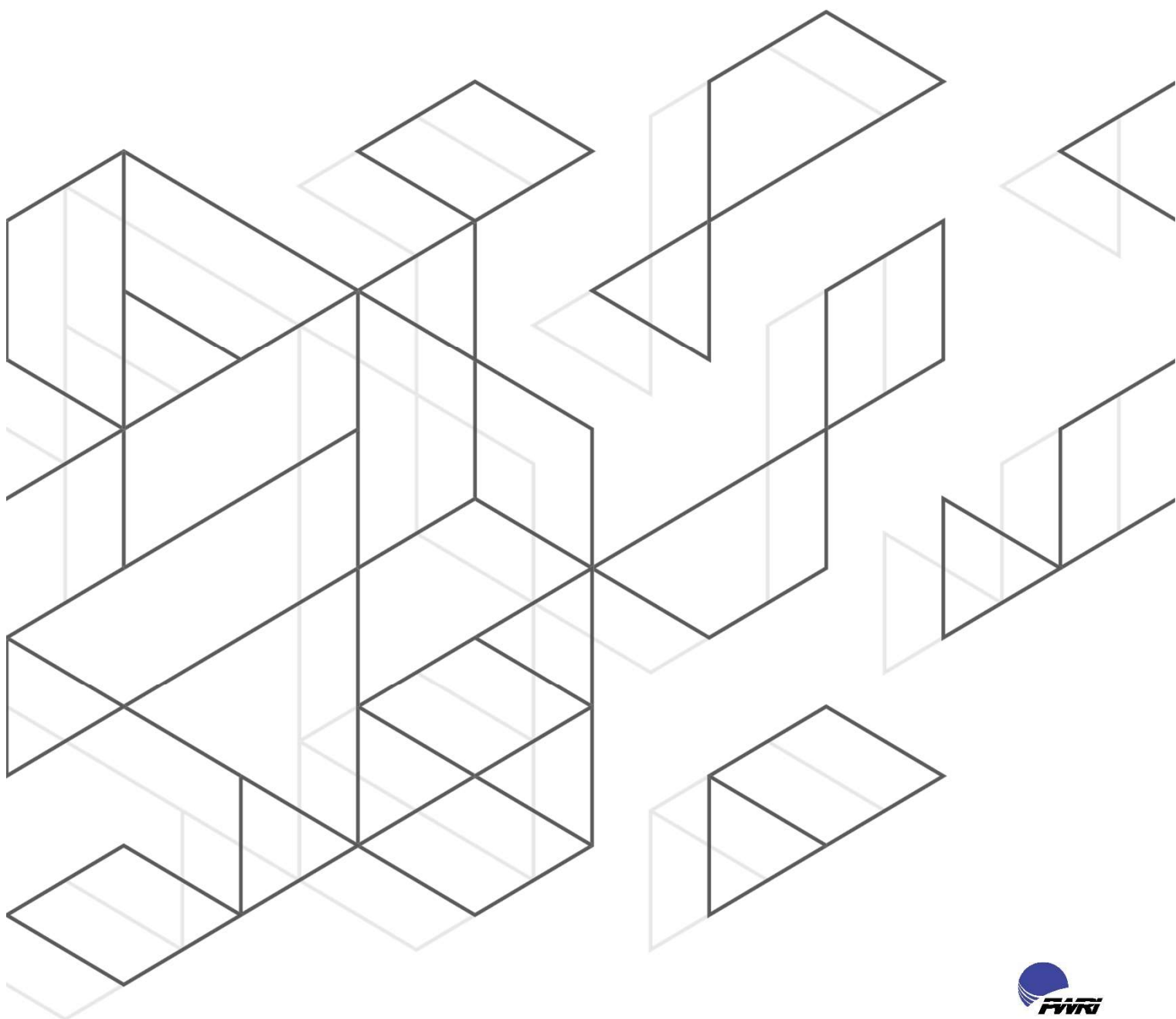


維持管理しやすい 機械設備構造

事例集





はじめに

本事例集は、河川管理施設の実務担当者の維持管理に役立つ技術的アイデアや活用できる具体事例をとりまとめたものです。特に、排水機場ポンプ設備の状態監視に関する内容を中心に記載しています。本書を活用することで、日頃から維持管理に携わっている方々の利便性が向上し、作業の効率化や迅速化、計測精度向上などに貢献できれば幸いです。

また、設備メーカーの皆様におかれましてはユーザー目線での設備設計という観点で、参照頂ければ幸いです。

目次

第1章 新たな点検・診断技術について

新たな点検・診断技術について	04
----------------	----

第2章 新たな点検診断技術と、それに対応した設備構造

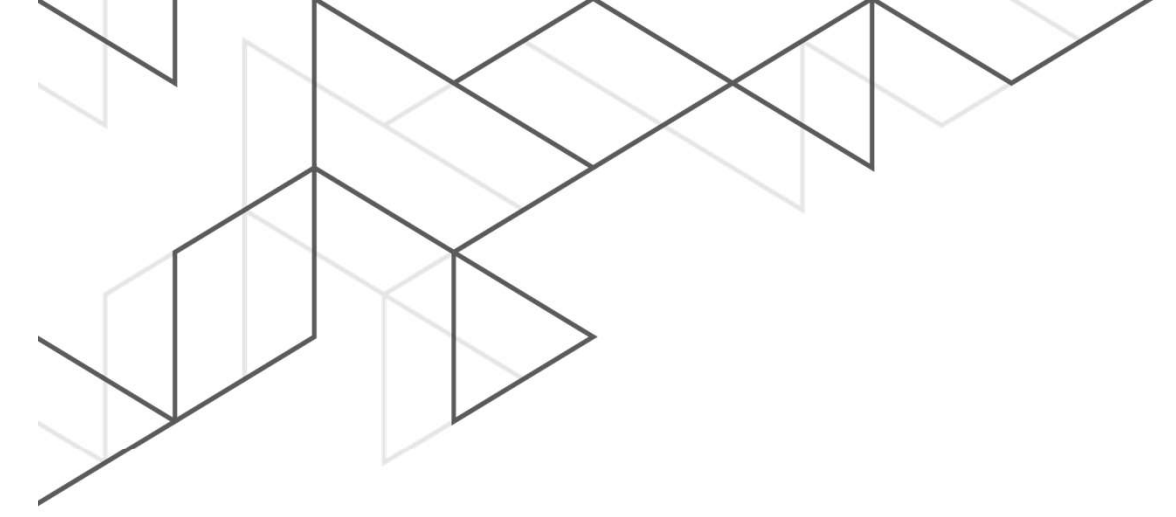
1. 排水機場	
①主ポンプ	07
②原動機	
・原動機	09
・ディーゼル機関	10
③主機関 共通	12
④主ポンプ・原動機・減速機	13

第3章 点検整備／維持管理が困難な設備構造例と対策案

1. 排水機場	
①ポンプ・原動機・減速機	15
②原動機	
・ディーゼル機関	16
・ガスタービン	17
④全体（機器配置）	18
⑤冷却系統	22
排水機場 対策案まとめ	23

参考資料

1. 渦電流変位計資料	26
2. 横軸ポンプ用渦電流変位計取付治具	35
3. 内視鏡診断事例	38
4. 潤滑油分析による診断結果	42
5. サーモグラフィ	52
6. メーカー独自の技術開発事例	57



第1章
新たな点検・診断技術
について



新たな点検・診断技術について

軸振動計測（渦電流変位計）

**適用：排水機場ポンプ設備
（主ポンプ）**

ポンプ設備のポンプ主軸の軸振動計測は、振動源である軸の動きを直接捉えることから、異常兆候の早期把握に有効であり、「状態監視ガイドライン（案）」でも計測項目の一つとしてあげられている。

軸振動変位の計測値から主軸に関する異常兆候を、振動の時刻歴波形を解析することで、異常の程度と異常部位の推定を行うことができる。

軸振動計測に用いる渦電流変位計の取り付けについてはP25に、仕組みや診断方法等については、巻末の参考資料に技術資料として掲載している。

機場モニタリングシステム等

**適用：排水機場ポンプ設備
（原動機、減速機、主ポンプ）**

排水機場の予知保全や、早期故障予兆把握のため、振動等の各種データをオンラインで収録し診断を行うシステムが検討されている。

メーカーでは、船舶の内燃機関で展開されている「メンテナンス支援システム」が実用化されており、土木研究所では各種モニタリングデータをAIにより診断する手法について研究を進めている。

電流診断

**適用：電動機
（主としてコラム型水中モータポンプ）**

電流情報診断は、誘導電動機電流特徴解析（Motor Current Signature Analysis）に基づき、三相誘導電動機の電流波形を解析することで、機器の異常を検出する技術である。

計測は、クランプ式電流センサーを用いて行うため、非常に容易である。また、計測対象機器に近づく必要がないことから、救急排水機場で使用されるコラム形水中ポンプの診断に有効と目され、寒地土木研究所で活用に向けて研究を進めている。

詳細は、寒地土木研究所HPの「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）」を参照。

[\(http://kikai.ceri.go.jp/\)](http://kikai.ceri.go.jp/)」を参照。

潤滑油分析等

**適用：排水機場ポンプ設備
（原動機、減速機）**

潤滑油分析は、潤滑油自体の劣化度合いの判断と、機械設備の内部摩耗状態の把握とが行える。特に原動機、減速機の診断に有効とされる。

傾向管理には、ポータブルの鉄粉濃度計の活用が有効であり、オンライン式の鉄粉濃度計の有効性について、現在（R3時点）土木研究所で検証中である。

また、船舶の内燃機関では、オイルミスト量による傾向管理が実用化されている。

以上、潤滑油分析の詳細と、潤滑油分析を行うためのサンプル採油方法、オイルミストによる傾向管理については、巻末の参考資料に技術資料として掲載する。



新たな点検・診断技術について

熱電対による気筒温度計測

適用：排水機場ポンプ設備
(ディーゼル原動機)

ポンプ設備のディーゼル機関の各気筒排気温度計測は、燃焼状態を把握する重要な項目であり、現在の点検項目にもなっている。通常は棒温度計の目測で行われているが、熱電対による計測とデータ記録もされている場合がある。

目新しい手法ではないが、計測の確実性と省力化の面では非常に有効な手法である。

熱電対の取り付けに難がある事例があるので、P8に記す。

なお、熱電対は経年の使用により、センサ部にカーボンが付着すると感度が鈍るので、定期的な清掃が望ましい。

メンブランパッチによる潤滑油
汚染度診断

適用：樋門、水門開閉装置

水門設備やダム用ゲート設備などの、大型河川用機械設備の状態監視手法の中で、特に設備の劣化の早期発見を可能とする潤滑油診断の簡易診断の手法の1つとして検討した技術である。

潤滑油をメンブランフィルターでろ過することで、中に含まれる不純物がメンブランフィルターで越取られる。不純物を越取ったメンブランフィルターに光を当て、透過光及び反射光のRGB色相を計測することで、潤滑油の汚染度合いを診断する。

詳細は、寒地土木研究所HPの「メンブランパッチを用いたRGB色相による潤滑油ガイドライン（案）」

(<https://kikai.ceri.go.jp/download/junkatsu/>)」を参照。

サーモグラフィ

適用：異常時に過熱する
部位全般（軸受、配線等）

サーモグラフィは、撮影対象の熱分布を画像として表示するものである。機器の過熱状態の把握が可能となる。

一般的な設備点検では、軸受異常や配線の緩みの発見などの活用事例があり、土木機械設備の点検にも有効と考える。

活用に当たっての注意点は下記があげられる。

- 監視対象の撮影の際は、対象物と正対した位置で撮影する。
- ピントがずれると正確な計測ができないので、ピントは確実に合わせる。
- サーモグラフィは熱分布を見るもので、表示される温度の数値計測を行うものではない（数値は参考値で、必ずしも正確ではない）ことに注意する。

内視鏡の活用
排気ガス組成計測適用：排水機場ポンプ設備
(原動機)

内視鏡による装置内部の観察は、構造上直接目視できない箇所を目視確認する技術で、一般の機械類で行われている事例が多くあり、排水機場ポンプ設備でも、ガスタービンエンジンや主ポンプでも活用されている。

また、内燃機関の排気ガス組成は、例えば不完全燃焼が多く発生すると一酸化炭素が多く排出されるなど、燃焼状態の把握に有効と目され、土木研究所で活用に向けて研究を進めているが、排気ガス組成の計測のためのセンサ投入孔が排水機場には備わっていない。

ここでは、これらの技術のディーゼル機関への活用の事例と内部への投入方法の検討事例をp.〇に示す。



第2章

新たな点検診断技術と、 それに対応した設備構造

1. 排水機場





① 主ポンプ

ポンプメーカーの技術開発

主ポンプに関しては、点検診断や維持管理しやすい設備構造について、水中軸受の摩耗や羽根車・ケーシング間のクリアランスの測定、内視鏡点検しやすい構造など、各ポンプメーカー独自の技術開発が進んでいる。

ここでは、各ポンプメーカーの技術開発事例について紹介する。

■ メーカー独自の技術開発事例（詳細は巻末の「参考資料」を参照）

先進事例名	メーカー名	概要	備考
水中軸受診断システム EGウォッチャー	(株)石垣	水中軸受部近傍で水中軸受と軸スリーブの隙間で発生するポンプ運転中の半径方向の変位量を、センサと軸スリーブ表面の距離で計測し、その値から軸受部の摩耗量を計測するシステムである。	NETIS番号 SK-150007-A
楽々点検ポンプ	(株)荏原製作所	楽々点検ポンプは、水中軸受を羽根車下方のベルマウス部に設けることで、ポンプを据え付けたまま水槽内部からの点検・交換を可能とし、作業期間の短縮及び費用負担の縮減を実現した。	NETIS番号 KT-110053-A
GENSO	クボタ機工(株)	ポンプにカメラ診断専用窓「GENSO」を取り付けて内視鏡カメラ診断を行う事で、①ポンプ内部状況確認にかかる費用の低減、②ポンプ設備のLCC（ライフサイクルコスト）低減を実現した。	第2回 インフラメンテ ナンス 大賞特別賞受賞
スリップライナー229	クボタ機工(株)	吸込ライナーにスリップラインを埋め込み、摩耗・劣化により肉厚が任意の値まで減ってくればスリップサインが出現する技術である。	
メンテナンス支援システム 「CMAXS」	ダイハツ ディーゼル(株)	複数の内燃機関および主要機器の予防保全を統一のプラットフォームで行う。	
羽根厚み&ギャップ 計測システム	(株)電業社機械 製作所	立軸ポンプの水中軸受について、ポンプを分解することなく摩耗状況を把握する技術である。	NETIS 番号 CB-190008-A
ベアドクター	(株)西島製作所	ポンプを引き上げなくても摩耗測定はもちろんキズ、割れなどを外部より診断できる装置である。	NETIS番号 KK-100003-A (2016.10掲載終了)

メーカー名五十音順

※各メーカー独自の技術開発事例の内容は巻末「参考資料」を参照

1. 排水機場

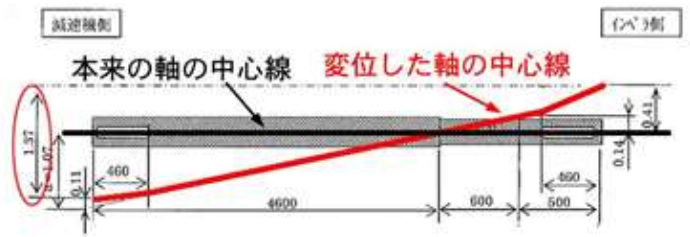
① 主ポンプ

軸振動変位の計測（渦電流変位計の設置）

河川ポンプ設備では、軸振動変位の計測は主流とはなっていないが、下記に示すように従来手法では把握できなかった主ポンプ設備の異常兆候を発見するなど有効性が確認されているほか、「点検整備更新マニュアルでも、計測推奨項目にあげられている。

軸振動変位計測の有効性

軸振動計測により、ある機場のポンプ主軸に
1. 37mmの曲がりがあったのを発見した（許容量は
0.12mm）。



即座に整備計画を変更し、当該設備を整備した。

振動計測 （従来手法）

整備前（曲がり有り）と後（曲がり修正後）で、振動値があまり変わらない（いずれも許容値80 μ mを下回っている）。
↓
従来の振動計測では異常をとらえられなかった。

計測部位	計測方法	計測条件	X方向	Y方向	Z方向
減速機下部	ポータブル振動計	整備前	6	11	20
		整備後	5	10	15
主ポンプケーシング	ポータブル振動計	整備前	5	6	18
		整備後	4	2	15
軸振動	渦電流変位計	整備前	600		
		整備後	100		

単位： μ m (p-p)

軸振動計測

整備前と後で大きく軸振動値が異なる。
↓
軸振動の直接計測では明確にその異常をとらえている。

振 動

振動源からポンプケーシングに振動が伝わる。ポータブル振動計を用いて、振動の大きさを計測する（従来の点検で実施）。



軸 振 動

振動源の一つである軸の動き（ふれ回り）そのもの渦電流式変位計などの非接触センサで軸の動きを計測する。



この他、軸振動変位の時系列データ（運転開始から停止までの振動波形の計測、記録）を行い、解析することで、ポンプのどこの部位（主軸、水中軸受、羽根車）がどの程度劣化摩耗しているのかを推定できる。

- この手法は、主軸露出部にセンサを取り付けて計測するものであるが、下記の難点がある。
 - 土研の研究時は、計測時にセンサ（渦電流変位計）を仮設して毎回脱着していたが、毎回の校正に時間を要し、また完全に同一箇所に設置はできないので厳密な傾向管理としては不適切であった。
 - ポンプケーシングや軸封部の構造によってはセンサ設置が難しい事例があった。
- 以上から、**軸振動変位計測を導入する場合は、ポンプ新設または改造の際に、センサの軸露出部への常設を提案する。**

また、センサを仮設しての計測の際の、横軸ポンプを対象として検討した取付治具に関して、巻末の参考資料に収録した。



1. 排水機場

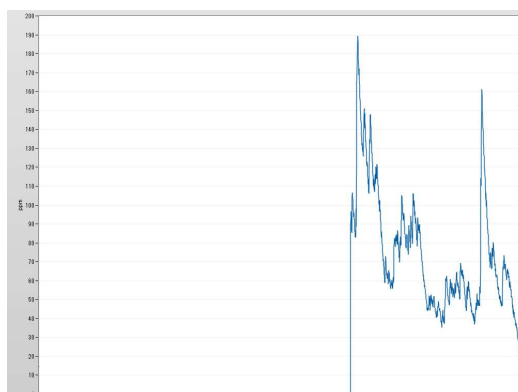
② 原動機

オンライン鉄粉濃度計の設置

- 土木研究所では、原動機の状態監視のうち、潤滑油分析の手法の一つとして、船用機関で活用されているオンライン鉄粉濃度計の排水機場での適用性を検証している。
- 検証は現在実施中だが、今後同様の機器を活用する際の、取り付けに関する注意点について記す。

