
河川用ゲート設備
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

目 次

1. 総則.....	1-1
1.1. 目的	1-1
1.2. 適用範囲	1-3
1.2.1. 対象装置	1-3
1.2.2. 精密診断の適用	1-3
1.3. 本マニュアル（試行案）の位置付け	1-8
2. 振動診断.....	2-1
2.1. 概要	2-1
2.1.1. 適用の範囲	2-1
2.1.2. 適用の条件	2-1
2.1.3. 計測・診断フロー	2-3
2.2. 計測	2-4
2.2.1. 計測器	2-4
2.2.2. 計測箇所	2-5
2.2.3. 計測タイミング	2-9
2.2.4. 計測の事前準備	2-9
2.2.5. 計測手順	2-10
2.3. 評価・判定方法.....	2-11
2.3.1. 精密診断の事前準備	2-11
2.3.2. 振動波形による診断	2-12
2.4. 報告書.....	2-21
2.5. 技術的課題.....	2-22
3. 漏洩電流計測.....	3-1
3.1. 概要	3-1
3.1.1. 適用の範囲	3-1
3.1.2. 適用の条件	3-1
3.1.3. 技術の位置付け	3-2
3.1.4. 計測・診断フロー	3-3
3.2. 計測	3-4
3.2.1. 計測器性能要件	3-4
3.2.2. 計測箇所	3-6
3.2.3. 計測タイミング	3-9
3.2.4. 計測の事前準備	3-10
3.2.5. 計測手順	3-11
3.3. 評価・判定方法.....	3-15
3.3.1. 絶対値による評価	3-15

3.3.2.	診断時の評価フロー	3-17
3.4.	報告書	3-18
3.5.	技術的課題	3-19
4.	板厚計測	4-1
4.1.	概要	4-1
4.1.1.	適用の範囲	4-1
4.1.2.	適用の条件	4-1
4.1.3.	技術の位置付け	4-2
4.1.4.	板厚計測・診断フロー	4-3
4.2.	計測	4-4
4.2.1.	性能要件	4-4
4.2.2.	計測箇所	4-5
4.2.3.	計測の事前準備	4-7
4.2.4.	計測手順	4-8
4.3.	評価・判定方法	4-9
4.3.1.	板厚計測による精密診断	4-9
4.3.2.	絶対値による評価	4-9
4.4.	報告書	4-10
4.5.	技術的課題	4-11
5.	温度分布計測（赤外線サーモグラフィ）	5-1
5.1.	概要	5-1
5.1.1.	適用の範囲	5-1
5.1.2.	適用の条件	5-1
5.1.3.	技術の位置付け	5-2
5.1.4.	温度分布計測・診断フロー	5-3
5.2.	計測	5-4
5.2.1.	計測器の性能要件	5-4
5.2.2.	計測箇所	5-5
5.2.3.	計測タイミング	5-6
5.2.4.	計測の事前準備	5-6
5.2.5.	計測手順	5-7
5.3.	不具合箇所のスクリーニング	5-10
5.3.1.	温度分布計測によるスクリーニング	5-10
5.3.2.	スクリーニングの事前準備	5-10
5.4.	評価・判定方法	5-12
5.4.1.	温度分布による評価	5-12
5.4.2.	絶対値による評価	5-14
5.4.3.	傾向管理による評価	5-16

5.5.	報告書.....	5-17
5.6.	技術的課題.....	5-18
6.	用語解説.....	6-1
6.1.	振動診断	6-1
6.2.	漏洩電流計測	6-4
6.3.	板厚計測	6-6
6.4.	温度分布計測	6-7
7.	出典.....	7-1
7.1.	振動	7-1
7.2.	漏電	7-1
7.3.	板厚	7-1
7.4.	サーモグラフィ	7-2
8.	実験結果.....	8-1
8.1.	実機による実験結果.....	8-1
8.2.	振動波形の事例.....	8-6
8.3.	温度分布計測の事例.....	8-12
9.	参考資料.....	9-1
9.1.	精密診断技術（既存）の有用性検証.....	9-1

1. 総則

1.1. 目的

本マニュアル（案）は、河川用ゲートの振動、漏洩電流、板厚による精密診断を行うための技術的事項をまとめたもので、適切な状態監視保全に資することを目的とする。なお、精密診断は、一定の専門知識を有する技術者が行わなければならない。

【解説】

- ・ 近年では公共事業予算が大幅に削減され、戦略的に少ない予算で効果的な維持管理を行うことが求められている。その具体的対策として、設備の状態を正確に診断し、的確な整備時期を判断する状態監視技術の重要性が注目されている。これは平成 23 年 6 月に策定された河川構造物長寿命化及び更新マスタープランにおいても当面取り組むべき方向として示されている。^{出典[1]}
 - ・ 状態監視型予防保全の推進を目的として改訂された「河川用ゲート設備点検・整備・更新マニュアル（案）（平成 27 年 3 月 国土交通省）」（以下「河川マニュアル」と言う）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」とされているが、これまで待機系設備である河川用ゲート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い。
 - ・ 「点検の結果異常が認められる」状況としては、定性的な専門技術者の判断によるほか、計測データに基づく「傾向管理」の活用が考えられる。
「傾向管理」とは、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（「トレンド管理」）をいう。^{出典[2]}
 - ・ 診断については、「精密診断」と「総合診断」が定義されており、本マニュアル（案）は「精密診断」に関する技術的事項をまとめたものである。
「精密診断」とは、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[3]}
 - ・ 本マニュアル（案）は、民間のプラント管理において採用されている診断技術のうち、適用性の高い振動解析、漏洩電流計測、板厚計測に着目している。これらの技術は、過去に故障実績が多い開閉装置の動力部及び動力伝達部あるいは扉体の健全度を判断する手法として適用でき、なおかつ近年の技術開発動向から一定の信頼性を得ることができるものとして選定した。
-

- ・ 赤外線サーモグラフィによる温度計測についても掲載しているが、当該技術単独で具体的に機器の劣化傾向を把握することは難しいと判断し、精密診断の補助技術と位置付けている。
- ・ なお、精密診断実施の判断指標となる傾向管理の実施については、「河川用ゲート設備点検・整備標準要領（案）（平成 28 年 3 月 国土交通省）」（以下、「河川標準要領」と言う）^{出典[4]}に基づくものとする。

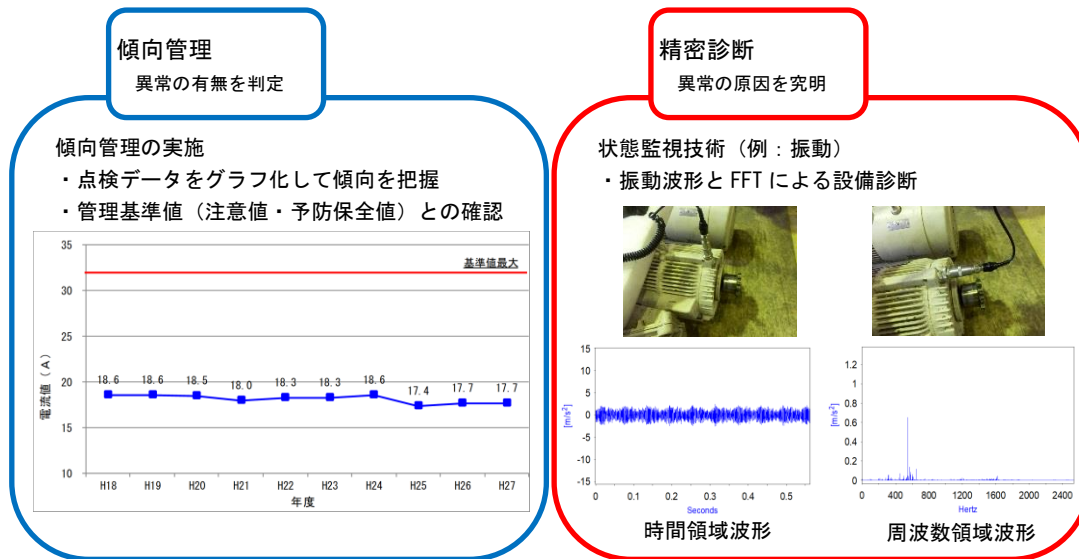


図 1.1-1 電動機の診断事例

1.2. 適用範囲

1.2.1. 対象装置

本マニュアル（案）は、河川管理施設として設置される河川用ゲート設備（常用系・待機系）のうち、下記の形式、装置に適用する。

- ・ 扉体構造：プレートガーダ構造及びシエル構造
- ・ 開閉装置形式：機械式開閉装置

【解説】

本マニュアル（案）は、河川用ゲート設備のうち、扉体構造としてプレートガーダ構造及びシエル構造とし、開閉装置形式は機械式開閉装置に適用するものとする。但し、各診断技術を採用できる機器・部品については、診断技術毎に明示するものとした。

1.2.2. 精密診断の適用

本マニュアル（案）は、河川マニュアルに示される精密診断について適用する。

【解説】

- ・ 河川用ゲート設備の扉体及び開閉装置の主要機器は状態監視保全を行うこととされている。
- ・ 精密診断は、点検の結果異常傾向が認められる△判定の場合、あるいは表 1.2-1 に示す信頼性による取替・更新の標準年数を超えた場合に必要性を検討する。ただし、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、故障（×判定）である場合は緊急な修繕・補修などの措置を検討しなければならない。
- ・ 傾向管理においては、「注意値」を超えた場合に供用年数（建設後の経過年数、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。
- ・ 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。

-
- ・ 精密診断における計測は、管理運転時に行うことを標準とする。ただし、堰及び閘門等の常用設備において、実負荷運転時のデータを取得した場合は評価において運転条件の相違等を考慮する。
 - ・ 精密診断は、表 1.2-2 に示す健全度の評価に資するよう実施する。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。

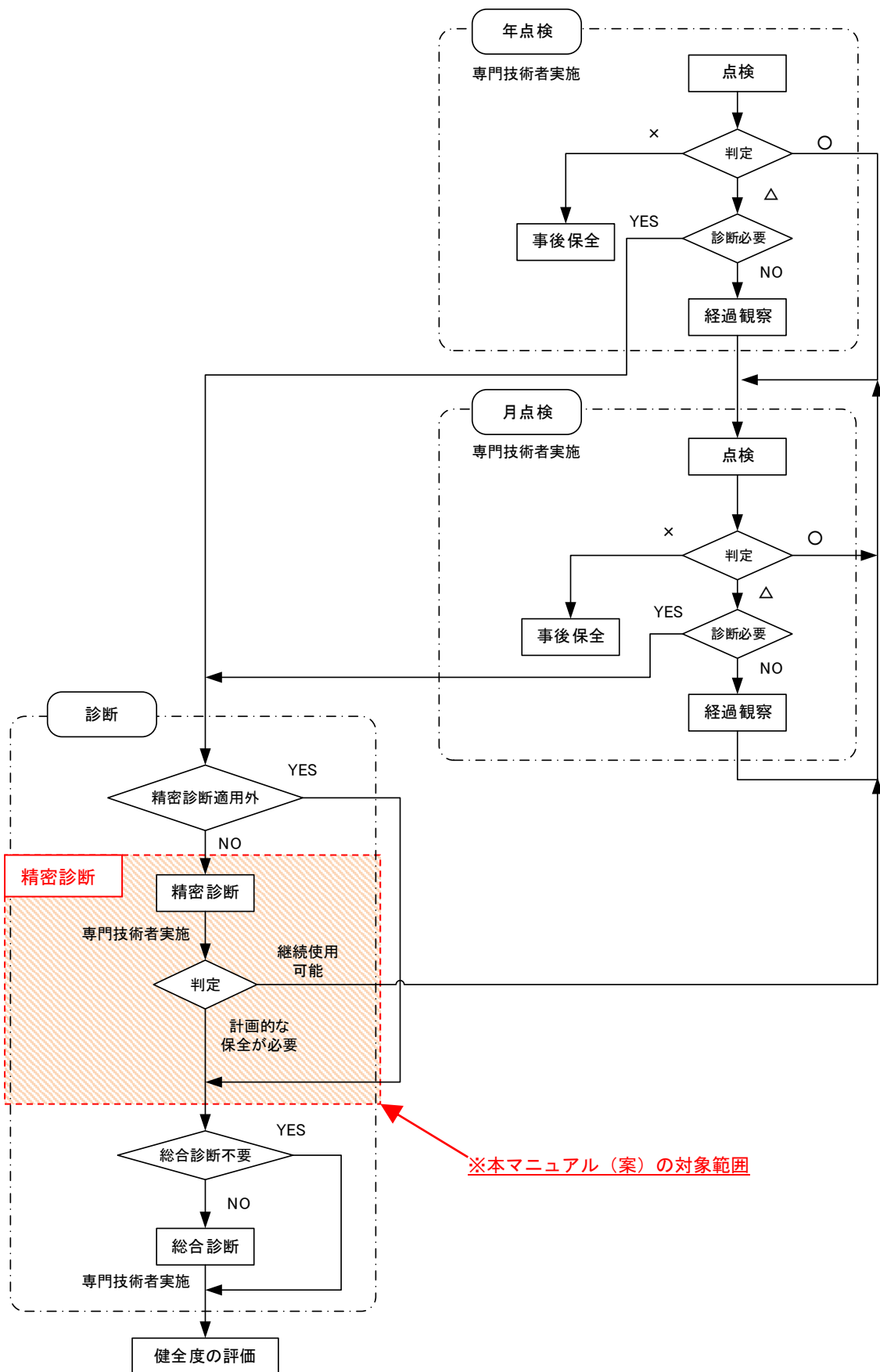


図 1.2-1 計測・診断フロー 出典[5]

表 1.2-1 河川用ゲート設備における標準的な取替・更新年数^{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	修繕の平均値 (年)	取替の平均値 (年)
ゲート扉体						
	扉体構造部	状態監視	29	60	30	42
	主ローラ ローラ	状態監視	21	47	28	37
	主ローラ ローラ軸	状態監視	23	52	27	37
	主ローラ 軸受メタル	状態監視	22	48	26	34
	補助ローラ	状態監視	24	49	32	40
	扉体シーブ	状態監視	25	50	31	38
	水密ゴム	事後保全	(14)	(33)	21	28
ワイヤーロープウインチ式開閉装置						
	主電動機	状態監視	19	39	24	30
	電磁ブレーキ	状態監視	26	53	8	35
	油圧押し式ブレーキ	状態監視	22	47	23	30
	切替装置	状態監視	23	50	26	34
	減速機	状態監視	18	43	21	27
	開放歯車	状態監視	22	57	20	39
	機械台シーブ	状態監視	27	54	24	41
	軸受	状態監視	26	51	28	33
	軸継手	状態監視	26	54	23	32
	ワイヤーロープ 常用	状態監視	14	34	—	32
	ワイヤーロープ 待機	状態監視	16	34	15	30
	ワイヤーロープ端末調整装置	状態監視	22	48	27	33
油圧式開閉装置						
	油圧シリンダ本体	状態監視	23	41	17	25
	油圧ユニット本体	状態監視	22	42	19	26
ラック式開閉装置本体			19	36	—	27
スピンドル式開閉装置本体			28	50	—	31
制御機器						
	制限開閉器	時間計画	21	41	19	33
	リミットスイッチ	時間計画	(20)	(41)	31	34
	開度計	事後保全	21	41	23	34
	機側操作盤 盤全体	時間計画	18	39	18	28
	機側操作盤 リレー類	事後保全	(18)	(38)	17	18
	機側操作盤 開閉器類	状態監視	(18)	(36)	15	17
	機側操作盤 スイッチ類	時間計画	(18)	(38)	15	28

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。

表 1.2-2 健全度の評価内容^{出典[6]}

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緊急に措置（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、総合診断により緊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総合診断により緊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・装置・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。

1.3. 本マニュアル（案）の位置付け

本マニュアル（案）は、振動診断、漏洩電流計測、板厚計測による技術的事項を示すが、装置の劣化の程度を把握するための各診断技術を使用した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。
- ・ 一方で、具体的な不具合と計測項目とが関係する組合せは数限りなく、全ての不具合と計測項目との組合せを取り扱うことは困難である。このため、本マニュアル（案）では、振動、漏洩電流、板厚に関する精密診断の技術的事項に着目した計測・診断マニュアル（案）とした。
- ・ 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。従って、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. 振動診断

2.1. 概要

2.1.1. 適用の範囲

振動による精密診断の適用範囲は、以下のとおりとする。

①対象機器：電動機、減速機

②評価：非回転部分における機械振動に基づく評価

【解説】

- ・ 振動診断は、計測した振動データに基づき、当該機器の故障の検出及び劣化状況の判定を行う。このため、適用の範囲は、振動を発生させる装置・機器であり、河川用ゲート設備では、電動機及び減速機等の回転機器に適用する。
- ・ 振動診断は、歯車や軸受の配置、仕様が明らかな場合、ラック式開閉装置にも適用できるものとする。ただし、計測及び評価判定については、機器仕様に基づき個別に検討するものとする。
- ・ 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、さまざまな文献に基づき、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。ゲート設備の点検においては、主に加速度計を用いて非回転部分（軸受支持部や電動機ケーシングなど）で振動を計測している。よって、精密診断における評価も同様に、非回転部分における振動計測に基づく評価を行うものとした。
- ・ ゲート設備の開閉装置に関して、渦電流式変位計やレーザ式変位計による回転軸振動そのものを計測評価するニーズは低いと考えられることから、当該技術については本マニュアル（案）の対象外としている。

2.1.2. 適用の条件

下記のいずれかの条件に該当する場合に精密診断を適用するものとする。

①点検の結果が△であり、専門技術者が精密診断の必要性を認めたとき

②傾向管理により点検時の振動計測値が「注意値」を超過し、通常の点検作業において異常箇所を特定できない場合

③信頼性による取替・更新の標準年数を超過した装置・機器であり、内部の劣化が懸念されるあるいは把握できない場合

【解説】

- ・ ①、③項は点検整備更新マニュアルの概念を述べたものであり、②項は傾向管理による具体的な適用の条件を示したものである。

-
- ・点検時の振動計測値や温度計測値による傾向管理において「注意値」を超過した場合に、その原因が測定法や条件に起因（測定器の変更、当該機器の整備や修繕後、計測箇所やタイミングの相違または誤り）しないことを確認したうえで、異常箇所を特定できない場合に振動による精密診断を実施する。
 - ・減速機や電動機を目視で確認できる大きな振動や異音（電動機においては正常時に発生していなかった「ビー」「ジー」というような電磁的異音）、通常と異なる回転状況、開閉速度の低下などについては、故障と判定し、早期の復旧に努めるものとする。ただし、聴診棒により異常音が確認された場合については、構成部品（軸受や歯車）が劣化している可能性があるため、精密診断の対象とする。
 - ・「信頼性による取替・更新の標準年数」は、表 1.2-1 に基づくものとするが、当該設備について過去の故障実績がその年数より短いサイクルで発生している場合（特に故障原因が経年劣化、摩耗あるいは腐食である場合）、その設備が置かれている現場条件や運転条件に起因している可能性があるため、そのときの供用実績年数（新設から故障発生まで、あるいは整備・更新から故障発生までの実績年数）も勘案して診断実施を判断する。
 - ・中長期計画の見直しなどにおいて、老朽化が懸念される「信頼性による取替・更新の標準年数」を超過した装置・機器について、内部の劣化状況が把握できない場合、精密診断によって指標を得ることも有効である。

2.1.3. 計測・診断フロー

振動計測器を用いた計測・診断フローを図 2.1-1 に示す。網掛け部分が本節における対象箇所である。

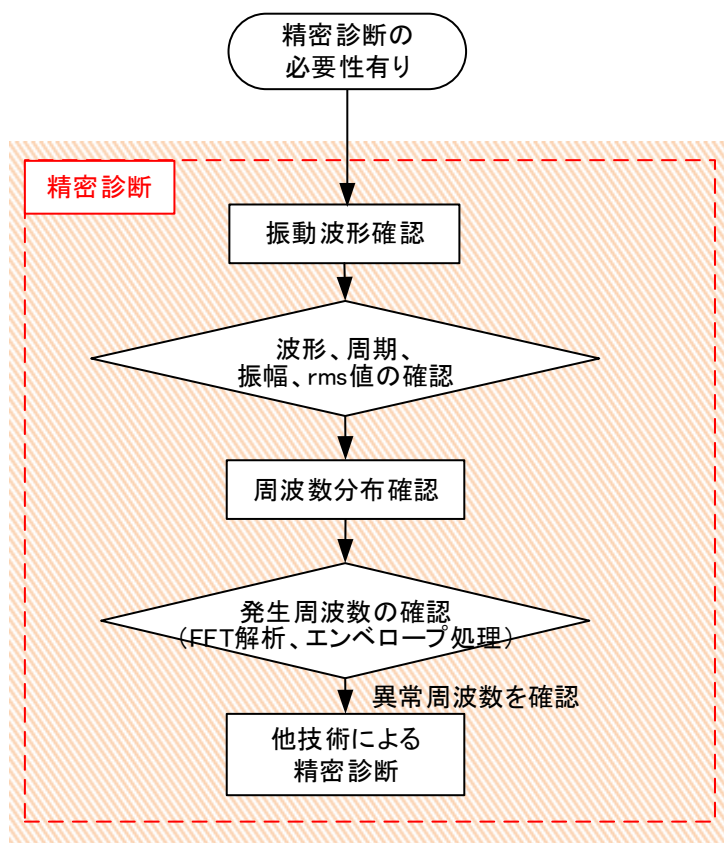


図 2.1-1 診断のフロー

2. 2. 計測

2. 2. 1. 計測器

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が、一般的に使用されるポータブル振動計は、その計測値（加速度・速度・変位）をそのまま数値として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。
- ・ 1 つのゲート設備の傾向管理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。
- ・ 計測機器は、点検・校正を行ったものを使用する。
- ・ 精密診断において、センサの取付はマグネット式を標準とする。ただし、狹隘部でマグネットセンサを取り付けることができない場合は、押しつけ力（約 19.6N 程度）及び計測方向を測定面からの鉛直方向に確保したうえでニードル式を使用することができるものとする。
- ・ 同時に複数箇所の振動を計測する場合は、ポータブル振動計ではなく、複数の専用センサ（圧電式加速度センサ）、アンプ、データログを組みあせたシステムを使用する必要があるが、ゲート設備におけるニーズは低い。
- ・ 加速度波形を収録する場合の周波数スパンは、減速機に使用される歯車の噛み合い周波数の 3 倍程度が適切である。また、軸受の診断における時間領域波形の確認とエンベロープ処理における解析を考慮して、周波数スパンは 2000Hz（サンプリング周波数は機種により異なるが 4000Hz～5120Hz）を標準とする。

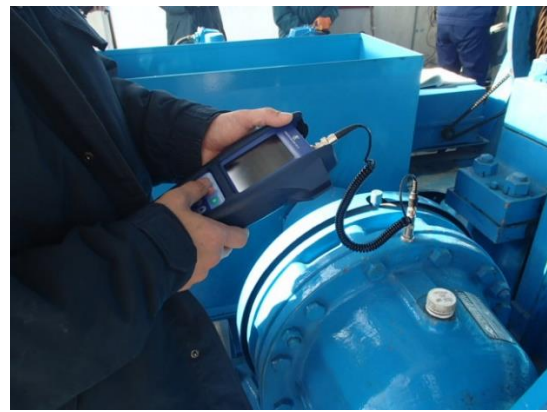


図 2.2-1 振動（加速度）計測状況（計測事例）

【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：圧電式振動加速度計

センサ取付方法：マグネット式

計測項目：加速度 (m/s^2 Peak 値)

速度 (mm/s rms 値)

変位 (μm P-P 値)

F F T (周波数領域波形)

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

2.2.2. 計測箇所

計測箇所は、以下を標準とする。

電動機：ブレーキ側・出力側の軸受保持部

減速機：入力・中間・出力軸の軸受部

必要に応じて切替措置・減速機架台も計測するものとする

【解説】

- ・ 計測場所はマーキング等を行い、毎回同じ箇所で行って計測を実施する。なお、図 2.2-3 に示すようにカバーなど剛性不足で振動増幅する箇所は避ける。
- ・ 計測位置及び計測方向（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。）電動機、切換装置、減速機の計測位置の事例を図 2.2-4～図 2.2-7 に示す。
- ・ 振動計測箇所について、モータ及び歯車・軸受の状態を評価するために実施するので、近い箇所の計測を優先するが、電動機構造等により標準的な計測箇所によりがたい場合は、出力軸の軸受に近く剛性が高い位置で計測する。
- ・ センサ取付箇所は、マグネットがしっかり密着する比較的平坦な箇所を選択する。

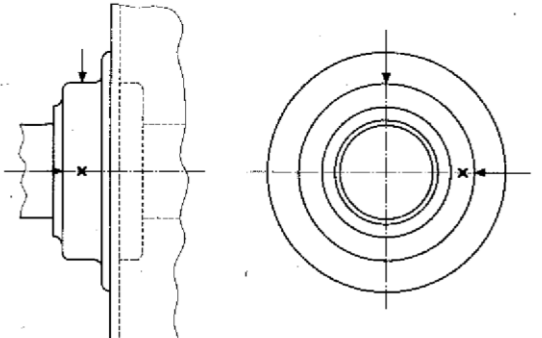
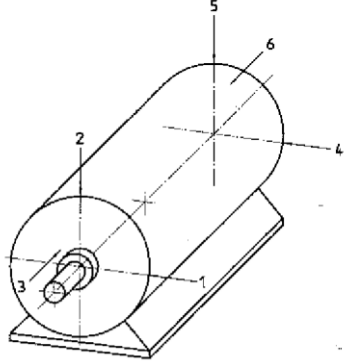
軸受箱の測定点	小型電気機械の測定点
 図2 軸受箱(ハウジング形軸受)の測定点	 図3 小型電気機械の測定点

図 2.2-2 一般的な機械振動の測定位置 出典[1]

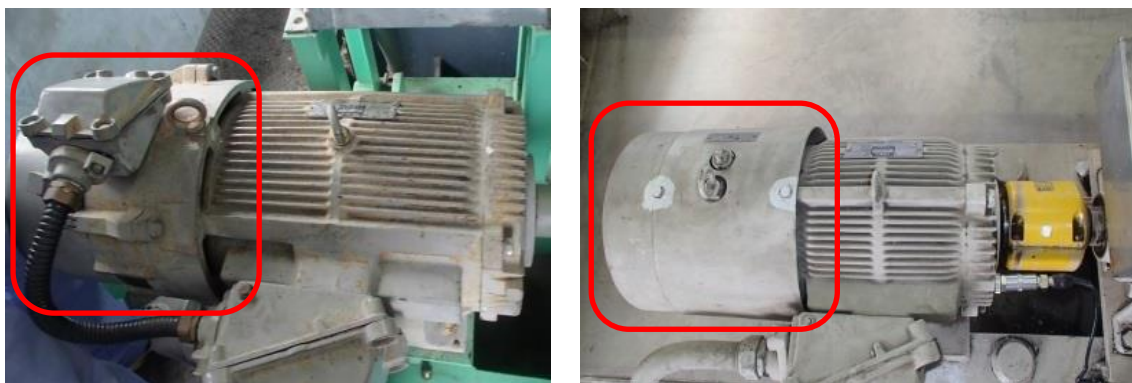


図 2.2-3 モータ振動計測の注意点
(左：計測可能（カバーが鋳物）、右：計測不可能（カバーが薄い）)

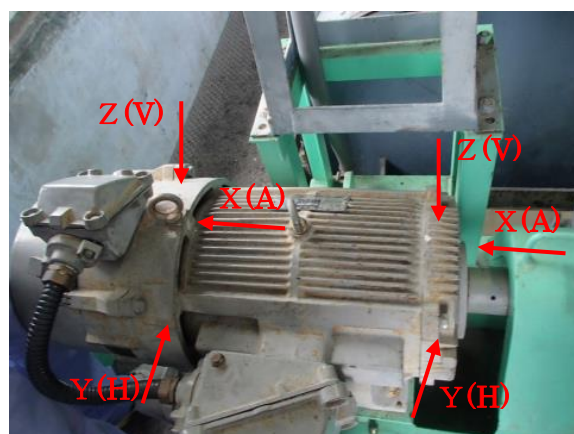


図 2.2-4 電動機の振動計測箇所の事例（ファン側、出力側）

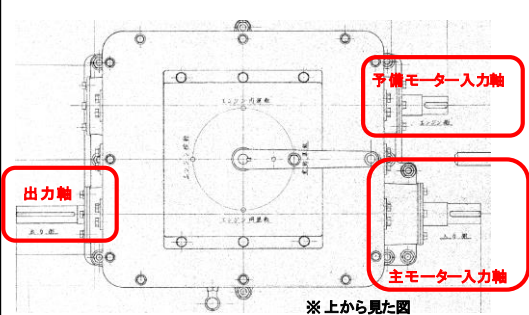
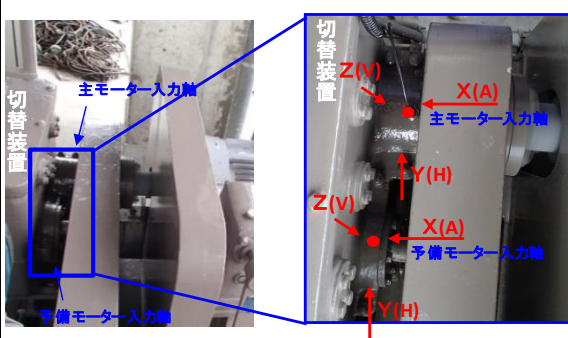
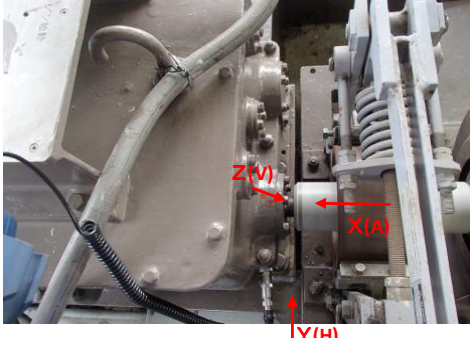
切替装置 振動計測場所  ※上から見た図	切替装置(主・予備モーター入力軸) 
切替装置(出力軸) 	センサーが取り付けられない場合の対応例 他の機器等と干渉  付近に剛性が高い場所がない場合は測定不要

