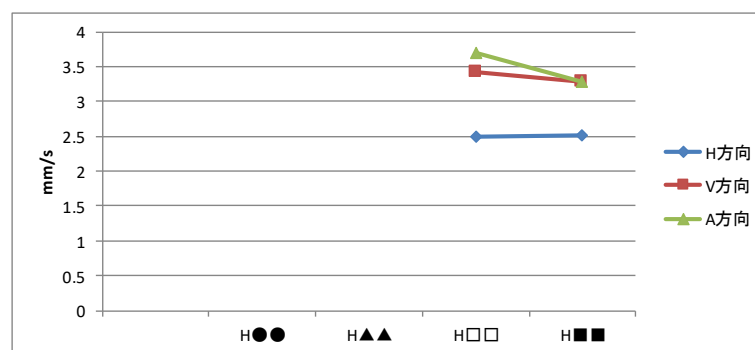
主ポンプ rms値



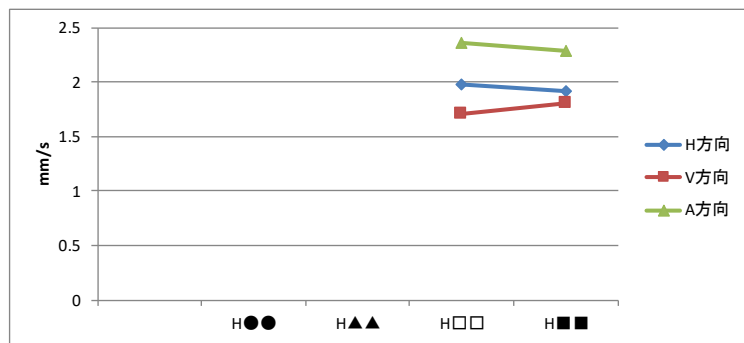
減速機入力側軸受
速度 rms値



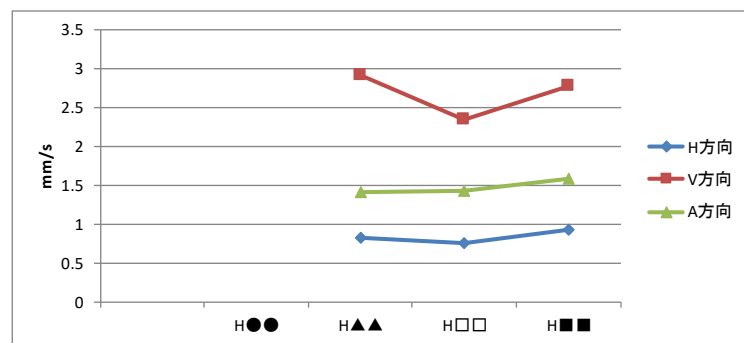
減速機天板中間軸軸受
速度 rms値



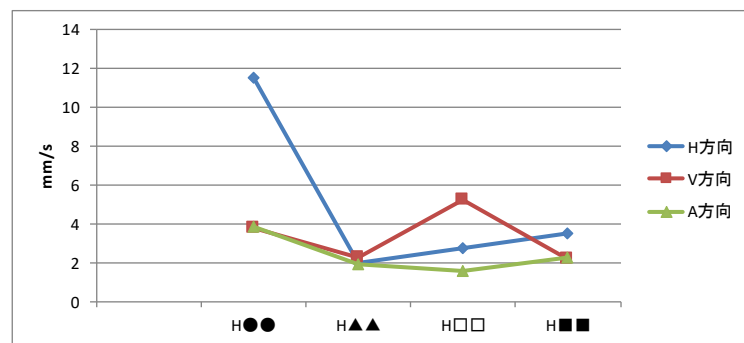
減速機天板出力軸軸受
速度 rms値



減速機架台 速度 rms値



原動機架台 速度 rms値



〇〇排水機場 主ポンプ
工業用内視鏡調査結果 報告書