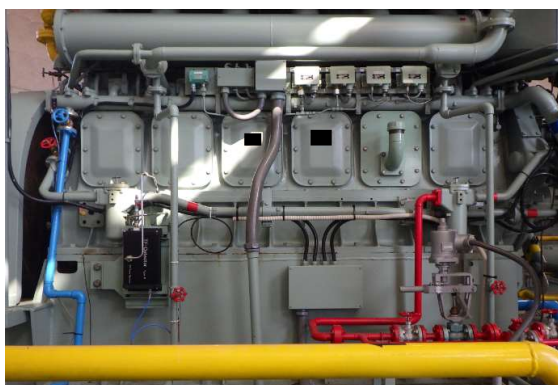
事例

- オンライン鉄粉濃度計を設置した直後の試運転で、計測値が大幅に変動し、正確な値が読み取れない状態となった（左図）。
- 原因は、オンライン鉄粉濃度計を原動機に直接設置したが、原動機の振動によりオンライン鉄粉濃度計も大きく振動したため、濃度解析に影響が出たものと推定される。



対策

- オンライン鉄粉濃度計の設置位置を、原動機本体ではなく直近に画題を設けてそこに移設した。振動計測により原動機からの振動伝搬が少ないことと、実際の計測の際は正常値を出力していたことを確認した。



当初の位置



変更した位置

注意点

- オンライン鉄粉濃度計に限らず、計測機器類を新たに設置する際は、振動や熱の影響を受けて正確な計測ができない場合があるので、それらの影響の有無の確認と、影響を受ける可能性がある場合はその対策を検討する。



1. 排水機場

② 原動機 ディーゼル機関

内視鏡診断（過給機）

実施の目的

過給器内の摩耗、腐食の確認した。

内視鏡投入箇所

投入箇所は、過給器本体で適切な箇所がないことがほとんどなので、排気管にある貫通ボルト（過給器出口排気温度計用（下の写真赤丸）、温度計がある場合はそれを外す）を利用する。なければ過給器本体ではなく排気管を加工することが、簡便安価な手法と考える。その場合、下記に留意する。

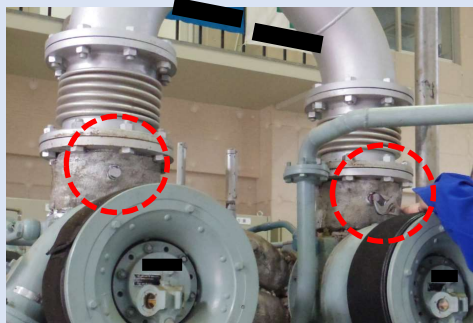
なお、過給器の診断については、内視鏡だけでなく、目視や異音等その他の方法と合わせて総合的に行うこととする（内視鏡では観察できない死角があるので、万能ではないことに留意）。

排気管加工の際の留意点

排気管のなるべく過給器に近い側に、投入孔（貫通ボルト等）を設けることを検討する。その際は、下記の点に留意する。

- ・ ボルトが脱着しやすいこと。
- ・ 内視鏡の取り回しがしやすい位置であること。

内視鏡投入箇所と投入事例



〈内視鏡投入箇所例〉



〈内視鏡投入状況例〉



（内視鏡撮影結果の実例と実施に当たっての留意点は巻末の「参考資料」を参照）



1. 排水機場

② 原動機 ディーゼルエンジン

内視鏡診断（シリンダ内）

実施の目的

シリンダ内の摩耗、腐食の確認した。

内視鏡投入箇所

シリンダ内に内視鏡を投入するためには、部品の脱着を行わなければならない。

最も脱着が簡便な部品として考えられるものに始動弁がある。

始動弁脱着作業

ヘッドカバーの脱着

始動弁がヘッドカバー内にある場合は、ヘッドカバーを外す必要がある（カバー外にある場合はこの作業は不要）。

工具無しで数分で可能である。



始動弁の脱着

空気配管と始動弁を止めているボルト2カ所を外すことで脱着可能になる。作業時間は10分程度である。

ただし、脱着する際には新品ガスケットへの交換を要すること、正常な始動系配管を脱着するののでいじり壊しによる故障を招く可能性があることに注意が必要である。



（内視鏡撮影結果の実例と実施に当たっての留意点は巻末の「参考資料」を参照）



1. 排水機場

③ 主機関 共通

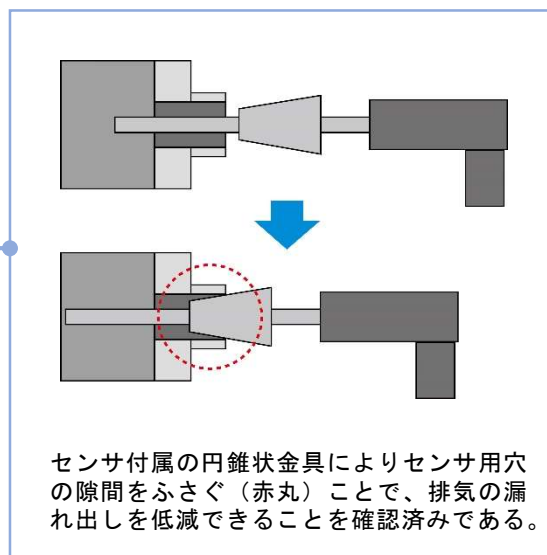
排気ガス組成測定センサの設置方法

原動機の排気ガス組成（CO, CO₂, NO_x）の測定により、原動機の早期異常兆候の把握が期待される。

現在の設備構造では、測定用センサの投入が考慮されていないので、投入口の設置について提案する。

土研の研究では、排気管にフランジを取り付け、センサ投入の穴（φ8）を開けて普段はプラグでふさぎ、必要時にはプラグを外してセンサを投入できるようにした（右写真）。

実際の設備運転時に、支障なく計測でき、排気ガス漏れ等のトラブルもなかったことから、センサ投入口を設置する場合は、これに準拠して行うことを提案する。



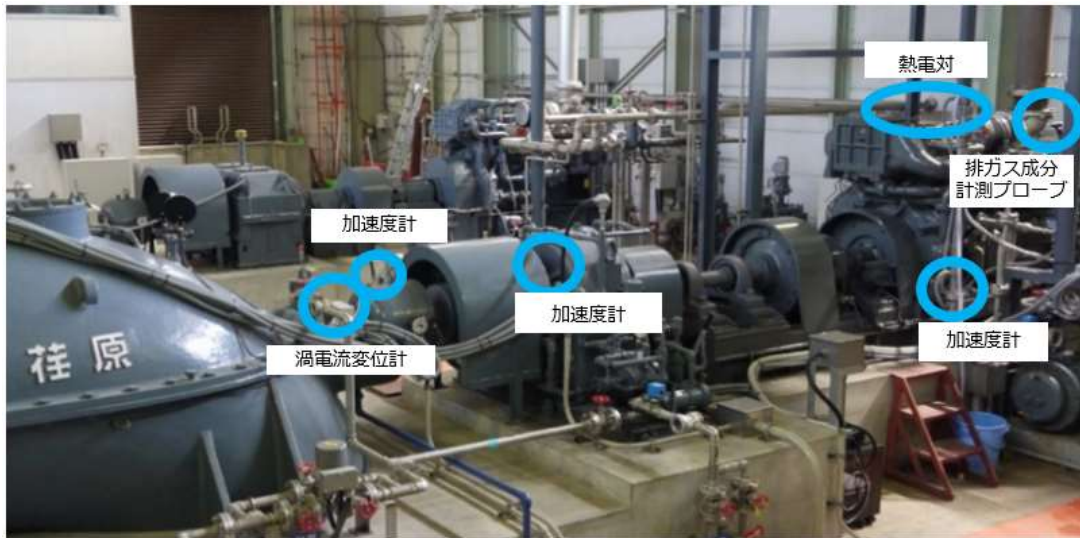


1. 排水機場

④ 主ポンプ・原動機・減速機

モニタリングシステムとAI診断システム

土木研究所では現在、本書で紹介している各種計測項目等を、ポンプ運転開始時から自動的に計測・記録するモニタリングシステムと、そのデータを基に、故障の予兆の早期把握や異常箇所と異常の程度を診断するAIの開発を行っている（令和3年度現在）。



モニタリングシステム 計測項目(注)

	センサ名	計測項目	計測により期待される効果
原動機 DE	A E センサ	弾性波	弾性波発生有無と頻度による内部損傷の早期把握
	排気ガス組成計	排気ガス組成 (CO,CO2,NO x 等)	燃焼状態による機関状態の把握
	3方向加速度計	DE本体振動加速度	振動増加による設備異常兆候の把握
	熱電対	排気ガス温度 (各気筒、過給器出入口)	燃焼状態による機関状態の把握
	回転計	エンジン回転数	計測開始トリガ用
	オンライン鉄粉濃度計	潤滑油中铁粉濃度	内部摩耗兆候の早期把握
原動機 GT	3方向加速度計	GT燃焼器振動加速度	ガスタービンエンジンの異常兆候と状態の把握
	3方向加速度計	GT減速機振動加速度	
減速機	3方向加速度計	減速機本体振動加速度	歯車、軸受異常兆候と状態の把握
中間軸受	3方向加速度計	振動加速度	軸受異常兆候と状態の把握
主ポンプ	A E センサ	弾性波	弾性波発生有無と頻度による内部損傷の早期把握
	3方向加速度計	ポンプ本体振動加速度	振動増加による設備異常兆候の把握
	回転計	ポンプ回転数	計測開始トリガ用
	圧力計	吐出圧力	主ポンプの異常兆候（軸曲がり、インペラ摩耗等）の発見と状態の把握
	渦電流変位計	主軸振動変位	



モニタリングシステム 機場設置のデータ収録装置

注：モニタリングシステムは現在、研究目的で5機場に設置しているが、機場によっては計測していない項目もある。また、研究目的のため数多くの種類の計測を行っているが、実用化に向けては計測項目を取捨選択して低価格化を企図している。



第3章

点検整備／維持管理が 困難な設備構造例と対策案



1. 排水機場

① ポンプ/原動機/減速機

事 例

振動計測点の明示

年点検では、主ポンプ、減速機、原動機の振動計測を行うこととなっている。傾向管理を行う上では、同一の計測点で、可能な限り同一条件での計測が要求されるが、実際の点検では、計測者によって計測点がまちまちである。これでは正確な傾向管理ができない。



対 策 案

多くの機場では、点検業者が計測点をマジックペン等でマーキングしているが、メーカーに対しては設備製作時に下記①②を、既設でマーキングされていない設備に関しては管理者に対し下記②を提案する。

- ① 製造時点での工場検査時の振動計測点を明示しておく（ナンバリングもする）。
- ② センサ（マグネット）が付きやすいよう、計測点を平滑にしておく（塗装もしない）。

なお、計測点は、軸受や歯車の異常兆候を早期把握するため、振動発生源であるそれらの近傍で、かつ剛となっている箇所を選定することが望ましい。





1. 排水機場

② 原動機（ディーゼル機関）

熱電対の設置

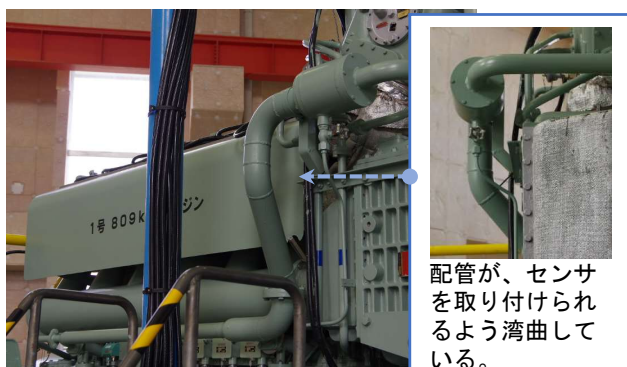
ディーゼル機関には、各気筒排気温度や過給器出入口排気温度計測のため、棒温度計が設置されている場合が多い。また、計測の自動化のため、熱電対を用いている場合もある。

これらの温度計が取り付けられていない場合も、取付用ねじ穴が用意されているので、後で設置することも可能である。

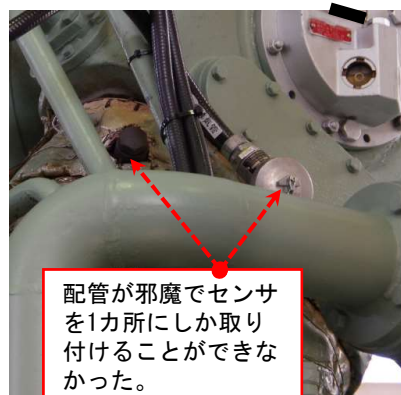
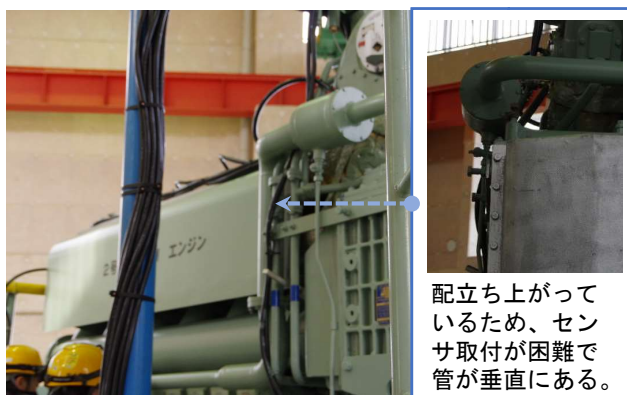
後で設置する場合は、ねじ穴が用意されていながら、配管等の位置が障害となり、設置不能となるケースがある。

一例であるが、過給器入口（2系統あるので2カ所）に熱電対温度センサの取り付けを試みた。同型の1号機はセンサ取り付けを考慮して、冷却水配管を湾曲させていたためセンサを2カ所とも取り付けることができた。2号機は配管が直立して配管が邪魔となり、1カ所しか取り付けることができなかった。

1号原動機（取付可能）



2号原動機（取付に支障あり）



対策案

本体には取付ねじ穴が設置されているので、そこを躲した配管とするなど、据付工事業者に対し、将来のセンサ取り付けを参考にした配管取り回しを行うことを提案する。



1. 排水機場

② 原動機 ガスタービン

耐熱を考慮した加速度センサの取付方法

加速度センサ用耐熱治具

ガスタービンエンジンは、エンジンの構造上、周辺温度が300度程度の高温になるため、従来の加速度センサでは、センサの耐熱温度に限界が有り、計測結果の信頼性やセンサの故障の懸念が有るなど、ガスタービンエンジンの振動計測は困難であった。そこで、高温になるエンジン周辺での振動計測を可能にするため、センサを取り付ける治具に耐熱加工を施した加速度センサ用の耐熱治具を作成した。



ガスタービンエンジン



加速度センサ用耐熱治具



1. 排水機場

③ 全体（機器配置）

事例（機器配置等が点検作業を阻害している事例）

機械設備の建屋内には、主要機器や補機類、操作盤類や配線配管など、様々な機器が設置されている。

「揚排水ポンプ設備技術基準」では、点検作業への配慮として「揚排水ポンプは、維持管理時の点検・整備が容易に行えるよう、機器の構造、配置、維持管理用付属設備について検討する」と明示されている。多くはそれに則り室内の移動等を妨げないように整然と配置されている。実際の設備の中には、機器配置等が原因で、移動しにくい、点検箇所に行きにくい等が生じ、点検に支障が出る事例がある。

以下にいくつか事例を示す。

- 操作盤がディーゼル機関直近の給油口付金にあるため、潤滑油交換作業がしにくい。
- 操作盤等の移設や、機器更新の際に配管取り回しの影響で、盤の開閉に支障が生じる。
- ポンプ室内にある配管取り回しの影響でポンプ室内の移動がしにくい。
- 点検作業を行いたいが、機器等が高所にあり梯子がないと点検ができない。

（詳細は次ページ以降参照）

対策案

多くは新設時ではなく、機器類の更新時や増設時に、設備全体としての維持管理面を意識せずに場所を決めたのが原因と推定される（あるいは、増設スペースが乏しいところに半ば強引に機器を設置した等が考えられる）。

機器類の増設時にも、設備基準に則り、既存機器の維持管理に支障が生じないかを検討して設置位置を決める。

また、高所等の点検が必要な箇所は、新設時にあらかじめはしごや点検歩廊等を設置することを提案する（今後の新設/更新に際しては標準化が望ましい）。

以上の検討に当たっては、BIM/CIMの活用が有効である。



1. 排水機場

③ 全体（機器配置）

事例1（潤滑油給油口付近に操作盤がある事例）



ディーゼル主機関直近に操作盤が配置され、その真裏に給油口があるため、潤滑油交換作業がしにくい。

また、設備診断のため潤滑油分析（注）を行う場合、サンプルの採油がしにくい。

（注）潤滑油分析については、p21ならびに巻末技術資料を参照。

事例2（配管位置の変更による操作盤開閉障害）



ある排水機場で1号原動機の更新の際、原動機の全長が短くなり後部に空間ができたので、そこに冷却水クーラや配管を集中させた。

しかし、2号原動機更新時の際、2号原動機の背後には機側操作盤があり、1号原動機と同配置とした場合には扉の開閉に支障が生じることが発覚した。

そのため、1号機と2号機では配管の取り回しを変えざるを得なくなった。

左上の写真は、先に更新した1号機の冷却水クーラと配管があり、左下の写真は、それを2号側に向けて撮影した写真である。



2号機の配管を1号機と同一にした場合、黄色の丸部分が機側操作盤の扉と干渉して開きづらくなる。



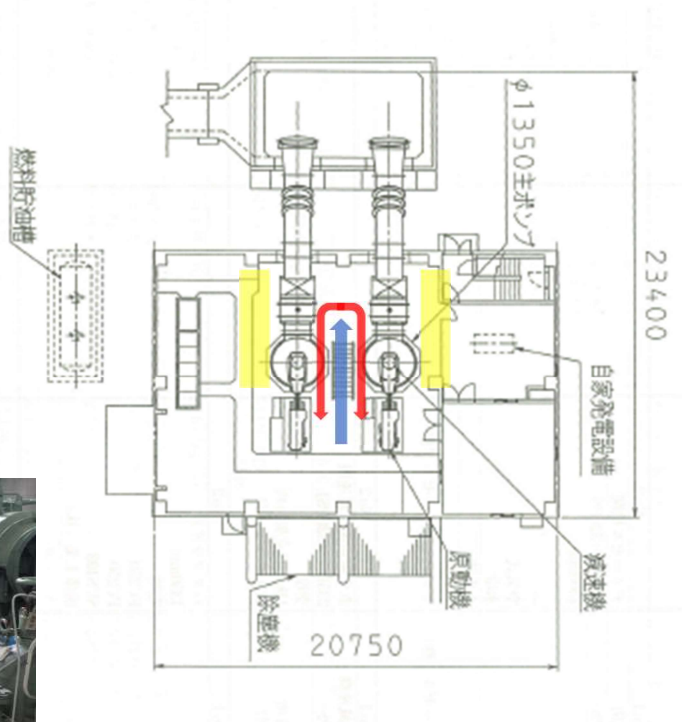
1. 排水機場

③ 全体（機器配置）

事例3（配管・銘板が機室内移動を阻害、または困難としている事例）

ポンプ室内の主ポンプの点検等を行う際は、下図黄色部分に回り込むことがあり、その際は赤矢印が経路となるが、下記4点の事例により回り込みにくい。

- ポンプ室内の階段と主ポンプの間が狭い。
- 空気抜き配管（白い管）がその間にある。
- さらに、1号機は冷却水配管が横に出ている。
- また、銘盤が階段側に出っ張る形で設置されている。



