

## 音響診断によるCBMの作業安全性と信頼性の向上

### Acoustic diagnosis Improves work safety and reliability of CBM

(株) 中部プラントサービス	神保吉秀	Yoshihide Jimbo	Member
(株) 中部プラントサービス	岸田光博	Mitsuhiro Kishida	Member
(株) 中部プラントサービス	黒柳克巳	Katsumi Kuroyanagi	Member
(株) 中部プラントサービス	堀田治	Osamu Hotta	Member
(株) 中部プラントサービス	肥田茂	Shigeru Hida	Member

This paper describes study of effectiveness of applying acoustic diagnosis to CBM(Condition Based Maintenance). We usually measure data of vibration of rotating machines with accelerometer to monitor the condition of it. This work is dangerous because we put the accelerometer near the rotating shaft of the machines by hand. Therefore we tried the non-contact sensing using a microphone of acoustic diagnosis and checked the data. As a result, we got the enough data for the monitoring safely.

When rotating machines have an anomaly, usually abnormal sounds can be heard first. After a while, vibration data goes over the criteria then we maintain the machines. We suggest that we first apply acoustic diagnosis to the monitoring then change to vibration diagnosis after abnormal sounds are detected. At this time, we prepare for the maintenance of the machines. In this way, we can prepare for it much earlier than ever.

**Keywords:** Acoustic diagnosis, non-contact sensing, abnormal sounds, safety, reliability

## 1. 緒言

CBM(状態基準保全)における回転機器の診断を、振動診断法により行っているが、機器から異音が発生していても診断結果には異常が認められず、異音の発生原因が解らないことがある。そこで我々は昨年、回転機器の診断に音響診断法を試みた。その方法は、加速度ピックアップで機器の振動データを採取し音響解析ソフトで音として再現して解析をするものであった。正常な音のする機器について診断を行った結果、音響診断は回転機器の異常兆候を捉える有効な手段であることが解った。[1]

その後、現場を巡回し機器の音響診断を行っていると、異音を発する機器を発見し異常兆候を捉えた。しかし、同機器の振動診断の結果は、異常兆候を示して

いなかった。この結果を整理すると、音響診断で分解点検の要否を判断することは現段階では難しいが、初期の異常兆候を捉えることに関しては振動診断よりも適した技術であると考えることができる。

また、音響診断のデータを、マイクロホンで採取してみたところ、加速度ピックアップで採取した結果と同等の結果が得られた。振動診断のデータの採取は、現場を巡回して行っている。加速度ピックアップを回転している軸の近くにマグネットを利用し手で取付けてデータの採取を行う。この作業には回転軸に手を巻き込まれる等の危険が常につきまとう。振動診断を、マイクロホンを使った音響診断に置き換えれば非接触な作業となり、巻き込まれ災害などのリスクを大幅に下げることができる。

今回は、異音を発している機器に対する音響診断の結果を評価すると共に、振動診断と音響診断の特徴を整理し、音響診断をどのようにCBMへ活用すると効果があるのか検討した結果を報告する。

連絡先：神保吉秀、〒437-1695 静岡県御前崎市佐倉 5561  
中部電力(株) 浜岡原子力発電所内 保守センター第1棟  
株式会社中部プラントサービス 浜岡総括事業所  
技術部 技術グループ  
電話:0537-85-4347、e-mail: y-jinpo@chubuplant.co.jp

## 2. 音響診断の適用結果

巡回点検により発見した異音を発している機器を、振動診断と音響診断によって解析を行った。音響診断は、マイクロホンにより異音を採取した。振動診断の結果を図1に、音響診断の結果を図2及び図3に示す。機器は横軸単段遠心型ポンプで、仕様は口径 200×150A・全揚程 45m・流量 280m<sup>3</sup>/h・回転数 1800rpmである。

解析の結果、以下に示すように振動診断の結果には異常兆候が顕著に現れていなかったが、音響診断の結果には異常兆候がはっきりと現れていた。

- (1) 図1(a)の速度オーバーオール値に、大きな変化は見られない。値は異常判定基準値以下である。
- (2) 図1(b)の加速度オーバーオール値に、大きな変化は見られない。
- (3) 図2の①、②に正常音の機器よりも音圧レベルの上昇が顕著に見られ、異常兆候があると判断できるが、図1には、それに相当する周波数の振動値の上昇は顕著に見られない。

## 3. 音響診断の活用方法

### 3.1 振動診断の特徴

回転機器の劣化はまず軸受に現れ、異音が発生する。この早期に現れた異音の原因は、軸受転走面のキズや剥離であることが多い。その後、軸受の磨耗が進み、ラジアル隙間が増大しガタが出てミスアライメントやアンバランスが発生する。キズや剥離が生じなくても異物の混入により先に磨耗が発生する場合もある。このような劣化の経緯をたどることが広く知られている[2]。軸受の劣化による振動は、加速度帯<sup>(注)</sup>から速度帯<sup>(注)</sup>へと、図4のように推移していく。すなわち、異常の兆候は加速度帯にまず現れるため、加速度帯に着目して振動値を監視すれば異常兆候を早期に捉えることができる。ところが、振動診断では以下の(1)および(2)に示すように加速度帯の振動値が定常的でないため異常判定が難しい。一方、速度帯の振動値は定常的な値であり、異常判定が容易にできる。そのため、振動診断では速度帯に異常判定基準値を設けるのが妥当とされている。