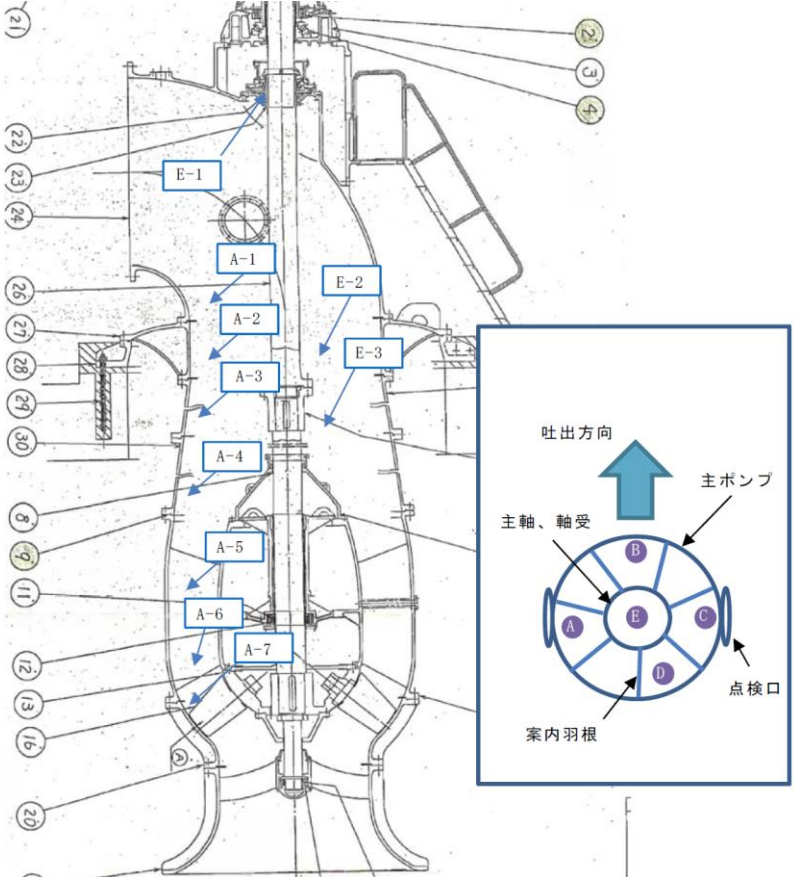
平成▲▲年■月

関東技術事務所

主ポンプ仕様・撮影箇所

計測日時	平成△△年△月△△日	撮影者	●●●事務所	▲▲
------	------------	-----	--------	----

■■排水機場	○号主ポンプ			
撮影時間	9:45			
	～			
	16:45			
口径[mm]	2000			
主軸径[mm]	280			
設置年	昭和□□年			
主軸材質	SUS403			
軸受材質	セラミックス			
保護管有無	無			
羽根車材質	SC450			
ケーシング材質	FC250			
羽根車数	5			
案内羽根車数	7			
塗装仕様				