冷却水配管



空気抜き配管



出っ張っている銘板



1. 排水機場

③ 全体（機器配置）

事例4（点検等のための機场内移動を阻害、または困難としている事例）

換気システムへのアクセス困難

パッケージ型のガスタービンの吸気ファンまでの梯子等がなく、点検しにくい事例がある（事実上困難）。



ポンプ上部へのアクセス困難

特に大型のポンプだと、真空破壊弁の点検が高所かつ足下が丸くなっているのが危険である。墜落防止装置をかけるところを天井につけるなども必要である。





1. 排水機場

④ 冷却系統

事 例

水抜き機能の検討

寒冷地特有の設備凍結により破損する事例がある。



対 策 案

内部の水抜きを確実に行える設備構造として、主要な弁に水抜きバルブを追加する。

冷却系統に清水を使用している横軸ポンプでは、冬期間に凍結対策として水抜き作業が必要となる。しかしながら、配管の構造上、水が溜まる箇所があり、古い設備では、凍結による破損の恐れが懸念される。そこで、主要な弁に水抜きバルブを追加することで、水抜き作業を容易にする。





1. 排水機場

排水機場 対策案まとめ

煤煙測定や排気ガス組成分析（有効性については土研研究中）のため、室内の排気管にセンサ投入口を設けるなどの工夫と標準仕様化ができないか？（H26マニュアル改訂時の報告書にも記載あり）。

操作盤の真裏に給油口があるため、潤滑油交換作業や潤滑油分析用サンプルの採油がしにくい機場がある。点検・整備しやすい機器配置を意識すべきである。



振動計測のため、以下の点を標準仕様化できないか？

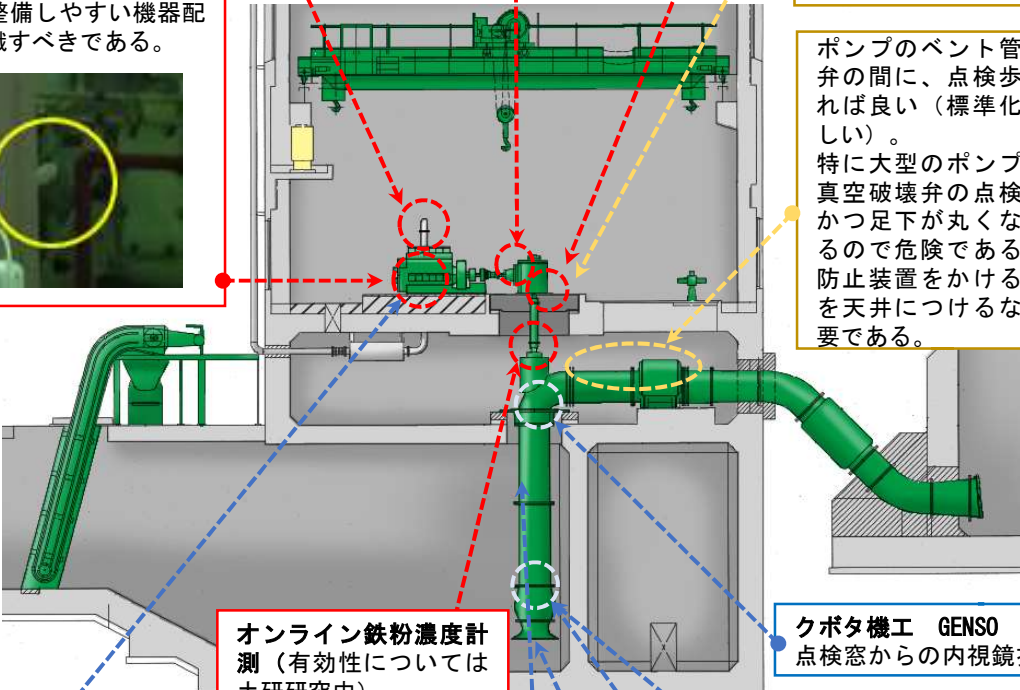
- 製造時点で振動計測点を明示しておく（ナンバリングもする）。
- センサ（マグネット）が付きやすいよう、計測点を平滑にしておく（塗装もしない）。



潤滑油分析用サンプル採取のための採油バルブ等の常設する。

冬期の二次冷却水の水抜きの際はドレンボルトから行うが、繰り返し行くとねじ山がつぶれてくる。水抜きバルブの常設を標準化できないか？（寒地土研に北海道の事例を調査依頼中）。

ポンプのベント管～吐出弁の間に、点検歩廊があれば良い（標準化してほしい）。特に大型のポンプだと、真空破壊弁の点検が高所かつ足下が丸くなっているのが危険である。墜落防止装置をかけることを天井につけるなども必要である。



オンライン鉄粉濃度計測（有効性については土研研究中）
潤滑油中の鉄粉濃度を継続的に計測することにより、内燃機関内の摩耗状況の傾向管理を行う。

ダイハツディーゼル メンテナンス支援システム
船舶で、内燃機関等の予知保全を行う支援システムを展開。また、オイルミスト量の検知による傾向管理を行う。

ポンプ主軸軸振動変位計測（有効性については過年度の土研研究で示している。マニュアルでも計測推奨項目となっている）のために渦電流変位計を常設する。

西島製作所 ベアドクター
ポンプを分解せずにセラミック製の水中軸受の点検を可能とした（空気注入式）。清掃、冷却効果もある。

クボタ機工 GENSO
点検窓からの内視鏡投入する。

荏原製作所 楽々点検ポンプ
ポンプを分解せずに水中軸受の点検/交換を可能とした。

石垣 水中軸受診断システム
センサにより水中軸受摩耗量を自動測定する。

電業社機械製作所
羽根厚み&ギャップ計測システム
渦電流センサによりケーシングとインペラのギャップを計測。インペラ摩耗、水中軸受摩耗を監視する。

凡例

- ポンプメーカー開発技術
- 土研での現場調査時に気づいた点・研究成果の反映
- 点検業者等に聞き取り

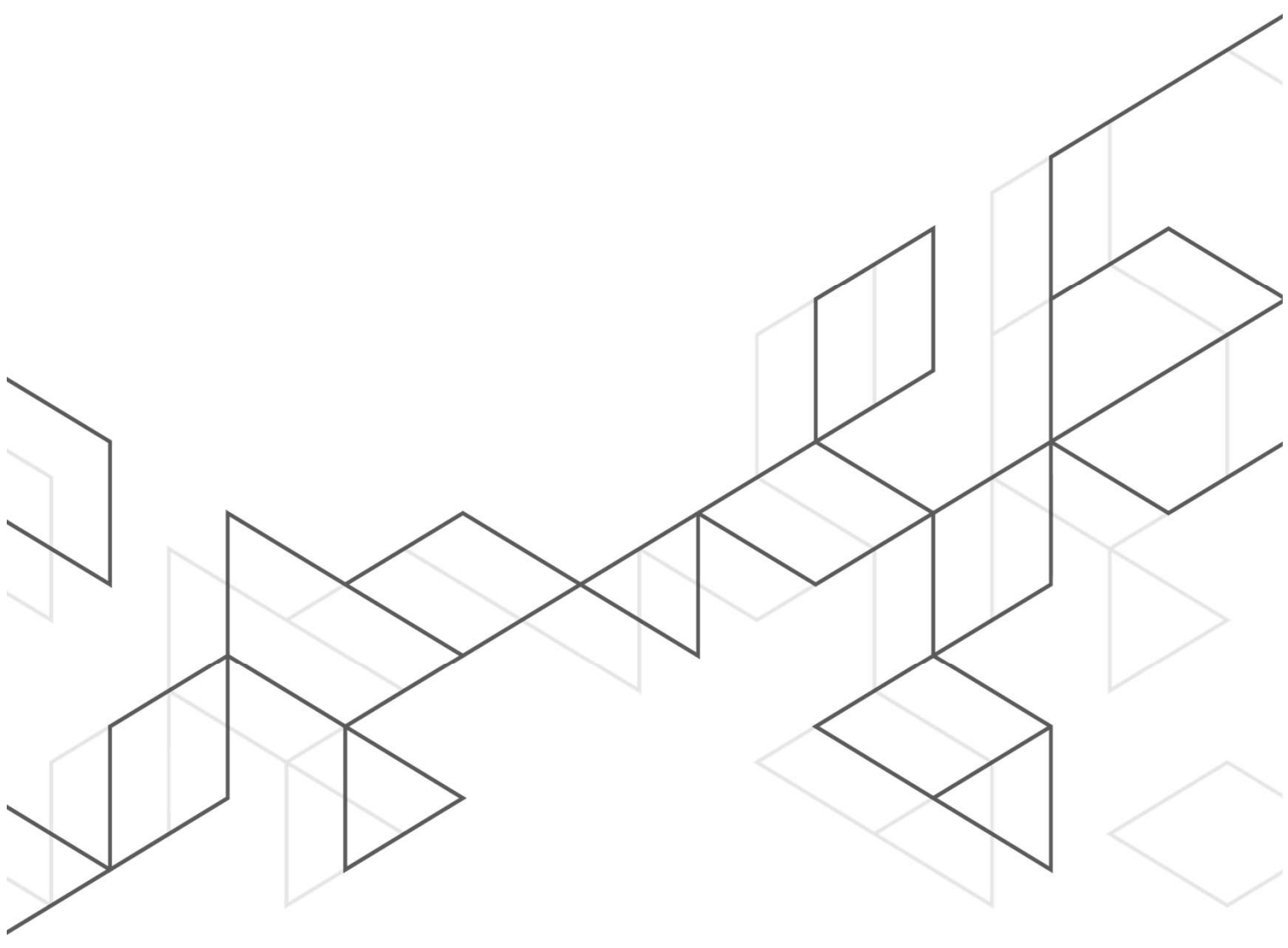


参 考 资 料



参 考 資 料

1. 渦電流變位計資料





1. 排水機場

①主ポンプ 軸振動変位の計測（渦電流変位計）

④ 計測機器構成（機場に常設された例）

排水機場

渦電流変位計（センサ）
黄色丸部分センサ
ケーブルセンサ用表示器ならび
にデータ収録装置USBメモリ等
の記録媒体
でデータを
抜き出し
(注)PCとソフトウェア
(表計算ソフト、
データ解析用専用ソ
フト等)でデータ確
認、解析等(注) オンライン化して常時データを
転送するシステムにすることも可能

④ 計測機器の要求性能（参考）

渦電流変位計

- 計測範囲：0～5mmを標準とするが、場合によっては0～1mmまたは0～2mm
- 計測対象：材質がSUS403またはS35Cの主軸
- 分解能：1 μ m程度
- 系統数：軸の振れ回りの把握のため、直交した2方向の計測を同時に行うので、センサならびに出力は2系統必要である。

データ収録装置

- サンプル周波数：1000Hzまたは1280Hz（通常のデータロガーでは複数のサンプル周波数を選択できる）
- チャンネル（ch）数：2ch
- 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）

* 上記は設置実績のある機器について記載したものである。



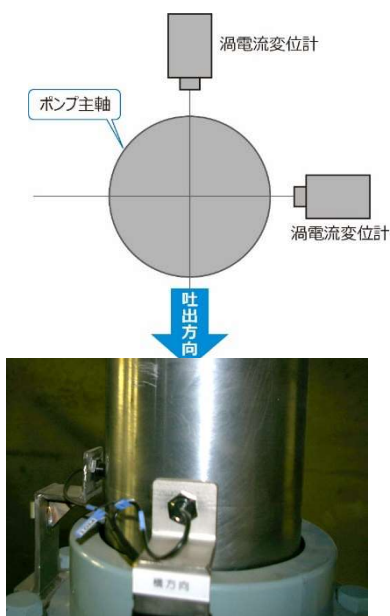
1. 排水機場

①主ポンプ 軸振動変位の計測（渦電流変位計）

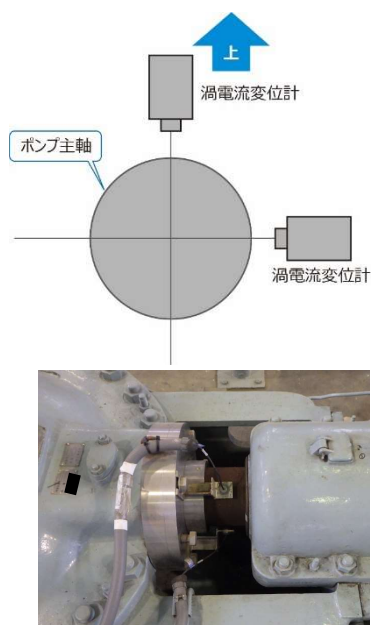
▼ センサ取付方法等

- センサ数は2つ。軸に対して直交するように設置する。
- 取付部は、ポンプ軸封部直近が望ましい。
- センシングする軸の面は、傷や凹凸、**軽め穴やボルト等**がなく、軸断面が真円に限りなく近いと推定される場所とする（でないとき正確な計測ができない。下の「不適切な設置例」参照）。また、校正の都合上、塗装されていないのが良い。

立軸ポンプの例

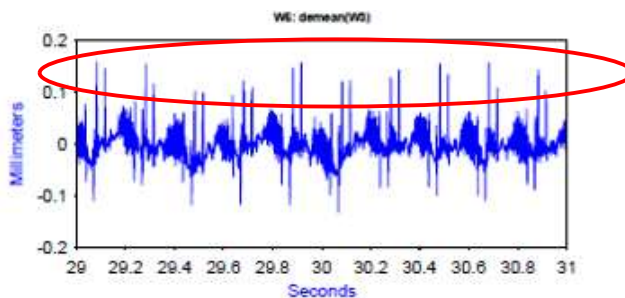
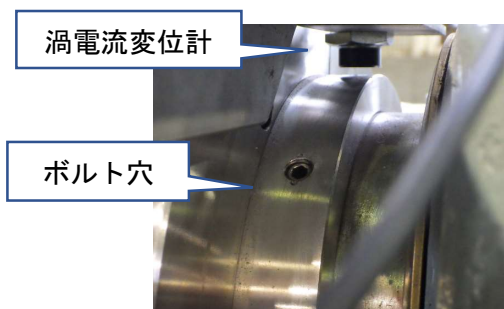


横軸ポンプの例



▼ 不適切な設置例

渦電流変位計の計測面にボルト穴があったため、計測波形に周期的に振幅が突出する異常波形となった（下右図赤丸）。そのため、振幅値も過大に計測されていた。





1. 排水機場

①主ポンプ 軸振動変位の計測（渦電流変位計）

主ポンプ側の構

◆渦電流変位計を設置しづらい構造の例と対策案



①コンクリートケーシングのポンプで、主軸全体にカバーがかかっている。

→カバー内にセンサを設置する。



②軸封部直上に薄鉄板のカバーがかかっている。

→カバー内にセンサを設置する。



③ポンプ主軸の露出部が狭い。

→あと施工が難しいので、ポンプ設置時からセンサを取り付けるようにする。



④一床式ポンプで、軸露出部に通じる減速機架台の開口部が狭い。

→あと施工が難しいので、ポンプ設置時からセンサを取り付けるようにする。



⑤横軸ポンプで主軸露出部が狭く、かつ軽め穴がついている。

→渦電流変位計センサで計測することを想定し、主軸に計測面（真円に近い、軽め穴等がない）を用意しておく。

● 主ポンプ側も、主軸近傍に渦電流変位計センサ取付金具を設置しやすい構造とすることが望ましい。



1. 排水機場

①主ポンプ 軸振動変位の計測（渦電流変位計）

▽ 計測データの評価方法

○簡易診断は、異常の有無を判定

- ・簡易計測器等による都度の測定、点検など
例：温度、圧力の測定

○簡易診断は、異常の有無を判定

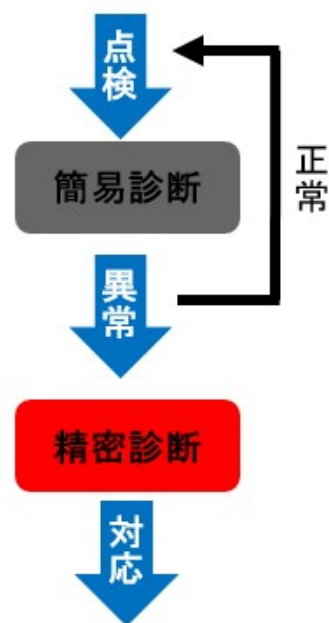
- ・専門的な知識を有する者のより計測波形の分析や改正を行い異常の種類や箇所特定、危険度の把握、進行の予測、対応策の検討を実施
例：振動波形のFFT解析、内視鏡による診断

簡易診断の結果を踏まえ、精密診断へ移行する。

○常時監視方式と間欠監視方式

常時監視方式はセンサーからの信号をオンラインで常時監視する方式

間欠監視方式は、定期的に簡易診断器を現場に持ち込み、データベース等に記録する方式



状態監視保全における劣化程度の判断方法

- ・ **相対値判定**（初期値からの変化量により判断）
- ・ **絶対値判定**（これまでの実績等から定めたしきい値により判断）
- ・ **相互判定**（同一設備の振動の出方を比較して判断）

○基本は、相対値判定で判断する。

- ・ **据付時、分解整備完了時**の振動計測値を**初期値**とする。
 - ・ 初期値の**2.5**倍以上を「**注意値**」とする。
 - ・ 初期値の**6.3**倍以上を「**危険値**」とする。

* 評価する振動値

主ポンプ主軸・・・振動変位p-p (mm)
 減速機（計測方法等は後述）・・・振動速度RMS (mm/s)

○ **過去実績**（故障直前の振動データなど）がある場合は、それを元にした**絶対値判定**も有効である。

○ 同一機場の1号機と2号機が同一年次・同一仕様である場合など、**同一ポンプが並立**している場合は、**相互判定**も異常有無の判断に有効である。



1. 排水機場

①主ポンプ 軸振動変位の計測（渦電流変位計）

▼ 計測データの評価方法

◆初期値の考え方、簡易診断時のしきい値

①製作時の施工管理情報から注意値を設定する方法

河川用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円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、異状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）における主軸真円度の最大値（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。