図 2.2-5 切替装置の振動計測箇所

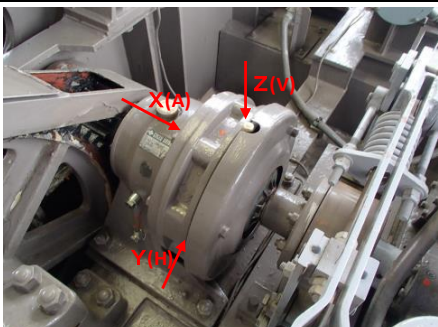
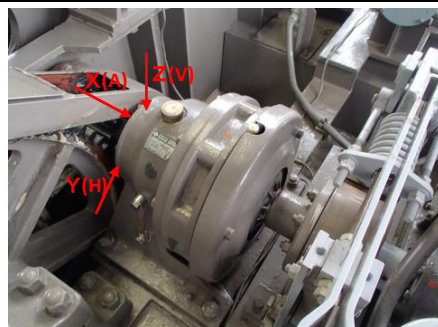
サイクロ減速機(入力) 	サイクロ減速機(出力) 
センサーが取り付けられない場合の対応例 他の機器等と干渉  軸に近く剛性が高い位置で測定する。	

図 2.2-6 サイクロ減速機の振動計測箇所

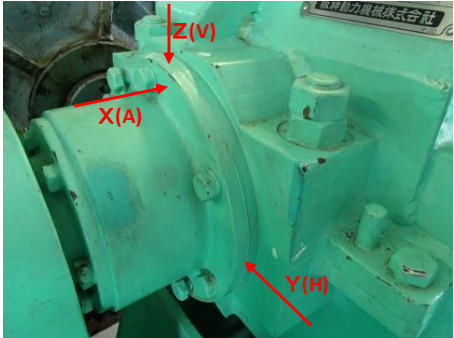
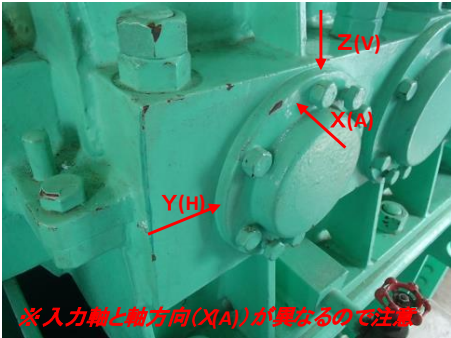
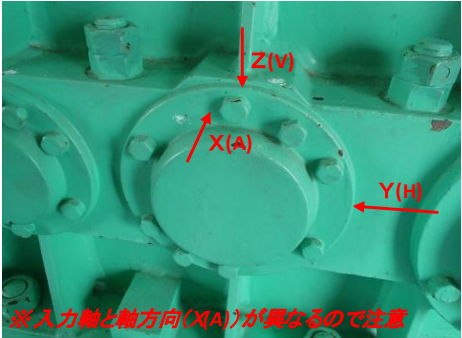
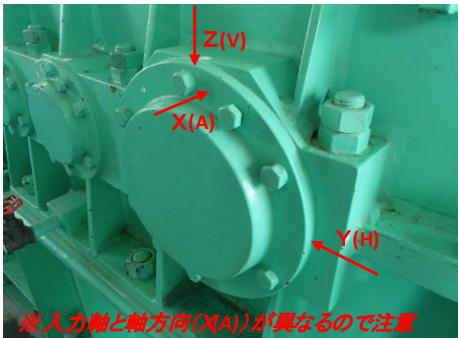
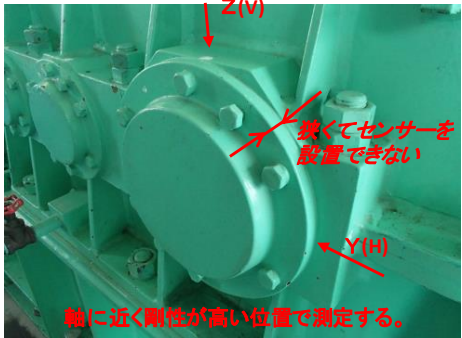
減速機	減速機(入力軸)
	
減速機(中間軸1)	減速機(中間軸2)
 ※入力軸と軸方向(X(A))が異なるので注意	 ※入力軸と軸方向(X(A))が異なるので注意
減速機(出力軸)	センサーが取り付けられない場合の対応例 取り付けスペースが狭い
 ※入力軸と軸方向(X(A))が異なるので注意	 狭くてセンサーを設置できない 軸に近く剛性が高い位置で測定する。

図 2.2-7 減速機の振動計測箇所

2.2.3. 計測タイミング

河川用ゲート設備の操作にあたり、以下のタイミングにて振動計測を実施する。

① 閉操作時

② 開操作時

扉体が全開状態から操作を開始する場合、①⇒②の順で計測を実施する。

扉体が全閉状態から操作を開始する場合、②⇒①の順で計測を実施する

【解説】

- ・ 対象ゲートの開閉操作の違いによって、電動機の振動波形が異なる可能性があるため、「開操作時」と「閉操作時」に分けて、計測を実施する。
- ・ 操作時における各計測タイミングについては明確な指標はない。ただし、運転開始5分後など計測したタイミングは明確に記録しておく必要がある。また、点検時に振動計測のタイミングが決めてあるケースにおいては、診断時に合わせて実施するなど傾向管理と診断時の計測値の因果関係を確認できる工夫は必要である。なお、常用系設備など計測タイミングを自由に設定できない場合は、計測した時の運転条件や（開閉装置の負荷に関係する）水位条件を記録すること。
- ・ 同じ機器について以降に精密診断を実施する場合は、毎回同じ条件で計測すること。ただし、変更して計測すべき技術的根拠がある場合はこの限りではない。

2.2.4. 計測の事前準備

計測対象設備の確認をできる資料の収集、計測条件等の確認を行う。

【解説】

- ・ 前 2.2.2 項にて示した事例のように、電動機、切換装置及び減速機等の計測位置（図 2.2-4～図 2.2-7）の確認、及び振動計測用センサの取り付け可否を確認する。センサの取付けが困難な箇所であっても、近傍に剛性が高く、比較的平坦な箇所がある場合は、その箇所を代替箇所として計測を行う。

2. 2. 5. 計測手順

精密診断をより正確に行うためには、運転条件、計測箇所、計測装置の型式等計測時の条件が計測毎に一定となるよう留意する必要がある。

【解説】

- ・ 傾向管理において異常傾向が認められた場合は、点検時と計測箇所及びその他の条件を合わせる必要がある。計測点にはペイントマーカやマーカシール等を利用してマーキングを付けておき、常に同一箇所で計測する。
- ・ 計測面はウエス等で清掃し、グリスやゴミ等を除去する。
- ・ ポータブル振動計（FFT アナライザ付）による計測は、操作開始後一定時間経過後運転状態が安定した状態で実施する。操作開始直後では、例えば軸受内部のグリスの流動性が充分でなく、振動波形に影響を与える場合がある。ゲート設備の規模によるが、運転後 5 分後以降の計測を 1 つの目安とする。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計測する。



図 2. 2-8 計測事例

2.3. 評価・判定方法

2.3.1. 精密診断の事前準備

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り、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、次に示す対象設備の主な仕様を把握するものとする。

- ・ 電動機仕様（形式、極数、定格回転速度、軸受型番）
- ・ 動力伝達系等に使用される転がり軸受の型番
- ・ 減速機歯車の歯数（全歯車）、型式
- ・ 使用潤滑油の油種
- ・ 主要部材の材質
- ・ 使用軸受の異常時発生周波数の計算：（図 2.3.1 参照）
- ・ 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)

これらの情報のうち、電動機の仕様、軸受の型番や歯車の歯数、材質など基本的事項は、開閉装置の一般図や組立図により確認するが、掲載されていない場合は、当該メーカーに確認を行うものとする。製作メーカーのノウハウに關与する事項もあり、転がり軸受においては型番が判っても細部の寸法まで開示されていないケースもある。図 2.3-1 に示す異常時の発生周波数については、軸受の型番と回転数がわかれば、メーカーの WEB ホームページにおいて計算が可能な場合がある。ただし、全ての型番が網羅されているわけではなく、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。このようなケースでは、軸受メーカーとの対話によって異常発生周波数を把握する以外に方法がない。

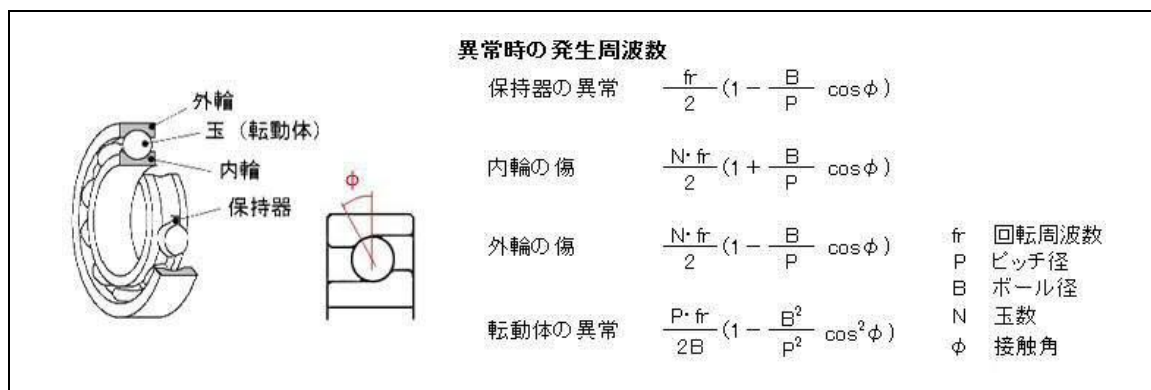


図 2.3-1 異常時の発生周波数

2.3.2. 振動波形による診断

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の時間領域波形の特徴と、周波数領域波形及び速度 rms 値を併用して総合的に診断する。

【解説】

(1) 振動波形の診断方法

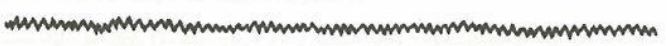
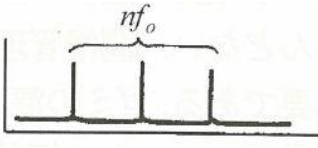
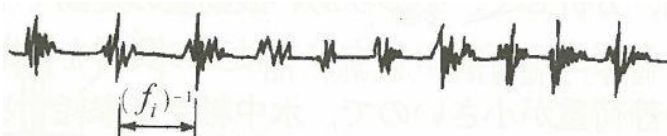
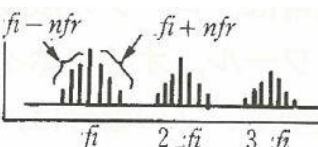
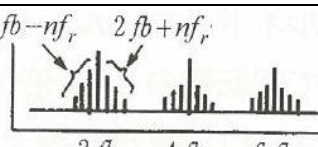
1) 軸受

軸受の振動解析では、表 2.3.1 に示すとおり時間領域の波形と周波数領域の波形を用いて異常項目を把握する。ゲート設備では、動力源となる電動機が概ね 1000～1200min⁻¹（約 16.7～20Hz）程度の低回転数であることから、軸受に異常が発生しても周波数領域の波形には現れにくい。従ってゲート設備における軸受の診断では、主に加速度の時間領域波形を用いる。

まず、加速度波形の全測定方向（H・V・A）について周期的に繰り返すピークの有無（周期）及び振幅を確認する。ピークの周期が明確である場合は、その周期を計測し、それぞれの異常発生周波数（周期はその逆数）と比較する。一般的に外輪に傷が発生した場合は、周期だけでなくピーク値もほぼ一定になる傾向があり、内輪傷ではピークに変動が見られる場合が多い。

転動体（玉あるいはコロ）に傷ができた場合は、傷の部分が内外輪に当たったり当たらなかったりするため、波形のピークが現れたり消えたりする。

表 2.3-1 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

このようなケースにおいては、ピークが現れている箇所の周期から周波数を計算し、異常発生周波数と比較する。

いずれのケースにおいても、時間領域波形のピークから得られた周波数が異常発生周波数と一致あるいは近い場合は、内部の異常がある可能性が著しく高い。

一例として、実験において外輪に傷を付けた軸受の時間領域波形を図 2.3.2 に示す。軸受メーカー提供の計算ソフトから求めた異常発生周波数は **55Hz** であるが、波形のピークから求めた周波数は約 **59Hz** である。この方法では、実回転数の計測誤差、波形の読み取り誤差などの要因で数 Hz のずれが発生する可能性もあることを示している。

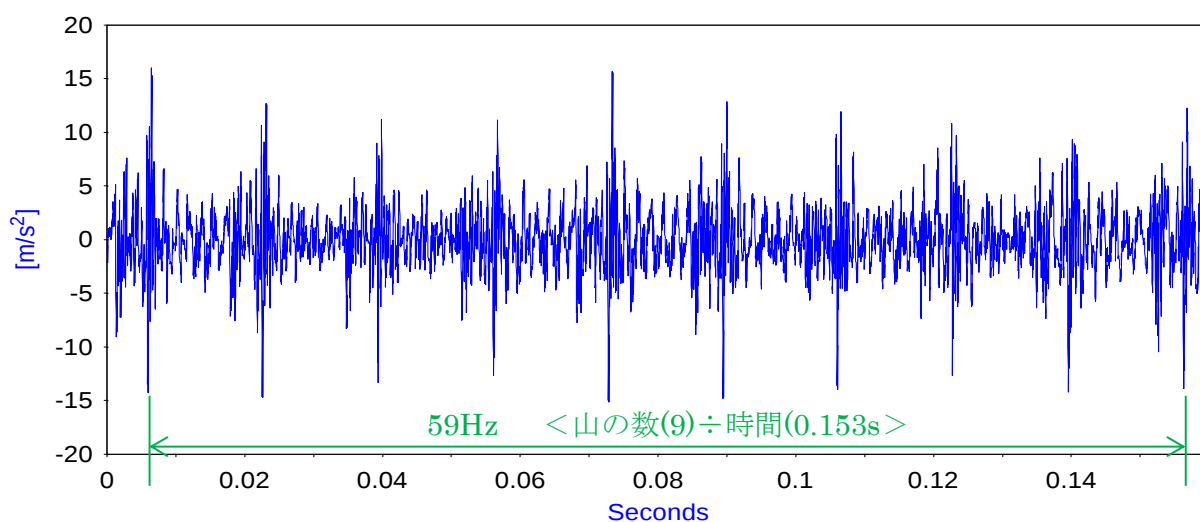


図 2.3-2 玉軸受外輪傷による時間領域波形の例（異常発生周波数 55Hz）

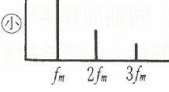
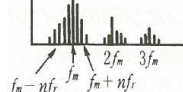
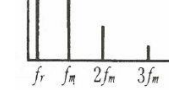
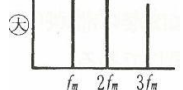
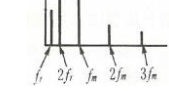
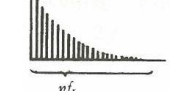
2) 歯車

歯車の診断のポイントは「噛み合い周波数」である。歯数 $Z1$ の歯車が回転数 $f1$ で回転しており、歯数 $Z2$ の歯車と噛み合ってその回転数が $f2$ であるとき、噛み合い周波数 f_m は次式で表すことができる。

$$f_m = Z1 \times f1 = Z2 \times f2$$

表 2.3-2 に歯車の異常と波形の特徴を示す。

表 2.3-2 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

低速回転の歯車においては、時間領域波形に現れる特徴を定性的につかみにくいので、周波数領域波形における噛み合い周波数の現れ方を主体に診断する。噛み合い周波数は、正常な状態でも発生するが振幅が小さく、周波数領域の波形においても f_m 成分は小さい。しかし、潤滑不良等によって歯面が摩耗してくると、時間領域波形の振幅が大きくなり、周波数領域においては f_m 及びその 2 倍、3 倍の高調波が高くなる。

歯車に偏心（回転軸が歯車中央からずれる）がある場合と偏角（2 つの歯車の回転軸が平行でない）状態では、周波数領域波形に軸回転数成分が見られるが、 f_m 付近の周波数軸を拡大してよく確認すると、 $f_m \pm f_r$ の側帯波が確認できる。

何らかの要因で歯車の 1 歯面が欠損した場合は、周波数領域で幅広く軸回転数の高調波が確認されるようになる。ピッチ誤差あるいは歯車の塑性変形については、ゲート設備ではあまり考えられないが、発生すると仮定すれば図のように f_m の高調波それぞれに回転数成分の複数の側帯波が発生する。

3) 電動機

電動機の振動解析は、主に周波数領域波形を用い、時間領域波形の特徴を併用して行う。ゲート設備において、電動機等動力部の故障割合は約 6% 程度であり、事例として多くはなく、振動解析によって評価した実例が少ない。従って、本項では発生しうる不具合事象と診断方法について文献等に基づく概論を示す。

(a) 回転子に静的偏心がある場合

回転子に静的な偏心がある場合は、ケーシングの振動に電源周波数の 2 倍（50Hz 地域では 100Hz、60Hz 地域では 120Hz）が現れる。時間領域波形において、周期的なうなりを生じることがある。

(b) 回転子に動的偏心が生じる場合

ケーシングの振動に回転周波数成分 f_r と電源周波数の 2 倍成分が現れる。また、周波数領域波形より、回転数成分、電源周波数の 2 倍成分双方が、 $2sf$ (s : 誘導電動機のすべり率、 f : 電源周波数) で振幅変調されるため、周波数領域波形では $\pm 2sf$ の側帯

波が確認でき、時間領域波形ではうなりを生じる。

(c) 固定子巻き線の不具合

固定子巻き線に不具合が発生し、電磁的不平衡が発生すると、周波数領域波形において電源周波数の 2 倍成分が顕著に現れる。図 2.3.3 に実験により得た周波数領域波形の例を示す。

(d) 回転子の異常

回転子のローターバーの折損や回転子短絡環の折損などが発生すると、回転子の誘導電流が不平衡となり、回転数成分 fr が発生する。この fr は、 $2sf$ で振幅変調を受けるので動偏心と似ているが、この場合は電流値の変動、回転子が過熱されることに伴う出力軸の温度上昇などの傾向も現れる。

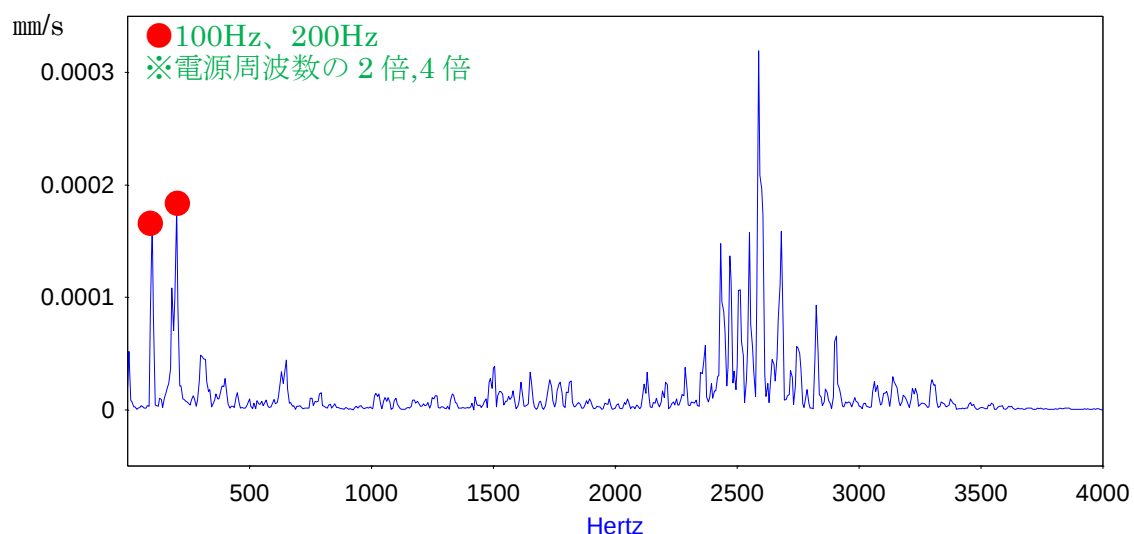


図 2.3-3 固定子巻き線不平衡の周波数領域波形(速度 rms 値)

(2) 振動値の相対評価手法

河川標準要領によれば、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、河川標準要領を参照し、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[2]}

予防保全値 : 初期値の 6.3 倍 (=C 上限 / A 上限) 以上^{出典[2]}

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行っているが、2017 年に ISO 10816-1 は廃止され、代わって ISO 20816-1 が制定された(図 2.3.4 参照)。

この ISO20816-1 においても、A/B 境界線と B/C 境界線、C/D 境界線の最低ライン（各境界地の最小値）における相対比率は概ね 2.5 倍、6.3 倍である。よって、精密診断における傾向管理（速度 rms 値）もこれを準用している。

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				1.8
2.8		B/C境界 1.8~9.3		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 2.3-4 ISO20816-1 非回転部分における機械振動の測定と評価

(3) 振動診断の補助的手法

(a) 速度 rms 値による絶対値表

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。一般的に速度領域において使用され、大きいほど振動エネルギーが大きい。時刻 t における速度を $v(t)$ とすると速度 rms 値 V_{rms} は次式で求めることができる。

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt}$$

全ての測定方向の加速度波形を積分し速度 rms 値を求め、その大きさを評価する。

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 2.3.4 に示す ISO 10816-1（図 2.3.5 参照）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、クラス I に該当するゲート設備においてはクラス I の数値を併用する。

ゲート設備においては、多くの開閉装置がクラスⅠにあると考えられるが、大型ゲートやダム用ゲートにおいてこれを超えるクラスの場合は精密診断による傾向管理を重視する。

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	A
1.80	C	C	C	B
2.8		D	D	D
4.5				
7.1				
11.2				
18				
28	D	D	D	D
45				

図 2.3-5 機械振動の評価基準^{出典[3]}

【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低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)

(b) エンベロープ処理

時間領域波形で周期的に繰り返す特徴的な波形であるが、図 2.3.3 に示すように明確にピークを押さえることができない場合、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、時間領域波形に対して「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。

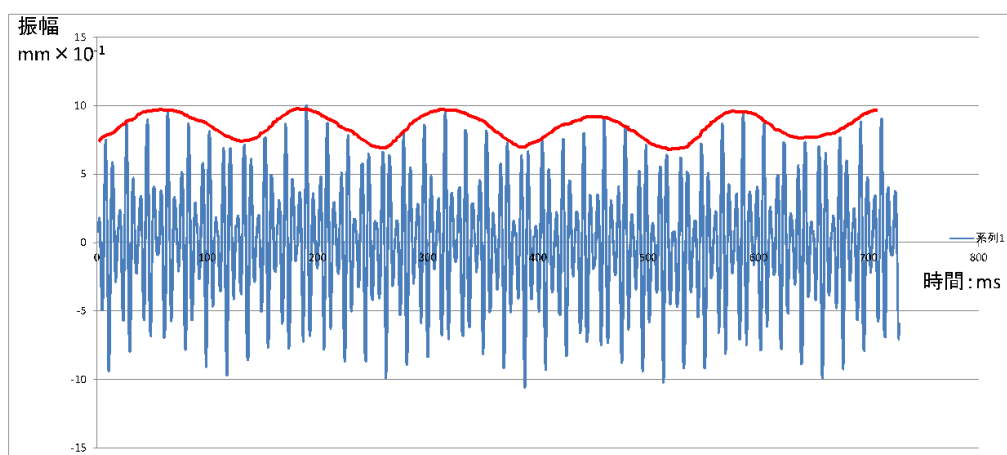


図 2.3-6 エンベロープ処理（赤線で包絡線を示す）

(4) 振動診断の評価指標

本マニュアルにおける振動の評価手法は表 2.3-3 及び表 2.3-4 のとおりとする。なお、「速度 rms 値による傾向管理」とは、点検時の計測結果に基づく傾向管理結果であり、診断の実施判断にもなっている指標である。また、「速度 rms 値」とは精密診断時に計測された速度 rms 値 (mm/s) である。

(a) 軸受の評価

表 2.3-3 軸受の診断評価

評価	速度 rms 値による傾向管理	速度 rms 値 (mm/s)	時間領域波形における特徴	周波数領域波形又はエンベロープの特徴	異音の有無・温度※6
×	予防保全値以上	(7.1 以上)※1	(異常発生周波数に一致するピークがある)	(異常発生周波数が確認できる)	はっきりとした異音又は軸受部温度が高い
△1	予防保全値以上	(4.5 以上)	異常発生周波数に一致するピークがある	(異常発生周波数が確認できる)	(異音又は軸受部温度が高い)
△1	予防保全値以上	4.5 以上※2	異常発生周波数に一致するピークがない	—	(異音又は軸受部温度が高い) 他の構成部品の健全度を疑う
△2	予防保全値以上	1.8 以上 4.5 未満※3	異常発生周波数に一致するピークがない	—	(異音又は軸受部温度が高い) 他の構成部品の健全度を疑う
△2	注意値以上	(1.8 以上)	異常発生周波数に一致するピークがある	(異常発生周波数が確認できる)	温度異常なし 異音なし
△3	注意値以上	0.71 未満※4	異常発生周波数に一致するピークがある	(異常発生周波数が確認できる)	温度異常なし 異音なし
△3	注意値以上	1.8 未満※4	異常発生周波数に一致するピークがない	—	温度異常なし 異音なし
△3	注意値未満	(1.8 未満)※5	異常発生周波数に一致するピークがある	(異常発生周波数が確認できる)	温度異常なし 異音なし
○	注意値未満	(1.8 未満)	異常発生周波数に一致するピークがない	—	温度異常なし 異音なし

【凡例】

※1：はっきりとした異音あるいは高い温度が確認されれば故障とみなす。また、速度 rms 値として示す 7.1mm/s は、従来の ISO10186-1 においては、図 2.3-5 に示すとおり 15kW を超え 75kW クラス異常値に匹敵するものであり、一般的なゲート設備においてこのレベルを超えれば故障とみなす。

※2：点検時の傾向管理の結果予防保全値を超え、かつ実際の測路 rms 値も 4.5mm/s を超えている場合、精密診断の結果軸受を特定する傾向が把握できなくても予防保全を計画する。また、他の構成部品の異常の有無についても調査する。

※3：点検時の傾向管理の結果予防保全値を超え、かつ実際の速度 rms 値が図 2.3-5 における C の範囲にある場合、長期の連続使用は難しいと評価し、△2 とする。

※4：点検時の傾向管理の結果が「注意値以上」であっても速度の実測値が 0.71mm/s 未満の場合、あるいは軸受の異常を特定する傾向を把握できない場合でも実測値が 1.8mm/s 未満の場合は、異音や温度等の明確な異常がない限り経過観察とする。

※5：信頼性による標準年数により精密診断を実施した場合で、傾向管理上は注意値を下回っていても、軸受の劣化を示す兆候が確認できた場合は、経過観察とする。

※6：温度異常は、第 5 章の温度分布計測（赤外線サーモグラフィ）を参照のこと。

(b) 歯車及び電動機の評価

表 2.3-4 歯車及び電動機の診断評価

評価	速度 rms 値による傾向管理	速度 rms 値 (mm/s)	時間領域波形における特徴	周波数領域波形又はのエンベロープの特徴	異音の有無・温度※6
×	予防保全値以上	(7.1 以上)※1	(異常を示す波形が確認できる)	(異常発生周波数が確認できる)	はっきりとした異音又はケーシング温度が高い
△1	予防保全値以上	(4.5 以上)	(異常を示す波形が確認できる)	異常発生周波数が確認できる	(異音又はケーシング温度が高い)
△1	予防保全値以上	4.5 以上※2	—	異常発生周波数が確認できない	(異音又はケーシング温度が高い)
△2	予防保全値以上	1.8 以上 4.5 未満※3	—	異常発生周波数が確認できない	(異音又はケーシング温度が高い)
△2	注意値以上	(1.8 以上)	(異常を示す波形が確認できる)	異常発生周波数が確認できる	温度異常なし 異音なし
△3	注意値以上	0.71 未満※4	(異常を示す波形が確認できる)	異常発生周波数が確認できる	温度異常なし 異音なし
△3	注意値以上	1.8 未満※4	—	(異常発生周波数が確認できない)	温度異常なし 異音なし
△3	注意値未満	(1.8 未満)※5	(異常を示す波形が確認できる)	異常発生周波数が確認できる	温度異常なし 異音なし
○	注意値未満	(1.8 未満)	—	(異常発生周波数が確認できない)	温度異常なし 異音なし