計測位置・方向				
特記事項	特になし			

写真台帳

機場外観	対象機器
	
備考:	備考: ○号主ポンプ
作業状況	作業状況
	
備考: 点検口の分解を実施。	備考: 点検口の清掃を実施。
作業状況	交換部品
	
備考: 工業用内視鏡撮影状況。	備考: パッキン

設備診断結果

別様に示す、「撮影結果」を基に、当該設備の状態を、以下のように推定する。

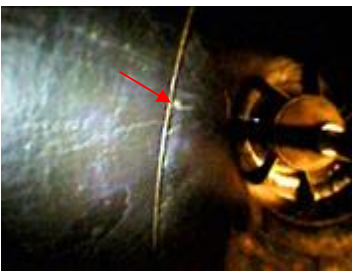
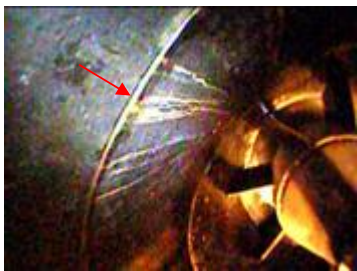
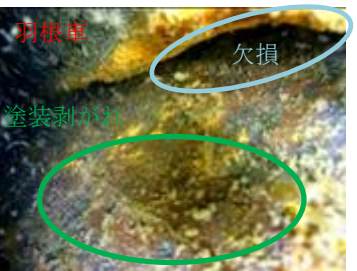
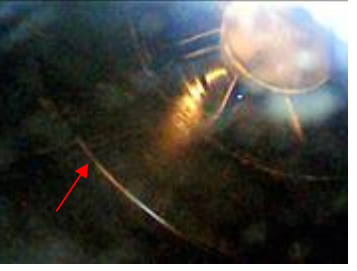
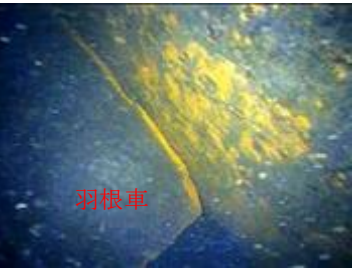
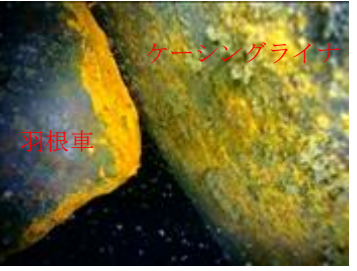
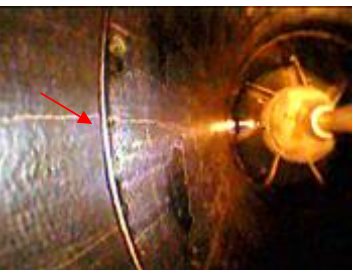
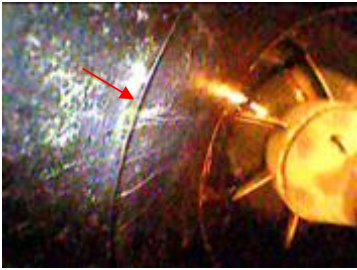
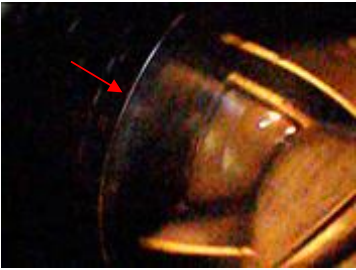
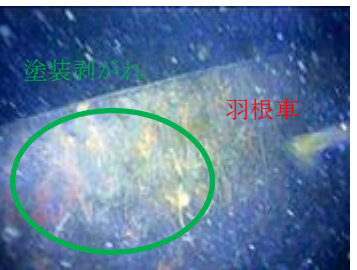
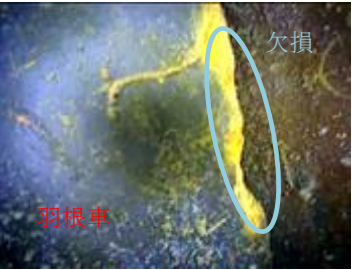
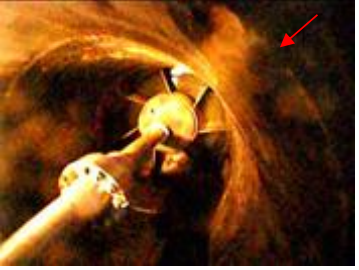
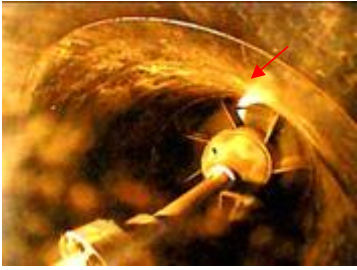
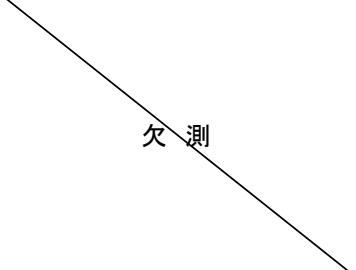
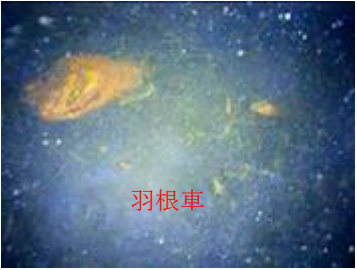
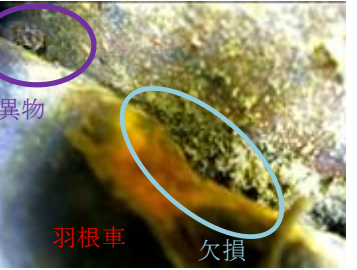
機器名	○号主ポンプ	
異常項目	診断	所見
ケーシング継手の腐食	△3	著しい腐食は確認されなかったが、若干の腐食および塗装剥がれが確認されたため、今後の傾向に注意する。
案内羽根の腐食・欠損	△3	欠損や著しい腐食は確認されなかったが、若干の塗装剥がれが確認されたため、今後の傾向に注意する。
羽根車の異常	△2	羽根車に欠損や塗装剥がれが確認されたため、分解整備を検討すべきと考えられる。
ケーシングライナの異常	△3	塗装剥がれが確認された。ポンプ性能に影響するため、今後の傾向に注意する。
主軸の異常	△3	傷や著しい腐食は確認されなかったが、ごみの付着や汚れが目立つため、今後の傾向に注意する。
その他所見 ・H12.3主ポンプO/H完了		