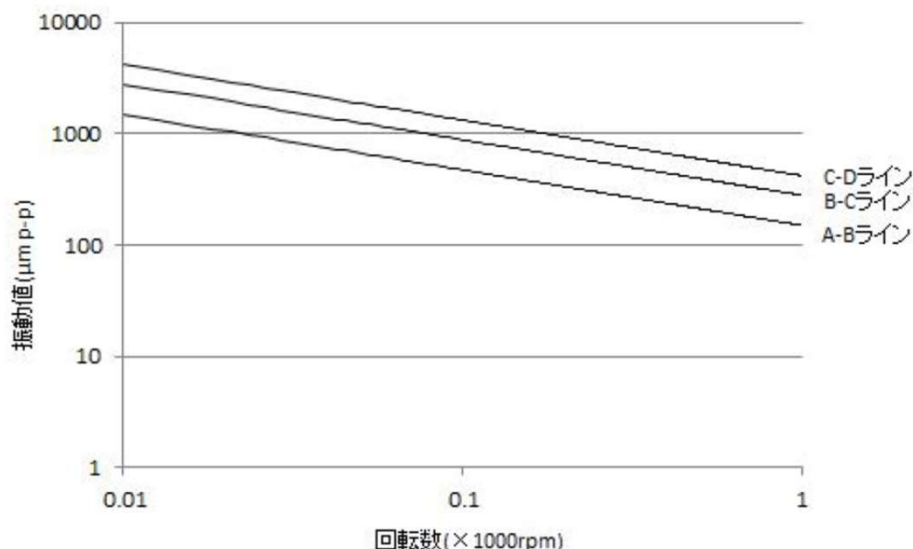
②ISO 7919-3（非往復動機械の機械振動-回転軸における測定及び評価基準[8]）準拠

注意値：9,000/N^{1/2}以上（N：主軸回転数（rpm））

危険値：13,200/N^{1/2}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、（独）土木研究所で

これまで計測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7-5に示すゾーンは、ISO 7919-3の示すゾーンラインを、1000rpm以下に延長したものが最も設備異常の有無と振動計測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。



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）

不明な場合は、ポンプメーカーと協議の上指標を得ることも検討すべきである。

④芯出し（芯ずれ）の基準（たわみ継手 中間軸あり0.15mm 中間軸なし0.05mm、リジット継手0.05mm）[9]



1. 排水機場

①主ポンプ 軸振動変位の計測（渦電流変位計）

✓ 計測データの評価方法（精密診断）

(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⁽⁶⁾が卓越する。

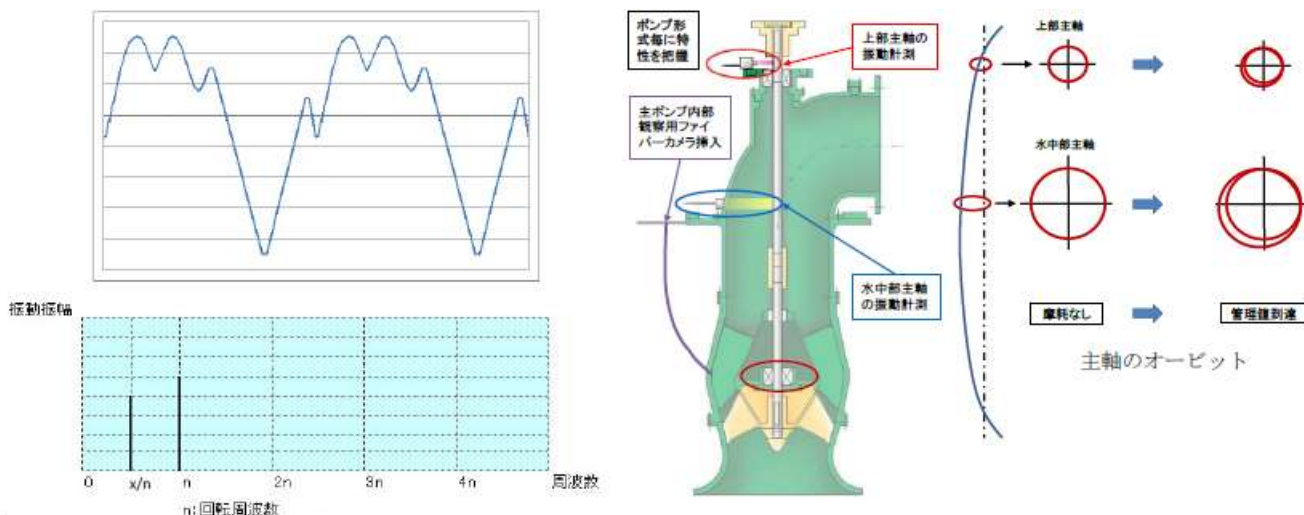


図7-1 主軸振動特性の関係（主ポンプ軸受の水中軸受のゆるみ・がた）

(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。

(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。

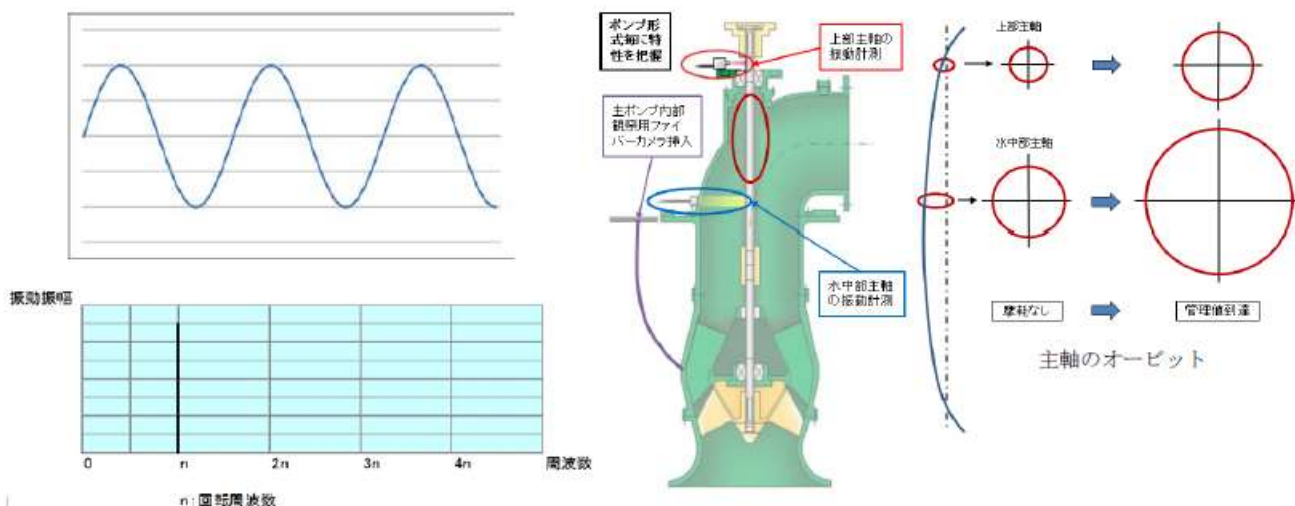


図7-2 主軸振動特性の関係（主軸のアンバランス、主軸の曲がり）



1. 排水機場

①主ポンプ 軸振動変位の計測（渦電流変位計）

計測データの評価方法

(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、その分数調波成分⁽⁷⁾が大きく卓越する。

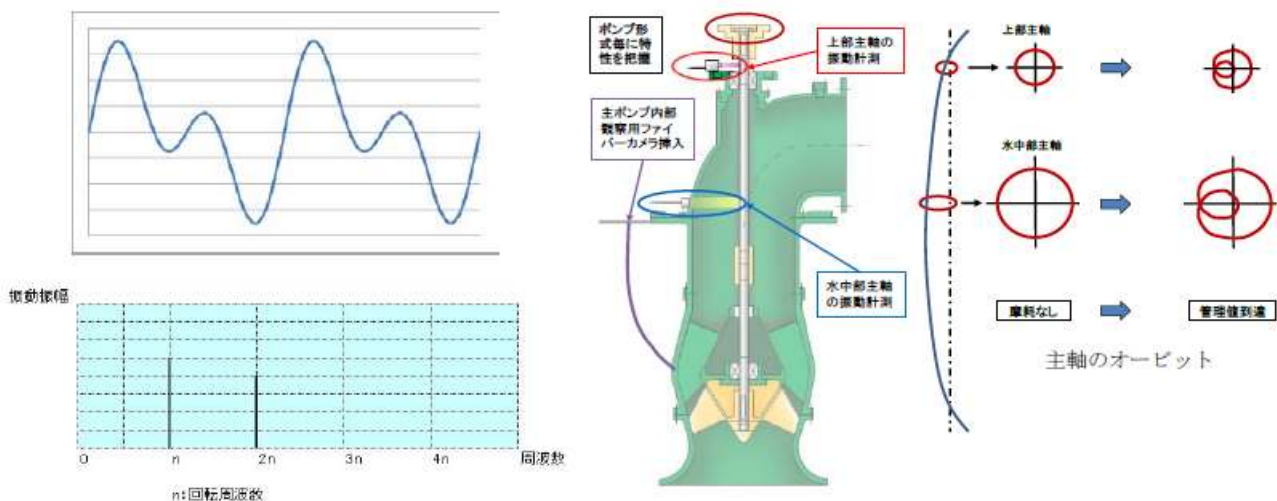


図7-3 主軸振動特性の関係（主軸のミスアライメント）

(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 nz 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。）

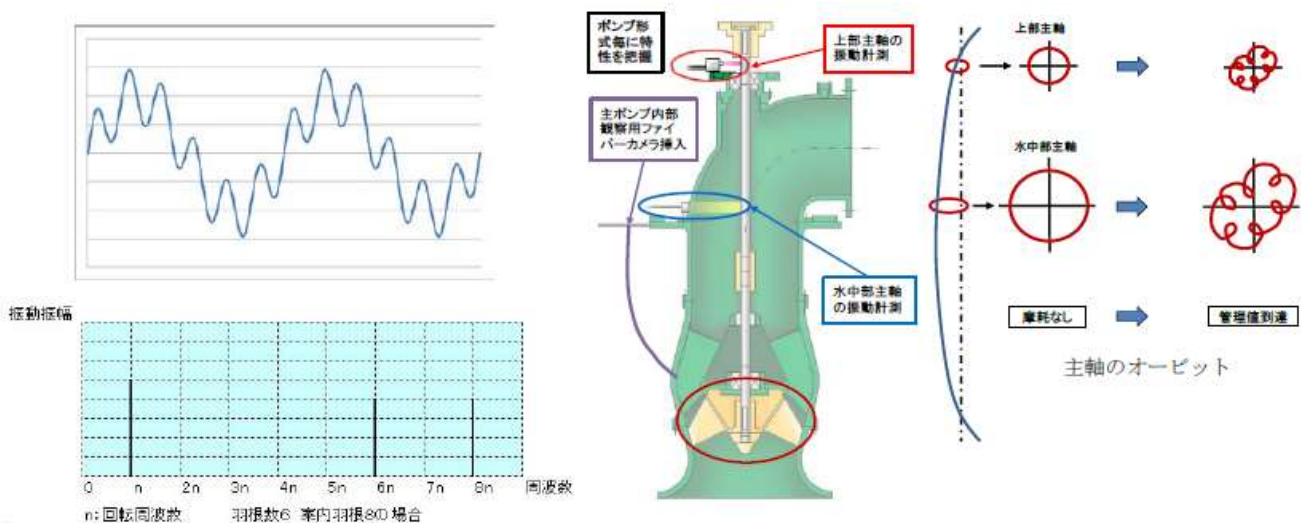


図7-4 主軸振動特性の関係（羽根車の摩耗）

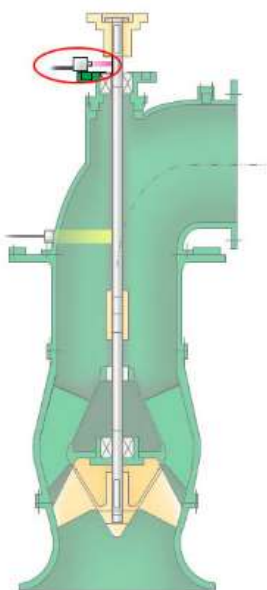
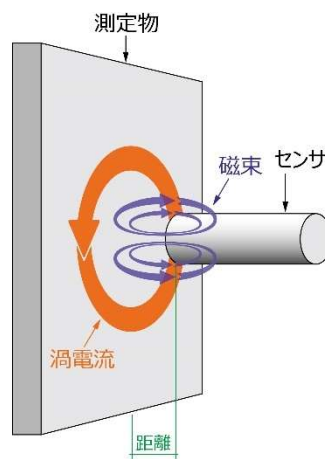
1. 渦電流変位計資料

▼ 仕組み・原理

センサ内のコイルに高周波電流を流すことにより、高周波磁束が発生する。

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する。

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。



<設置位置>



<計測状況>

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く、センサとしては安価である。

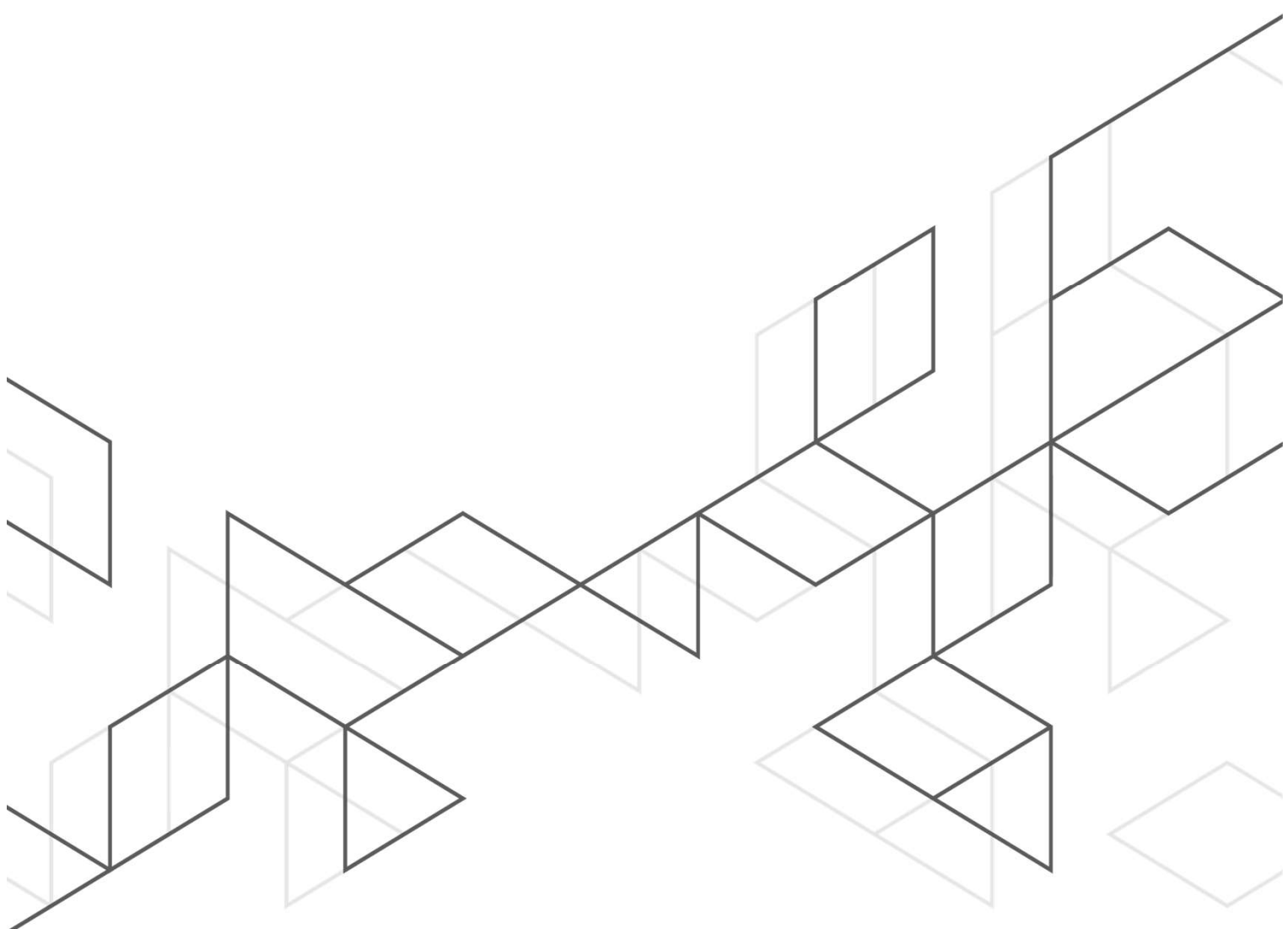
短所

- ◆ 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である
（これまでの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）。



参 考 資 料

2. 横軸ポンプ用渦電 流変位計取付治具





1. 渦電流変位計資料

✓ 取付治具に関して①

- 可能な限り、センサ位置と主ポンプへの取付位置の長さを短くする等、振動・たわみが発生しない形状とする（下写真は、土木研究所が実際に取り付けた4例）。

機場名	形式	諸元等			金具形状
		号機	主軸回転数	軸封部	
S排水機場	立軸斜流	1号機	146rpm	グランドパッキン	1号と2号は異なる
		2号機	146rpm	メカニカルシール	
Y排水機場	立軸斜流	1号機	230rpm	メカニカルシール	1号と2号は同じ
		2号機	230rpm		
T排水機場	横軸斜流	2号機	120rpm	グランドパッキン	1号と2号は同じ
		3号機	120rpm	無注水軸封装置	



<S排水機場 1号機>



<T排水機場>



<S排水機場 2号機>



<Y排水機場>

根 拠

S排水機場は、固定部とセンサ部までの距離が離れていることから、振動やたわみによる計測データへの影響が懸念された。実際、取付金具を手で軽くたたくと金具が振動し、センサ部のたわみが見られた。そのためL型金具の振動を抑制するように斜めのステーを取り付けた。

Y排水機場では、たわみに対してS排水機場より有利な構造としたため、特段の改良は不要であった。

1. 渦電流変位計資料

取付治具に関して②

- 取付治具の共振点を計測したい周波数範囲（回転周波数の10倍程度）に入らないようにする。

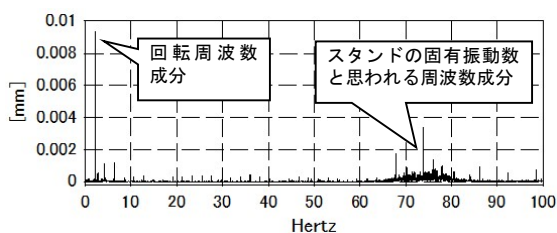


図-1 渦電流変位計での軸振動計測結果

表-1 固執振動数測定方法例

サンプリングレート	256Hz	
打撃方向	取付金具に対し上からと横からの2方向	
振動計測方向	x方向: ポンプ主軸方向	
	y方向: ポンプ主軸と直交方向	
	z方向: 上下方向	

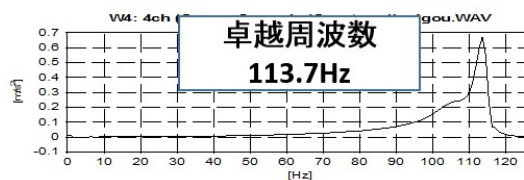
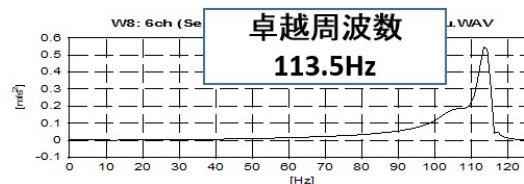
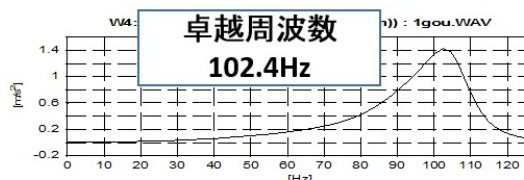
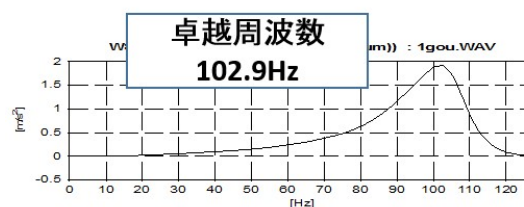