【凡例】

※1～※6 の判断については、軸受に準ずる。ただし、減速機がサイクロ減速機（商品名）である場合は、本表は適用せず、専門技術者がメーカーと協議し、別途判断指標を設けるものとする。

2.4. 報告書

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 2.4-1 内の項目が明記してあることが望ましい。

表 2.4-1 報告書に記載すべき項目

項目	内容
計測概要	点検日、施設名、計測者名
計測対象	ゲート設備名、号機、診断に必要な設備仕様
計測方法	使用機器、計測箇所、計測条件（特記事項）
計測結果（温度上昇）	時間領域波形・周波数領域波形（FFT）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。

- ・ 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。

2.5. 技術的課題

(1) 精密診断の適用

- ・ 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、経過観察と評価したケースにおいては以後の診断実施計画を適切に立て、当面診断評価に関しても傾向管理を行うものとする。
- ・ 開閉装置の動力部（電動機）及び動力伝達部（減速機・切替装置）の不具合は、状態が進行すると温度によって検出されることが多い。軸受損傷、ミスアライメント、軸曲がり等の評価は、振動だけでなく、点検時に得られる温度その他の計測データを組合せて評価することが重要である。

(2) 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。機器毎にセンサの共振点、増幅回路、周波数フィルタの設計、振動量変換回路等が異なり計測値に影響することが予想される。よって、あるゲート設備について継続して診断し、相対評価を行う場合は、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。

(3) データの蓄積と評価精度の向上

- ・ 今まで振動計測は触診だったため、ゲート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り、精密診断結果との比較によって、評価指標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（ゲート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。

(4) 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. 漏洩電流計測

3.1. 概要

3.1.1. 適用の範囲

漏洩電流計測は、機側操作盤の二次側の動力回路・機器を含む電路を対象とする。

【解説】

- ・ 河川用ゲート設備における適用の範囲は、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。

3.1.2. 適用の条件

漏洩電流計測は、以下のいずれかの条件が生じた場合に適用する。

- ①対象電路に含む装置の絶縁抵抗値が、季節による変動が見られた場合
- ②機器装置が、信頼性による取替・更新の標準年数を超過した場合
- ③対象電路の近傍で土木もしくは配管・配線等の工事が実施された場合
- ④漏電遮断器がトリップした場合

【解説】

- ・ 河川標準要領^{出典[1]}において、管理者あるいは点検に係る専門技術者は、点検において装置・機器に異常の傾向が認められた場合（△判定）、あるいはマニュアルの信頼性による取替・更新の標準年数を超えた場合は、精密診断の必要性を判断する必要があるとされている。
- ・ 但し、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。
- ・ 季節毎の環境要因の変化を捉え、より詳細に機器の劣化状況を把握するため、漏洩電流計測は年に数回実施することを推奨する。

3.1.3. 技術の位置付け

漏洩電流計測は、精密診断技術として、電路における不具合発生を検出する。

【解説】

従来の電気設備・機器点検においては絶縁抵抗の計測が一般的とされてきたが、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）において、絶縁抵抗の計測が困難である場合には、絶縁抵抗値の代わりに漏洩電流の計測を行うことが認められた。

漏洩電流は大別して I_o （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）に述べる漏洩電流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。

漏洩電流計測は、不具合箇所の特定手法として精密診断技術と位置づける。

3.1.4. 計測・診断フロー

漏洩電流計測器を用いた漏洩電流計測・診断フローを図 3.1-1 に示す。網掛け部分が本節における検討箇所である。

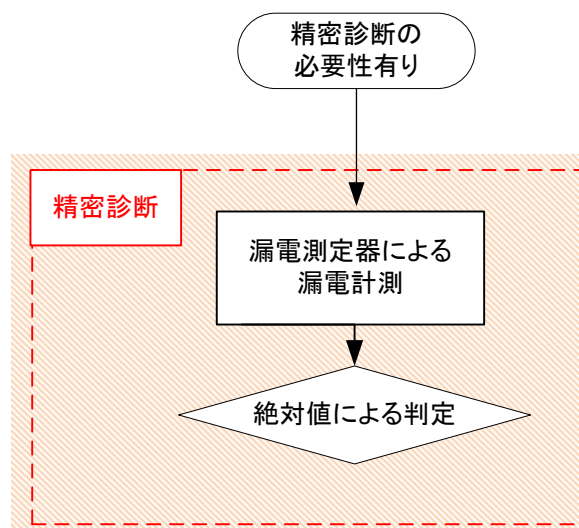


図 3.1-1 漏洩電流計測器計測・診断フロー

注 1) 絶対値による判定のフローは図 3.3-2 に示す。

3.2. 計測

3.2.1. 計測器性能要件

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】

漏洩電流計測機は次に示す性能要件を満たす必要がある。

- (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 3.2-1 を参照）。

- (2) 基準電圧の取得が確実にできること

機器の設置不良により基準電圧の取得が正しく行えない場合、計測結果への影響が懸念される。したがって、基準電圧の取得位置（動力主幹電源部の端子等）には確実に機器を設置する必要があり、なおかつ現場の状況（端子部）を見て適宜、最適な設置方法を選択できることが望ましい。

- (3) 任意の箇所での計測が可能であること

漏洩電流計測では、漏洩電流値の計測のみならず、不具合箇所の特定が必要なことから、計測対象となる電源ケーブル等の任意の箇所で計測できることが望ましい。

- (4) 分解能が最低 0.1mA 以下であること

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 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 3.3 評価・判定方法にて後述する）。

[参考]

計測対象となる装置によっては次の性能要件をもつ漏洩電流計測器の採用が望ましい。

- (1) ノイズによる影響を受けない、または影響が軽微であること。

漏洩電流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、ノイズ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) 対象装置の結線状態によって、計測値の補正機能を有すること。

計測対象の装置においてスター結線のように R,S,T 相の対地電圧が異なる場合には計測器の仕様では計測値の誤差が生じるため、結線の状態に合わせた補正機能をもつ漏洩電流計測器を採用することが望ましい。

表 3.2-1 各計測項目における考え方

漏洩電流 I_{gr} 値	機器の故障・劣化状況を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「3.3 評価・判定方法」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。
計測時の温度、湿度、時刻	漏洩電流計測器の計測用クランプは電流路の周囲に誘起される磁界を検出することによって、電流を計測する仕組みとなっており、温度や湿度といった環境条件によって計測結果に影響を受ける恐れがある。 したがって、通年での温度及び湿度による影響を把握するため、診断時において湿度、温度の計測を実施する。

3. 2. 2. 計測箇所

- (1) 漏洩電流計測は、機側操作盤内における動力電源主管より下流側にて行う。
- (2) 計測の結果、漏洩電流値が基準値を超過した際は、不具合箇所を特定するため、当該電路における任意の箇所で漏洩電流計測を実施する。

【解説】

- (1) 漏洩電流計測は、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。
このため、不具合箇所の特定を目的に次の箇所について計測を実施する。
なお、計測箇所のイメージを図 3.2-1 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、機器を絞り込む必要がある。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。

- (2) 各項目間の差分についても評価を実施し、差分が基準値を超過する場合には各項目間に含まれる機器について漏洩電流計測を実施する。

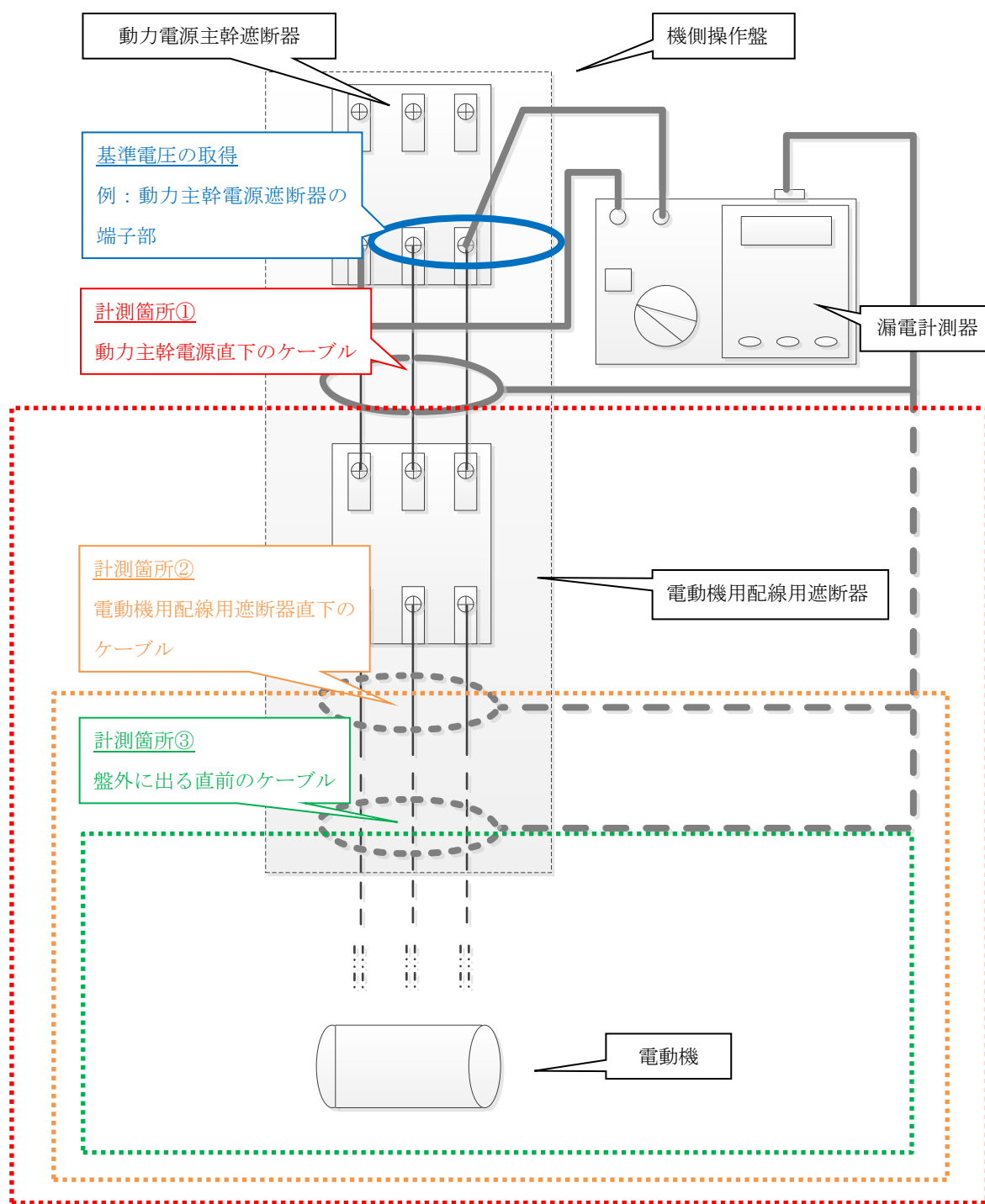


図 3.2-1 計測箇所（イメージ）

凡例



計測箇所①により測定できる範囲

計測箇所②により測定できる範囲

計測箇所③により測定できる範囲

[参考]

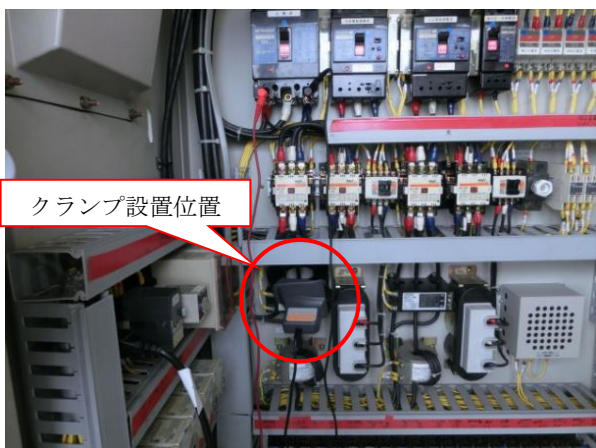
以下に各計測箇所における計測状況（例）を示す。



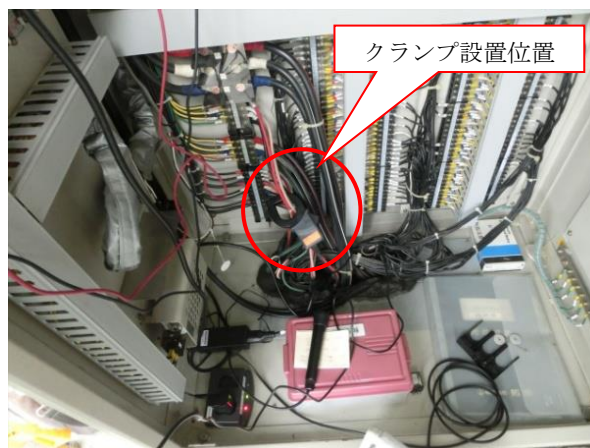
機側操作盤 外観



計測箇所① 動力主幹電源直下のケーブル
計測状況



計測箇所② 電動機用配線用遮断器下部の
ケーブル 計測状況



計測箇所③ 盤外に出る直前のケーブル計
測状況

3. 2. 3. 計測タイミング

河川用ゲート設備の操作にあたり、次のタイミングにて漏洩電流計測を実施する。

- ① 停止状態（操作前）
- ② 閉操作時
- ③ 開操作時

※扉体が全開状態から操作を開始する場合、①⇒②⇒③の順で計測を実施する。

扉体が全閉状態から操作を開始する場合、①⇒③⇒②の順で計測を実施する

【解説】

対象ゲートの開閉操作の違いによって、機能する電動機への電氣的負荷が異なる可能性があるため、「開操作時」と「閉操作時」に分けて、計測を実施する。また、機器が通電していた状態であれば、開閉の操作に関わらず、漏洩電流が発生している恐れがあるため、「停止状態」においても計測を実施する。

3.2.4. 計測の事前準備

対象設備に関する資料の収集、計測条件等を事前に準備する。

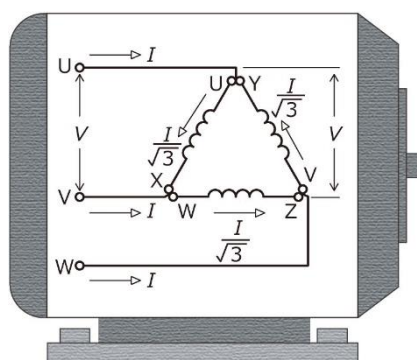
【解説】

(1) 環境条件の記録

設備固有の特性を把握するため各計測時における温度・湿度・計測時の時刻を記録する。

(2) 結線図の入手

機側操作盤及び電動機について結線の種類を確認する。



デルタ結線

- 注 1) 電動機の各相（3 組）の固定子巻線 U-X、V-Y、W-Z の一方の端子 X、Y、Z を 1ヶ所に集めて接続し、他方の端子 U、V、W から、それぞれ口出線を出して、外部に引き出す結線をスター（Y）結線という。
- 注 2) 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。

(3) R,S,T 各層の対地電圧の確認

各層間の電圧が不明な場合は、漏洩電流計測前にボルトテスタを使用して、対地電圧を計測すること。各層間の電圧が異なる場合には前節 3.2.1[参考](2)に従い、補正機能をもつ漏洩電流計測器にて計測を実施することが望ましい。

3. 2. 5. 計測手順

漏洩電流計測は以下の①～④に示す順に行うことを標準とする。

- ① 基準電圧の取得
- ② 漏洩電流計測器本体の計測設定
- ③ 計測用クランプの設置
- ④ 計測開始

【解説】

操作の具体的な内容を次に示す。

- ① 基準電圧の取得

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（動力主幹電源遮断器の端子部など）。

- ② 漏洩電流計測器本体の計測設定

被計測電路に適したモードに機器の設定を合わせる。

- ③ 計測用クランプの設置

計測用クランプで計測箇所を挟み込む。この時、アース線を挟まないよう留意する。

- ④ 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 I_{gr} を計測する。この時、電流の流れ方向とクランプの向きに注意する。

[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

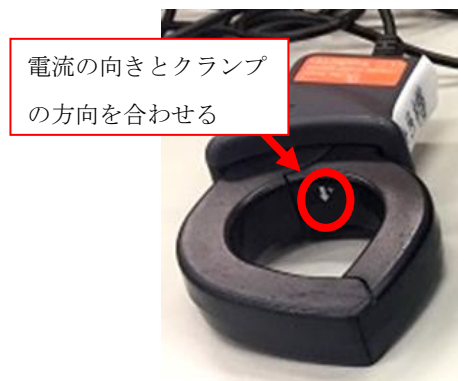
基準電圧取得用ケーブルの接続位置により正しい計測結果が得られない恐れがあるため、適宜設置位置を確認し、計測中は一定の位置となるよう確認する。

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

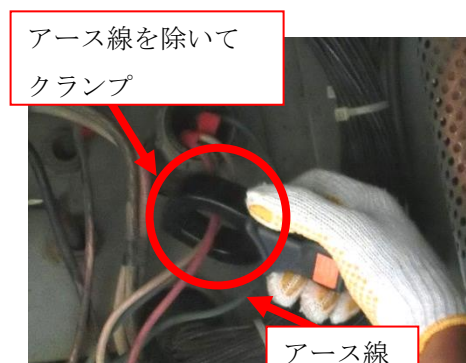
クランプする方向に誤りがあると、正しい計測結果が得られない恐れがあり、電流の流れる方向に対し、クランプの向きを合わせる。



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）



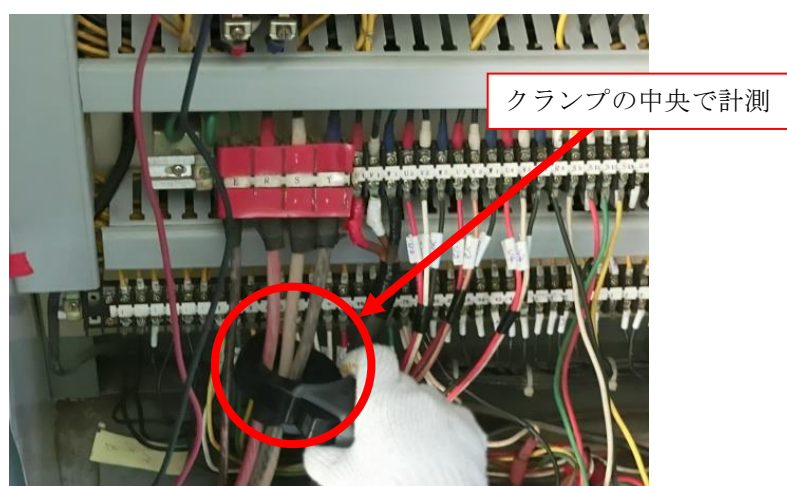
クランプ設置方法（誤）

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

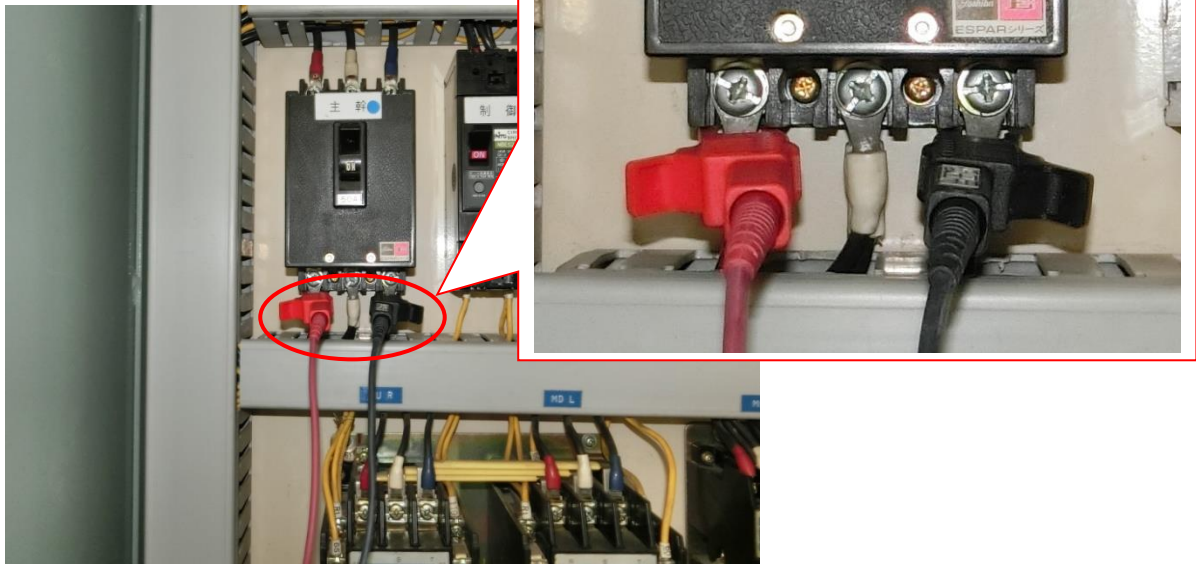
可能な限りクランプの中央で計測することとし、計測の際は、クランプを掴み、設置状態を保持することが望ましい。なお、同一ケーブルでもクランプする位置により若干の計測誤差が生じることから、クランプ位置は同一であることが望ましい。また、クランプする位置はテープ等の目印を設け、定期的な計測を行うことを推奨する。



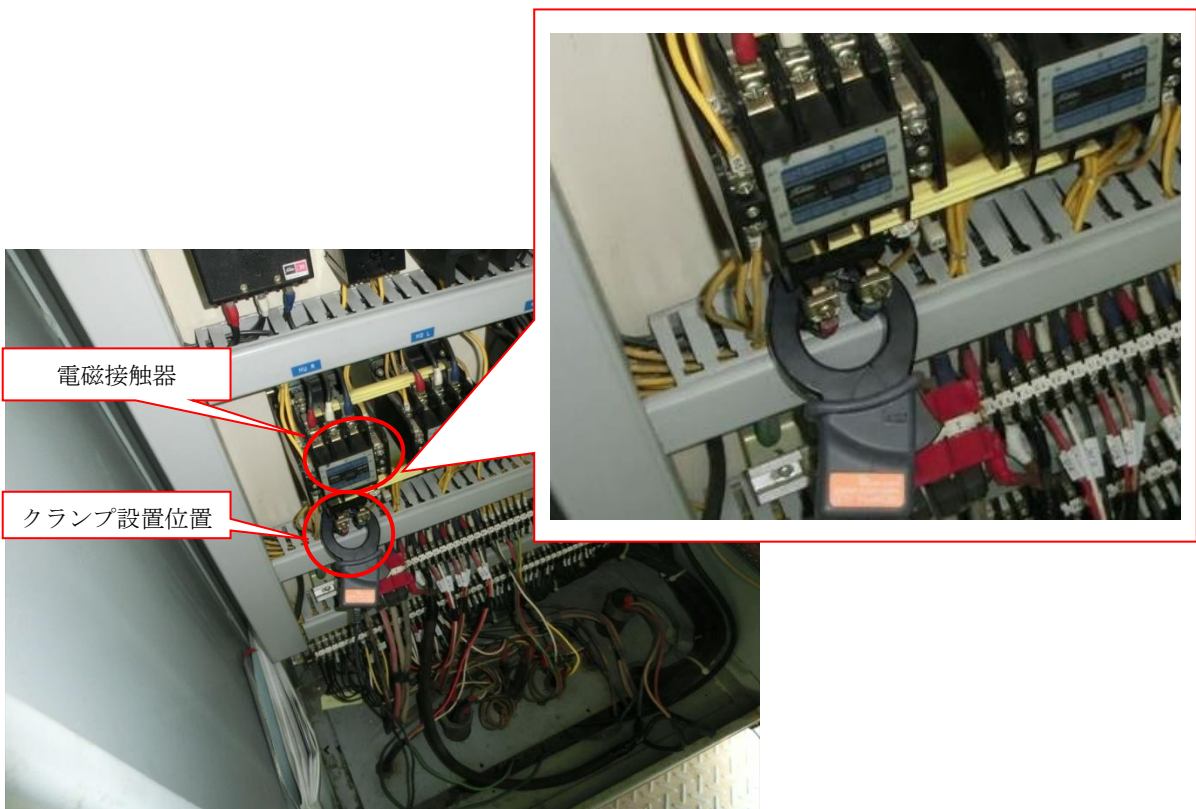
クランプ設置方法（正）

表 3.2-2 計測時に留意すべき項目

停止状態（開閉操作直後）における計測	・ 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



③ 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

3.3. 評価・判定方法

3.3.1. 絶対値による評価

漏洩電流の基準値は電気設備の技術基準の解釈及びメーカー実績値に従い、計測値に応じて判断する。

【解説】

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 3.3-1 参照）されているが、自家用電気工作物保安管理規定（平成 25 年 8 月 社団法人日本電気協会発行）に規定されている絶縁抵抗の基準値を参照した逆数で設定している^(注1)。

さらに、漏洩電流計測が通電状態（活線状態）で行われるのに対し、絶縁抵抗計測は非通電状態で行われているが、計測条件における差異は特に考慮されていない。

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2)の双方における共通の基準値である。

注 1) 電源電圧が 150V 以下の設備の場合、絶縁抵抗値は 0.1MΩ 以上となるよう規定とされており、電源電圧 100V の設備を想定したとき、オームの法則により、 $100(V) \div 0.1M(\Omega) = 0.001(A) = 1mA$ と算出

注 2) 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。

【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。

2 電気使用場所以外の場所における使用電圧が低圧の電路（電線路の電線、第13条各号に掲げる部分及び第16条に規定する電路を除く。）の絶縁性能は、前項の規定に準じること。

図 3.3-1 漏洩電流の基準値における考え方^{出典[2]}

上記の通り、漏洩電流の基準値には 1mA 以下という値が設定されているが、過去の故障実績や技術的な知見等から判断された値ではないという点に留意しなくてはならない。

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1）。

注1) 漏洩電流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 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。

ただし、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 3.3-1 に整理する。

表 3.3-1 評価基準の考え方

漏洩電流(I _{gr})の計測値	判断内容	評価
10mA ^(注1) < I _{gr} (I _{or})	機器の故障、著しい劣化が予想される。	△1
1mA < I _{gr} (I _{or}) ≤ 10mA ^(注1)	機器の劣化が予想される。	△2
I _{gr} (I _{or}) ≤ 1mA ^(注2)	健全な状態と判断される。	○

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) 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) 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、△3 を設けない。

3.3.2. 診断時の評価フロー

評価基準値との比較により、経過観察もしくは装置の劣化状況確認等の実施を決定する。

【解説】

漏洩電流計測は、単純に計測結果そのものから評価を行うのではなく、3.2.5[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。留意事項に従った、診断時における評価・判定フローを図 3.3-2 に示す。なお、特別な異常が見られない限りは、基本的には経過観察対応とする。ただし、電路については故障を傾向管理することが難しいため、定期点検の際に継続的に精密診断を実施することが望ましい。