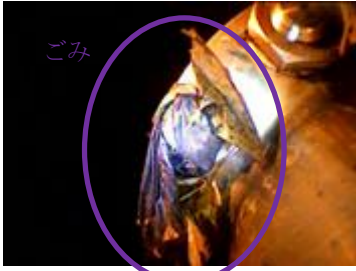
凡例	○	機能に支障が生じていない状態
	△3	機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態
	△2	機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態
	△1	機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態
	×	機能に支障が生じており、緊急に措置(修繕・更新・取替)が必要な状態

出典) 河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案),p.4-5 表4.2-1,2015.3

撮影結果

使用機器	▲▲-△△(株式会社■■■製)
------	-----------------

	ケーシング継手①	ケーシング継手②	ケーシング継手③	ケーシング継手④	案内羽根	羽根車	ライナー摺動部
	1	2	3	4	5	6	7
A							
B							
C							
D							

	主軸上部	軸継手	軸受部
	1	2	3
E			

〇〇排水機場 主原動機
工業用内視鏡調査結果 報告書

平成▲▲年■月

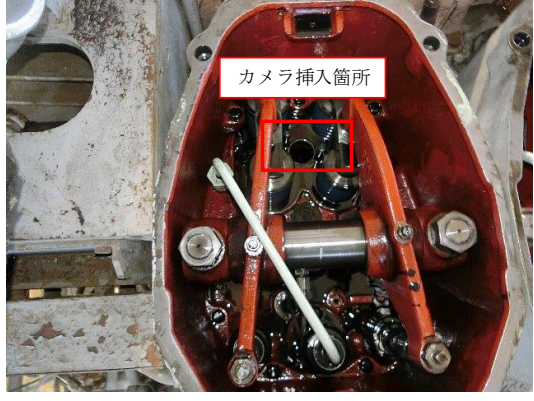
関東技術事務所

主原動機仕様・撮影箇所				
計測日時	平成△△年△月△△日	撮影者	●●●事務所	▲▲
■排水機場	○号主原動機			
測定時間	10:00			
	～			
	16:00			
型式	◆◆-◇◇			
定格出力[V]	883			
始動方式	空気式			
設置年	昭和□□年			
計測位置・方向	ノズルリングおよびタービンブレード 吐出弁バネ 吐出弁 燃料噴射ポンプ 燃料入口 プランジャー プランジャーバレル コントロールラック コントロールピニオン プランジャーバネ タペット(ローラー、ピン) 燃料カム、軸 タイミングギヤ(クランク、カム) クランクメタル クランク軸 クランクチャンバー(オイルチャンバー) クーリングファン 排気マニホールド 排気弁 吸気弁 シリンダライナー シリンダブロック シリンダー:冷却水ジャケット ピストン 指針 目盛り板 フライホイール(貯草) 接続棒 コネクティングロッド クランクピンメタル			
特記事項				

特記事項

写真台帳

機場外観	対象機器
	
備考:	備考: ○号主原動機

作業状況	カメラ挿入位置
	
備考: 気筒内の撮影のため、シリンダヘッドの分解（燃料弁の抜き出し）を実施した。	備考: 気筒の工業用内視鏡カメラ挿入位置。

分解品	作業状況
	
備考: シリンダヘッドの分解品	備考: 工業用内視鏡を使用した気筒内部の撮影状況。

写真台帳

作業状況  カメラ挿入箇所 備考: 過給機内の撮影のため、温度計プラグを分解し、工業用内視鏡による撮影を実施。	作業状況  カメラ挿入箇所 備考: 過給機内の撮影のため、プラグを分解し、工業用内視鏡による撮影を実施。
作業状況  備考: 復旧状況 (空気抜き)	交換部品  備考: ガasket

設備診断結果

別様に示す、「撮影結果」を基に、当該設備の状態を、以下のように推定する。

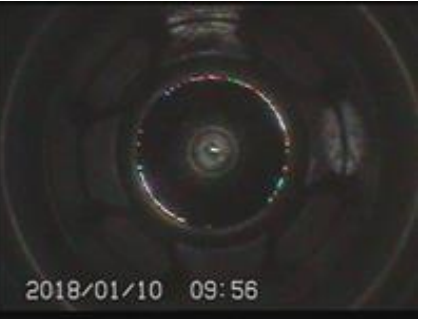
機器名	○号主原動機	
異常項目	診断	所見
ピストン上部の異常	○	目立った腐食や損傷は確認されなかった。
シリンダライナーの異常	○	目立った腐食や損傷は確認されなかった。
ノズルリングの異常	△1	腐食による欠損が確認されたため、早急に対策を講じるべきである。
タービンブレードの異常	○	全体的にカーボンの付着が確認されたが、目立った腐食や損傷は確認されなかった。
その他所見		