図-2 1号機 計測結果（周波数分布）
（上よりX方向上、横、Y方向上、横
計測方向は打撃方向と同一方向）

根拠と計測例

マグネットスタンドでの軸振動変位計測データの周波数分布では、スタンドの固有振動数と思われる50Hz前後の振動が発生している場合が見られる（図-1）。

これは取付金具がポンプ運転時に発生する各種の振動により加振されるためであり、センサを固定した場合も取付金具の固有振動数の振動が発生する可能性がある。

そこで、インパルスハンマによる打撃時の取り付け架台の振動周波数を測定した。代表例として、Y排水機場での測定について、試験機器、方法をそれぞれ表-1に、その結果を図-2, 3に示す。

渦電流変位計センサを主ポンプに設置する際には、このように金具の固有振動数をあらかじめ計測しておくことが望ましい。

また、固有振動数が回転周波数の10倍以内になる場合には、治具の剛性を上げる等して対処する。



参 考 資 料

3. 内視鏡診断事例





1. 排水機場

②原動機 ディーゼル機関

▼ 内視鏡診断の留意点

全 般

- 一人で内視鏡ファイバ投入と撮影作業を行うと撮影が難しいため、ファイバ投入と撮影作業を2人で分担して行ったほうがよい。
- 慣れるまで、何が写っているかわからない状況であった。設備内部の構造、形状を熟知してから内視鏡調査を行う必要がある。

シリンダ内診断

- ピストンの位置が各気筒ごとに異なる（6気筒エンジンの場合、正確には1，6番シリンダと2，5番シリンダ、3，4番シリンダが120度ごとに異なる）ので、ピストンが上死点に近い場合に、ピストン全容やスリーブとシリンダブロックの境目の観察ができなくなる。その場合、ターニングして下死点近くまで下げる必要がある。



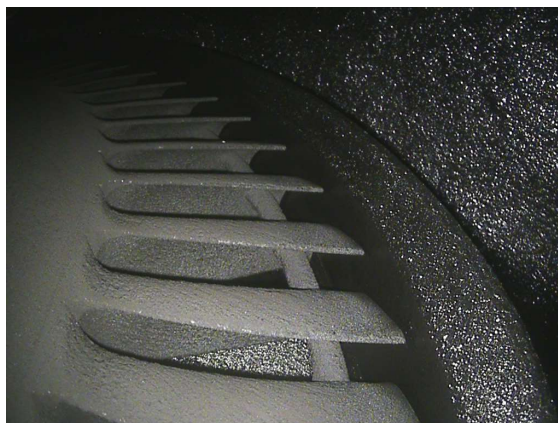
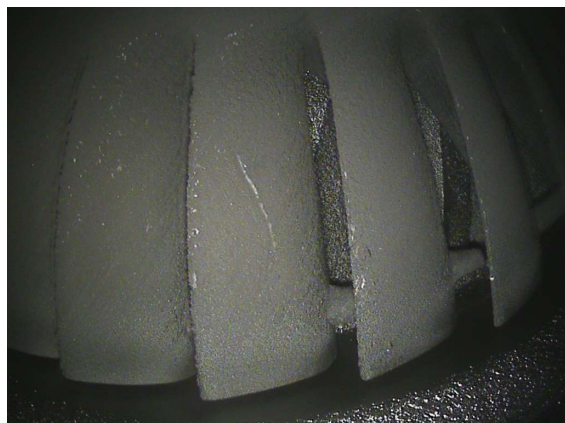
1. 排水機場

②原動機 ディーゼル機関

✓ 内視鏡診断（過給機）調査例

排気管側からの内視鏡投入は、タービン動翼は観察しやすいが、ノズルはその裏になるので観察が難しい。

1 号 機



2 号 機

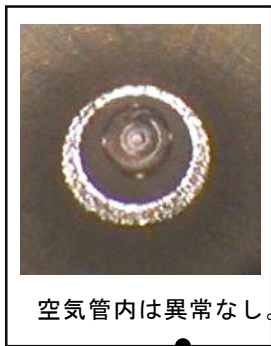




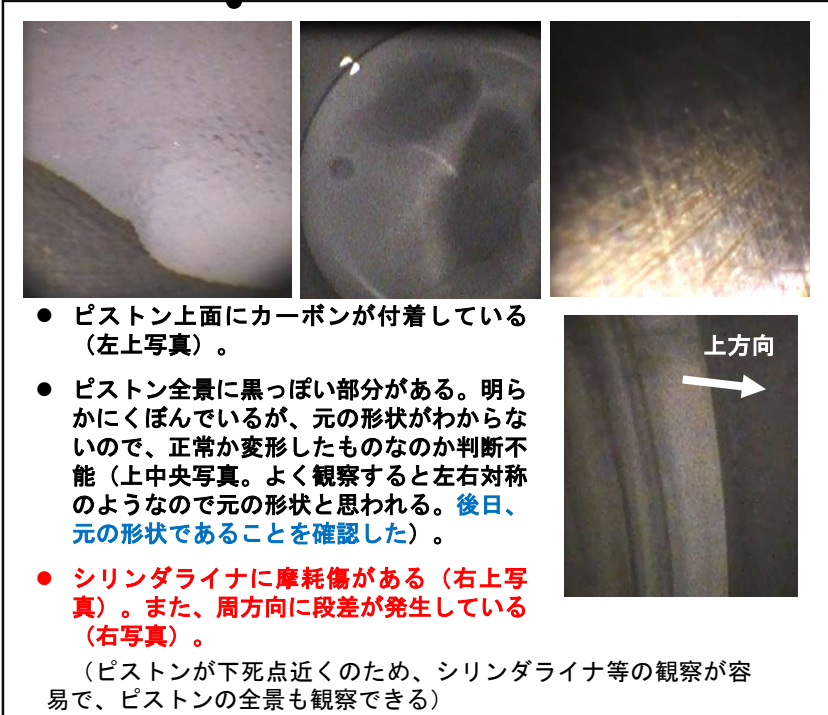
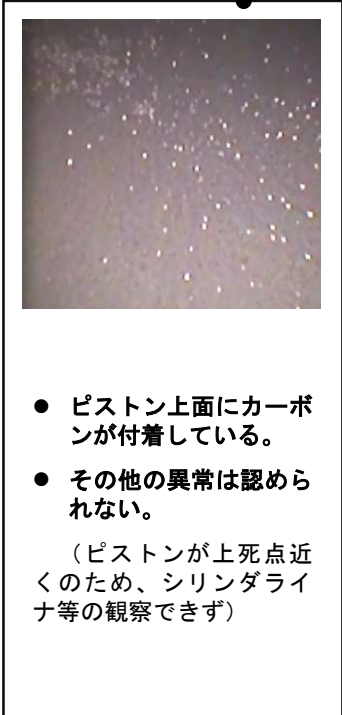
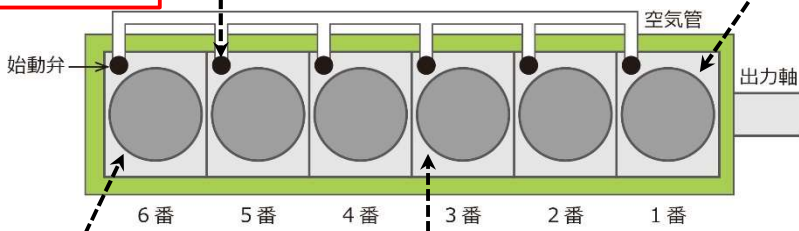
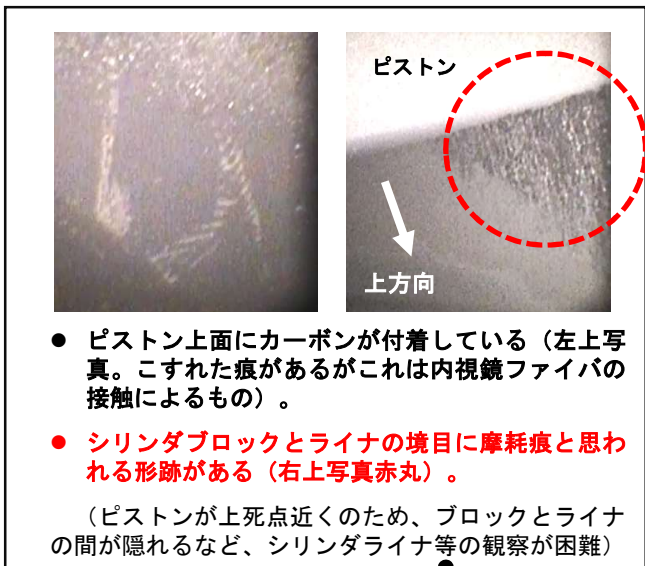
1. 排水機場

②原動機 ディーゼル機関

内視鏡診断（シリンダ内）調査例



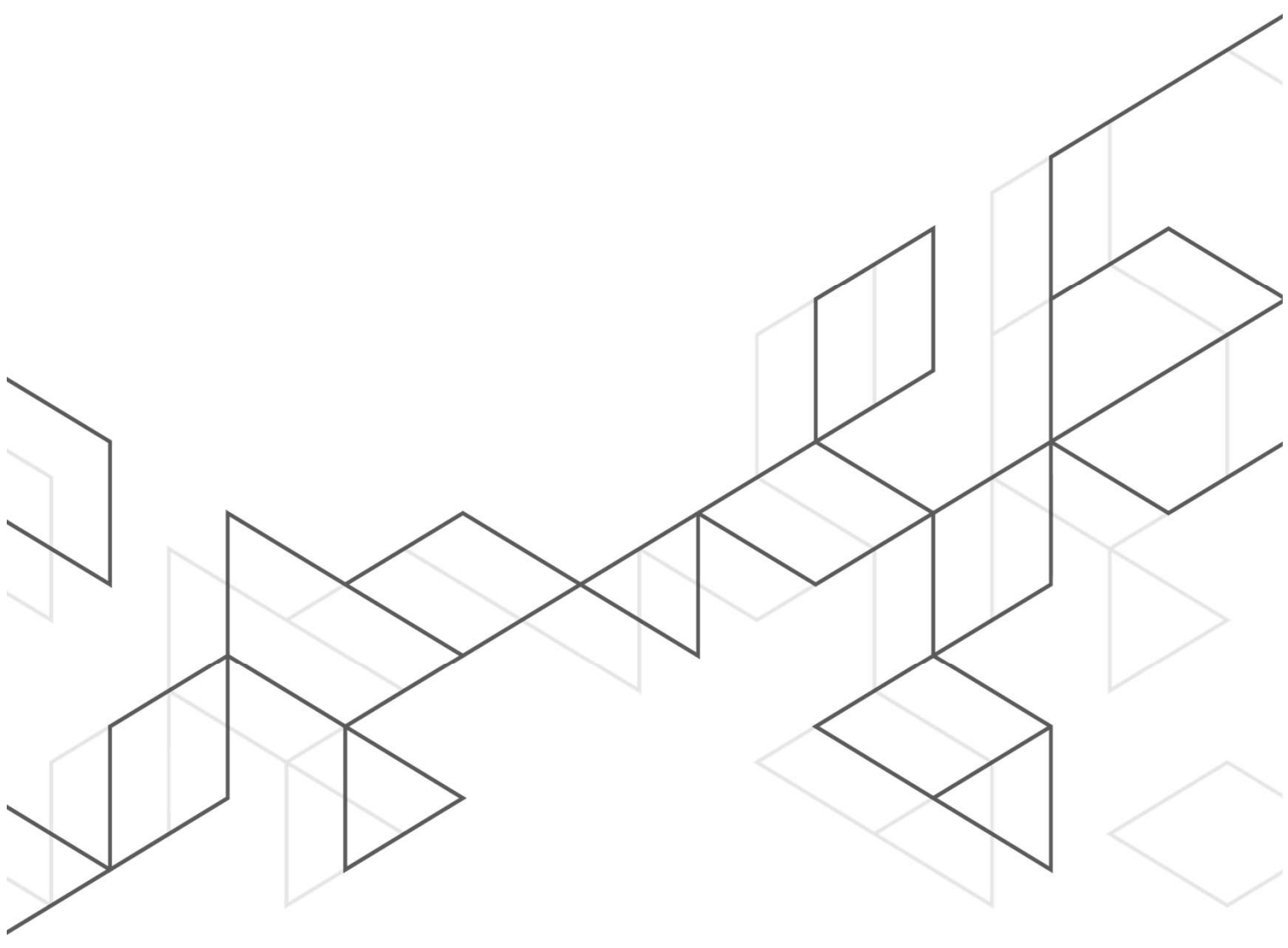
後日追記
シリンダライナ、ブロックの摩耗痕（1, 3番赤字部）については、分解写真と事務所からのメールにより、カーボンの堆積と判明した。





参 考 資 料

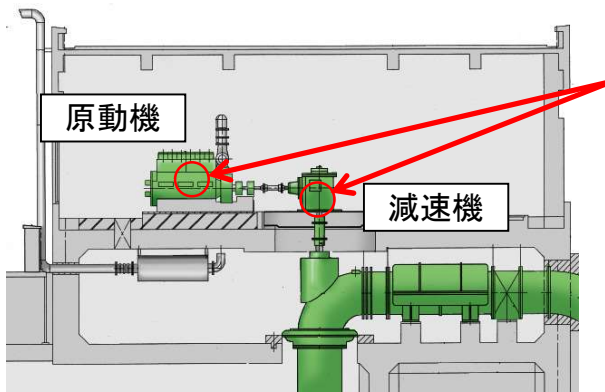
4 . 潤滑油分析による診断技術



1. 排水機場

②原動機 ディーゼル機関

✓ 潤滑油分析の手順（排水機場ポンプ設備の例）



分析

診断

- 潤滑油の性状（潤滑油自身の状態）
 - ・動粘度
 - ・水分量
 - ・酸価、塩基価
 - ・不溶解分
- 設備状態の診断
 - ・鉄粉濃度計測
 - ・SOAP法
 - ・フェログラフィ法

見込まれる効果

○潤滑油の交換時期の判断

潤滑油の性状を分析することにより、潤滑油自身の劣化損耗状況が判るので、潤滑油の交換時期の判断に用いることができる。

○設備異常兆候の早期発見

潤滑油分析は、設備の異常兆候を早期に発見できるとされている。

○設備内部の摩耗損耗の進行状態の把握

継続的に油中の摩耗粉分析を行い傾向管理を行うことで、例えば急激に諸数値が上昇する等が見られた場合には内部の摩耗が著しく進行していると推定できるなど、摩耗損耗の進行状態を把握することができる。

○複数の同一設備の整備時期の優先付けに活用

例えば、〇〇排水機場に同時に設置された1号ポンプ原動機と2号ポンプ原動機の整備を計画した場合、どちらの方がより内部の摩耗劣化が進行しているかを把握することができるので、整備時期の優先付けが可能となる。

◆実施に当たっての注意点

○正しいサンプリングを行う。

- ・ サンプリングは、管理運転の後に行う。原則として、運転せずにサンプリングを行ってはならない。
- ・ 傾向管理を行う際は、管理運転は可能な限り運転条件（運転時間）を統一する。
- ・ 毎回のサンプリング箇所を統一する。
- ・ サンプリングの際は、可能な限り不純物がサンプリング容器に入らないようにする。

○使用油種、機器仕様を正確に分析業者に伝達する。

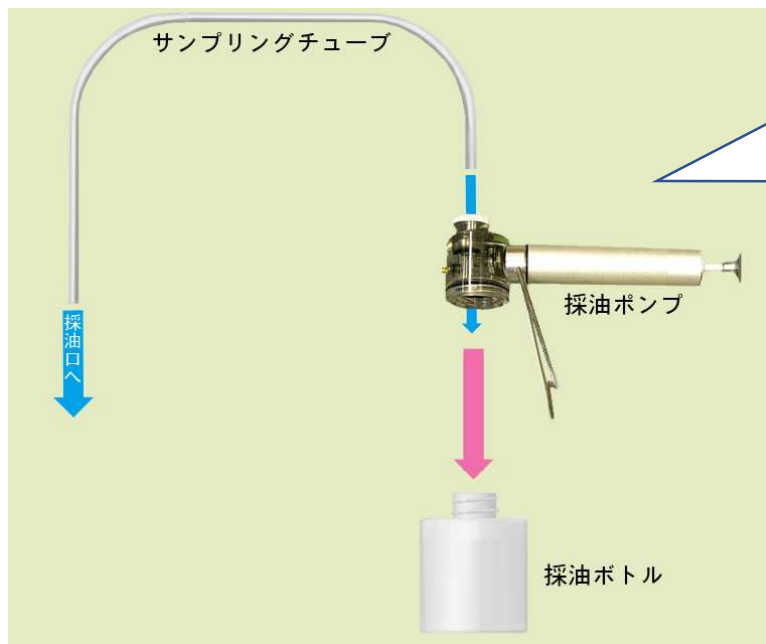
- ・ 潤滑油種（メーカー、銘柄）、更油時期を把握する。
- ・ 機器仕様（使用している軸受、歯車の材質、潤滑油容量等）を把握する。

○専門分析業者が変わると傾向管理が困難であることに留意する。



✓ 採油機器

潤滑油分析用サンプルの採油は、下記に示す専用器具によることが望ましい。



サンプリングチューブをポンプの穴に通し、チューブ固定ねじを締める。

ボトル側のチューブは、あまり突き出さないようにする（写真程度）。

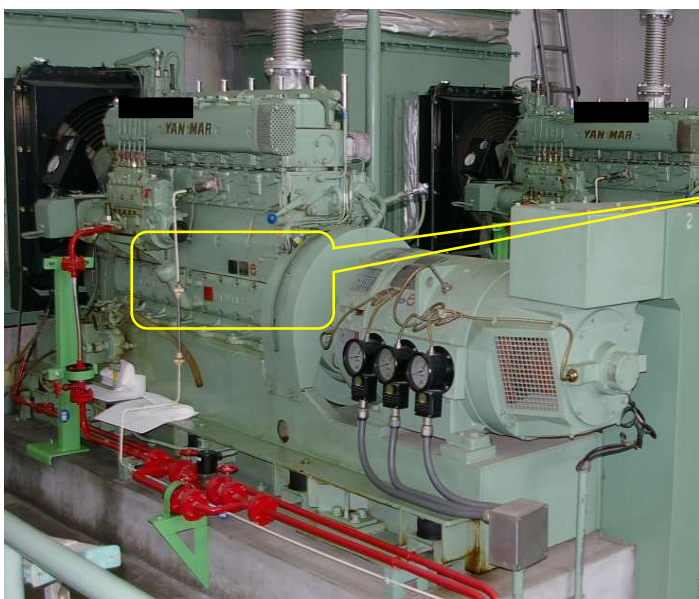


注意点

- チューブ、ボトルは、1サンプル毎に使い捨てる。
- 潤滑油サンプルの採油は、必ず管理運転を行った後（構造によっては運転中）に行う。
- 傾向管理のため継続的に潤滑油分析を行う場合、サンプル採油前の管理運転時間、採油箇所は可能な限り統一し、容易に変えてはならない。