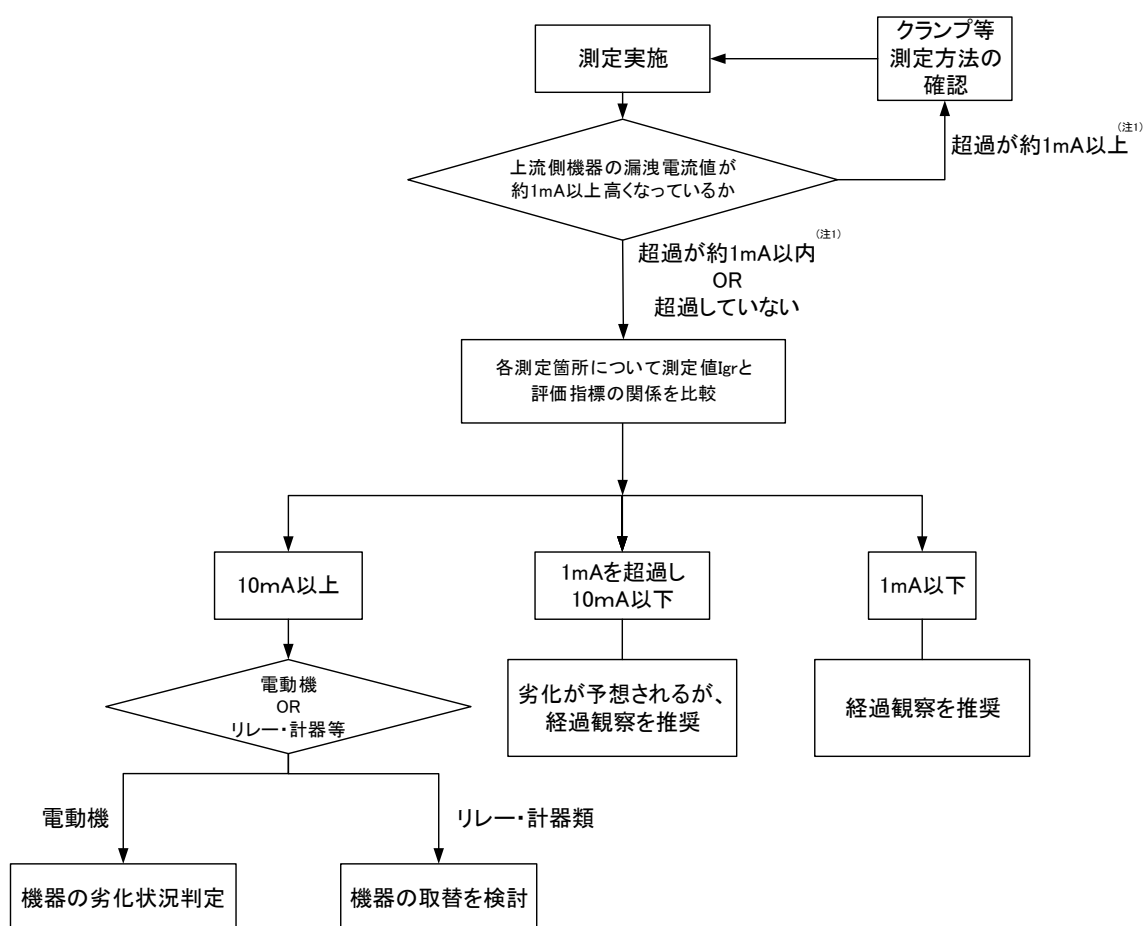


図 3.3-2 診断時における評価フロー

注 1) 漏洩電流値の超過が見られるの原因としてアース線を含んでクランプしていることや各相のクランプしている本数が異なることがあるため、計測方法の確認を行うことを推奨する。

3.4. 報告書

報告書は、計測対象、計測日、計測者、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 3.4-1 内の項目が明記してあることが望ましい。

表 3.4-1 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、温度、湿度、計測時刻（各タイミング）、計測者名
計測対象	施設名、計測対象となる機側操作盤 盤内機器の仕様（基準電圧、結線方法、主な構成機器）及び電動機の仕様（出力、結線方法）
計測箇所	基準電圧の取得位置、漏洩電流計測の位置
計測結果	各計測対象機器の I_{gr} 値、 I_o 値
診断結果	基準値と比較した際の評価・判定結果

3.5. 技術的課題

(1) 漏洩電流計測器の計測方式

抵抗成分の漏洩電流である **Igr** (**Ior**) の計測方式は大別して **Ior** 方式、**Igr** 方式、ベクトル理論 **Igr** 方式の 3 種類に分類される。3 種の方式のうち **Ior** 方式及びベクトル理論 **Igr** 方式として採用されている非注入方式は電圧を印加するための信号発生器及び重層変成器を必要としないことから計測環境に依存せずに計測が可能となる。

各計測原理の概要を表 3.5-1 に示す。

表 3.5-1 各計測方式の概要

計測方法	概要
Ior 方式 (非注入方式)	絶縁不良等の原因により発生する漏洩電流を検出する方式である。 電源ケーブルをクランプすることにより、商用周波数の漏洩電流 (Io) と電路電圧を検出し、その電圧をもとに絶縁抵抗により流れる抵抗成分の漏洩電流 Ior ^(注1) を算出する。 Igr 方式と対比して電路内に電圧を印加しないことから非注入方式とも呼ぶ。
Igr 方式 (注入方式)	低圧電路に商用周波数の異なる交流電圧を重畳 ^(注2) し、この重畳電圧にて発生する漏洩電流を検出する方式である。 具体的には、計測電路に商用周波数 (50/60Hz) とは異なる電圧信号 (10~20Hz) を加えることにより、その信号の戻りから抵抗漏洩電流成分 Igr を求める。 電圧を印加することから注入方式とも呼び、計測器本体とクランプの他、電圧を印加するための信号発生器 ^(注3) 及び重層変成器 ^(注4) の 2 点が必要となる。
ベクトル理論 Igr 方式 (非注入方式)	絶縁不良等の原因により発生する漏洩電流を検出する方式である。 計測対象となる電路から基準の電圧信号を取り、電路に流れる総漏れ電流からベクトル演算を行い、抵抗漏洩電流成分 (Igr) を求める。 Ior 方式と同様に電路内に電圧を印加しないことから非注入方式に分類される。

注 1) 計測方法の差別化のため、**Ior** と呼称されているが、**Ior** そのものは抵抗成分の漏洩電流であり、**Igr** と同義である。

注 2) 電路に電氣的信号を加える (印加する) こと。

注 3) 電圧信号 (10Hz~20Hz) を発生させる装置。

注 4) 信号発生器で発生させた電圧信号を電路に印加するための装置。

(2) ベクトル理論 Igr 方式漏洩電流計測器による計測の推奨

電動機を用いて漏洩電流を強制的に発生させ、計測値と理論値の比較をする実験を行った。デルタ結線にて回路を構成し、電動機を動かすことを想定していたが、実際計測を行った際には各相の対地電圧が均等にならず、位相にずれが生じた環境下で計測を行った。そのため、理論値と計測値の間に誤差が生じる結果となった。そこで、ベクトル理論 Igr 方式による漏洩電流計測器のうち、位相補正機能をもつ機器を用いて再度計測を実施したところ、位相補正機能を使用した場合には理論値に近い結果が計測された。また、位相補正機能を持たない機種についても同様の補正方法を用いて計測値を算出したところ、ほぼ理論値と近い結果が得られた。実験結果を表 3.5-2 に示す。

よって、想定していた各層の対地電圧が均等な環境下での計測が行える現場では補正機能を持たない機能でも精度の高い計測を行うことが実施できる。ただし、精度向上を目的として、漏洩電流計測を行う前にボルトテストを用いて各層の対地電圧を確認することを推奨する。

表 3.5-2 実験結果

T相絶縁劣化想定での対地に対してリード抵抗を接続	T相対地電圧230Vより算出した理論値	機器A (位相補正機能無し)	機器A (算出による位相補正実施)	機器B (位相補正機能OFF)	機器B (位相補正機能ON)
∞	OL	0.1	0.3	－	0.2
200k Ω	1.3	1.0	1.5	－	1.5
100k Ω	2.6	1.6	2.9	－	2.8
50k Ω	5.8	2.7	5.7	－	5.5
25k Ω	11.5	5.0	11.2	4.6	10.6

(3) 計測方法

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。

(4) 絶対値による評価基準値

漏洩電流計測器における一番の問題点は、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. 板厚計測

4.1. 概要

4.1.1. 適用の範囲

板厚計測は、扉体の主要構造部材及びスキンプレートを対象とする。

【解説】

- ・扉体強度や水密に影響を与える、主要構造部材及びスキンプレートの劣化状況を判定するために、当該箇所の板厚を計測する。
- ・扉体の主要構造部材及びスキンプレート等の板厚は、強度上の必要厚さ及び余裕代を考慮しており、腐食等による経年的な減肉により、扉体の必要強度を確保できなくなる可能性がある。
- ・扉体の主要構造部材及びスキンプレートの板厚は、診断を行う対象構造物の強度上重要な箇所もしくは代表となる箇所を完成図書等から検討し、選定する（詳細は、4.2「計測」を参照）。この際、計測箇所の設計板厚の確認の際には腐食代も確認し、単純な減肉のみならず、余裕厚の考慮も重要である。
- ・計測にあたって、扉体の材質は、材質内を伝播する超音波音速が明確であれば、普通鋼やステンレス鋼に限らず、適用可能である。

4.1.2. 適用の条件

板厚計測は、以下のいずれかの条件が生じた場合に適用する。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">① 定期点検における腐食の判定△となった場合② 定期点検において、扉体の物理的変状が確認できた場合 |
|--|

【解説】

- ・主要構造部材及びスキンプレートは、年点検時に目視で腐食の進行状況等を判定しているが、現状の点検内容では、詳細な健全性を評価することは困難である。このため、目視点検等により、腐食が著しくなった際に、必要に応じて板厚計測による精密診断を行う。
- ・主要構造部材及びスキンプレートの板厚は、強度上の必要厚さ及び余裕代を考慮しており、腐食等による経年的な減肉により、扉体の必要強度を確保できなくなる可能性がある。

4.1.3. 技術の位置付け

板厚計測は、精密診断技術として、主桁等の構造部材の劣化状況の診断を行う。

【解説】

- 板厚計測は、プローブもしくは探触子と呼ばれるセンサから超音波を発生させ、計測対象の境界層（材質の違い等による境界。例：塗膜と母材の接触面、母材の裏面等）からの反射時間を計測することで、計測対象の板厚を計測する技術である。計測結果と設計荷重条件等を基に強度照査もしくは計測実測値と設計時板厚との比較を実施することで、計測対象の健全性を診断することが可能である。



図 4.1-1 板厚計測イメージ

4.1.4. 板厚計測・診断フロー

板厚を用いた計測・診断フローを図 4.1-2 に示す網掛け部分が本節における検討箇所である。

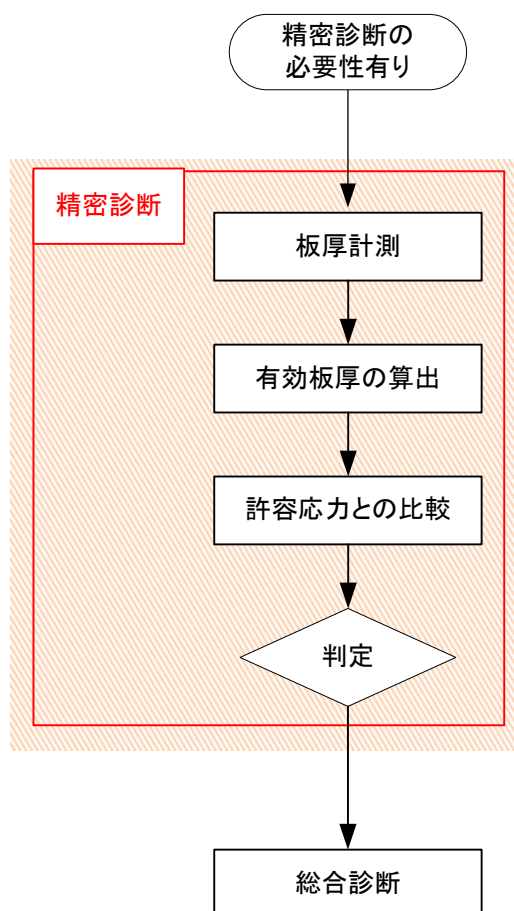


図 4.1-2 板厚計測・診断フロー

4. 2. 計測

4. 2. 1. 性能要件

板厚計測は、塗膜を剥がさず母材板厚の計測が可能であるポータブル厚さ計を標準とする。

【解説】

厚さ計は以下の性能要件を満たすものを使用する。

- ・ 塗膜を剥がさず母材板厚の計測が可能である。
- ・ ハンディタイプであり、現場で即時的に計測が可能である。
- ・ 計測精度 $\pm 0.05\text{mm}$ 程度

超音波式厚さ計は、超音波の反射を利用し、機器によっては塗装をはがさずに対象物の厚さを計測することが可能である。よって、本マニュアル（案）では、効率的かつ簡易に板厚計測が可能な超音波式厚さ計による計測手法にて取りまとめた。

また、実際の計測箇所はゲート形式や水位条件等でも変化するため、主桁の配置等によっては、近付くことが非常に困難な場合も想定される。このため、使用する計測機器は携行可能なサイズで、簡易な操作で計測が可能なが望ましい。

4.2.2. 計測箇所

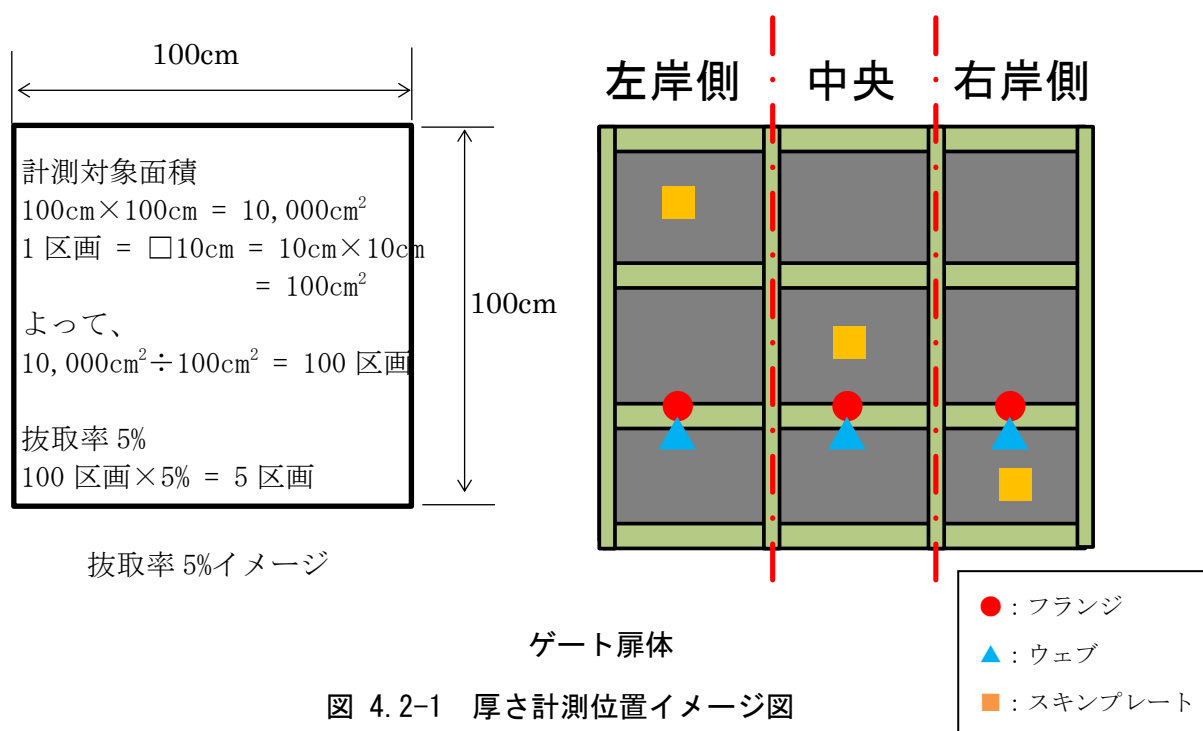
板厚計測の計測箇所は、主要構造部材及びスキムプレートの強度上・水密上重要な箇所もしくは代表となる箇所とする。

【解説】

主要構造部材及びスキムプレートの計測箇所は、精密診断を行うため、計測区画における抜取率5%の有効板厚（後述「4.4 評価・判定方法」を参照）の計測が必要である。スキムプレートであれば、計測範囲（□10cm）を1区画とし、点検結果にて腐食の判定が△とされた領域の面積より計測範囲で割った区画数から5%を抜き取った区画を計測対象として、板厚計測を行う。主桁であれば、縦補助桁で分割される領域で上記のように計測範囲で割った区画数から、同様に5%抜き取った区画を計測対象とする。

各計測箇所ですべて上下左右に概ね全体を代表する位置を標準とするが、完成図書における設計上の重要箇所等があれば、検討の上、決定する。

板厚計による計測箇所のイメージを図 4.2-1 に示す。



各計測箇所における測点数は図 4.2-2 に示す 1 箇所 5 点計測を標準とした。スキンプレート等の板材の 1 計測箇所は、約□10cm の範囲において 5～10 点計測する。また、形鋼のウェブ面については、板幅の中央でスキンプレートと同様の要領で計測を実施するが、幅の狭いフランジ中央部では長さ方向に水平に計測する。

また、図 4.2-3 に示す I 形鋼や溝形鋼のフランジなど板厚が一定でない（テーパーがついている）部位は計測対象から除く。

計測結果より、平均板厚および標準偏差を算出する。

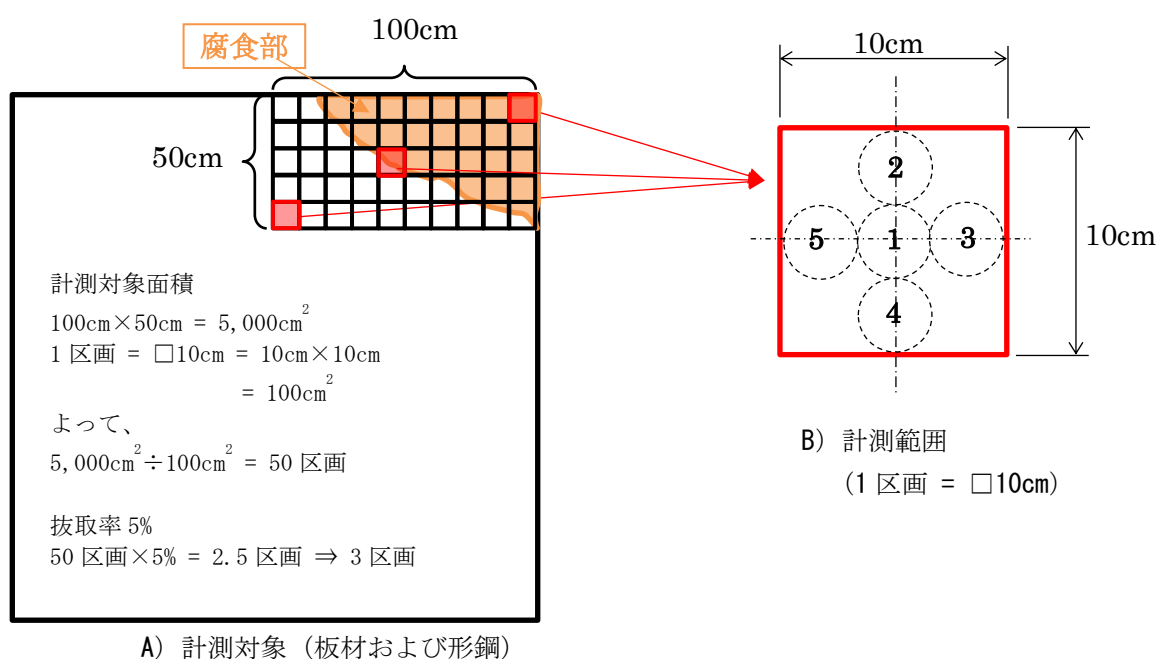


図 4.2-2 標準測点配置および計測要領例

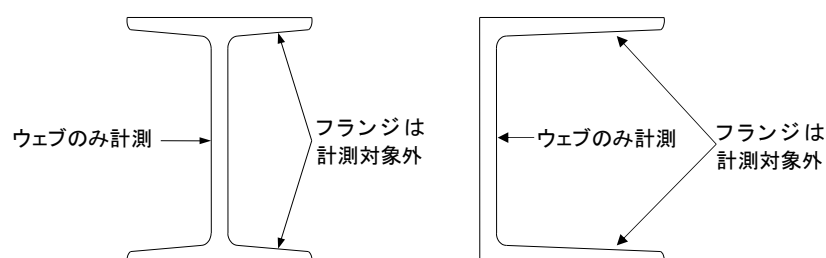


図 4.2-3 計測対象外となる部位（テーパ加工フランジの場合）

4. 2. 3. 計測の事前準備

計測にあたり、対象設備に関する資料の収集、計測条件等を事前に準備する。

【解説】

板厚計測を実施する事前準備及び留意事項を以下に示す。

- ・ 設備台帳や完成図書より、設計板厚及び許容応力を確認する。
- ・ 扉体へのアプローチ方法を確認する（仮設の有無、船でのアプローチ等）。
- ・ 点検結果や完成図書より、計測位置を決める。
- ・ ゲートの接水／非接水状況等計測環境を確認する。
- ・ 主桁等構造部の面積等より抜取率 5%の計測対象となる区画を選定する。

板厚計による診断は、実際の計測値と設計時の板厚との比較もしくは設計時の荷重条件等を基にした強度照査等にて行われる。このため、設備台帳や完成図書等より、主桁のウェブ部及びフランジ部等主要構造部材、スキンプレート等の板厚及び余裕代等を事前に確認する必要がある。

年点検結果等を参照し、腐食が著しい箇所を計測箇所として設定すること可能である。しかし、腐食状況により、計測面に凹凸等がある場合、粘度の高い接触媒質を用意する等の準備が必要である。

4.2.4. 計測手順

計測手順は以下①～⑥の順に行うものとする。

- ①材質（超音波音速）を設定する。
- ②機器校正を行う。
- ③計測面に接触触媒を塗布する。
- ④計測センサを計測対象に当て、板厚を計測する。
- ⑤計測値を記録する。

【解説】

- ① 計測対象の材質（超音波音速）を設定する。計測機器によっては、事前に材質と当該材質の一般的な超音波音速が登録されている機器もあるが、計測対象の材質と当該材質内を伝播する超音波音速は、事前に確認しておく必要がある。
- ② 計測にあたり、計測機器の音速校正を行う。①で設定した超音波音速（材質）を用いて、計測機器の校正を行う。
- ③ 接触触媒（グリセリン等）を計測対象のセンサ計測面に塗布する。超音波は空気中を伝わり辛く、また計測面との境界で反射してしまう性質があるため、センサと計測面の間には、接触媒質を塗布する必要がある。
- ④ 計測センサを計測対象に押し当て、板厚を計測する。計測面の状態により、数値が微小に変動するため、確定まで多少の時間がかかる。
- ⑤ 本マニュアル（案）に付属する点検報告書様式（案）等の計測用紙に計測値を記録する。

板厚計測器は、プローブもしくは探触子と呼ばれるセンサから発信した超音波が、計測物の反対面に反射し戻ってくる時間（伝播時間）をもとに、厚さを算出する仕組みとなっており、伝播時間（ t ）に計測物の音速（ C ）を乗じることで、厚さを算出している。

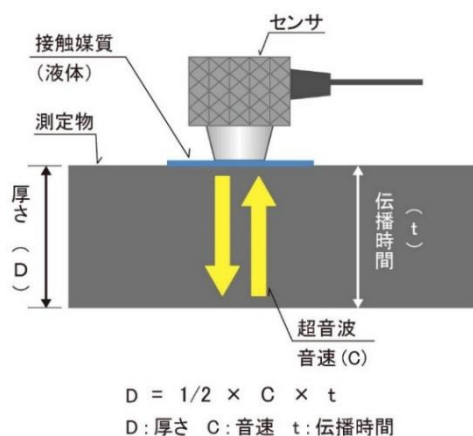


図 4.2-4 板厚計 計測原理（イメージ図）

4.3. 評価・判定方法

4.3.1. 板厚計測による精密診断

板厚計測により主要構造部材及びスキンプレートの有効板厚を算出し、許容応力との比較により、扉体の劣化状況を診断する。

【解説】

- ・老朽化したゲート等について、劣化状況を診断する手法として、有効板厚を求める手法がある。腐食部材の強度評価は、平均板厚もしくは有効板厚を採用することが一般的である^{出典[1]}。
- ・また、計測箇所について、計測対象の全面のデータ抜き取りパターンに関わらず、抜き取り率 4%程度でも推定程度は良いとされており、抜き取り率 5%で計算を行っている^{出典[1]}。
- ・板厚計測により、主要構造部材及びスキンプレートが健全であると診断された場合でも、計測結果を記録し、傾向管理を行うことで、状態監視保全を併用することが望ましい。

4.3.2. 絶対値による評価

板厚計測による評価は、抜き取り率 5%の計測箇所に対して有効板厚を算出し、発生応力が設計時の許容応力を下回るかを判定する。

【解説】

板厚計測による評価・判定方法には、以下の通り。

- ・計測結果より、平均板厚および標準偏差を算出する（抜き取り率 5%の区画）。
 - ・平均板厚及び標準偏差より有効板厚を算出する（抜き取り率 5%の区画）。
 - ・設計荷重における有効板厚での発生応力を算出する。
 - ・有効板厚での発生応力と許容応力を比較し、総合診断の要否を判定する。
-
- ・超音波厚さ計による計測では、計測対象物の健全性をその場で診断できる訳ではないが、計測対象物の設計時の許容応力を参照し、板厚の強度を検証することで、対象部位の健全性を診断することが可能である。この際、有効板厚での発生応力が許容応力より上回っている場合、総合診断が必要となる。
 - ・但し、上記のような許容応力による評価において、局部的な板厚の計測結果が、そのまま主桁全体もしくは扉体全体の評価結果に相当する訳ではなく、主桁全体もしくは扉体全体の評価を実施するために、扉体サイズや主桁の配置等を考慮した計測点数の設定が必要であり、計測対象の全面積より抜き取り率 5%の区画を評価することで主桁及び構造部の健全性を評価できる。
-

-
- ・有効板厚

板厚計測において重要となる有効板厚は、下記の式により算出する。

$$\text{有効板厚} = \text{平均板厚} - \alpha \times \text{標準偏差}$$

(ウェブ及びフランジの場合 $\alpha = 1.4$ 、スキンプレートの場合 $\alpha = 0.9$)

4.4. 報告書

報告書は、計測対象、計測日、計測者、計測箇所、計測結果、診断結果を判りやすくまとめたものとする。

【解説】

報告書は、表 4.4-1 内の項目が明記してあることが望ましい。

表 4.4-1 報告書に記載すべき項目

大項目	小項目
計測対象	施設名、計測対象設備の仕様、材質
計測概要	点検日、計測時刻、計測者名
計測箇所	将来的に同様の管理が可能となるよう、計測箇所の記録を行う。また必要に応じて計測位置にマーク等を残し、写真等で記録する。
計測結果	計測した母材の板厚さ
診断結果	・設計時の板厚との比較 ・必要に応じて設計時もしくは設備管理者が設定する荷重条件より、主桁等の構造物が必要強度を有しているか否かの照査

4.5. 技術的課題

(1) 強度照査内容について

診断にあたり条件整理及び強度計算の実施が必要である。

実際の運用にあたっては、現場の劣化状況により強度計算の実施の有無を検討し、現場での計測結果に対し、設計時の母材板厚との対比（余裕代以内であれば問題ない）によって強度上の良否を診断し、必要に応じて、強度計算を実施することが望ましい。設計厚との対比については、前述したように、定期的な厚さ計測により傾向管理が可能であるため、経年劣化が懸念される設備は、可能であれば年点検等に併せて板厚計測を実施し、データを記録・管理することが望ましい。

(2) 塗膜厚さ計測について

試行における板厚計による塗膜厚さの計測結果は、信頼性が不明確であり、現状では参考値として取り扱うことが望ましい。

試行結果より、試行対象とした各設備において、板厚計での塗膜厚さの計測結果は、検証用に実施した電磁式膜厚計による塗膜厚さの計測結果に対し、それぞれの機器における計測バラツキを考慮しても大きく乖離していた。これは、どちらの数値に信頼性があるのかということではなく、計測する機器によって結果に大きな変化が表れてしまうようでは、点検技術として診断を実施することが困難である。このことから、板厚計による塗膜厚さの計測結果は、現時点では計測値の信頼性が不明確であるため、より多くの事例を調査してデータを確認する必要があると考える。

(3) 強度照査内容について

診断にあたっての条件整理及び強度計算等によって、診断結果を得るまでにある程度の労力と時間を要する。

強度計算は手間がかかるため、実際の運用にあたっては、現場での計測結果に対し、設計時の母材板厚との対比（余裕代以内であれば問題ない）によって強度上の良否を診断し、必要に応じて、さらに強度計算を実施することが望ましい。設計厚との対比については、前述したように、定期的な厚さ計測により傾向管理が可能であるため、経年劣化が懸念される設備は、可能であれば年点検等に併せて板厚計測を実施し、データを記録・管理することが望ましい。

(4) 現場作業について

超音波板厚計測において、機器の取扱いについて習熟することが重要ではあるが、同時に計測する部位により計測値の確定に時間を要する。特に、図 4.5-1 に示すように腐食等の進行により、計測面に凹凸がある場合、超音波の特性上、発した超音

波の反射方向が変化し、探触子で検出することが困難になる。よって、板厚計測は、対象構造物の状況により、計測の難易度が変化し、計測時間・信頼性に影響することを念頭に計画する必要がある。



計測面に
凹凸が見られる。

図 4.5-1 主桁ウェブ 計測面事例

5. 温度分布計測（赤外線サーモグラフィ）

5.1. 概要

5.1.1. 適用の範囲

温度分布計測（赤外線サーモグラフィ）は、電動機、減速機、切替装置等を対象とする。

【解説】

河川用ゲート設備のうち、電動機、減速機、切替装置等、不具合が生じた際に熱が発生する可能性のある装置、すなわち回転部がある装置を、温度分布計測（赤外線サーモグラフィ）による精密診断(補助)の対象装置とする。

5.1.2. 適用の条件

定期点検の判定が△であり、下記のいずれの条件に該当する場合に精密診断を適用するものとする。

- ①傾向管理により点検時の振動計測値が「注意値」を超過し、通常の点検作業において異常箇所を特定できない場合
- ②信頼性による取替・更新の標準年数を超過した装置・機器であり、内部の劣化が懸念されるあるいは把握できない場合