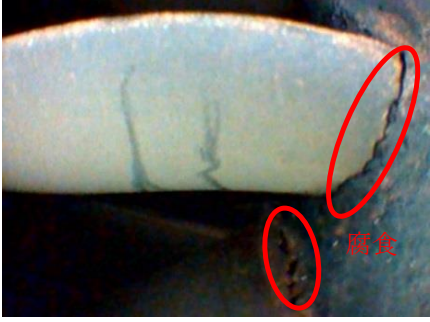
凡例	○	機能に支障が生じていない状態
	△3	機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態
	△2	機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態
	△1	機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態
	×	機能に支障が生じており、緊急に措置(修繕・更新・取替)が必要な状態

出典)河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案),p.4-5 表4.2-1,2015.3

撮影結果

使用機器	▲▲-△△(株式会社■■■製)
------	-----------------

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
気筒						
シリンダライナ						

	遠景	拡大
ノズルリング		

	根元	先端
タービンブレード		

〇〇排水機場 監視操作制御設備
漏洩電流調査結果 報告書

平成▲▲年■月

関東技術事務所

監視操作制御設備仕様・計測箇所

[illegible]

写真台帳

機場外観	対象機器
	
備考:	備考:コントロールセンタ

作業状況	作業状況
	
備考:	備考:

設備診断結果

別様に示す、「計測結果」を基に、当該設備の状態を、以下のように推定する。

機器名	監視操作制御設備	
異常項目	診断	所見
機器や配線からの漏電	○	各機器において1mAを超える漏洩電流値が確認されなかったため、健全な状態と判断される。
その他所見 ・H13.3操作制御設備整備・改造完了 ・H15.7自家発電設備O/H完了		

- 凡例
- 健全な状態と判断される。
- △

機器の劣化が予想される。
- ×

機器の故障、著しい劣化が予想される。

測定結果

機器名	コントロールセンタ(自家発系)
測定機器	▲▲-△△(株式会社■■■製)

		測定値		
1号機関初期 潤滑油ポンプ	I _{or} [mA]	0.047		
	I _o [mA]	0.024		
2号機関初期 潤滑油ポンプ	I _{or} [mA]	0.048		
	I _o [mA]	0.034		
1号減速機初期 潤滑油ポンプ	I _{or} [mA]	0.054		
	I _o [mA]	0.027		
2号減速機初期 潤滑油ポンプ	I _{or} [mA]	0.098		
	I _o [mA]	0.069		
1号流体継手 初期潤滑油ポンプ	I _{or} [mA]	0.051		
	I _o [mA]	0.040		
2号流体継手 初期潤滑油ポンプ	I _{or} [mA]	0.054		
	I _o [mA]	0.051		
1号吐出ゲート 油圧ポンプ	I _{or} [mA]	0.078		
	I _o [mA]	0.085		
2号吐出ゲート 油圧ポンプ	I _{or} [mA]	0.072		
	I _o [mA]	0.043		
1号原水ポンプ	I _{or} [mA]	0.095		
	I _o [mA]	0.093		
2号原水ポンプ	I _{or} [mA]	0.130		
	I _o [mA]	0.073		
3号原水ポンプ	I _{or} [mA]	0.202		
	I _o [mA]	0.124		
1号オートストレーナ	I _{or} [mA]	0.036		
	I _o [mA]	0.021		
2号オートストレーナ	I _{or} [mA]	0.042		
	I _o [mA]	0.023		
	I _{or} [mA]			
	I _o [mA]			
	I _{or} [mA]			
	I _o [mA]			

※基準値:1mA以下(経済産業省 電気設備技術基準の解釈)

備考
三相スター結線の補正モードを使用して測定を実施した。

9.4. 精密診断技術（既存）の有用性検証

本項では、河川ポンプ設備の精密診断技術（既存）の有用性が確認できた例として、河川ポンプ設備の既存の精密診断技術について、精密診断結果と分解整備時に判明する不具合事象との因果関係の解析を行い有用性の検証を実施した事例として、参考に掲載する。

なお、事例は、工業用内視鏡撮影、振動計測の 2 つの精密診断技術のものである。

9.4.1. 有用性が検証できた例

9.4.1.1. 工業用内視鏡写真

分解整備前に工業用内視鏡を用いて撮影した写真と、分解整備時に撮影した写真の比較例を、参考として以下に掲載する。機器ごと（主ポンプ/主原動機）および部品ごとにまとめている。