採油箇所（原動機（主ポンプ、発電機））



採油は、サンプリングチューブを、原動機の給油口もしくはレベルゲージのいずれか（入れやすい方でよい）から原動機内に入れて行う。



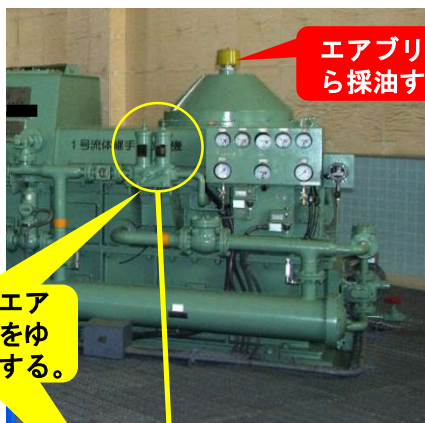
振動計測中に、採油箇所を確認する。

注意

サンプリングチューブを入れるときに異物感がある場合、チューブの方が太い場合（レベルゲージに多い）は、無理に押し込めない。また、チューブを抜くときは、無理に引っ張らない。

採油箇所（減速機）

減速機は原動機と違い給油口やレベルゲージがなく、また形状構造も様々なので形状構造をよく観察し採油できそうな箇所を探す。以下に例を示す。



エアブリーザから採油する。

フィルタのエア抜きボルトをゆるめて採油する。



排水口を開けて採油する。
（工具が必要な場合有り）



この作業の場合のみ、**運転中**に行う。



蓋を外すなどして採油する。
（外す作業は点検業者に依頼）

先方の負担になるので推奨できない。あくまでも先方の協力と理解を得られる場合にのみ、この方法により行う。



▼ 性状分析

○動粘度（JISK2283 40℃及び100℃）

適正な油膜を保持できるか否かの指標である。

○酸価及び塩基価（JISK2501）

いずれも、潤滑油の劣化状況を示す。

酸価 潤滑油が酸化劣化して生成した酸性物質質量。

塩基価 ディーゼル燃料に含まれる酸性物質中和のため添加されている塩基成分の残存量。

○水分（カールフィッシャー法（JISK2275））

水分量が多くなると、設備内の発錆、酸化促進、潤滑不良（油膜切れ）の原因となる。

○不溶解分

燃焼生成物、スラッジ、金属摩耗粉などは、油に溶けずに残る物。

増加すると、フィルタの目詰まりや潤滑系統の清浄性悪化などの原因となる。

一般的な管理基準値

項目	原動機油（ディーゼル）	減速機油
動粘度 40℃	新油-10～+45%以内	新油比±10%以内
〃 100℃	新油-10～+30%以内	—
水分量	0.3vol%以内	0.1vol%以内
酸価	—	新油+0.5mgKOH/g以下
塩基価	新油比50%以上	—
不溶解分	1.5mass%以内	0.1%以内

（注）ここに示した数値は一般的なものであり、分析業者は各自の技術的背景に基づいて独自の基準値を設けている例がある。

- ・ 各項目の数値が、上記管理基準値を著しく逸脱している場合は、潤滑油の交換を検討する。



鉄粉濃度計測



一般の設備では、鉄粉濃度計による傾向管理を行い、異常傾向を認めた場合に精密診断のひとつとしてフェログラフィやSOAPを行うという運用方法で、外注分析費用を抑えつつ状態監視保全を進めている事例がある。

ポンプ設備においてもSOAP法による鉄元素濃度と鉄粉濃度計の計測結果の傾向は概ね近似しており、傾向管理として鉄粉濃度計は適用可能である。

注意点

- 測定精度が低く結果の数値にばらつきが生じるため、同一サンプルを数度計測し、平均値を計測値として記録する。
- サンプルを事務所に持ち帰って分析するなど、採油直後から時間をおいて分析する場合は、よくサンプルを攪拌してから分析する（ボトルの底に摩耗粉が沈殿し、上澄みを分析してしまうことを避けるため。攪拌は、30秒～1分程度サンプルの入った容器を振る程度で良い）。

参考文献：ISO18436-4準拠 トライボロジーに基づくメンテナンス（2012日本トライボロジー学会編）

鉄粉濃度計測による傾向管理例

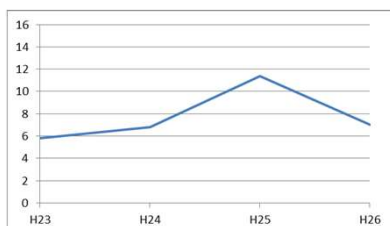
鉄粉濃度計	計測結果(単位:ppm)					平均
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	
H23	6	5	6	6	6	5.8
H24	8	6	7	8	5	6.8
H25	7	7	7	6	6	6.6
H26	10	11	13	12	11	11.4

鉄粉濃度計は、測定精度が低く結果の数値にばらつきが生じるため、同一サンプルを数度計測し、平均値を計測値として記録する。

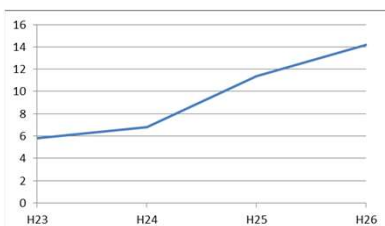
急激な数値の上昇が見られる場合に、SOAP法やフェログラフィ法により、どのような内部摩耗状態かを確認する。

注意点

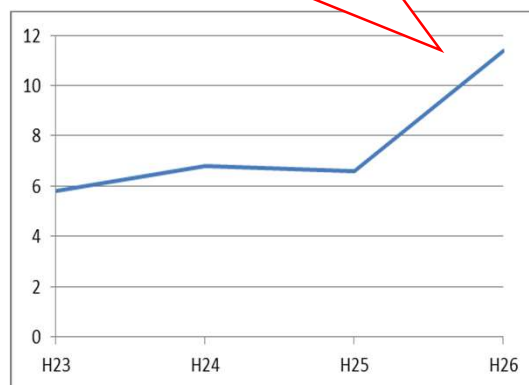
傾向管理全般に言えることだが、特に鉄粉濃度計については、計測結果の数値がばらつきやすいので、1度の数値上昇で即座に異常兆候と判断せず、上昇傾向が続くようなら異常を疑うようにする。



数値上昇があっても異常ではない例



数値上昇が続く例（異常兆候あり）



鉄粉濃度計の傾向管理例

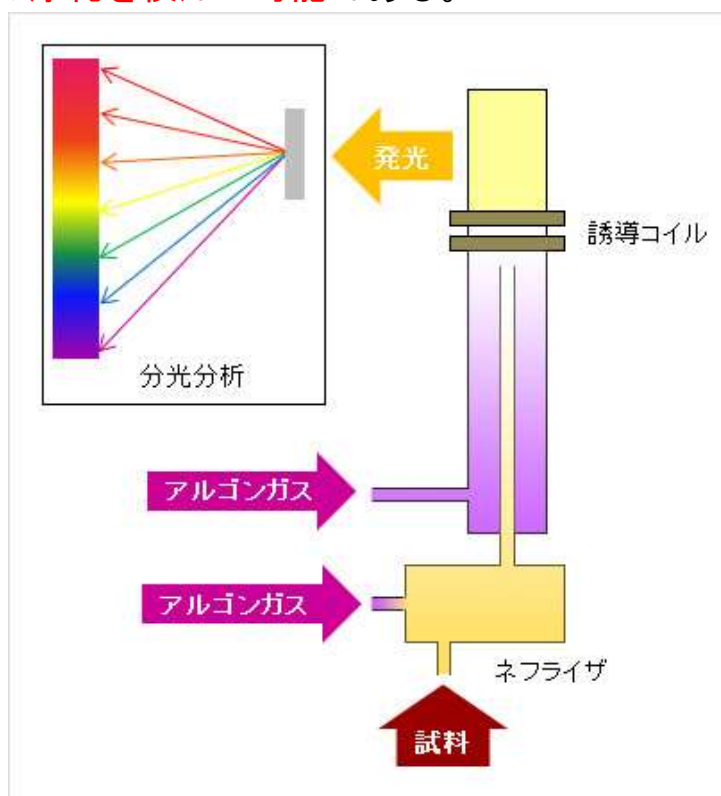


SOAP法

プラズマ等により油脂に熱エネルギーを与えて発光させ、その光の波長を分光分析して、油脂に混入している金属元素とその濃度を測定する手法で、使用部材が既知ならば、設備内の摩耗部位の推定が可能である。

特徴

- 10 μm 以下の小粒子の分析に有効である。
逆に大粒子の分析には、大粒子を発光させるほどの熱エネルギーを与えるのが困難なため、不向きである。
- 金属成分をppm単位で検出が可能である。
- **設備初期段階の摩耗を検出が可能**である。



検出元素と発生部品（摩耗）

機器	部品	材料	成分
原動機	スリーブ	特殊鋳鉄	Fe Ni Cr
	ピストンリング	特殊鋳鉄	Fe Ni Cr
		ステンレス鋼	Fe Ni Cr
	ピストンピン	炭素鋼	Fe
	クランクピン	クロムモリブデン鋼	Fe Ni Mo
	ピストンピンメタル クランクピンメタル	ホワイトメタル層 ニッケル層 ケルメット層	Sn Pb Ni Cu
減速機	歯車	クロムモリブデン鋼	Fe Ni Mo
	軸受	高炭素クロム軸受鋼	Fe Cr Mo
		アルミ合金 高力黄銅鋳物	Al Cu Zn



SOAP法による傾向管理例

SOAP法による分析結果例

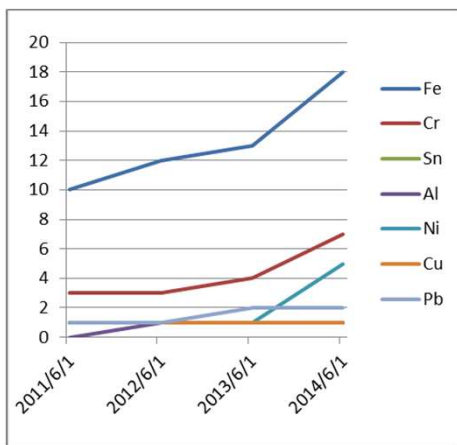
採油日			2011/6/25	2012/6/18	2013/6/14	2014/6/23
金属濃度 (SOAP) mg/kg	摩耗	鉄 Fe	10	12	13	18
		クロム Cr	3	3	4	7
		錫 Sn	1	1	1	1
		アルミニウム Al	0	1	1	1
		ニッケル Ni	1	1	1	5
		銅 Cu	1	1	1	1
		鉛 Pb	1	1	2	2
		銀 Ag	N/A	N/A	N/A	N/A
	アンチモン Sb	N/A	N/A	N/A	N/A	
	汚染	ケイ素 Si	0	0	0	0
		カリウム K	N/A	N/A	N/A	N/A
		ナトリウム Na	3	2	3	2
		カルシウム Ca	4621	4444	4621	4444
	添加剤	マグネシウム Mg	15	16	15	16
		ホウ素 B	28	106	28	106
		亜鉛 Zn	600	561	501	460
		リン P	398	354	398	354
		モリブデン Mo	0	0	0	0
		バリウム Ba	0	0	0	0

設備内部の部品の摩耗が進行すると、これらの数値が増大する。下記「SOAP法による傾向管理」を参考に設備内部状態の摩耗が推定される。

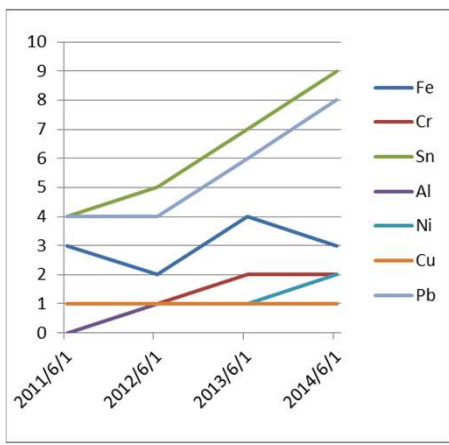
潤滑油の汚染が進むと、これらの数値が増加する。

添加剤の消耗が進むと、これらの数値が減少する。添加剤が減少すると、添加剤の効果がなくなる。これらの元素が著しく減少している場合は更油を検討する。

SOAP法による傾向管理例



Fe, Cr, Niの濃度が増加→SUSが主材質の部品の摩耗が推定される。



Sn, Pbの濃度が増加→ホワイトメタルの摩耗が推定される。

このように、増加傾向にある元素と、関連する原因を照らし合わせて、設備内部状況や潤滑油状態を推定する。



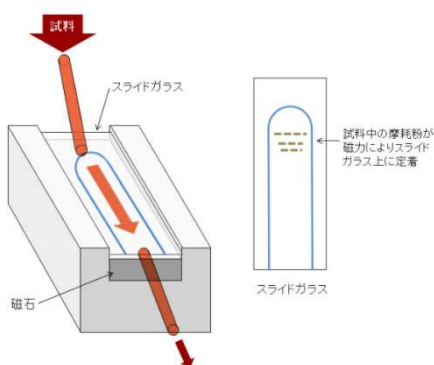
フェログラフィ

金属摩耗粉が含まれた潤滑油を、磁石を下に敷いたスライドガラス上または沈着チューブ内に流し、油中の摩耗粉を捕捉分離することで摩耗粉を分析する。
原理上、5 μm以上の大摩耗粒子の分析に適している。



分析フェログラフィ

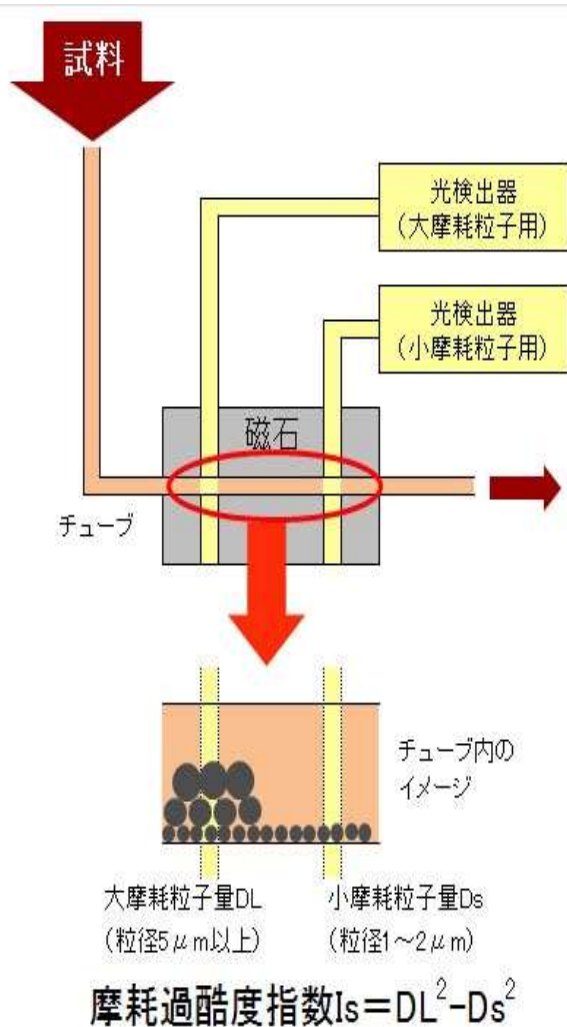
スライドガラスに定着した潤滑油中の粒子を顕微鏡で観察し、その大きさや形状、色により、機械設備の内部摩耗状態を診断する。



形状による分類		
	正常摩耗粒子 10 μm以下の粒子が経年経路に沿って配列	切削摩耗粒子 発生原因: 突配、異物による部材の切削
	平板状摩耗粒子 発生原因: 軸がり軸受の疲労摩耗	シビア摩耗粒子 発生原因: 過剰回転による部材の損傷
色・材質等による分類		
	球状摩耗粒子 発生原因: 軸受の疲労	砂 発生原因: 異物の混入
	非鉄粒子(ホワイトメタル) 発生原因: すべり軸受の摩耗・損傷	非鉄粒子(銅合金) 発生原因: 軸受の摩耗・損傷
	黒錆 発生原因: 摩損面の過熱・油質不具合	赤錆 発生原因: 水分の混入による腐食

定量フェログラフィ

沈着チューブ内に残留した大粒子（5 μm以上）と小粒子（2 μm以下）の各濃度を調べ、摩耗過酷度指数を算出することによって機械を診断する。



* 摩耗過酷度指数が大きいほど、設備劣化が激しい

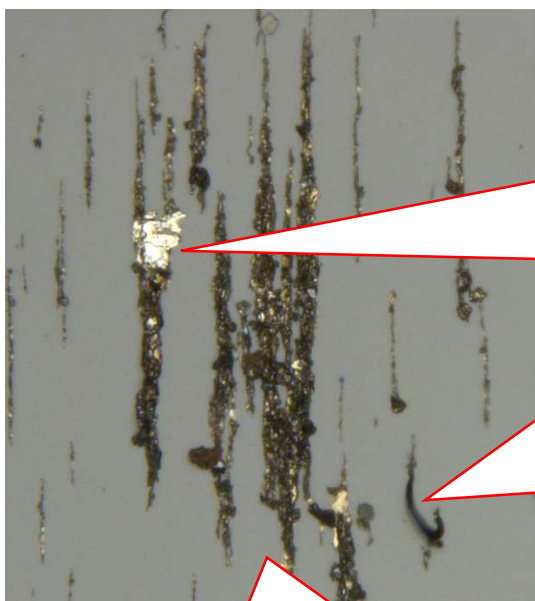
フェログラフィは、前処理として潤滑油サンプルを溶剤で希釈して実施するが、希釈に対する考え方は分析者によって異なるため、希釈率も異なる。また、同一業者でも必要に応じて希釈率を変更する場合があるので、特に分析フェログラフィの写真を経年、あるいは同一仕様機器相互で比較する場合には注意が必要である。



▼ フェログラフィの見方

フェログラフィによる設備内部の摩耗状態の把握には、相応の経験を要する。

ここでは、設備管理者として、専門分析業者から提出される報告書に対して質疑ができるよう、添付される写真の確認（あるいはガラスの直接確認）のしかたについて概説する。



このような色、形の摩耗粉は、ホワイトメタルである。
このような摩耗粒子が多く見られるようになると、クランクピンメタルなどすべり軸受の摩耗進行が推定される。



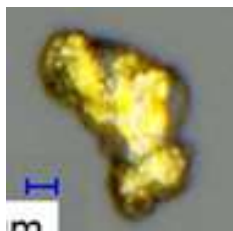
このような細いカール状の摩耗粉は、切削摩耗粒子である。
これが見られたからといって直ちに異常を示すものではないが、短期間に多量に見られるようになった場合は、異物混入等による内部摩耗進行が推定される。