【解説】

- ・ 点検時の温度計測値による傾向管理において「注意値」を超過した場合に、その原因が測定法や条件に起因（測定器の変更、当該機器の整備や修繕後、計測箇所やタイミングの相違または誤り）しないことを確認したうえで、異常箇所を特定できない場合に温度分布計測による精密診断を実施する。
- ・ 減速機や電動機を目視で確認できる大きな振動や異音（電動機においては正常時に発生していなかった「ビー」「ジー」というような電磁的異音）、通常と異なる回転状況、開閉速度の低下などについては、故障と判定し、早期の復旧に努めるものとする。ただし、聴診棒により異常音が確認された場合については、構成部品（軸受や歯車）が劣化している可能性があるため、精密診断の対象とする。
- ・ 「信頼性による取替・更新の標準年数」は、表 1.2.1 に基づくものとするが、当該設備について過去の故障実績がその年数より短いサイクルで発生している場合（特に故障原因が経年劣化、摩耗あるいは腐食である場合）、その設備が置かれている現場条件や運転条件に起因している可能性があるため、そのときの供用実績年数（新設から故障発生まで、あるいは整備・更新から故障発

生までの実績年数)も勘案して診断実施を判断する。

- ・ 中長期計画の見直しなどにおいて、老朽化が懸念される「信頼性による取替・更新の標準年数」を超過した装置・機器について、内部の劣化状況が把握できない場合、精密診断によって指標を得ることも有効である。
- ・ 河川マニュアル内に記載される点検結果△は、電動機の温度の項目においては、触診して触れないぐらい高温の場合に判定される。

5.1.3. 技術の位置付け

温度分布計測（赤外線サーモグラフィ）は、精密診断の補助技術として、機器の温度分布を面として捉え、不具合箇所の確認（スクリーニング）を行う。

【解説】

- ・ 赤外線サーモグラフィによる温度分布計測は、計測対象機器が発している赤外線を活用し、計測対象機器の温度分布を分析することで、異常過熱等の装置・機器の不具合箇所を確認することが可能である。
- ・ 赤外線サーモグラフィによる温度分布計測は、装置・機器の表面から発している赤外線を計測しているため、装置・機器内部の不具合箇所の具体的な特定は困難である。
- ・ 本技術は他診断技術との組み合わせを前提とした精密診断の補助技術とする。
- ・ 赤外線サーモグラフィによる精密診断で分析する項目は、「温度分布の変化」および「温度上昇傾向の把握」の2点である。
 - ・ 温度分布の変化
赤外線サーモグラフィによる計測結果より、計測対象機器の温度分布における特に高温となっている箇所を把握することで、故障箇所を予測することが可能となる。
 - ・ 温度上昇傾向の把握
温度分布の変化を把握し、傾向管理を行うことで、温度分布に異常傾向が表れた場合は、次回点検時に上昇温度を計測する。計測対象機器毎の上昇温度把握のために、開閉装置の運転前と開・閉各操作後の温度分布を計測し、計測対象機器の温度分布において、開閉操作後に最も高温であった箇所を上昇温度の計測箇所とする。また、計測した上昇温度を記録・蓄積し、経年的に傾向管理し、急激な温度上昇や高温となる箇所を把握することで、故障の兆候を早期発見することが可能となる。
- ・ 赤外線サーモグラフィ試験認証制度（一般社団法人 日本非破壊検査協会）により認定を受けた技術者が計測・診断することが望ましい。

5.1.4. 温度分布計測・診断フロー

赤外線サーモグラフィを用いた計測・診断フローを図 5.1-1 に示す。「総則」の図 1.2-1 に示す網掛け部分が本節における検討箇所である。

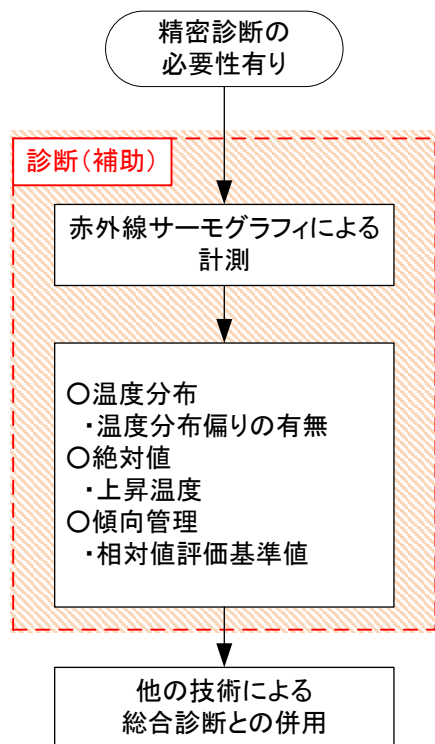


図 5.1-1 赤外線サーモグラフィ計測・診断フロー

5. 2. 計測

5. 2. 1. 計測器の性能要件

温度分布計測（赤外線サーモグラフィ）は、電動機等の温度分布を明確に可視化できるポータブルな計測器を標準とする。

【解説】

<性能要件>

- ・ 温度計測範囲 : 0℃※～100℃程度
- ・ 温度分解能 : 0.1℃以下
- ・ 解析ソフト : 計測画像から高温箇所、画像内の任意箇所の温度が割り出せること。
計測後に計測画像の温度範囲を変更できること。
赤外線画像と可視光画像を重ね合わせて解析、表示できること。
- ・ 校正 : 一定の温度に制御された空洞黒体の温度を、校正しようとする放射温度計と標準温度計とで計測し、相互の示度を比較する。JIS C 1612 の附属書 1(規定) 校正方法および附属書 2(規定) 標準放射温度計による。^[出典 1]

※本精密診断(補助)は気温が氷点下となるような場合には診断を見送り、気温が 0℃を超えた場合に適用するものとする。

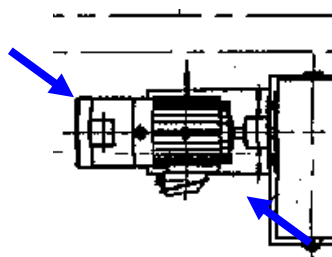
5. 2. 2. 計測箇所

温度分布計測の計測箇所は、計測対象機器の全体の温度分布が確認できるよう、2 方向以上を計測する。

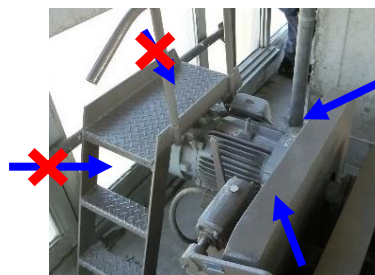
【解説】

計測対象機器の全体の温度分布を計測することで、温度分布を面で視覚的に捉え、温度分布の変化や温度上昇の傾向管理を行うことから、極力、計測対象機器の全体が計測できるように配慮する。

また、傾向管理を行うために、定期的な計測が必要であることから、図 5.2-1 に示すように計測方向は各計測対象機器の対角線上から撮影する。設備の構造により対角線上から撮影することが困難である場合、計測できる範囲で極力全面が映るよう計測を行うことが望ましい。



計測方向



対角線上から計測できない例

図 5.2-1 計測方向（例）

・ 計測の様子

赤外線サーモグラフィによる計測の様子を図 5.2-2 に示す。計測対象機器全体が映る様、対角線上から計測を行う。



図 5.2-2 計測の様子

5.2.3. 計測タイミング

温度分布計測は、運転前、運転（一往復）後の計2[回/点検]行うことを標準とする。

【解説】

赤外線サーモグラフィによる計測は、下記2回行う。

a) 操作前

b) 開操作後（常時開の設備の場合。常時閉の設備の場合、閉操作後。）

開閉装置は運転中の時間経過で、温度分布が変化するため、温度分布の変化による故障兆候を把握するためには、最低でも上記の a)、b) の2回のタイミングで計測及び比較検討を実施する必要がある。開閉装置の温度上昇に関する管理基準は、「全揚程の1往復運転をして温度上昇が40℃以下ならば良い（電動機）」^{〔出典2〕}ため、操作前、操作後の温度上昇で診断の補助を行う。一往復動作後の電動機が回転している状態で温度分布計測を行うと、電動機の冷却機能により温度上昇の異常が見られない場合があるため、回転させていない状態での計測を計測タイミングとする。

2 モーター2 ドラム式のワイヤロープウインチ式開閉装置のような設備は、開閉操作室が左岸と右岸に分かれて別途設置されている場合もあり、このような場合は機器および人員を増やすことも検討し、計測計画を立てる。

5.2.4. 計測の事前準備

計測の対象設備に関する資料の収集、計測条件等を事前に準備する。

【解説】

- ① 対象設備に、赤外線サーモグラフィの計測対象機器である電動機、減速機、切替装置の内、どの機器が設置されているか確認する。
- ② 工事完成図書及び年点検報告書等より、開閉操作室内の配置状況を把握し、計測方向等の検討を行う。上記資料より、計測対象機器の不具合履歴についても確認する。
- ③ 計測方向、温度（室温）、計測時刻、計測距離等の記入表を用意する。

赤外線サーモグラフィは、計測温度範囲を Auto / Manual で切り替えられる計測機器がある。その場合は、計測後の温度解析時に設定しやすいよう Auto を選択することを推奨する。

計測温度範囲を Auto に設定した場合、赤外線サーモグラフィは、機器カメラで捉える計測範囲内に映る物体の発する赤外線によって、温度分布の幅が自

動調整される。このため、極端に高温もしくは低温である物体が計測範囲に入らないよう計測することが望ましい。

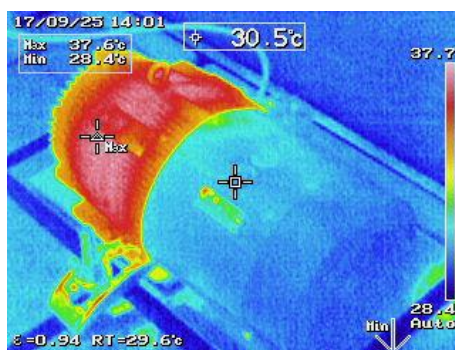
5.2.5. 計測手順

計測手順は以下①～②を標準とする。

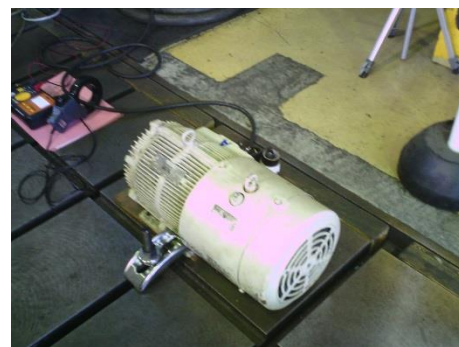
- ①計測方向を定める(前回の計測方向と同様にする)。
- ②赤外線サーモグラフィによる計測を行う。

【解説】

- ① 現場にて、計測対象機器の全面を対角線上からの計測の可否を確認し、計測方向を定める(傾向管理を実施するため、2回目以降は、前回の計測箇所の確認を行う)。
- ② 定めた計測方向から、各タイミングにて赤外線サーモグラフィによる計測を行う。計測を行うと図 5.2-3 に示す、赤外線画像、可視光線画像が計測(保存)される。



赤外線画像

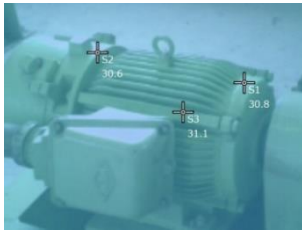
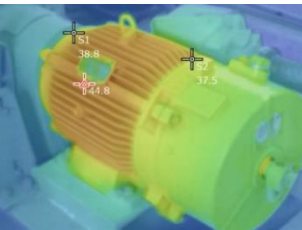
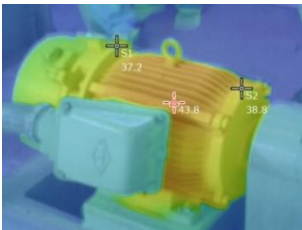


可視光線画像

図 5.2-3 計測結果

傾向管理を行う上で、表 5.2-1～表 5.2-3 のように、画像内に計測対象機器を最大の大きさになるように、かつ画面内に計測対象機器全体が収まるような方向、距離及び画角とすること、それらを統一することが重要であるため、計測する方向等についても正確に記録する。

表 5.2-1 電動機の計測画像（例）

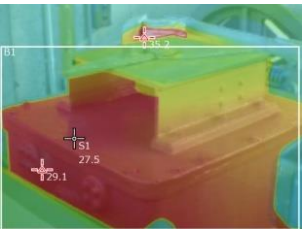
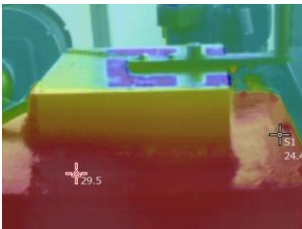
状況	計測画像 1	計測画像 2
操作前		
開操作後 (常時開の場合)		

54.1

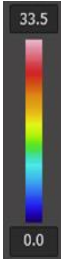


22.4

表 5.2-2 切替装置の計測画像（例）※対角線上から計測できない例

状況	計測画像 1	計測画像 2
操作前		
開操作後 (常時開の場合)		

33.5



0.0

表 5.2-3 減速機の計測画像（例）

状況	計測画像 1	計測画像 2
操作前		
開操作後		



5.3. 不具合箇所のスクリーニング

5.3.1. 温度分布計測によるスクリーニング

温度分布計測により不具合箇所の確認（スクリーニング）を行う。

【解説】

- ・温度分布計測データは、点ではなく面で把握することができるため、データの傾向管理を行い、蓄積したデータと異なる温度分布となった場合に、不具合の可能性のある箇所を特定することができる。
- ・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（参考として 8.3 項に不具合事例を記載する）。

5.3.2. スクリーニングの事前準備

温度分布計測による不具合箇所のスクリーニングは、解析ソフトによる分析を標準とし、計測時は以下について留意する。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">・計測条件を記録する。・計測温度範囲を設定する。・計測対象の放射率を求める。 |
|--|

【解説】

(1) 情報収集

同一の計測対象を計測する場合でも、放射率、透過率、計測対象物と計測器との距離等が異なる場合、温度分布データの分析を行うことがお困難となる可能性がある。

放射率、透過率、計測対象物と計測器との距離等は、条件を変えないことが重要であり、解析時に設定したパラメータ等を報告書にも記載する。文献等により正確な値を調べ、パラメータとして設定することを推奨する。

放射率が不明な場合、以下のいずれかの方法を実施することを推奨する。^[出典 3]

- ・正確な放射率の分かっている黒体テープや塗料を計測対象に貼り付けて計測し、解析時に放射率の調整を行う。
- ・温度上昇データを取得する際に熱電対等の接触温度計で計測対象物の温度を計測し、解析時に放射率の調整を行う。

(2) 解析ソフト等による解析データの作成

下記の手順で図 5.3-1 に示すような温度分布解析データを作成する。

- ① 赤外線画像と可視光線画像の合成データを作成する。
- ② 解析に必要な放射率等のパラメータを設定する。
- ③ 計測温度範囲を調整する。
- ④ 計測したい箇所の温度を算出する。

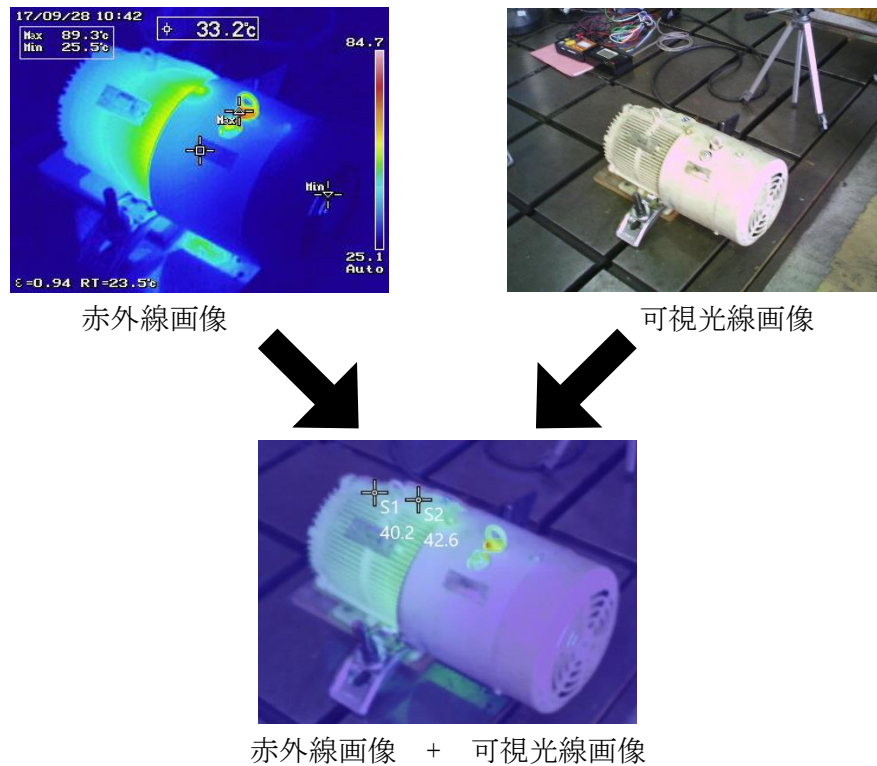


図 5.3-1 合成画像

5. 4. 評価・判定方法

5. 4. 1. 温度分布による評価

計測した温度分布データより異常高温部や温度分布不具合があれば不具合が生じている可能性があるとは判断する。

【解説】

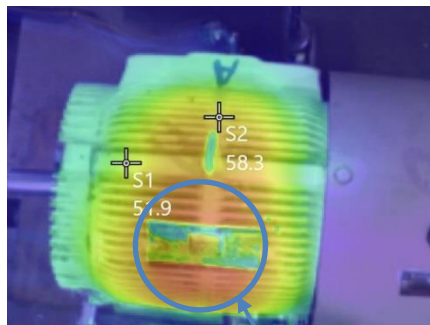
(1) 評価基準

年点検時に計測した温度分布を整理し、経年的な温度分布の変化等を評価することで、機器毎の劣化度合いを診断する。対象機器に対して計測した温度分布データを正常の場合のデータと比較し、異常高温部がある場合は、その箇所に不具合の可能性があるとは判断できる。更に、設備内で同様の水門が複数門あり、開閉装置が同仕様の場合、計測対象機器も同仕様のことがある。その場合は、設置からの経過年数や運転状況を確認の上、同様であれば、温度上昇について比較することも可能である。

(2) 評価・判定方法

- ① 温度分布を整理し、特に高温となっている箇所等の把握を行い、将来的な故障発生箇所を事前に予想する。図 5.4-1 のように計測対象機器の実物と赤外線サーモグラフィの計測結果を照らし合わせ、異常箇所の特定を行う。許容範囲内であっても局部的に高温になっている箇所や、傾向管理データとの差異があれば留意する。

<解析結果>



<診断結果>

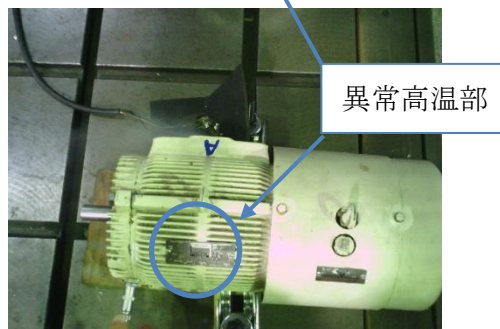


図 5.4-1 診断の例

<精密診断>

- ② 温度分布および傾向管理による評価の結果が異常温度箇所なしと判断された場合であっても、温度分布の温度範囲を調整することで高温箇所を検出し、閾値により不具合がないかを確認する。
- ③ 計測、診断で記した通り傾向管理を行う中で、温度上昇値が蓄積してきた計測結果から急激に変化している、もしくは温度分布の画像より高温箇所がそれまで蓄積した画像内での高温箇所と異なる箇所が高温となっている等の変化が表れた場合、異常兆候として判定する。
- ④ 異常兆候が現れた場合、他技術により精密診断を行い、不具合箇所や原因分析し、総合診断を行う。

<総合診断>

- ⑤ 更新の必要可否を、他技術の総合診断の結果より判断する。

5.4.2. 絶対値による評価

温度の絶対値による評価は、温度上昇値を評価基準とし、「ゲート点検・整備要領（案）（平成 17 年 1 月 社団法人ダム・堰施設技術協会）」を参照して判定を行う。
また、温度分布計測データを解析し、温度上昇傾向を確認する。

【解説】

(1) 評価基準

年点検でも温度上昇値を計測しているが、通常の年点検では温度分布が分からないため、計測箇所以外の箇所で温度上昇値が閾値を超えている可能性がある。

このため、温度分布計測結果より特定された高温部について、「ゲート点検・整備要領（案）（平成 17 年 1 月 社団法人ダム・堰施設技術協会）」を参照し評価することが可能となる。温度上昇値の評価基準値を表 5.4-1 に示す。

※メーカーヒアリングによると、各機器の上限温度は仕様及び各機器個体により 20～30℃程度変化する可能性があるため、絶対温度での閾値は、メーカーと協議を行い、対象機器個別に設定することとする。

表 5.4-1 計測対象機器の温度上昇の評価基準値

対象機器	温度上昇値
電動機	40℃以下 ^[出典 4]
切替装置	50℃以下 ^[出典 5]
減速機	50℃以下 ^[出典 5]

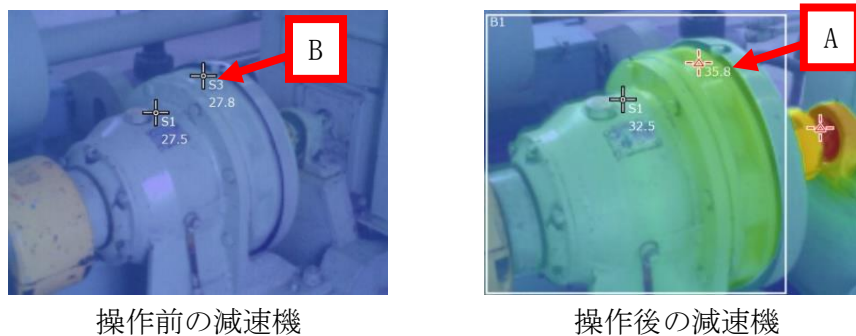
(2) 評価・判定方法

<診断>

- ① 解析結果から図 5.4-2 のように計測対象機器毎の高温部を特定し、温度上昇値が判定基準（表 5.4-1 を参照）内に収まるか否かを判断することで、機器毎の劣化状況を診断する。
- ② 温度上昇値が判定基準内に収まる場合でも、年点検等で定期的に温度上昇値を計測し、傾向管理を行うことで、当該機器の劣化の進行状況を診断する。
- ③ 定期点検の結果、判定が△となった場合、他技術により精密診断を行う。その結果から不具合箇所や原因の判定をして総合診断を行う。

<総合診断>

- ④ 更新の必要可否を、他技術の総合診断の結果より判断する。



 S3 : 運転後の最高温度と同位置の温度[°C]
 : 計測画像内、もしくは、計測対象機器の最高温度[°C]

診断結果

$A - B = 35.8[^\circ\text{C}] - 27.8[^\circ\text{C}] = 8.0^\circ\text{C} < 50^\circ\text{C}$ (減速機の閾値)
となるため、本減速機において不具合は生じていない。

図 5.4-2 上昇温度の解析

5.4.3. 傾向管理による評価

定期点検等により温度上昇値を計測し、相対判定法による傾向管理を行う。

【解説】

河川標準要領に則り、機器の健全度評価は相対値評価を行う。このとき相対値評価は、計測対象機器表面の温度上昇値の正常値 a に対し、標準偏差 σ を用いて、傾向管理の基準値を次のように設定して行う。

$$\text{注意値} = a + 2\sigma \quad \text{予防保全値} = a + 3\sigma$$

標準偏差を用いた管理のイメージを図 5.4-3 に示す。

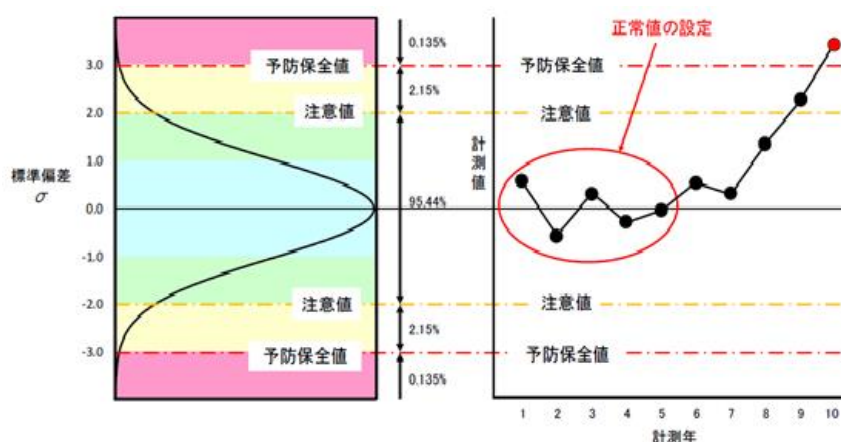


図 5.4-3 標準偏差を用いた管理のイメージ

(出展：河川用ゲート設備点検・整備標準要領（案）P. 23)

相対値評価基準値設定のための正常値は、計測データの蓄積状況により下記又は②の値を採用するが、正常値及び正常範囲の設定は、計測対象機器についての知見を有する専門技術者が実施する。

- ① 設置時の計測データ又は稼働初期段階における計測データの平均値
- ② 正常と思われるある一定期間の計測データの平均値

なお、計測データの蓄積に従って当初設定した正常値が適切かどうかを確認し、必要な場合は見直しを行う。

異常兆候が現れた場合、他技術により精密診断を行う。その結果より、不具合箇所や原因の判定をして総合診断を行う。更新の必要可否を、他技術の総合診断の結果より判断する。

本評価は、定期点検の点検結果を傾向管理した評価ではなく、温度分布計測による精密診断結果を蓄積することで、傾向管理による評価を行うことに留意されたい。

5.5. 報告書

報告書は、計測対象、計測日、計測者、計測方法、計測方向、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 5.5-1 内の項目が明記されていることが望ましい。

表 5.5-1 報告書に記載すべき項目

大項目	小項目
計測概要	点検日、施設名、計測者名、計測機器名、計測機器会社名
計測対象機器	計測対象機器名、計測対象機器の設備仕様
計測環境	計測時刻、計測方向（図面を用いて矢印で図示）、室温
計測結果（温度分布）	各計測対象機器の各タイミングの温度分布画像、所見
計測結果（温度上昇）	赤外線サーモグラフィの解析結果（高温となった計測温度（温度分布画像内）もあれば望ましい）
解析条件	放射率、透過率、計測対象物と計測器間の距離、解析温度範囲
診断結果	温度分布の傾向と比較した診断結果

5. 6. 技術的課題

(1) 劣化診断の適用

赤外線サーモグラフィは、計測機器として計測誤差が $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 程度あり、また計測対象機器以外の物体からの反射（例：塗装への太陽の映り込み）等によって、計測する温度が変化してしまう可能性がある。このため、計測の際には他の光源となる物体を置かないあるいは、計測する時間帯を検討する必要がある。

(2) 計測データ蓄積

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、計測でなければ傾向管理が難しいことから、同一設備を経年的に計測する際は、以下の点に留意する必要がある。

赤外線サーモグラフィによる撮影画角（計測方向、距離）は一度決めたら、同一箇所でも継続的に計測を行い、変更しないことが望ましい。そのため、計測方向は図 5.6-1 のように正確に記録する。

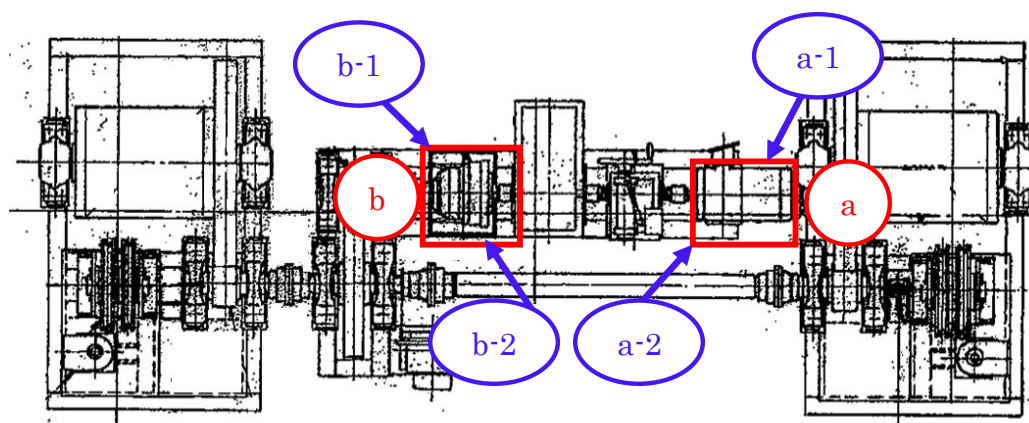


図 5.6-1 計測方向の記録（例）

計測時の運転状態（負荷、運転時間等）は、可能な限り同一にすることが望ましい。ただし、温度上昇を計測項目としているため、室温は同一でなくても問題ない。

6. 用語解説

6.1. 振動診断

(1) 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、データのつなが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、つなが目の振幅を弱める窓関数を採用する。