(1) 主ポンプ

表 9-1 有用性が確認できた部位と診断内容（主ポンプ）（1/2）

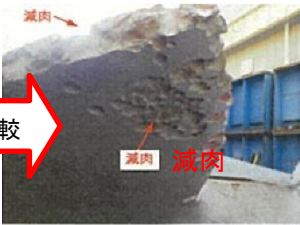
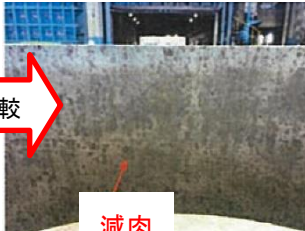
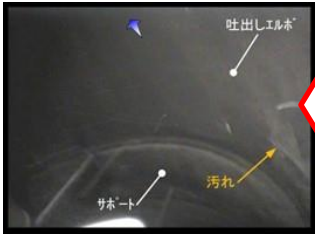
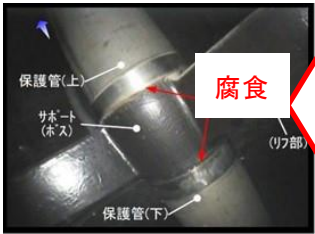
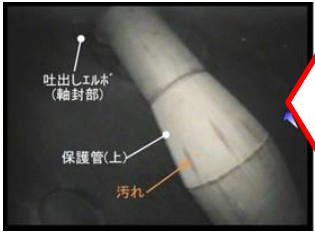
	①整備前の内視鏡写真	②分解整備時の写真	診断内容
羽根車	 内視鏡挿入口側	 比較	<診断可能な例> ・腐食部の大きさ/広さ <現状診断が難しい例> ・母材の腐食深さ等の定量的な評価 ・内視鏡挿入口と逆側の羽根車表面
ケーシングライナ (摺動部)		 比較	<診断可能な例> ・腐食部の大きさ/広さ <現状診断が難しい例> ・母材の腐食深さ等の定量的な評価
揚水管		 比較	<診断可能な例> ・腐食部の大きさ/広さ <現状診断が難しい例> ・母材の腐食深さ等の定量的な評価

表 9-2 有用性が確認できた部位と診断内容（主ポンプ）（2/2）

	①整備前の内視鏡写真	②分解整備時の写真	診断内容
吐出しエ ルボ			< 診断可能 > ・ 腐食部の大きさ/広さ < 現状診断が難しい > ・ 母材の腐食深さ等の定量的な評価
サポート			< 診断可能 > ・ 腐食部の大きさ/広さ
保護管			< 診断可能 > ・ 腐食部の大きさ/広さ

(2) 主原動機

表 9-3 有用性が確認できた部位と診断内容（主原動機）（1/2）

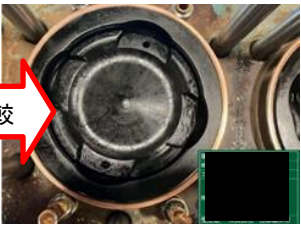
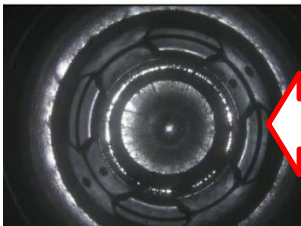
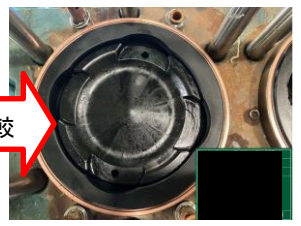
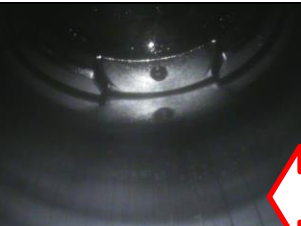
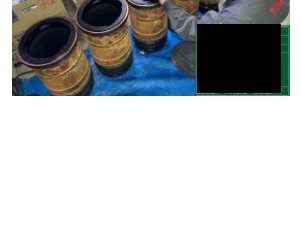
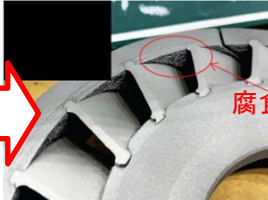
	①整備前の内視鏡写真	②分解整備時の写真	診断内容
ピ ス ト ン 上 部			<診断可能な例> ・カーボン汚れの状況 ・表面の大きな擦れ/傷の有無 <現状診断が難しい例> ・カーボン汚れに隠れた箇所 の状況 ・クラックの長さ等の定量的 な評価
			