正常摩耗粒子は、異常兆候が無くても見られる。

経年のフェログラフィの比較を行う場合、同一分析者が同一の希釈率で分析した場合には、この正常摩耗粒子が増加していれば摩耗が進行していると推定できる。

ただし、分析者が異なれば、分析者それぞれのノウハウで希釈に関する考え方が異なり、摩耗粉の定着度合いが異なるので比較はできない。

また、同一分析者でも希釈率を変更して分析する場合があるので、その場合も比較はできない。



このような色、形の摩耗粉は、銅合金であることが多い。
このような摩耗粒子が多く見られる場合、軸受の摩耗が推定される。
ホワイトメタルも多く見られる場合、すべり軸受がケルメット層まで摩耗している可能性がある。



参 考 資 料

5. サーマグラフィ



1. 排水機場

主ポンプ・原動機・減速機

サーモグラフィ

サーモグラフィは、「赤外線放射エネルギーを検出し、見かけの温度に変換し、その分布を画像表示する方法（JIS Z2300）」である。

機器の過熱状態の把握が可能となるので、一般的な設備点検では、軸受異常や配線の緩みの発見などの活用事例があり、土木機械設備の点検にも有効と考える。

【活用に当たっての注意点】

- サーモグラフィは画面上で熱分布を表示するもので、表示される温度は真の温度とは必ずしも一致しないことに注意する（各種補正を行うことで測定対象物の温度に近似するよう設定できるが、煩雑な手順を要する）。
- 監視対象の撮影の際は、対象物と正対した位置で撮影する（下左写真参照）。ただし、測定対象物に測定者自身や他の熱源が反射して映り込むと測定結果に影響が出るので、その影響がない（あるいは限りなく少ない）場所から撮影する。
- 光沢面や金属が露出している場合など、反射の影響を受けやすい面は正確な計測ができない。このような面を計測したい場合は、塗装をする、黒体テープを貼付するなどして対処する（下右写真参照）。
- ピントがずれると正確な計測ができないうえ、撮影後の補正もできないので、ピントは確実に合わせる。



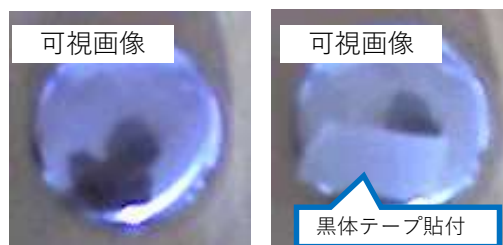
正対している
(正しい撮影状態)



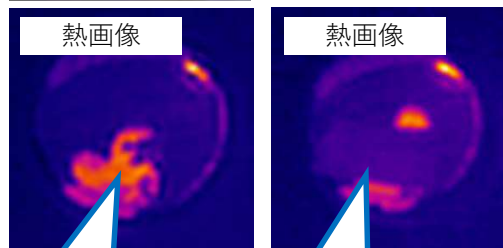
正対していない
(悪い撮影状態)



撮影の向き



黒体テープ貼付



反射の影響で部分的に温度が高く表示されてしまう。

黒体テープを貼ることで、反射の影響を押しえることができる。



反射の影響

1. 排水機場

主ポンプ・原動機・減速機

サーモグラフィ（続き）

- 測定したい温度範囲を想定し、適切な温度レンジ（測定温度範囲）を設定する。温度レンジも測定後の変更が不可能であり、レンジを外れる温度は測定できない。なお、画像表示される温度範囲（温度スパン）は、撮影後も（レンジの範囲内で）変更できる（下図参照）。
- 温度スパンは、撮影時に自動で設定される機種がほとんどなので、撮影時には意識しなくても影響はないが、撮影画像を時系列で比較したい場合は、撮影後の変更でよいので温度スパンを統一した方が結果がわかりよい。



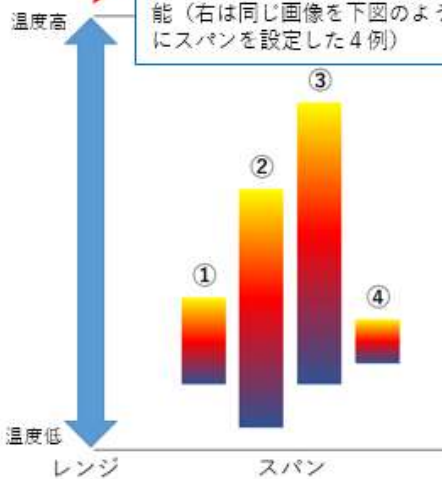
サーモグラフィ撮影対象

サーモグラフィの仕様（例）

素子数	1024×768ピクセル
測定視野角	2.8° × 2.1°
測定温度範囲	レンジ1：-40°C～120°C
	レンジ2：0°C～350°C
	レンジ3：250°C～1500°C

レンジは計測温度範囲を設定するもので、撮影後に変更できない

スパンは表示する温度範囲を設定するもので、撮影後も変更可能（右は同じ画像を下図のようにスパンを設定した4例）



① 温度スパンが温度分布を明瞭に表しており適切

② 温度スパンが広すぎて温度分布が分かりにくく不適切

③ ②に加え、温度スパン上限が高すぎて温度分布が分かりにくく不適切

④ 温度スパンが狭く、特に高温部の分布が分かりにくく不適切

温度レンジと温度スパン

1. 排水機場

主ポンプ・原動機・減速機

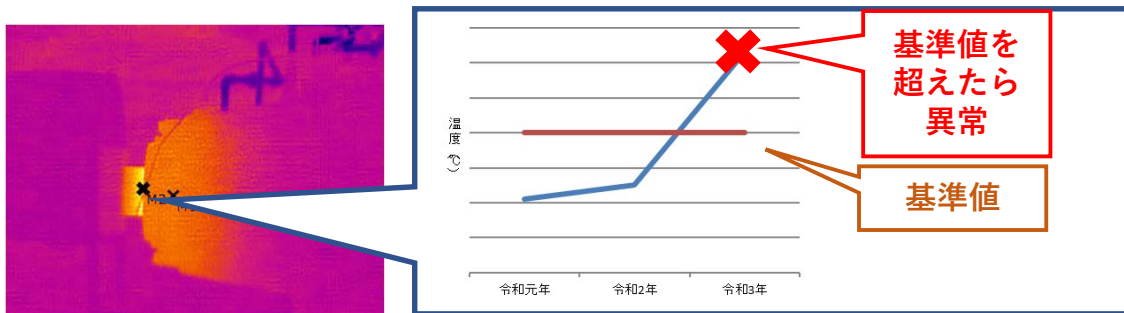
サーモグラフィ（続き）

【評価方法】

- サーモグラフィの評価方法には、「絶対評価」「相対評価」「相互評価」の3つの手法がある。いずれの場合も、異常がある場合には本来動力として使われるはずのエネルギーが熱となって現れるので温度が高くなる、という現象を利用して異常判定を行う。
- いずれの評価方法でも、可能な限り同一の運転条件下（例えば、同一の負荷状態で運転開始後〇分後に計測する、等）での比較が必要である。それぞれの説明と事例イメージを以下に示す。

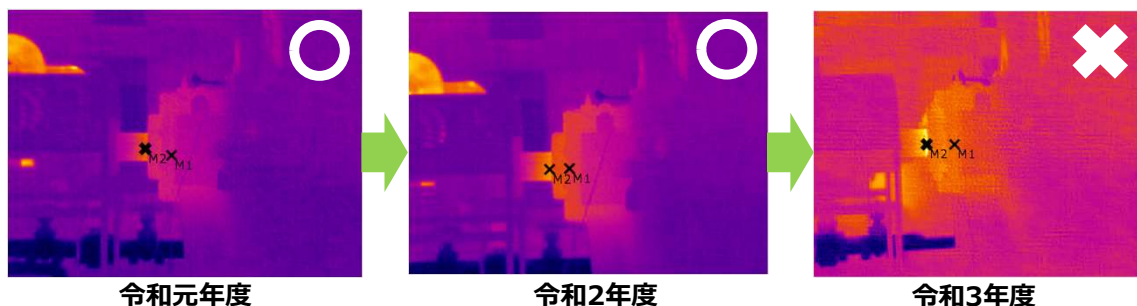
絶対評価

計測する対象の温度を定期的、継続的に監視し、あらかじめ定めた基準値以上になった場合に異常と判定する手法。実績等により基準値を定められる場合に適用できる。



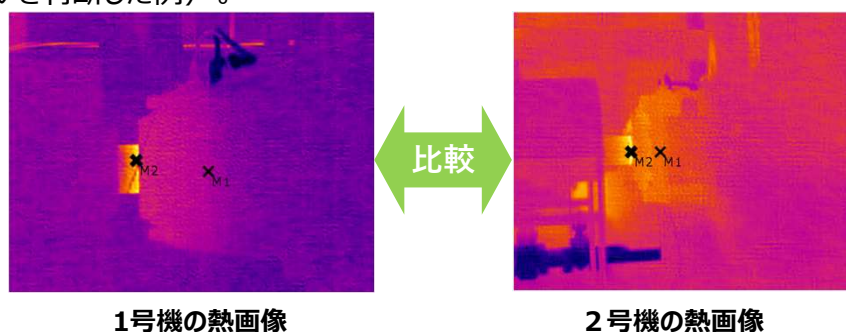
相対評価

計測する対象の温度を定期的、継続的に監視し、温度の上昇傾向が見られたときに異常と判定する手法（以下の事例イメージは、令和3年度計測時に温度上昇が見られたので異常を疑った例）。絶対評価の基準値が定められない場合（そのようなケースが多い）にこの手法をとるケースが多い。



相互評価

同一の仕様、運転条件等の計測対象が2台以上ある場合、相互の結果を比較し温度が高い傾向の方の異常を疑う手法（以下の事例イメージは、2号機の方が温度が高いため設備状態が悪いと判断した例）。



1. 排水機場

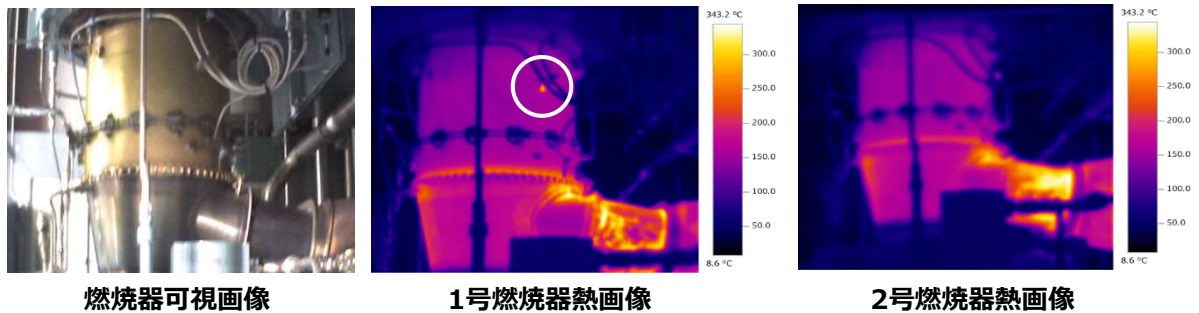
主ポンプ・原動機・減速機

サーモグラフィ（点検診断適用事例）

・ガスタービン燃焼器適用事例

ガスタービン燃焼器の診断に赤外線サーモグラフィを適用した事例を紹介する。

同型の立軸ガスタービン410kW、1号機、2号機の燃焼器外観は写真（左）のとおりである。運転20分後の1号機の熱画像を写真（中央）に、2号機の熱画像を写真（右）に示す。1号燃焼器右上部配線直下付近（囲み部分）にホットスポットが認められる。ホットスポットの温度は280℃程度であり、周辺温度は150～160℃とその差異は顕著である。一方、同型の2号機にはホットスポットは認められず、周辺温度も1号機と同様であることから、遮熱コーティングの剥離など何らかの異常が疑われる。



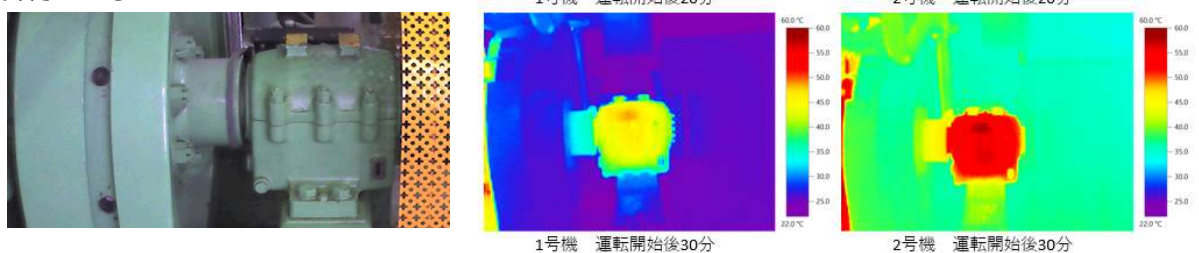
・ポンプ動力伝達軸受適用事例

ポンプ動力伝達軸受の診断に赤外線サーモグラフィを適用した事例を紹介する。同型の動力伝達軸受、1号機、2号機の軸受外観は写真（下）のとおりである。写真（右）に1号機と2号機の運転時間経過に伴う軸受ケーシング温度分布の推移を示す。

1号機と2号機は同様の負荷運転を行っているが、運転20分後から30分経過後の温度上昇に着目すると、両者に明らかな違いがある。

1号機の温度上昇は10℃程度であったが、2号機は20℃程度となっている。

したがって、10分間で2号機は1号機の倍以上の温度上昇となっていることが熱画像から明白であり、潤滑油不足や軸回りの異変（軸のアンバランスや軸受基礎のずれ等）何らかの異常が疑われる。



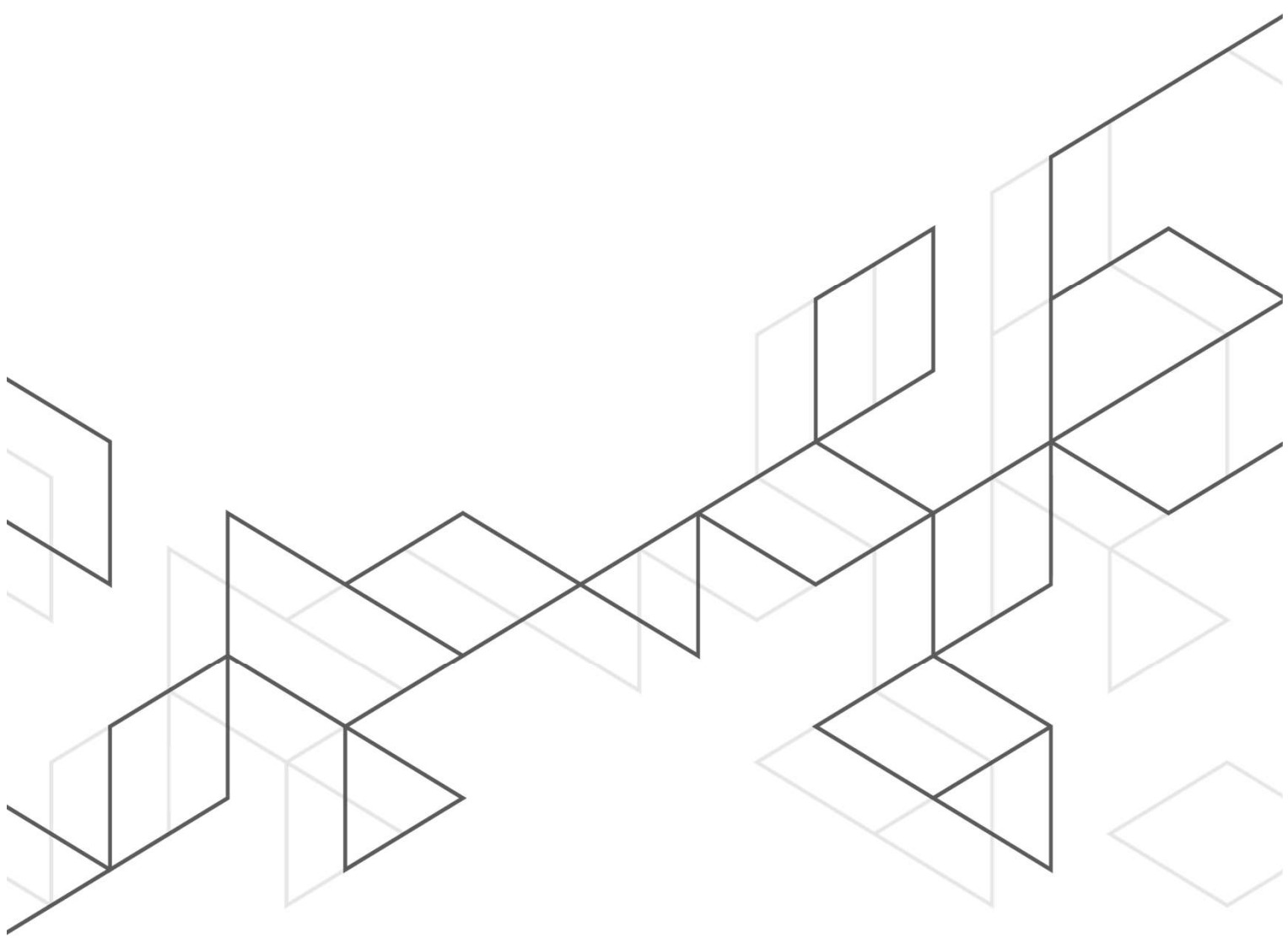
動力伝達軸受可視画像

動力伝達軸受熱画像



参 考 資 料

6. メーカー独自の技術開発事例



2. メーカー独自の技術開発事例

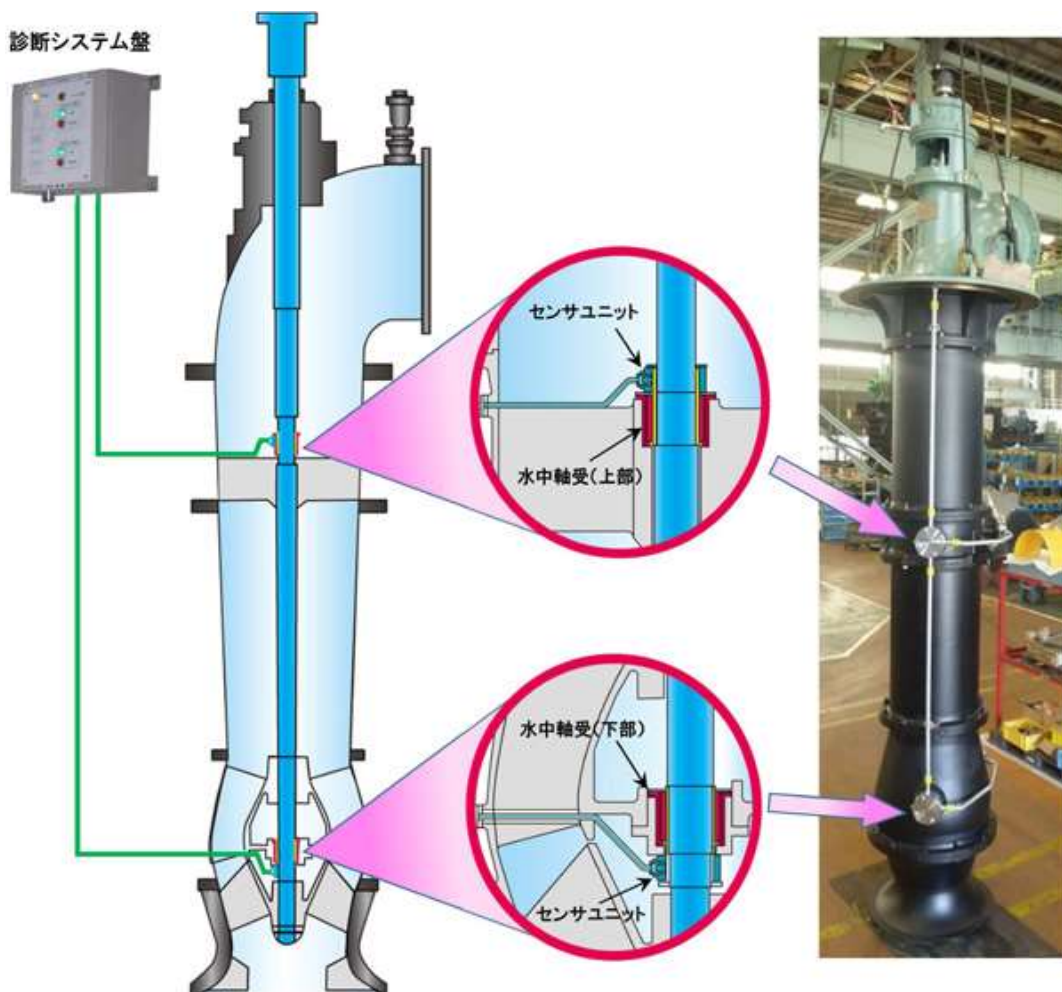
☑ (株) 石垣「水中軸受診断システム EGウォッチャー」 NETIS番号：SK-150007-A