(2) 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。

(3) 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。

(4) サンプリング周波数

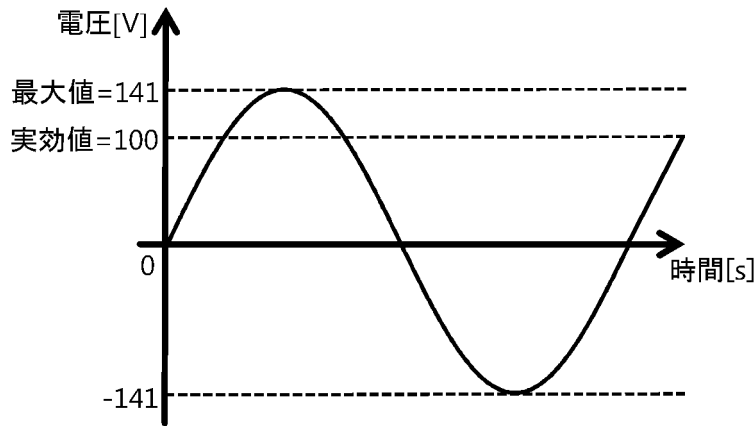
時間領域のアナログデータをデジタル化するときにおける 1 秒間当たりのサンプリング数をいう。(例えば、サンプリング周波数が 100Hz なら、1 秒間に 100 のデータが記録される。)

(5) Peak（ピーク）値（波形）

時間領域波形の最大値をいう。

(6) 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。



(7) 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。

(8) 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。

(9) 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。

(10) 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。

(11) ピーク値（周波数分布）

周波数分析結果の最大値をいう。

(12) 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。

(13) 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。

6.2. 漏洩電流計測

(1) 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。

(2) 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。

(3) I_0 (I_o)

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_o より大きくなることもある。

(4) 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_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。

(5) I_{gc}

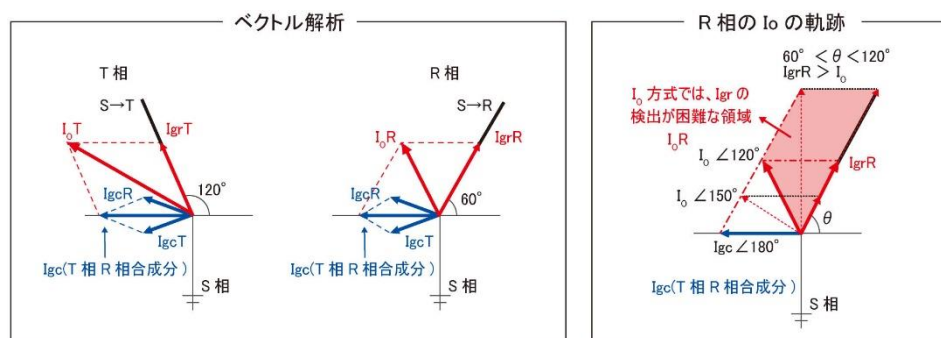
対地静電容量による漏洩電流成分のこと。電路の絶縁性能とは無関係であり、漏洩電流を増大させる要因となる。

(6) 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。

(7) 三相逆流現象

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

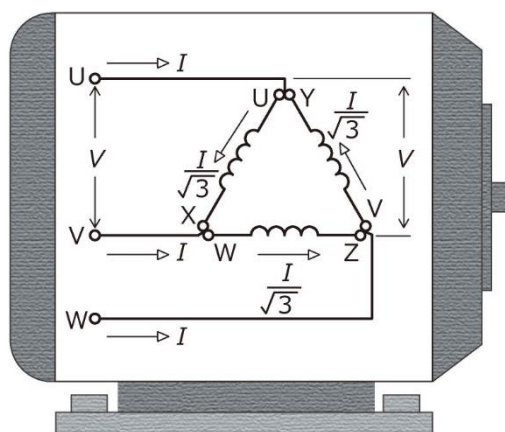


(8) クランプ

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。

(9) 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

6.3. 板厚計測

(1) 有効板厚

有効板厚は、以下に示される式により求められるものであり、計測箇所における代表的な板厚である。

$$\text{有効板厚} = \text{平均板厚} - \alpha \times \text{標準偏差}$$

(ウェブの場合 $\alpha = 1.4$ 、スキンプレートの場合 $\alpha = 0.9$)

(2) 平均板厚

計測対象の 1 区画における単純平均である。本マニュアル（案）に示す計測方法では、1 区画につき 5～10 箇所測定することとしており、その単純平均を言う。

(3) 標準偏差

統計値や確率変数の散らばり具合(ばらつき)を表す数値であり、本マニュアル(案)においては、計測対象の 1 区画における計測点数 (5～10 箇所) のばらつきを算出したものである。

(4) 採取率

計測対象全体の内、データサンプルとして採取する割合のことを言う。

6. 4. 温度分布計測

(1) 温度分解能

識別可能な見かけの最小温度差。

(2) 空洞黒体

黒体を近似的に実現するために、不透明な壁で形成した空洞で、計測用の開口をもつ。

(3) 放射率[ε]

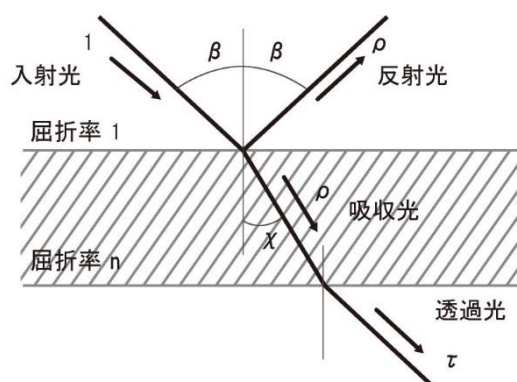
物体の赤外線放射エネルギーとその物体と同一温度である黒体の放射エネルギーとの比。色、材質等によって異なる値となる。

(4) 透過率[τ]

入射した赤外線が物体を透過する割合。不透明物体の透過率は 0 である。

(5) 吸収率[α]

物体に入射した赤外線のうち、物体が吸収する赤外線の割合。



透過率、放射率および吸収率の和は常に 1 となる。

7. 出典

- [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
- [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.3-16，2015.3
- [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.3-18，2015.3
- [4] 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：河川用ゲート設備点検・整備標準要領（案），2016.3
- [5] 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.3-19，2015.3
- [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.4-5，2015.3
- [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

7.1. 振動

- [1] 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.
- [2] 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，pp.6-10 p.13,
- [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.9，1998.

7.2. 漏電

- [1] 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：河川用ゲート設備点検・整備標準要領（案），2016.3
- [2] 経済産業省：電気設備の技術基準の解釈，p.24，2016.9

7.3. 板厚

- [1] 松本勝・中村幾雄・白井義朗・白石成人：腐食鋼材の有効板厚評価法の一提案、橋

7.4. サーモグラフィ

- [1] JIS Z 8710-1993 温度測定方法通則、p.1008-1019
- [2] 社団法人ダム・堰施設技術協会、ゲート点検整備・要領（案）、p.668、2005.1
- [3] FLUKE、FLUKE サーモグラフィよくある質問ポケットブック、p.14
- [4] 社団法人ダム・堰施設技術協会、ゲート点検整備・要領（案）、p.668、2005.1
- [5] 社団法人ダム・堰施設技術協会、ゲート点検整備・要領（案）、p.674、2005.1

8. 実験結果

8.1. 実機による実験結果

- ・ 本マニュアル（案）を作成するにあたり、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 8.1-1 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 8.1-2 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 8.1-3 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。

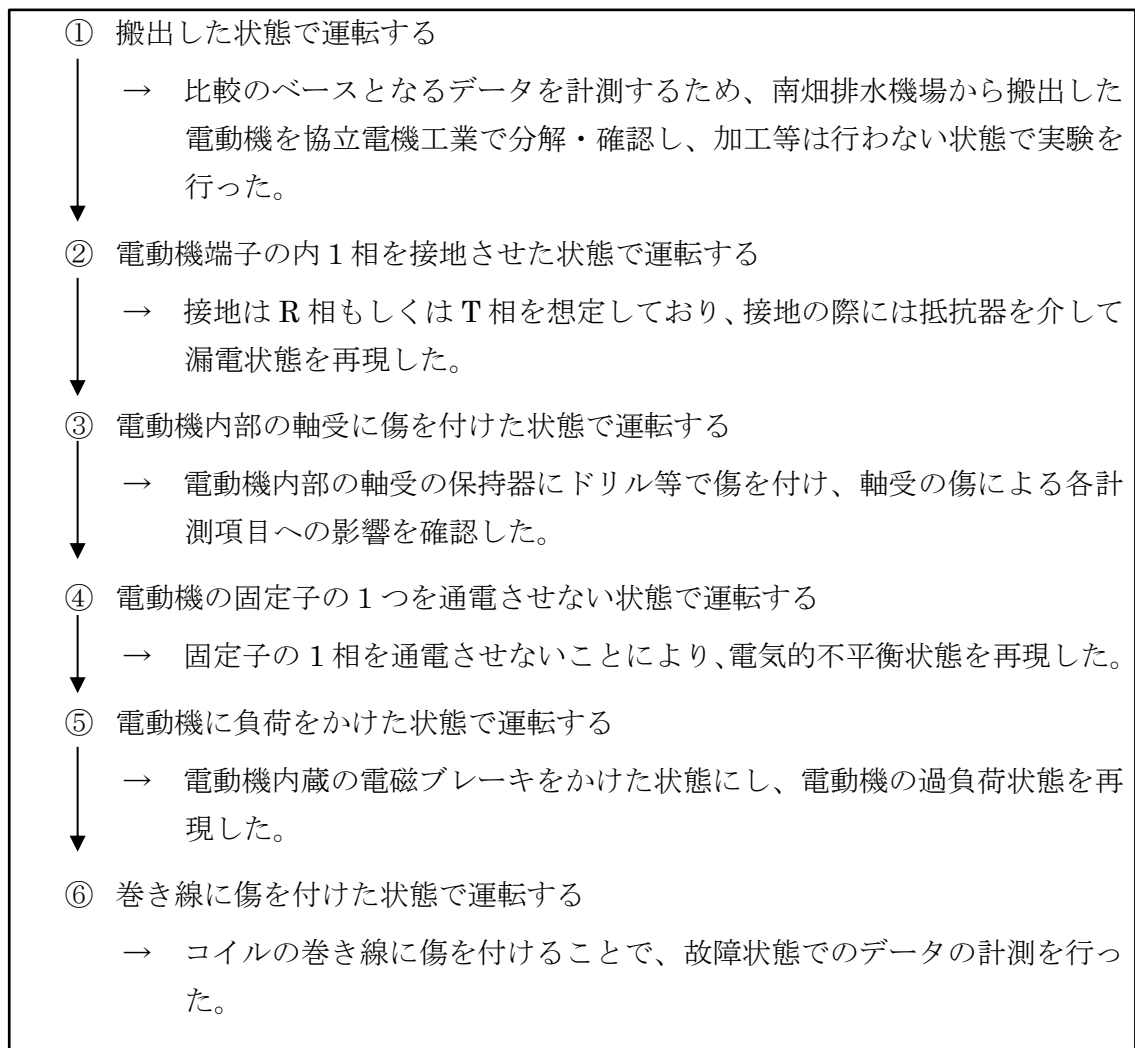


図 8.1-4 実験順序

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]

表 8.1-1 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）

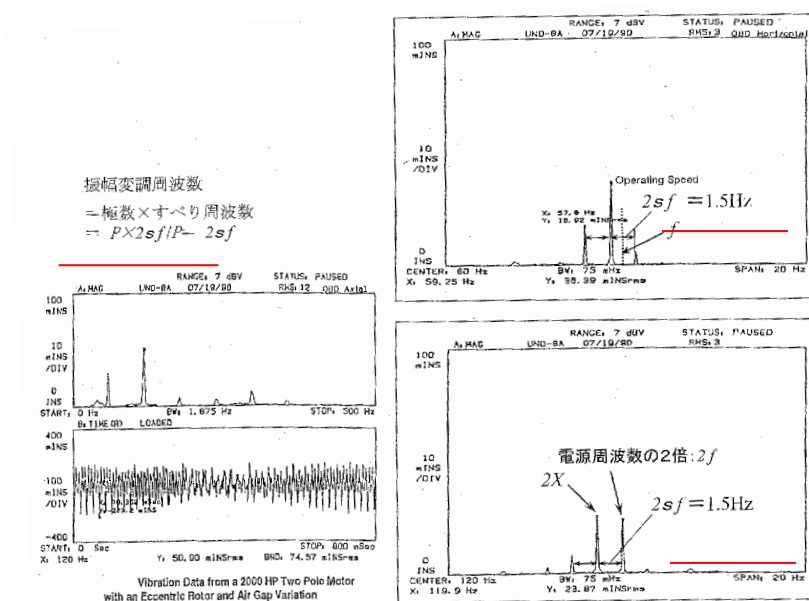
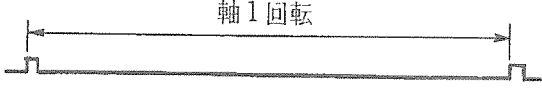
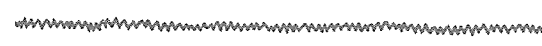
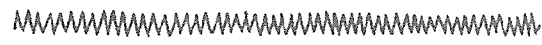
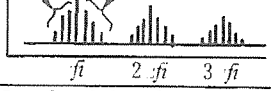
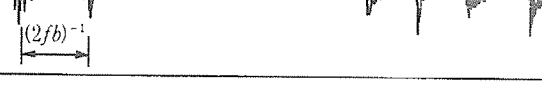
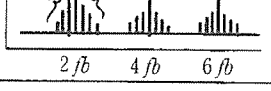


図 8.1-5 すべり率を考慮した周波数（「ISO 基準に基づく機械設備の状態監視と診断」）

表 8.1-2 ころがり軸受における時系列波形と周波数スペクトル
(出展：ISO 基準に基づく機械設備の状態監視と診断)

	時 系 列 波 形	周波数領域波形 (信号処理後)
(回転信号)		—
正 常		
潤滑剤の不足		
ラジアル すきまの増大		
外 輪 傷		
内 輪 傷		
転 動 体 傷		

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	

8.2. 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 8.1-1 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。

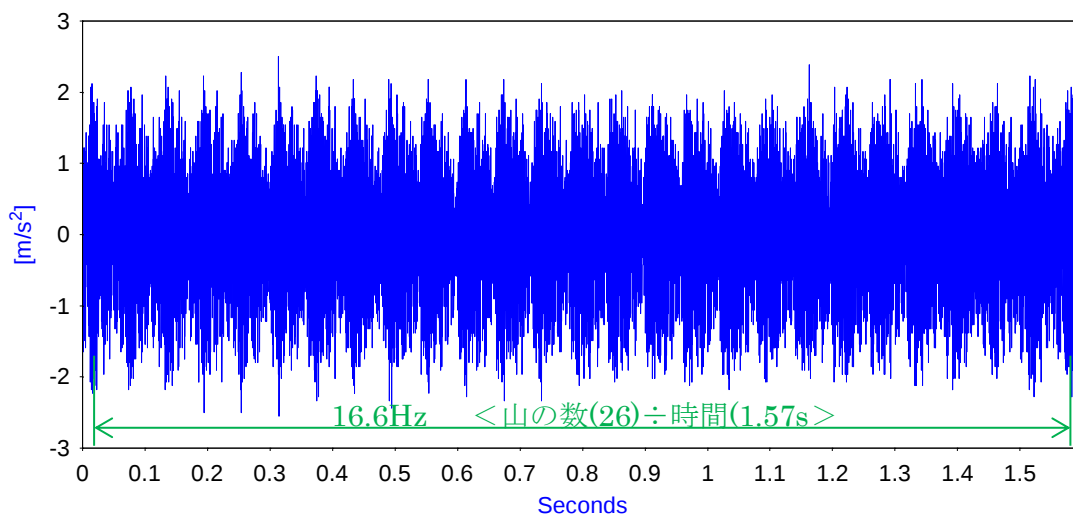


図 8.2-1 基準振動波形（正回転、V 方向）

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。

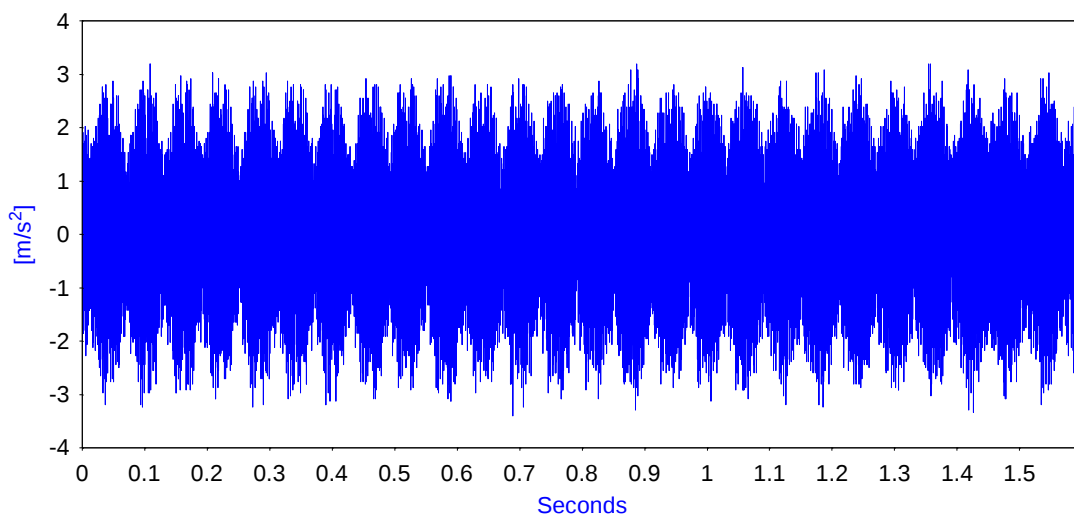


図 8.2-2 振動波形（正回転、V 方向、電動機端子の内 1 相を接地させた状態）

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 8.1-1 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。

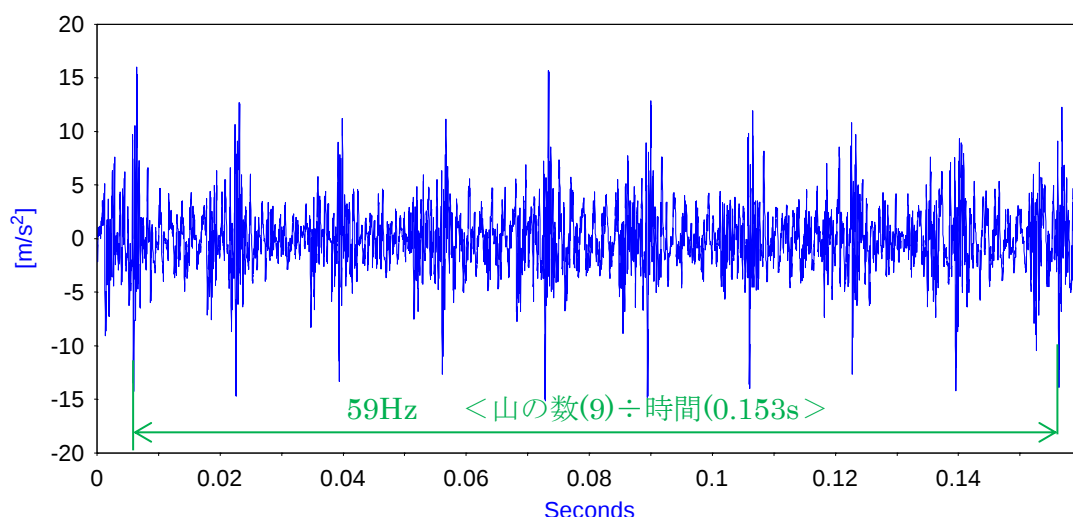


図 8.2-3 振動波形（正回転、V 方向、内部の軸受（出力側）の外輪に傷を付けた状態）

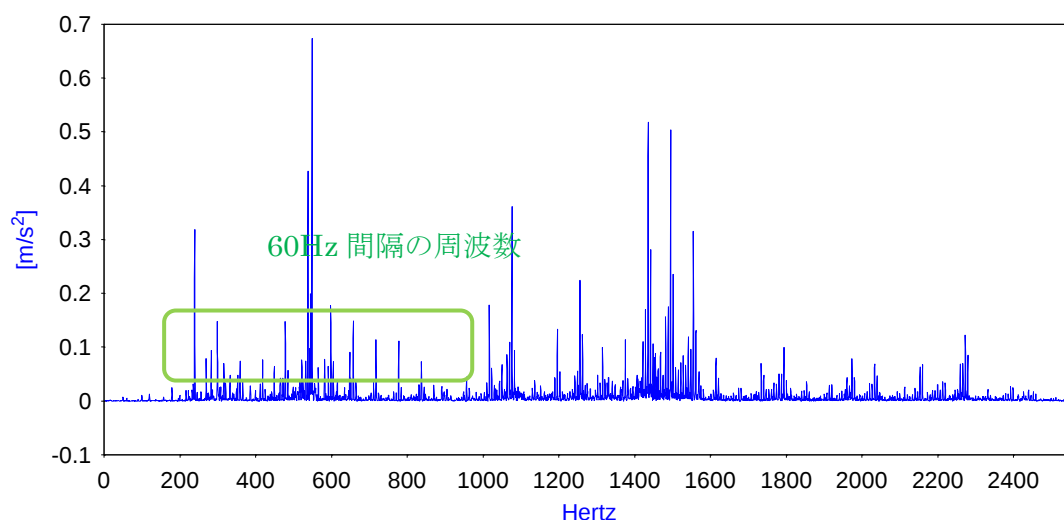


図 8.2-4 FFT 解析結果

（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 8.2-4 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 8.1-1 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。

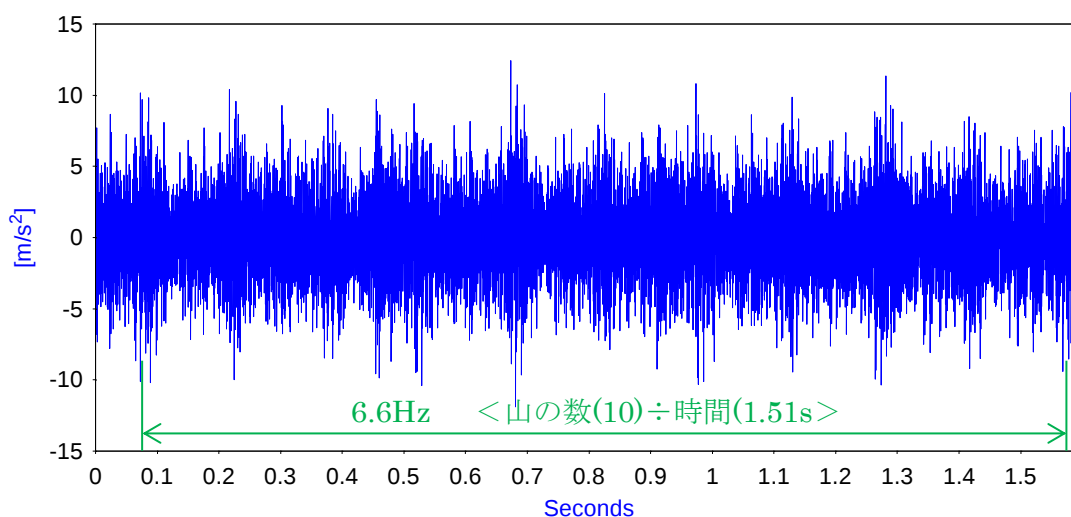


図 8.2-5 振動波形

（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 8.2-4 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。

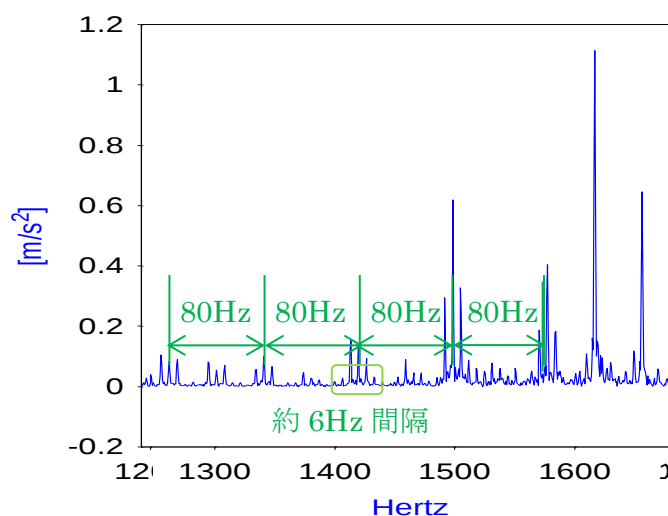


図 8.2-6 FFT 解析結果

（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。

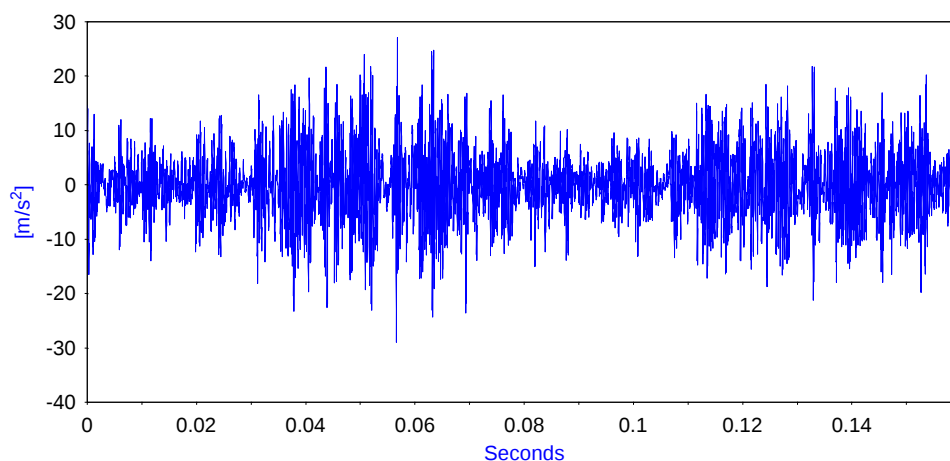


図 8.2-7 振動波形

(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)