シ リ ン ダ ラ イ ナ			<診断可能な例> ・カーボン汚れの状況 ・表面の大きな擦れ/傷の有無 <現状診断が難しい例> ・内径等の定量的な評価
			

表 9-4 有用性が確認できた部位と診断内容（主原動機）（2/2）

	①整備前の内視鏡写真	②分解整備時の写真	診断内容
過給機ノズルリング		清掃前 	<診断可能な例> ・カーボン汚れの状況 ・腐食部の大きさ/広さ <現状診断が難しい例> ・クラックの長さ等の定量的な評価
		軽微なカーボン蓄積 清掃後 	
			

9.4.1.2. 振動計測

振動計測を用いた精密診断技術の有用性が確認できたと考えられる事例を、参考として表 9-5～表 9-9 に掲載する。

表 9-5 羽根車の摩耗

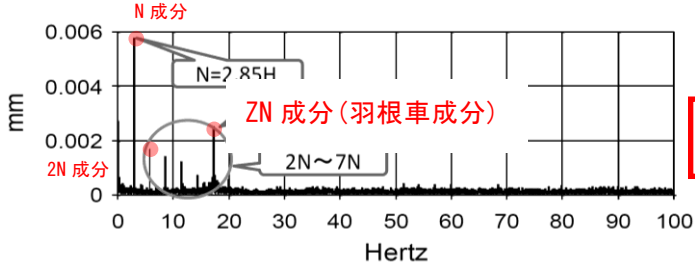
事例 1：A 河川事務所 b 排水機場 3 号主ポンプ	
①分解整備前 振動計測結果 (H28. 6)	②分解整備時の不具合 (H28)
主軸（渦電流計）  回転周波数成分×羽根車枚数成分（ZN 成分）が卓越	 ・羽根翼面及び表面に腐食による減肉 ・羽根チップ面に摩耗、摺動痕
・ H28. 6 の振動計測では、回転数成分（N 成分）の卓越以外に羽根車成分（ZN 成分）の突出が見られ、羽根車の異常が懸念された。その後の分解整備では、羽根車の腐食による減肉等が確認され、充填材補修や機械加工修正が行われている。	

表 9-6 羽根車の健全さ（渦巻ポンプ）

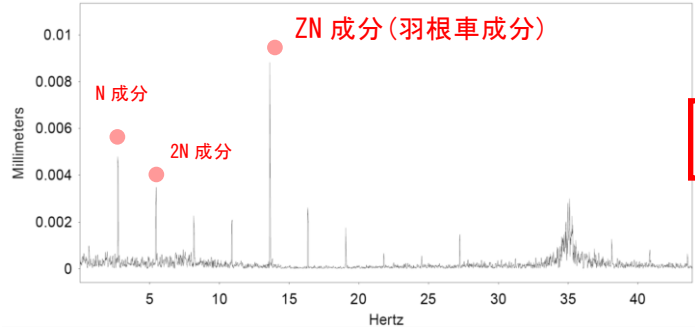
事例 2：A 河川事務所 c 排水機場 3 号主ポンプ	
①分解整備前 振動計測結果 (H29. 7)	②分解整備時の不具合 (H29)
主軸（渦電流計）  回転周波数成分×羽根車枚数成分（ZN 成分）が卓越	 インペラ各種異常なし 清掃後、継続使用
・ H29. 7 の振動計測では羽根車成分（ZN 成分）の卓越が見られた。精密診断マニュアルによれば、渦巻ポンプは羽根車が健全なほど ZN 成分が顕著になるため、羽根車が健全である事が予想された。その後の分解整備では、羽根車に異常は無いと判定されており、清掃後継続使用された。	