揚排水ポンプの水中軸受摩耗量を自動測定し、ポンプの健全度を判定する状態監視技術であり、従来は振動測定による点検で対応していた。

本技術の活用により水中軸受の傾向管理や状態監視保全が可能となり、点検工数・費用の低減、ポンプの信頼性向上が図れる。

特徴

1. 水中軸受部近傍で水中軸受と軸スリーブの隙間で発生するポンプ運転中の半径方向の変位量を、センサと軸スリーブ表面の距離で計測し、その値から軸受部の摩耗量を計測するシステム。
2. 警報機能
初期に設定した摩耗上限値を基準として、操作盤のランプが点灯することで、交換時期が把握できる。
3. 容易に設置
ポンプ外部からの設置、取外しが容易。
4. 偏摩耗確認
軸芯の軌跡を確認することで、偏摩耗の診断が可能。



<水中軸受診断システム概要図>



2. メーカー独自の技術開発事例



(株) 荏原製作所「楽々点検ポンプ」

NETIS番号：KT-110053-A

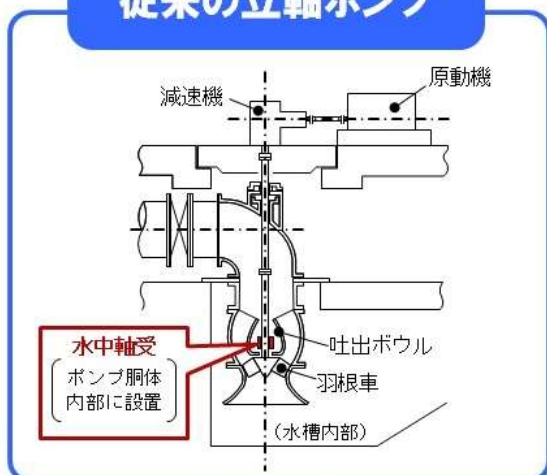
従来の縦軸ポンプでは、吐出しボウル内にある水中軸受の点検や整備（交換）をするために、ポンプ本体をはじめ、減速機等の引き上げが必要であった。その結果、作業期間が長期化し、費用の負担が大きくなった。

楽々点検ポンプでは、水中軸受を羽根車下方のベルマウス部に設けることで、ポンプを据え付けたまま水槽内部からの点検・交換を可能とし、作業期間の短縮及び費用負担の縮減を実現した。

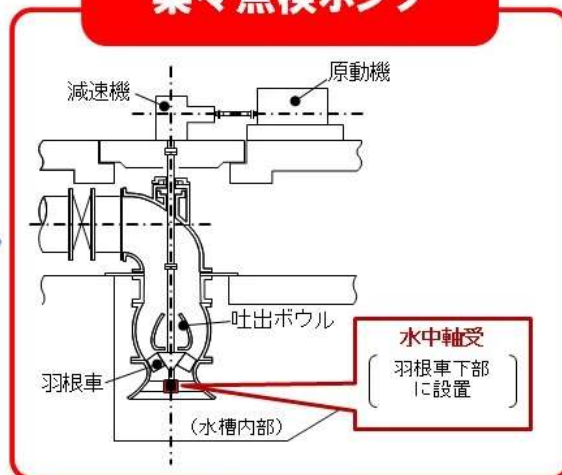
特 徴

1. 水中軸受を羽根車下方のベルマウス部に設けることで、ベルマウス下方から作業員の手で水中軸受の取り外しができるようになる。
2. これにより、水中軸受の目視や触診・軸受摩耗量の直接測定・軸受取替といった保全作業が容易になる。

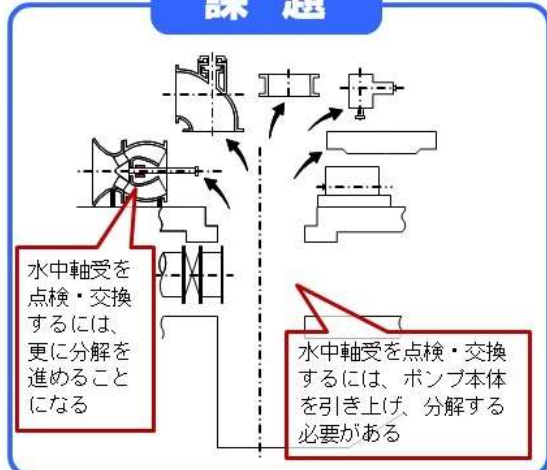
従来の立軸ポンプ



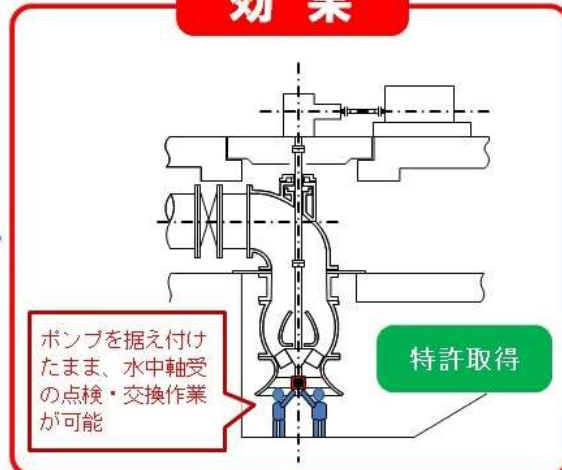
楽々点検ポンプ



課 題



効 果



2. メーカー独自の技術開発事例



クボタ機工（株）「GENSO」

ポンプにカメラ診断専用窓「GENSO」を取り付けて内視鏡カメラ診断を行う事で、①ポンプ内部状況確認にかかる費用の低減、②ポンプ設備のLCC（ライフサイクルコスト）低減を実現。

特徴

1. 既設ポンプの点検窓枠を流用できるため、導入費用が安価である。
2. 従来の点検窓を外す作業に比べ、GENSOの開閉作業が容易である。
3. 内視鏡カメラ作業もガイドを使うことで、所定の維持を狙える。
4. 透明な窓を採用する事で、水位が確認でき安全な開閉を実現。
5. 新たな計測機器やセンサの導入へもスマートに対応。



既存ポンプ設備点検窓



内部診断用窓



内視鏡カメラ診断状況

スマートな点検作業を実現



内視鏡による点検

〇〇ポンプ場 No.1 雨水ポンプ 口径 1000 mm
2013/10/3 水中カメラによる点検状況① (ポンプケーシング～取組機) 1989/1 購入 ※部品番号は構造図面番号を表示しています。



目下底生端、目下中間軸受
ゴミなど異物の確認は行われず。



目下中間軸受、目下上端
吸込ライナー・駆動部に泥状の堆積物が認められる。



GENSO 装着時



ガイドによるサポート機能



2. メーカー独自の技術開発事例

クボタ機工（株）「スリップライナー229」

「スリップライナー229」は、吸込ライナーにスリップラインを埋め込み、摩耗・劣化により肉厚が任意の値まで減ってくればスリップサインが出現する技術。このスリップライナー229と内視鏡カメラ診断を併用することにより、容易に吸込ライナーの状態を判定する事が可能である。

特徴

1. スリップライナー229と内視鏡カメラを併用することにより、現地で容易に吸込ライナーの状態を判定できる。
2. 羽隙間（羽根車とライナーの隙間）は、ポンプごとに設計値が決められているため、吸込ライナーの磨耗度より定量的にポンプの吐出量低下を提示することができる。



図-1



図-2

2. メーカー独自の技術開発事例

④ ダイハツディーゼル（株） 「メンテナンス支援システム」

排水機場や下水処理場など、メーカーや用途の違う機器が多数存在する状況が、大型船舶の機関室と近いことから、現在船舶用に展開されている内燃機関及び主要機器の各社が協力して予知保全を行うという新しいコンセプトのメンテナンス支援システム「CMAXS」である。

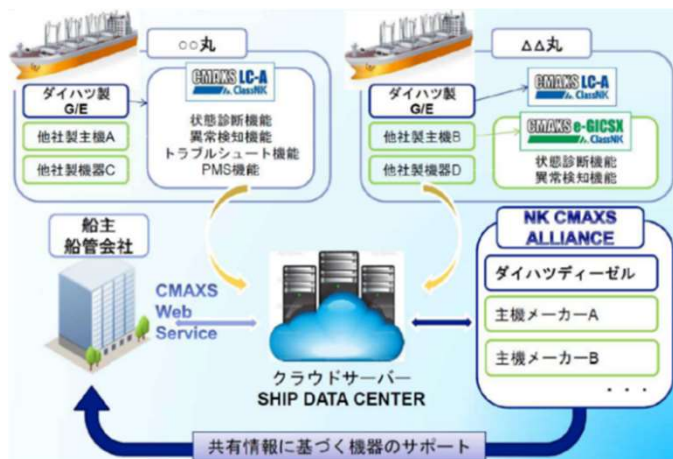
特徴

1. 「異常診断／状態監視」メンテナンス支援システム。

アライアンスを組んだ複数メーカーが、一つの異常診断/状態監視システムを共用し、運用する仕組みである。

2. 計測から診断へ。

第一層の「計測」と第二層の高度な「異常検知」機能は共有し、第三層の「診断」を司る「診断ロジック」をメーカーの組み合わせが変わっても、各自で持つ独自の製品知識やサポートノウハウで作り上げる。



<船舶と陸上のサポート体制図>

3. ポンプ駆動用原動機でのセンサーの選択。

オイルミストディテクタはクランク室内のオイルミスト量の検知を行います。劣化（摩耗等）による燃焼ガスのブローバイ（吹き抜け）増加、軸受けの焼損傾向の数値検知による傾向管理が可能となります。



<高機能センサ・オイルミストディテクタ>



2. メーカー独自の技術開発事例

☑ (株) 電業社機械製作所「羽根厚み&ギャップ計測システム」 NETIS 番号 CB-190008-A

立軸ポンプにおける羽根とケーシングの隙間（ギャップ）は、水中軸受の摩耗、吊り上げ代および温度やスラストなどによるシャフトの伸びにより変化する。このため、ポンプ運転中（回転中）の羽根とケーシングの状況を実際に計測し、これを管理することは保全管理上非常に有効な手段であり、保全コストの低減と設備の安全を図る上で重要な意味がある。

特 徴

1. ポンプ運転中のギャップが計測できる

インペラケースに取り付けられたセンサ信号をコンピューター処理することにより、センサを横切る瞬間のギャップが計測できる。

2. 羽根の厚さが計測できる

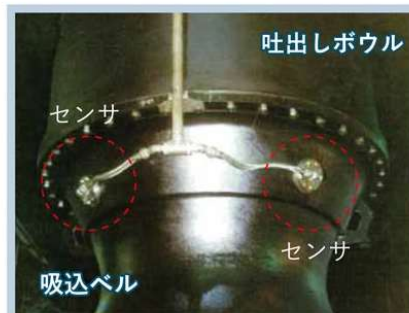
計測したギャップと食い込み量の関係から、羽根の厚さが計測できる。

3. 耐久性に優れたセンサ

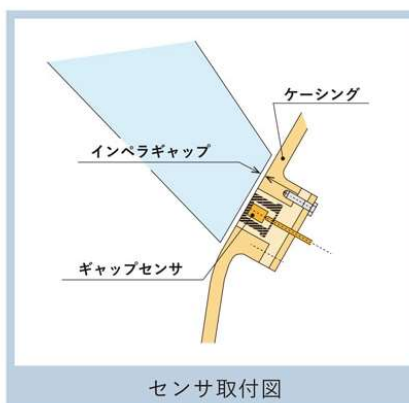
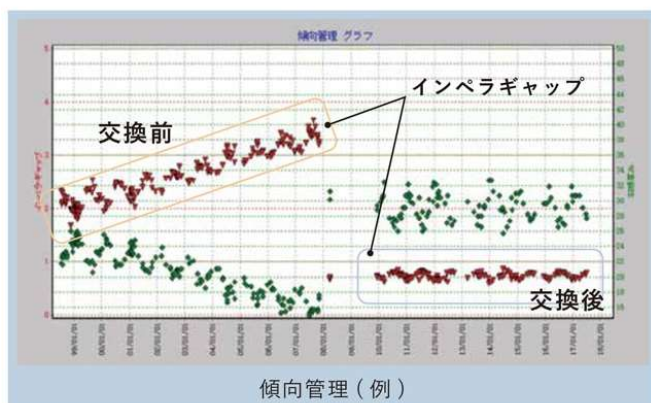
センサの感受部（プローブ）は、セラミックとの一体構造です。このため、耐摩耗性、耐腐食性に優れています。さらに、ケーブルはステンレス管で保護し、破損・防水対策で万全である。

4. アンブ内蔵センサのため遠方への信号出力が可能

センサ内部にアンブを内蔵することにより、最大150mまで延長可能です。このため、センサ信号はケーブルの長さに影響を受けない。



非接触式変位センサ(水中部)



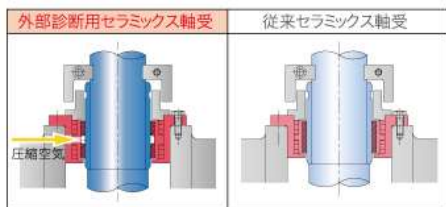
2. メーカー独自の技術開発事例



(株) 西島製作所「ベアドクター」

NETIS番号：KK-100003-A（2016.10掲載終了）

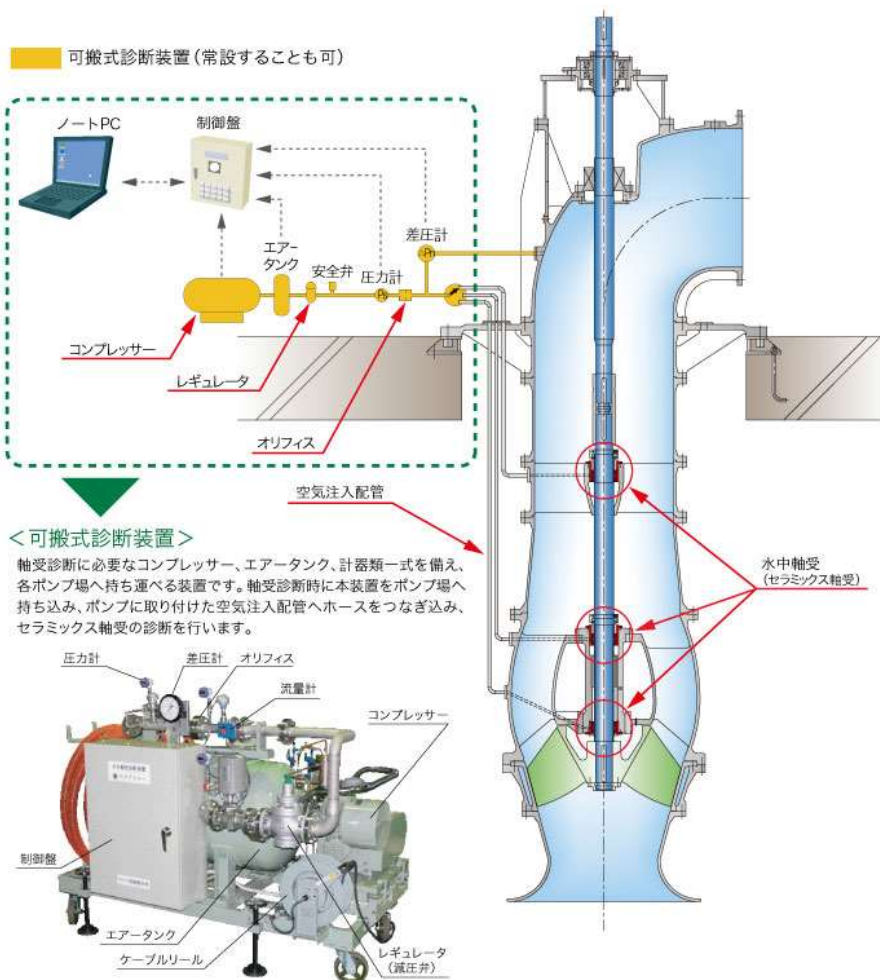
ポンプ主轴と水中軸受（セラミックス軸受）との隙間へ外部コンプレッサー等により圧縮空気を送り込み、供給圧と吐出圧力との差圧および空気流量を検出する。このデータを納入当初の測定データと比較することで、水中軸受の異常および摩耗状態を外部より判定できる。



＜外部診断用セラミックス軸受＞

特徴

1. 空気マイクロメータの原理を応用し、圧縮空気を注入し測定することで、軸受摩耗量の測定を高い精度で検出することができる。
2. 圧縮空気を水中軸受に注入することで、水中軸受部のゴミや砂を除去する作用（洗浄作用）がある。



＜圧縮空気による水中軸受外部診断概略図＞

発行日：2022年3月26日

© 2022 国立研究開発法人 土木研究所

© 2022 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

協力：一般社団法人河川ポンプ施設技術協会

編集/校正：日本工営株式会社

装丁：アシスト六郎



国立研究開発法人

土木研究所

技術推進本部 先端技術チーム

〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6号
TEL:029-879-6757 FAX:029-879-6799

<https://www.pwri.go.jp/team/advanced/index.html>



国立研究開発法人 土木研究所

寒地土木研究所

技術開発調整監付 寒地機械技術チーム

〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号
TEL:011-590-4049 FAX:011-590-4054

<https://kikai.ceri.go.jp>

寒地機械