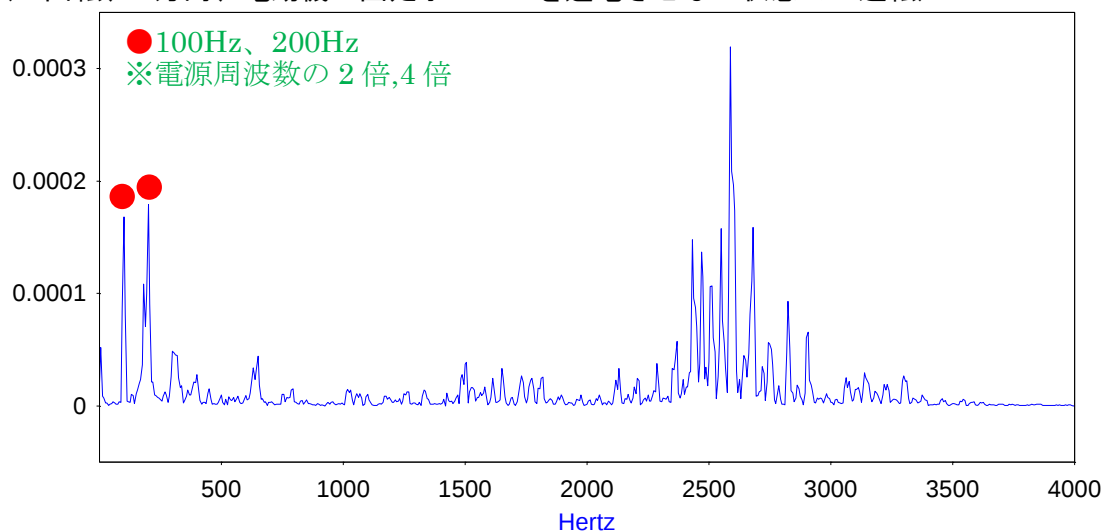


図 8.2-8 FFT 解析結果

(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。

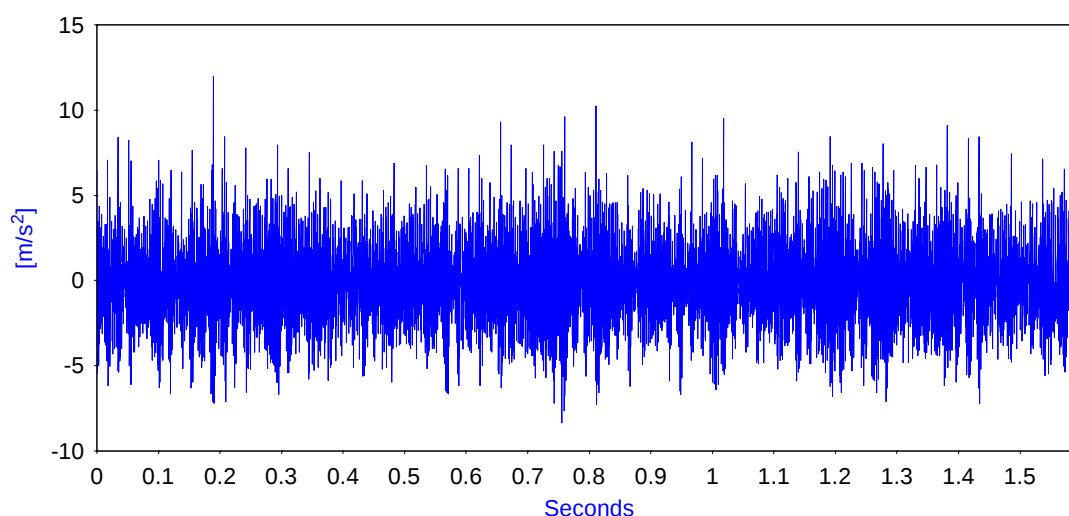


図 8.2-9 振動波形（正回転、V 方向、振動波形電動機に負荷をかけた状態での運転）

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。

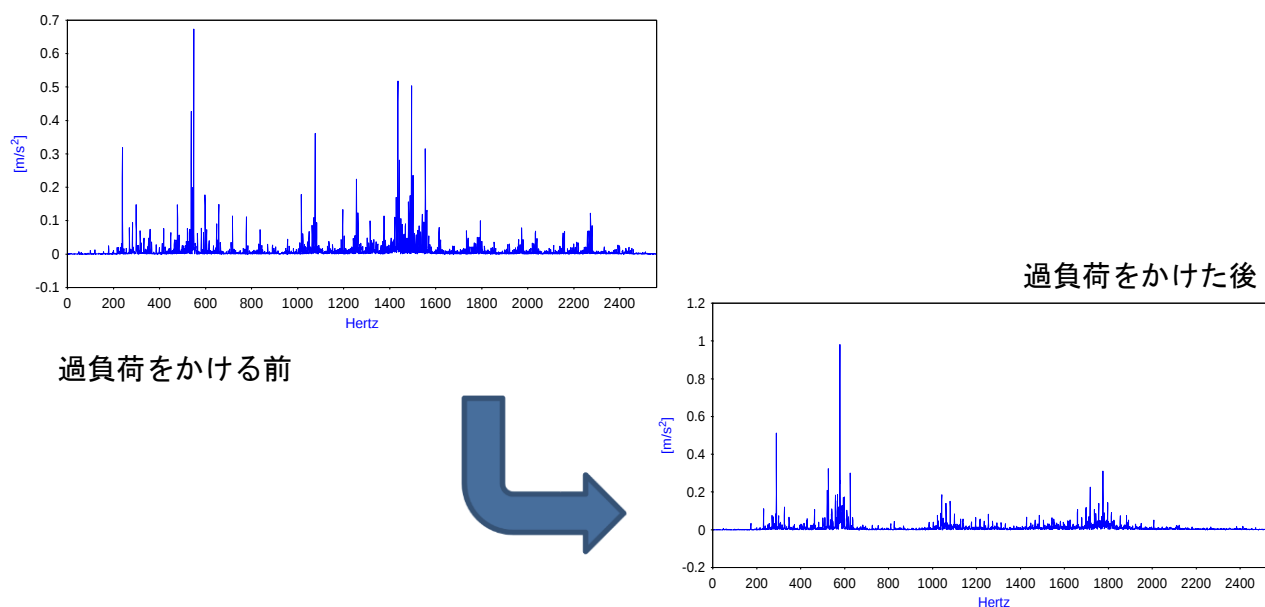


図 8.2-10 FFT 解析結果（正回転、V 方向、振動波形電動機に負荷をかける前後）

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。

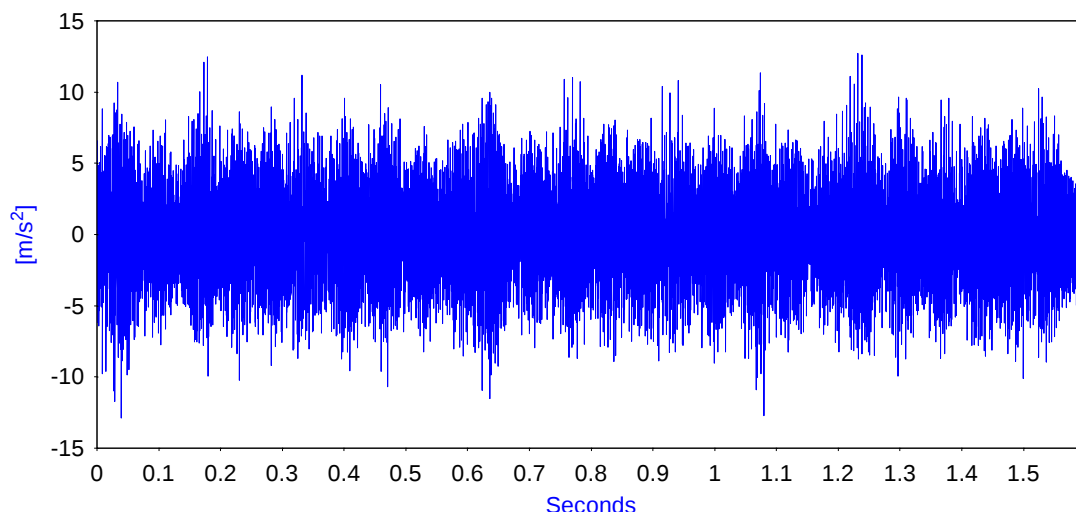


図 8.2-11 振動波形（正回転、V 方向、短絡状態での運転）

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。

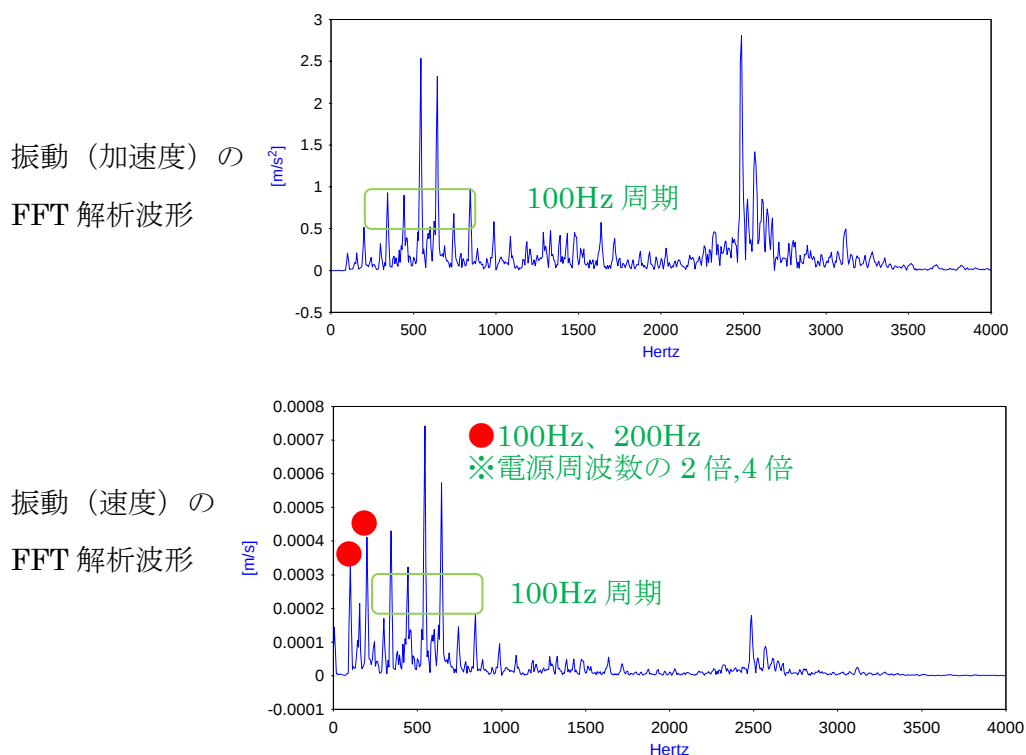


図 8.2-12 FFT 解析結果（正回転、V 方向、短絡させた状態での運転）

8.3. 温度分布計測の事例

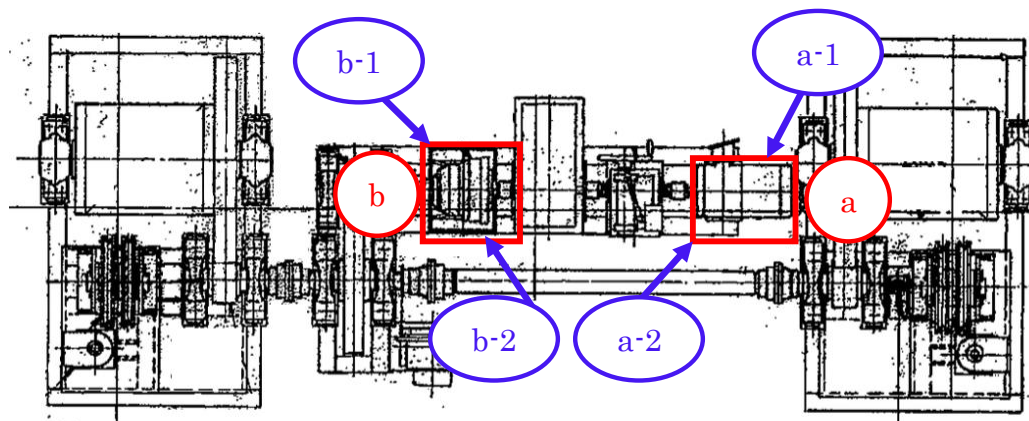


図 8.3-1 計測方向の記録 (例)

温度分布計測で主となる評価方法の「温度分布および傾向管理による評価」は定量的ではなく定性的な評価であるため、診断する人により結果が異なる可能性がある。

図 8.3-2～図 8.3-4 に、電動機の不具合事例の温度分布計測データを示した不具合は、正常時と不具合発生時で温度分布が変わらない事例である。よって、漏電、軸受への傷については、温度分布計測により診断することは難しい。それぞれ左写真が正常な状態、右写真が各不具合を再現した状態である。

(1) 漏電している場合

漏電による電動機の温度分布は大きな差は出ないため、漏電を温度分布計測データから判断することは難しい。

また、回転時の音に関しても、正常なモーター音と同様である。

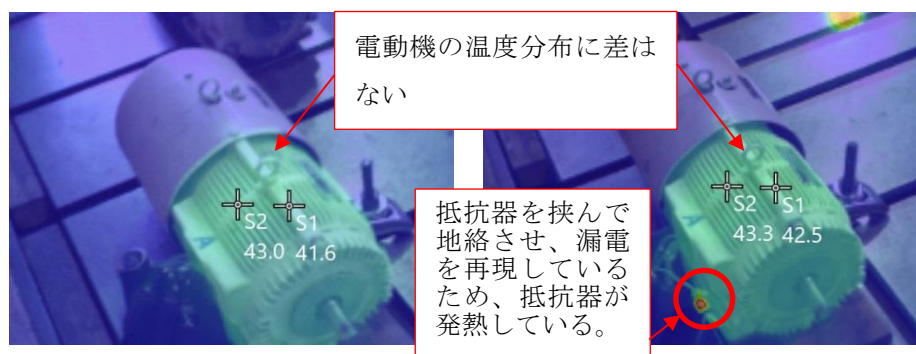


図 8.3-2 電動機の比較 (左：正常、右：漏電)

(2) 電動機軸受（保持器+玉）に傷が付いている場合

軸受（保持器+玉）への損傷による電動機の温度分布には大きな差は出ないため、玉損傷の不具合を温度分布計測データから判断することは難しい。なお、この電動機は、グリスが正常に充填されている場合のデータであるため、グリスが正常に充填されていない場合の温度分布は異なる可能性がある。

回転時の音に関して、正常なモーター音と同様である。

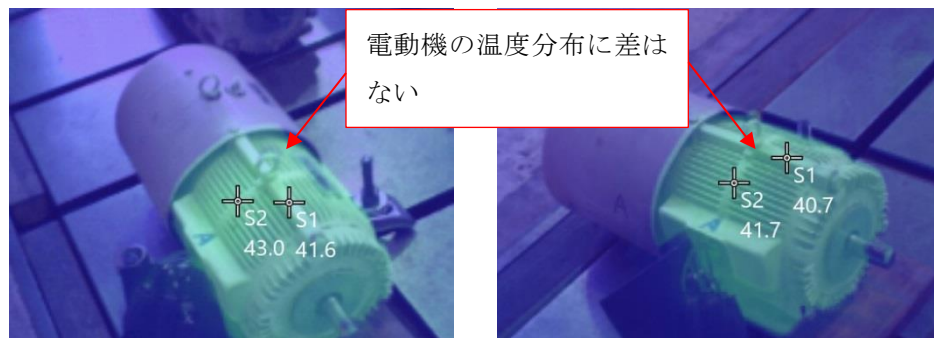


図 8.3-3 電動機の比較（左：正常、右：軸受（保持器+玉）に傷）

(3) 電動機軸受（外輪）に傷が付いている場合

軸受の外輪の損傷による電動機の温度分布には大きな差は出ないため、保持器損傷の不具合を温度分布計測データから判断することは難しい。なお、この電動機は、グリスが正常に充填されている場合のデータであるため、グリスが正常に充填されていない場合の温度分布は異なる可能性がある。

温度分布計測データおよび回転時の音に関して、正常なモーター音と同様である。

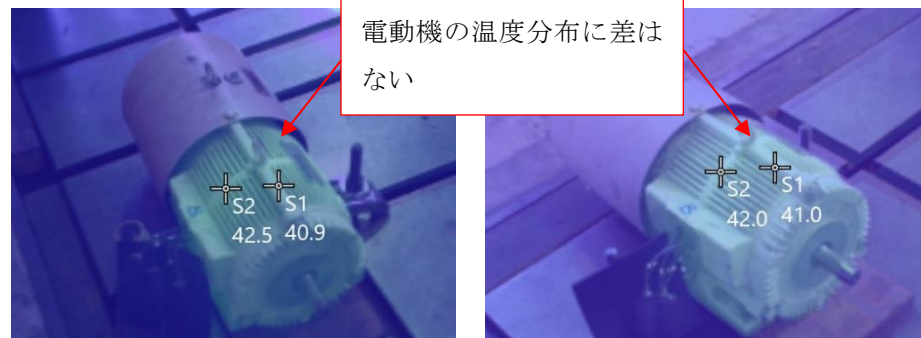


図 8.3-4 電動機の比較（左：正常、右：軸受(外輪)に傷）

- (4) 電動機の固定子の一部が通電しておらず、かつ、電動機軸受（玉+保持器）に傷が付いている場合

温度分布は、通電していない箇所の温度が左右対称箇所に比べて若干低い、温度分布計測により不具合箇所を特定することは難しい。ただし、解析の際に温度範囲を狭めると、図 8.3-6 のように通電していない右側の温度が低いことを認識することができる。

また、回転時の音に関しては、正常なモーター音と同様である。

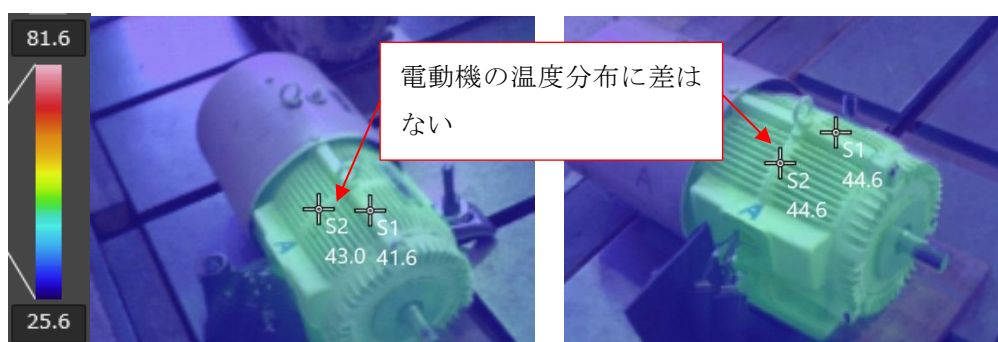


図 8.3-5 不具合事例①-1（左：正常、右：固定子の一部が不通電+軸受（玉+保持器）傷）

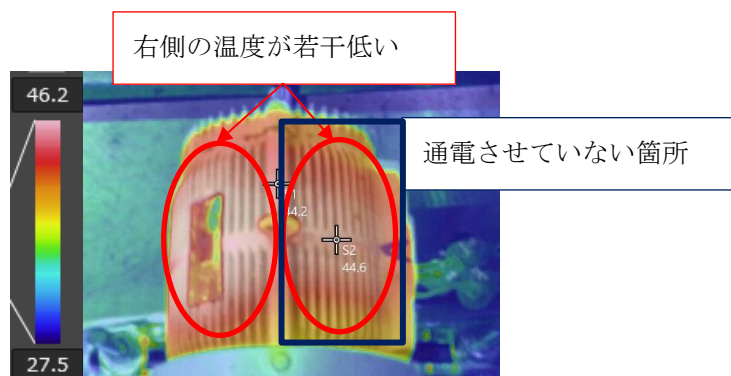


図 8.3-6 不具合事例①-2

(5) 過負荷状態、かつ、電動機軸受（外輪）に傷が付いている場合

不具合発生時の温度分布は、図 8.3-7 のようにブレーキカバー内にこもった熱が漂っており、正常時と異なる。なお、図 8.3-7 は、ラジアル方向（軸を中心とした放射方向）には無負荷状態の場合の電動機の不具合時のデータである。

温度分布データが異なるだけでなく、回転時の音に関しても、正常なモーターの場合の音とは異なる、ブレーキが摺れるようなシュッシュという音である。ただし、その状態で運転を続け、ブレーキが焼けて炭化すると、正常なモーターの回転音と同様となり、判断が付きにくくなる。

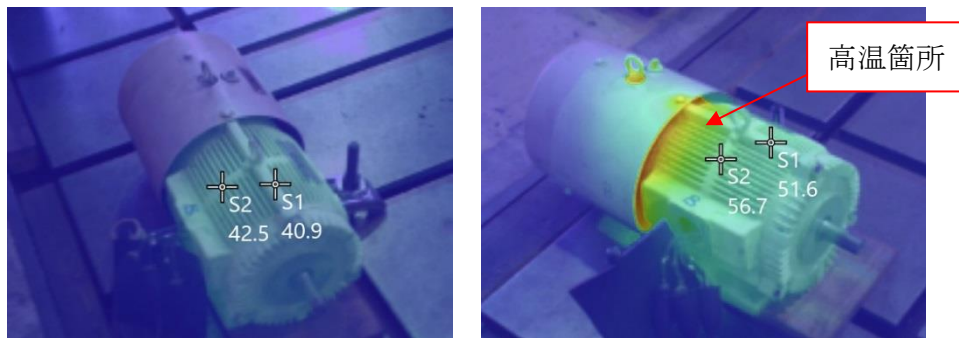


図 8.3-7 不具合事例②-1（左：正常、右：過負荷）

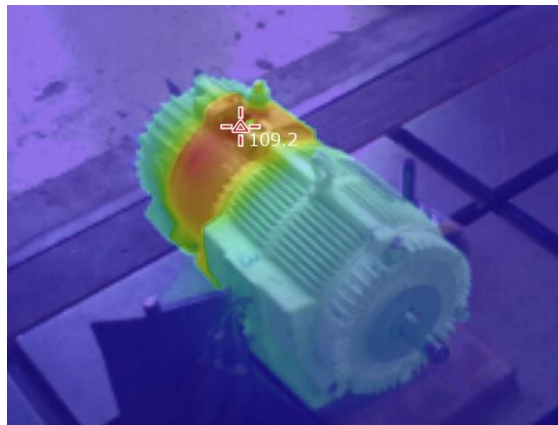


図 8.3-8 不具合事例②-2（ブレーキカバーを外して計測）

- (6) モーターの固定子が短絡しており、かつ、電動機軸受（玉+保持器）に傷が付いている場合

温度分布が正常状態と不具合発生時では、図 8.3-9 のように異なり、高温となっていて、かつ、均等に温度が上昇していない。図 8.3-10 は不具合発生時の橙矢印の方向から計測したデータである。図 8.3-11 は、不具合発生時の計測直後にカバーを外し、軸方向（橙色矢印）から計測したものである。



図 8.3-9 不具合事例③-1（左：正常、右：固定子短絡+軸受け（玉、保持器）傷）

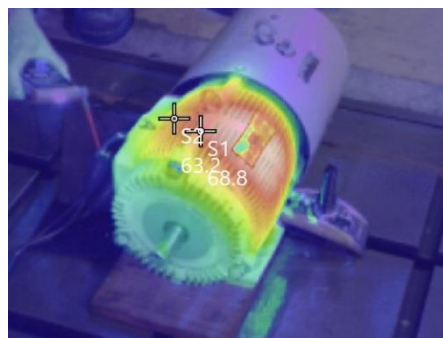


図 8.3-10 不具合事例③-2

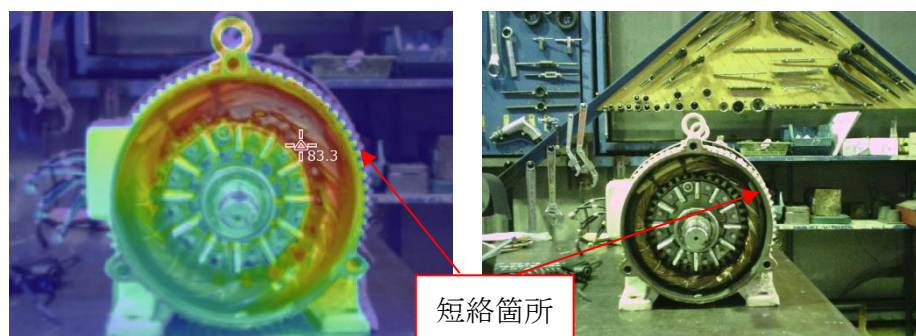


図 8.3-11 不具合事例③-3

× × × 水門 ●●●設備

振動診断結果 報告書

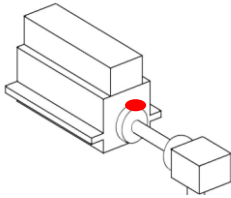
平成▲▲年■月

関東技術事務所

ポンプ仕様・計測箇所

計測日時	平成28年5月19日	13:00~14:00
計測者	●●●事務所	加藤

×××水門	主電動機			
運転時間	13:15			
	～			
	13:40			
型式	×××-×××			
電源	三相交流			
定格容量[kW]	1.5			
定格電圧[V]	200			
定格電流[A]	7			
周波数	50			
極数	6			
電磁ブレーキ	有り			

計測位置・方向	 加速度計 V 垂直 加速度計 H 水平 加速度計 A 軸 凡例 ●: 加速度計測定位置			
---------	--	--	--	--

特記事項				
------	--	--	--	--

機場写真	 主電動機			
------	---	--	--	--

--	--	--	--	--

設備診断結果

別様に示す、「計測波形・周波数解析」「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	主電動機	
異常項目	診断	所見
軸受のゆるみ・がた		
入出力軸のアンバランス		
芯ずれ		
入出力軸の摩耗		
ベアリングの異常		
歯車の異常		
その他所見		

凡例 ○ 状態は良好で、整備の必要はない
 △ 劣化傾向が見られるので、今後の経過を観察する必要がある
 × 大きく劣化しており、整備が必要
 ? 仕様が不明なため判断不能

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		
主電動機(出力軸受) 振動【No○○,●●,◎◎】		サンプリング周波数 5120Hz
	計測波形	周波数解析
H 方向 (水平)	Rms値 △. △△mm/s(加速度積分値)	
V 方向 (垂直)	Rms値 △. △△mm/s(加速度積分値)	
A 方向 (軸)	Rms値 △. △△mm/s(加速度積分値)	

軸受・歯車発生周波数表

× × × 水門

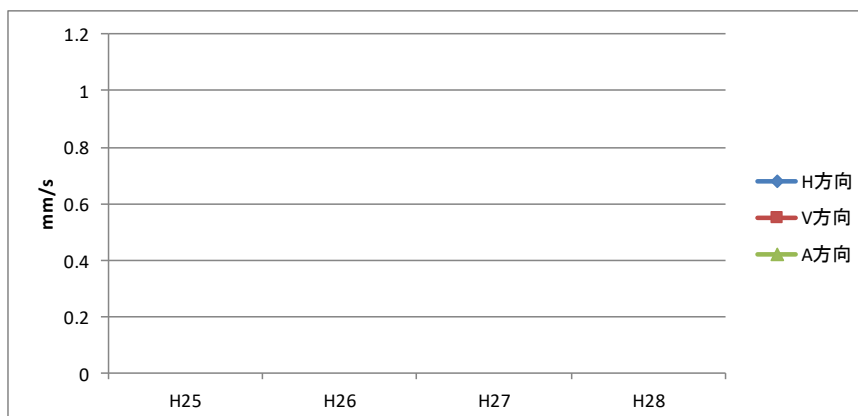
要素	仕様項目	数値	振動原因	周波数(Hz)	周波数発生有無
主軸			アンバランス	0.0000	
主軸			ミスアライメント	0.0000	
滑り軸受			摩耗	0.0000	
転がり軸受			損傷等		
主電動機出力軸	ピッチ径		外輪軌道面		
アンギュラ玉軸受	ボール径		内輪軌道面		
●●●●●●●●	接触角		保持器		
	玉数		玉・コロ		
転がり軸受			損傷等		
単列円筒ころ軸受	ピッチ径		外輪軌道面		
○○○○○○○	ボール径		内輪軌道面		
	接触角		保持器		
	玉数		玉・コロ		
転がり軸受			損傷等		
自動調心ころ軸受	ピッチ径		外輪軌道面		
◎◎◎◎◎◎	ボール径		内輪軌道面		
	接触角		保持器		
	玉数		玉・コロ		
転がり軸受			損傷等		
玉軸受	ピッチ径		外輪軌道面		
△△△△△△	ボール径		内輪軌道面		
	接触角		保持器		
	玉数		玉・コロ		
			損傷等		
	ピッチ径		外輪軌道面		
	ボール径		内輪軌道面		
	接触角		保持器		
	玉数		玉・コロ		
歯車	入力回転数(rpm)	#DIV/0!	入力軸周波数	#DIV/0!	
	入力軸歯数		中間軸周波数	#DIV/0!	
	中間軸入力歯数		噛み合い周波数	#DIV/0!	
	中間軸出力歯数		出力軸周波数	0.0000	
	出力軸歯数		噛み合い周波数	0.0000	○
	出力回転数(rpm)	0.0000			

対前年度比較

機器名	主電動機
-----	------

経年変化(傾向管理)比較

主電動機速度rms値
出力軸側



× × × 水門 ●●●設備
漏洩電流計測結果 報告書

平成▲▲年■月

関東技術事務所

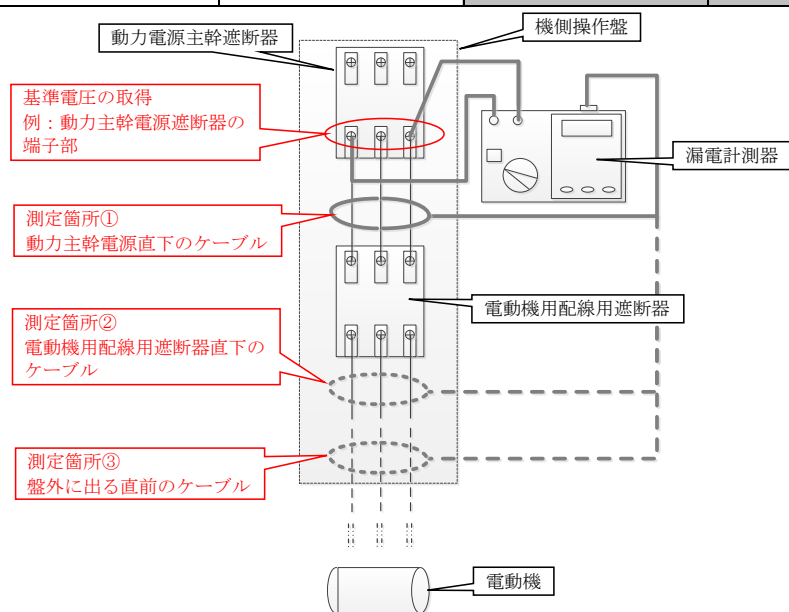
計測環境

計測日時	平成28年5月19日	13:00~14:00	温度・湿度	〇〇℃ 〇〇%
計測者	●●●事務所	加藤		

計測対象

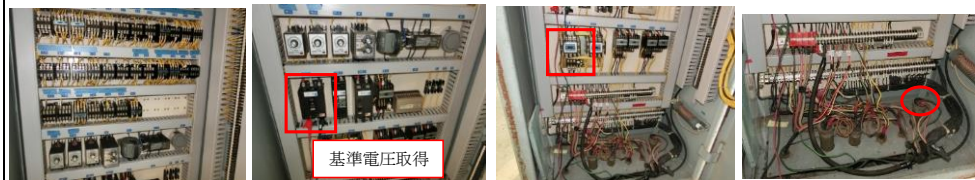
×××水門	主電動機	機側操作盤		
運転時間	13:15			
	~			
	13:40			
型式	×××-×××			
電源	三相交流			
定格容量[kW]	1.5			
定格電圧[V]	200			
定格電流[A]	7			
周波数	50			
極数	6			
電磁ブレーキ	有り			