表 9-7 主軸の芯ずれ

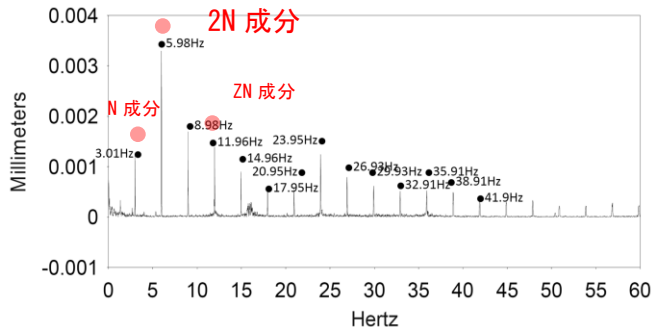
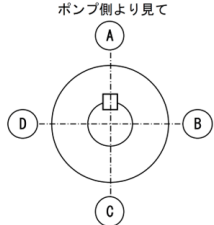
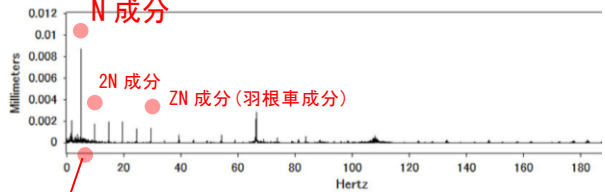
事例 3：A 河川事務所 d 排水機場 1 号主ポンプ																									
①分解整備前 振動計測結果 (R3. 7)	②分解整備時の不具合 (R4)																								
主軸（渦電流計）  高調波成分（2N）成分が卓越	ポンプ側より見て  <table><tr><th colspan="4">芯ずれ測定（読み値）</th><th rowspan="2">判定</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th></tr><tr><td>0</td><td>-18</td><td>-37</td><td>-19</td><td>-</td></tr><tr><td colspan="4">0.185</td><td></td></tr><tr><td colspan="4">0.05～0.1mm以内（目標値）</td><td></td></tr></table> 減速機～ポンプ間の 芯ずれがメーカーの目標値を 0.085mm 超過	芯ずれ測定（読み値）				判定	A	B	C	D	0	-18	-37	-19	-	0.185					0.05～0.1mm以内（目標値）				
芯ずれ測定（読み値）				判定																					
A	B	C	D																						
0	-18	-37	-19	-																					
0.185																									
0.05～0.1mm以内（目標値）																									
・ R3. 7 の振動計測では 2N 成分の卓越が見られ、主軸のミスアライメントが懸念された。その後の分解整備でメーカー目標値を超過する芯ずれが報告されており、調整された。																									

表 9-8 主軸の曲がり

事例 4：B 河川事務所 e 排水機場 5 号ポンプ

①分解整備前 振動計測結果 (H25. 7)

主軸（渦電流計）



回転周波数成分（N 成分）が卓越

②分解整備時の不具合 (H25)



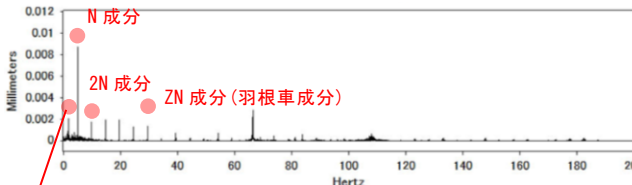
単位：1/100mm
許容値：12/100mm以下

	①	②	③
整備前	0 +1 + 0 +1	0 -3 + -5 -8	0 +1 + +1 +2

主軸の軽微な曲がり

・ H25. 7 の振動計測では回転周波数成分（N 成分）の卓越が見られ、主軸のアンバランス・曲がりが懸念された。その後の分解整備では、軽微な主軸の曲がりが報告されている。

表 9-9 水中軸受の「ゆるみ」「がた」

事例 5：B 河川事務所 e 排水機場 5 号ポンプ																						
①分解整備前 振動計測結果（H25. 7）	②分解整備時の不具合（H25）																					
主軸（渦電流計）  分数調波数成分 分数調波数成分（0. 4N～0. 7N）が検出	<table><tr><th>品番</th><th>部品名</th><th>数量</th><th>目視検査</th><th>寸法測定</th><th>点検結果</th><th>処置・対策</th></tr><tr><td>21</td><td>スライダウジクウケ</td><td>1</td><td>○</td><td>○</td><td>摺動部摩耗</td><td>新製交換</td></tr><tr><td>22</td><td>スリーブ</td><td>2</td><td>○</td><td>○</td><td>摺動部摩耗</td><td>新製交換</td></tr></table> ・軸受部品（水中軸受、スリーブ） 寸法測定結果、摺動部に経年的な摩耗が認められました。 今回の整備では当初の計画により新製交換致しました。 水中軸受・スリーブ摺動部に 経年的な摩耗	品番	部品名	数量	目視検査	寸法測定	点検結果	処置・対策	21	スライダウジクウケ	1	○	○	摺動部摩耗	新製交換	22	スリーブ	2	○	○	摺動部摩耗	新製交換
品番	部品名	数量	目視検査	寸法測定	点検結果	処置・対策																
21	スライダウジクウケ	1	○	○	摺動部摩耗	新製交換																
22	スリーブ	2	○	○	摺動部摩耗	新製交換																
・ H25. 7 の振動計測では分数調波数成分が検出され、水中軸受の「ゆるみ」「がた」が懸念された。その後の分解整備では、水中軸受・スリーブ摺動部の摩耗が報告されている。																						