計測位置・方向



特記事項

現場写真



外観

動力主幹電源

動力主幹電源直下

盤外直前

設備計測結果

	計測箇所		
計測項目	動力主幹電源直下	電動機用配線用遮断器直下	機側操作盤外に出る直前
Igr			
Io			

設備診断結果

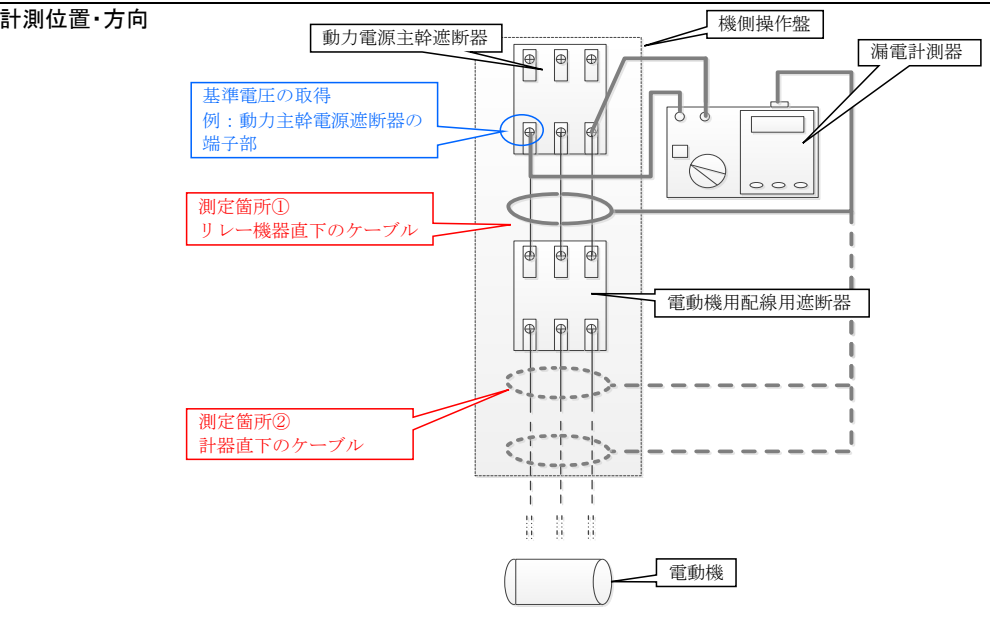
「計測結果」を基に、当該設備の状態を、以下のように推定する。

計測箇所	診断結果	所見
動力主幹電源直下		
電動機用配線用遮断器直下		
機側操作盤外に出る直前		
その他所見		

診断結果 Igr(Io)評価基準

凡例	○	1mA以下	健全な状態と判断される
	△	1mA超過 10mA以下	機器の劣化が予想されるので、今後の経過を観察する必要がある
	×	10mA超過	機器の故障、著しい劣化が予想され、劣化状況判定または機器の取替検討が必要

設備計測再計測位置



設備計測結果

計測項目	Igr	Io
リレー機器直下		
計器直下		

設備取替検討結果

「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。

不具合機器	検討結果	所見

検討結果 Igr(Io)評価基準

健全な状態と判断される		
凡例	○	1mA以下
	△	1mA超過 10mA以下
	×	10mA超過
		機器の劣化が予想されるので、今後の経過を観察する必要がある 機器の故障、著しい劣化が予想され、劣化状況判定または機器の取替検討が必要

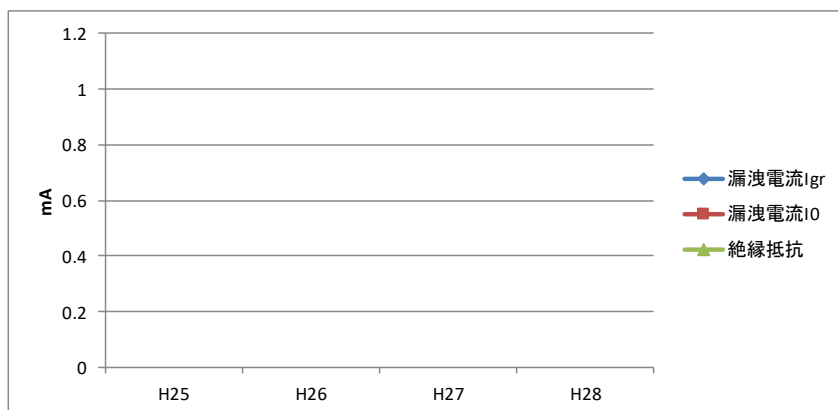
対前年度比較

機器名	主電動機
-----	------

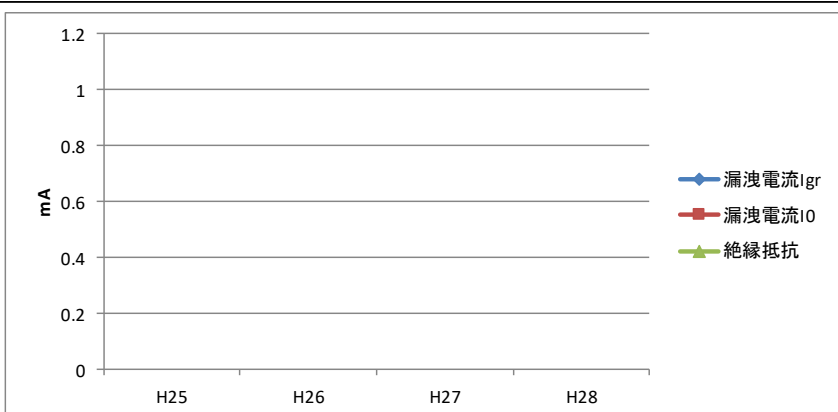
※備考:

経年変化(傾向管理)比較

電動機
開操作時



電動機
開操作時



漏洩電流 計測結果

測定項目/測定機器		__号ゲート				__号ゲート			
		機側操作室内 (電源主幹)	機側操作室内 (電動機用配線用遮断器)	機側操作室内 (盤外直前)	電動機直前	機側操作室内 (電源主幹)	機側操作室内 (電動機用配線用遮断器)	機側操作室内 (盤外直前)	電動機直前
【開操作時】 測定1回目	漏洩電流 I_{gr} [mA]								
	抵抗分+静電容量分 I_0 [mA]								
	絶縁抵抗 [Ω]								
【開操作時】 測定2回目	漏洩電流 I_{gr} [mA]								
	抵抗分+静電容量分 I_0 [mA]								
	絶縁抵抗 [Ω]								
【閉操作時】 測定1回目	漏洩電流 I_{gr} [mA]								
	抵抗分+静電容量分 I_0 [mA]								
	絶縁抵抗 [Ω]								
【閉操作時】 測定2回目	漏洩電流 I_{gr} [mA]								
	抵抗分+静電容量分 I_0 [mA]								
	絶縁抵抗 [Ω]								

× × × 水門 ●●●設備
板厚計測結果 報告書

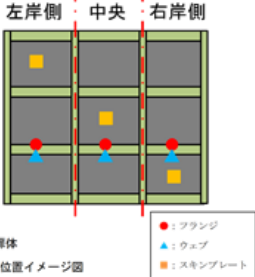
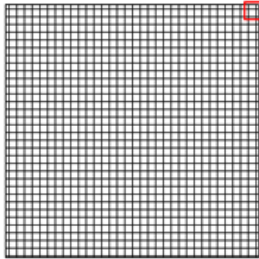
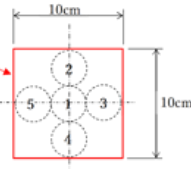
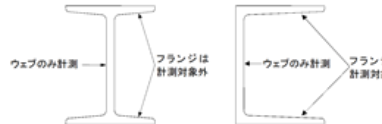
平成▲▲年■月

関東技術事務所

電動機仕様・計測箇所

計測日時	平成28年5月19日	13:00～14:00
計測者	●●●事務所	加藤

×××水門	スキンプレート			
運転時間	13:15			
	～			
	13:40			
型式	プレートガード構造ローゲート			
材質	SS400			
径間[m]	6.00			
扉高[m]	3.00			
設計板厚[mm]	10.00			
設計塗膜厚[μm]	0.355			
許容応力[Mpa]	●●●			
区画数(抜取率5%)	150			

計測位置・方向	左岸側 中央 右岸側  断体 位置イメージ図 ● : フランジ ▲ : ウェブ ■ : スキンプレート 100cm 計測対象面積 100cm×100cm = 10,000cm² 1区画 = □10cm = 10cm×10cm = 100cm² よって、 10,000cm²÷100cm² = 100 区画 抜取率 5% 100 区画×5% = 5 区画 100cm 抜取率 5%イメージ  計測対象 (板材および形鋼)  計測範囲 (1区画 = □10cm) 標準測点配置および計測要領例  ウェブのみ計測 フランジは計測対象外 ウェブのみ計測 フランジは計測対象外 計測対象外となる部位 (テーパ加工フランジの場合)			
---------	--	--	--	--

特記事項				
------	--	--	--	--

現場写真	  外観			
------	--	--	--	--

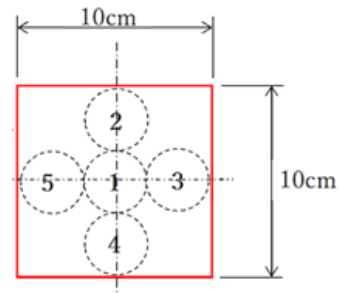
--	--	--	--	--

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	スキンプレート	
異常項目	診断	所見
スキンプレート 全面	○	
その他所見		

凡例 ○ 状態は良好で、整備の必要はない
 △ 劣化傾向が見られるので、今後の経過を観察する必要がある
 × 大きく劣化しており、整備が必要
 ? 仕様が不明なため判断不能

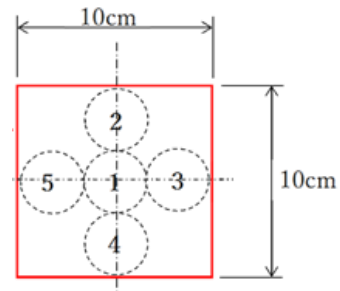


×××水門①

区画	①	②	③	④	⑤	AVG.
1	13.3	13.47	13.48	13.35	13.46	13.412
2	13.46	13.42	13.49	13.44	13.4	13.442
3	13.93	14.16	14.05	13.9	13.86	13.98
4	13.75	13.83	13.8	13.91	13.66	13.79
5						0
6						0
7						0
8						0
9						0
10						0
11						0
12						0
13						0
14						0
15						0
16						0
17						0
18						0
19						0
20						0

ウェブの場合 $\alpha = 1.4$ 、スキムプレートの場合 $\alpha = 0.9$

平均板厚	13.656
標準偏差	0.239
α	0.9
有効板厚	13.441

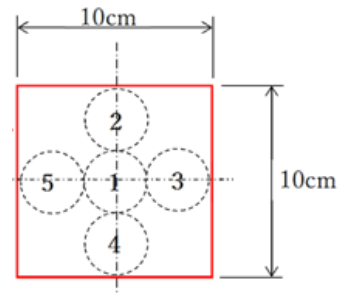


× × × 水門②

区画	①	②	③	④	⑤	AVG.
21						0
22						0
23						0
24						0
25						0
26						0
27						0
28						0
29						0
30						0
31						0
32						0
33						0
34						0
35						0
36						0
37						0
38						0
39						0
40						0

ウェブの場合 $\alpha = 1.4$ 、スキムプレートの場合 $\alpha = 0.9$

平均板厚	13.656
標準偏差	0.23888491
α	0.9
有効板厚	13.441

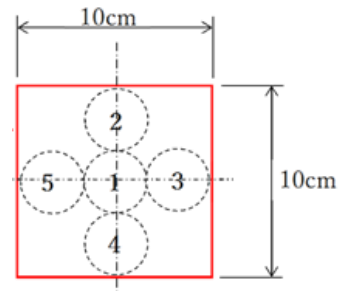


×××水門③

区画	①	②	③	④	⑤	AVG.
41						0
42						0
43						0
44						0
45						0
46						0
47						0
48						0
49						0
50						0
51						0
52						0
53						0
54						0
55						0
56						0
57						0
58						0
59						0
60						0

ウェブの場合 $\alpha = 1.4$ 、スキムプレートの場合 $\alpha = 0.9$

平均板厚	13.656
標準偏差	0.23888491
α	0.9
有効板厚	13.441

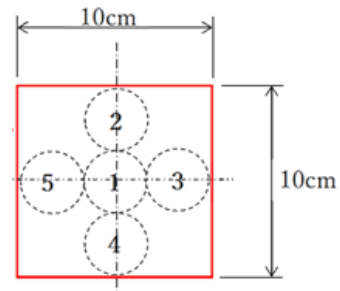


× × × 水門④

区画	①	②	③	④	⑤	AVG.
61						0
62						0
63						0
64						0
65						0
66						0
67						0
68						0
69						0
70						0
71						0
72						0
73						0
74						0
75						0
76						0
77						0
78						0
79						0
80						0

ウェブの場合 $\alpha = 1.4$ 、スキムプレートの場合 $\alpha = 0.9$

平均板厚	13.656
標準偏差	0.23888491
α	0.9
有効板厚	13.441



×××水門⑤

区画	①	②	③	④	⑤	AVG.
81						0
82						0
83						0
84						0
85						0
86						0
87						0
88						0
89						0
90						0
91						0
92						0
93						0
94						0
95						0
96						0
97						0
98						0
99						0
100						0

ウェブの場合 $\alpha = 1.4$ 、スキムプレートの場合 $\alpha = 0.9$

平均板厚	13.656
標準偏差	0.23888491
α	0.9
有効板厚	13.441

× × × 水門 ●●●設備
温度分布計測結果 報告書

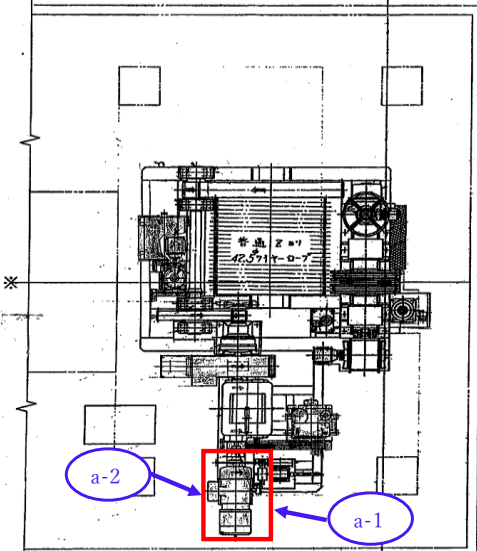
平成▲▲年■月

関東技術事務所

電動機仕様・計測箇所

計測日時	平成28年5月19日	13:00～14:00	温度・湿度	〇〇℃ 〇〇%
計測者	●●●事務所	加藤		

×××水門	主電動機			
運転時間	13:15			
	～			
	13:40			
型式	×××-×××			
電源	三相交流			
定格容量[kW]	1.5			
定格電圧[V]	200			
定格電流[A]	7			
周波数	50			
極数	6			
電磁ブレーキ	有り			

計測位置・方向				
---------	---	--	--	--

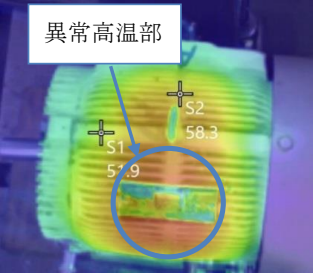
特記事項				
------	--	--	--	--

現場写真				
	a-1からの撮影	a-2からの撮影	温湿度計の測定状況	

--	--	--	--	--

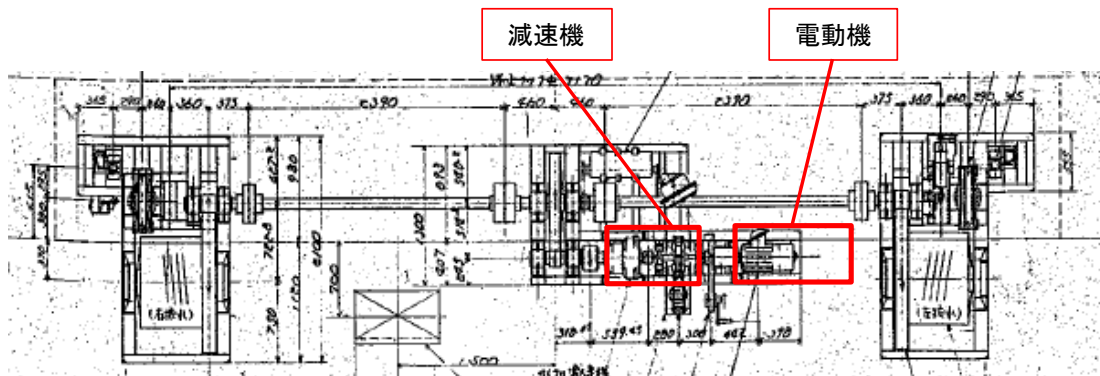
設備診断結果

別様に示す、「計測結果」「温度分布画像」を基に、当該設備の状態を、以下のように推定する。

機器名	主電動機	
異常項目	診断	所見
	×	当該箇所のみ周辺温度に対して高温となっており、分解のうえ、内部状況の確認が必要と考えられる。
その他所見		

凡例	○	状態は良好で、整備の必要はない
	△	劣化傾向が見られるので、今後の経過を観察する必要がある
	×	大きく劣化しており、整備が必要
	？	仕様が不明なため判断不能

× × × 水門 ○ 号

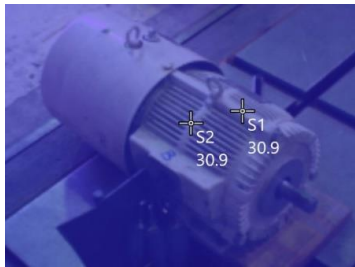
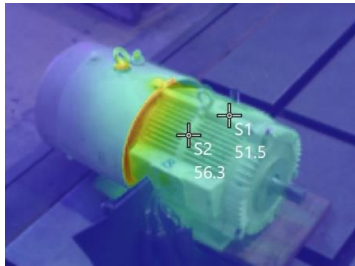
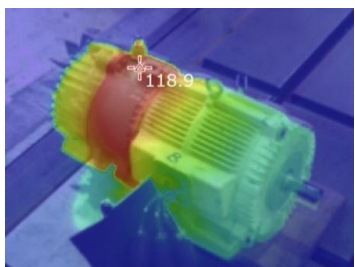


対象物	操作	測定タイミング	サーモグラフィ	
			①	②
			写真保存No.	写真保存No.
電動機	閉操作	運転前		
	開操作	運転直後		
減速機	閉操作	運転前		
	開操作	運転直後		

機器名	〇号 主電動機
測定機器	

解析時パラメータ

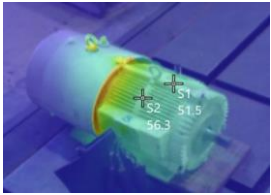
放射率(1.00～0.00)	
透過率(1.00 ～0.00)	
計測対象物と測定機器間の距離	
解析温度範囲	

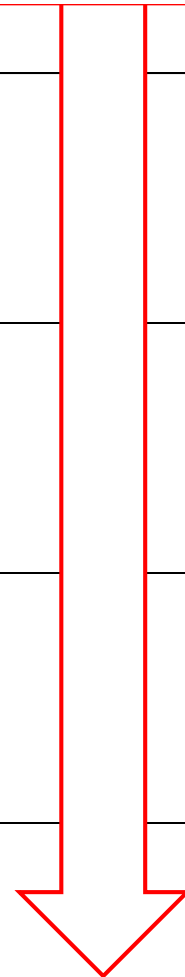
測定タイミング	方向a	方向b
運転前 15:20		
運転直後 15:30		
カバー無 15:35		

: 熱電対の測定箇所および最高温度と同位置の温度[°C]
: 測定画像内、もしくは、測定対象機器の最高温度[°C]

所見

機器名	○号 主電動機
測定機器	

測定日	方向a	方向b	解析時のパラメータ
○月○日			測定機器: _____ (_____), 放射率: _____, 透過率: _____, 対象物との距離: _____m程度, 解析温度範囲: _____℃～ _____℃ その他: _____, _____, _____
○月○日			基本は、一回目のパラメータと同様にして解析するが、解析温度範囲等は必要に応じて変更し、その値を記録しておく。
○月○日			
○月○日			
○月○日			
○月○日			



9. 参考資料

9.1. 精密診断技術（既存）の有用性検証

本項では、河川用ゲート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、河川用ゲート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。事例は、振動計測と電流情報診断の2つの精密診断技術のものである。

事例のうち、電流情報診断は、本マニュアル（案）において記載の無い精密診断技術であるが、河川ポンプ設備のうち、救急排水機場で使用されるコラム型水中ポンプの精密診断技術として提案されている。そのため、コラム型水中ポンプ同様に電動機を使用する河川用ゲート設備への適用性も高いと考えられるため、有用性の検証を実施したものである。

なお、検証を行うにあたり、電流情報診断の計測手法等に関しては、「電流情報診断によるコラム形水中ポンプ 状態監視ガイドライン（案）」を参考とした。

9.1.1. 振動計測

振動計測は、計測対象機器より生じている機械振動（加速度）を計測し、計測した振動データに基づき、当該機器の故障の検出及び劣化状況の判定を行う。更新前後の振動値を比較することで、有用性を検証した。

減速機の振動計測を実施し、以下に更新前後の振動値のグラフ、増減率を示す。

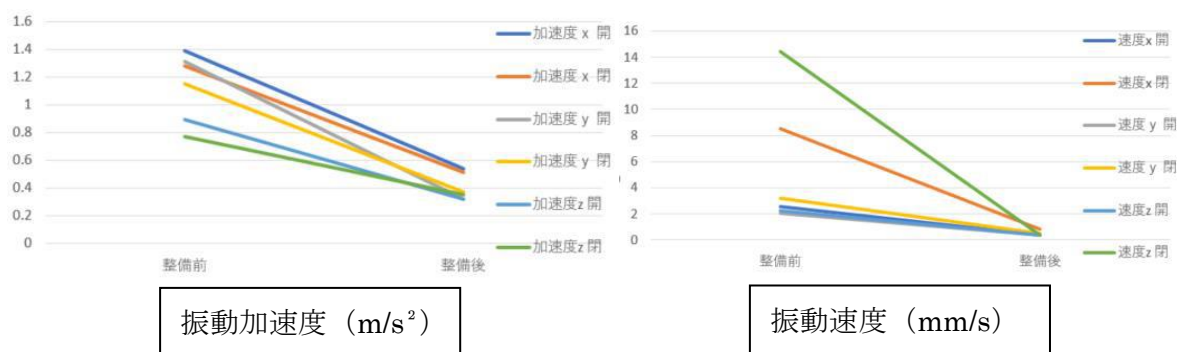


図 9.1-1 減速機振動値グラフ（入力軸）

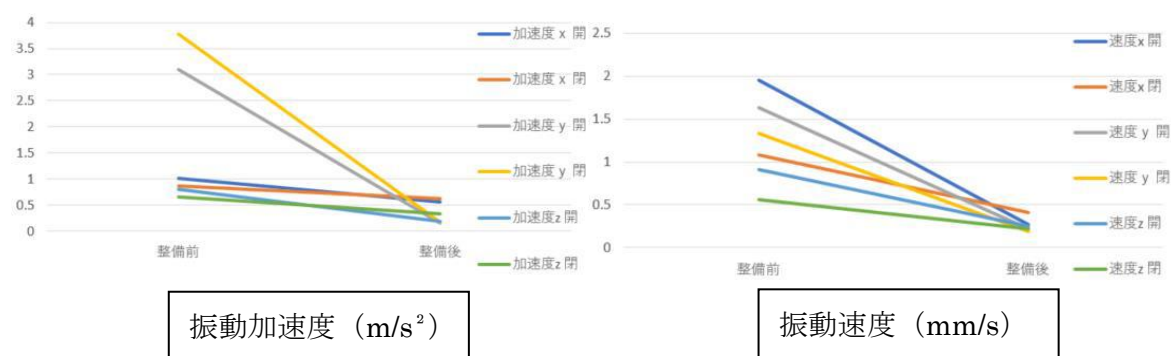


図 9.1-2 減速機振動値グラフ（出力軸）

表 9.1-1 減速機振動増減率（整備前／整備後）

	入力軸		出力軸	
	開操作	閉操作	開操作	閉操作
加速度X	2.57	2.51	1.82	1.40
加速度Y	4.09	3.11	19.31	20.94
加速度Z	2.78	2.20	4.21	1.97
速度X	7.14	10.24	7.22	2.63
速度Y	5.91	6.27	7.41	7.00
速度Z	6.43	37.89	3.64	2.55

9.1.2. 電流情報診断

電流情報診断は、電源周波数の両端に現れる側帯波の大きさを確認することにより、機器の状態監視を行う。確認する側帯波は主に、電動機の回転しバーの損傷に影響を受ける側帯波（ L_{pole} ）、及び回転子軸への異常負荷に影響を受ける側帯波（ L_{shaft} ）となる更新前後の側帯波の値を比較することで、有用性を検討した。

電動機の電流情報診断を実施し、更新前後の結果について以下に示す。

L_{shaft} の値がゲート下降時に危険レベルに達している。これはブレーキ使用による回転軸への負荷の増加、もしくは電流値 I_{rms} が定格の半分以下であることによりモータ回転軸が安定していないことが原因と考えられる。よって、数値は危険レベルではあるが、運転に影響はないと判断する。

更新前後の L_{pole} 上昇時の値を比較すると、更新工事後に大きく改善している（値が大きくなっている）。これは モータの更新に伴い回転子の状態が改善したことを示唆している。なお、ゲート下降時については、モータ回転子のすべりが小さく L_{pole} が算出できていない。 L_{pole} の値は、更新工事後に改善されている。

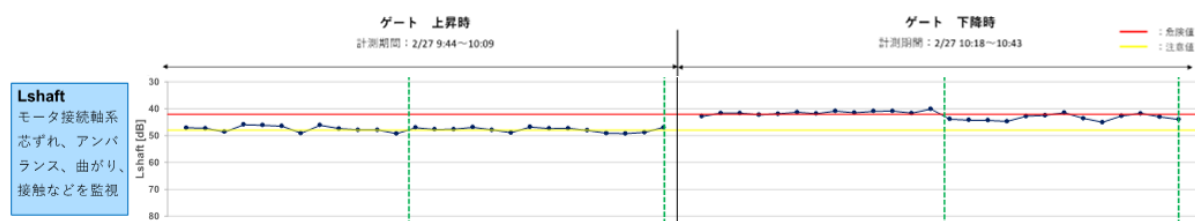


図 9.1-3 更新工事後の L_{shaft} 時間変化

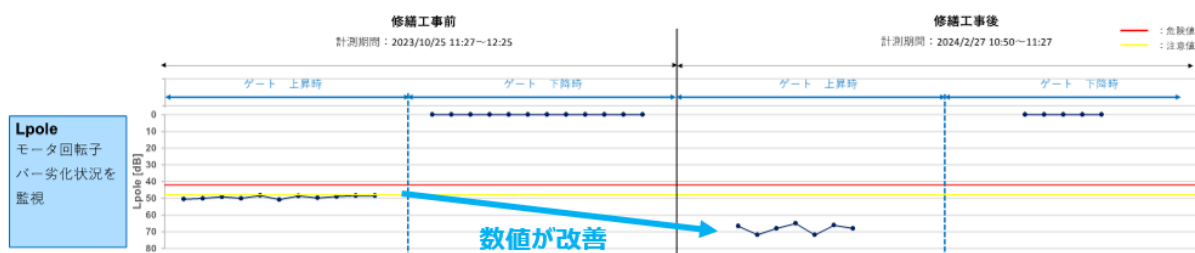


図 9.1-4 更新工事前後の L_{pole} の変化

9.1.3. 精密診断結果の評価

(1) 振動計測

- 開閉装置関連機器を全更新しているため、機器全体の健全度は向上し、整備前と比べ、整備後の振動値は低くなっており、精密診断としての有用性を検証した。
- 振動計測では、経年の傾向をつかみデータを蓄積していくことが重要である。

(2) 電流情報診断

- 更新前後の L_{pole} 上昇時の値を比較すると、更新工事後に大きく改善している（値が大きくなっている）。これは モータの更新に伴い回転子の状態が改善したことを示唆している。 L_{pole} の値は、更新工事後に改善されており、精密診断としての有用性を検証した。
- 電流情報診断では、電動機に異常がないことは確認できるが、根本原因を把握できないため、振動計測や温度計測等の診断技術と組み合わせることで、不具合原因を探るためには有効だと考えられる。
- 電流情報診断ではゲート開閉時の電流データのみを計測、解析することにより、電氣的、機械的な状態の監視、異常の検知に利用可能な技術であり、電流値に異常の兆候が現れ始める場合もあることから、常設できれば異常の早期発見につながる可能性がある。