<sup>(注)</sup> 本稿において、振動診断における振動値の 1kHz 以上の周波数帯を加速度帯、1kHz 未満を速度帯と呼ぶ。

- (1) 加速度帯の振動は広範囲に現れ、また振動レベルの大きさが短時間で変動する 경우가多く、初期の異常兆候はオーバーオール値に現れにくい [4]。
- (2) FFT解析はもともと定常状態の信号を分析することが前提となっているため変動する振動の分析には適さない [3]。

### 3.2 音響診断の特徴

2. に示した結果から、音響診断は振動診断よりも、初期の異常兆候を捉えやすいことが解った。また、以下に示すように、オクターブバンド解析と時間周波数解析の手法で診断を行うことで、より明瞭に判別することができ、定量化が図れることが解った。

- (1) 図2に示すように、音圧レベルをオクターブ解析により、周波数のオクターブバンドごとに束ねた形で表現すると、変動している振動でも数値でレベルの大小を表しやすいく。
- (2) 図3に示すように、振動音の周波数と音圧レベルが時間の経過と共にどのように変化するかを表す時間周波数解析により、振動音の変動現象を視覚と数値で表現すると、劣化の進行具合を捉えることができる。

異常兆候の定量的な判定としては、聴感で異常と判断した音圧値を異常判定基準値とする考え方がある [3]。我々は、採取した音のうち、いずれかのオクターブバンドの音圧値が概ね 60~80dB 以上あると異常兆候があると判断した。しかし、速度帯の振動音は耳の感度が急激に下がる[5]と言われており、この領域では、上記異常兆候の判断基準を適用することは難しい。そのため、音響診断では、速度帯ではなく、加速度帯に異常判定基準値を設けるのが妥当と考える。

### 3.3 音響診断を取り入れた回転機診断

回転機器においては、速度帯に異常振動が現れると急速に劣化が早まり、故障までの時間が短い場合があることが知られている[2]。異常兆候の検出が遅ければ保全アクションを取るまでに故障が発生してしまう場合も想定される。従って、図4に示すように、加速度帯の異常判定に有効な音響診断を回転機器の状態監視に取り入れることで、より早期に異常兆候を把握することが望ましい。

具体的には、回転機器の試運転時に振動診断を行い、アンバランスやミスアライメントがないことを確認

した後、まずはマイクロホンを使った音響診断で状態監視を行う。その後、異常兆候が現れたらピックアップによる速度帯の振動診断に切り替え、監視を強化する。このような状態監視を行い、監視を強化した時点で保修計画を立てれば、以前にも増して早期に保全アクションを取ることができCBMの信頼性が向上するものと考えられる。加えて、加速度ピックアップを回転中の機器へ手で取り付ける頻度が格段に少なくなるため、作業安全性が向上する。

### 3.4 原子力発電所への音響診断適用について

運転中の回転機器に異常兆候もなく突如アンバランスやミスアライメントが発生する場合がある。原因は、インペラや羽根が流体の作用により破損することによるものであることが一般的であると認識している。しかし、流体に不純物が含まれておらず、流量が定値制御され変化もなく安定していてキャビテーションが発生しにくい機器は、インペラや羽根が破損するようなことはほとんど起きない。従ってこのような機器に運転中にアンバランスやミスアライメントが発生する原因は軸受の劣化によるものがほとんどと言って良いと考える。原子力発電所の回転機器は、ほとんどがこのケースに該当すると思われる。

また、長年にわたる原子力発電所の保修経験において、回転機器のインペラや羽根に、回転体のバランスが崩れる程のキャビテーションや破損を発見した経験はない。

振動診断による状態監視が適用される以前は、聴診棒を使った聴診による機器の診断が主流であった。聴診によって異常兆候を見つけ、保修アクションを取り振動監視を定期的に行い、値が増加傾向にあったならば点検を行う、という方法で対処してきた。しかし人間の感性による聴診は個人差があり、経験によって結果が違ふ。音響診断はこの経験値を数値として表すことができる利点がある。

以上の観点から、前述の音響診断と振動診断を組み合わせた状態監視の方法は、原子力発電所の回転機器の状態監視に適用可能であり有効であると考えられる。

## 4. 結言

今回の報告は、原子力発電所の回転機器の状態監視に音響診断と振動診断の組み合わせの有効性を示し、適用を提案するものである。

なお、音響診断機器は、マイクロホンとモジュールを組み合わせパソコンで解析をする形式のものが主流であり、携帯を意識した形式のものは今現在見当たらない。騒音計にもオクターブ分析が可能なものが回るようになったが、騒音を測定するための規定上、

マイクロホンが指向性のものは見当たらない。機器の診断に際しては、振動対象ではない音を拾って異常ではない機器を異常であると判断しないようにする配慮が必要である。マイクロホンは指向性で、オクターブ分析と時間周波数分析がリアルタイムで出来る携帯型の音響診断機器の開発が望まれる。

また、音響診断の異常判定基準値は、多くの統計を取ることによってより確実な判断基準値となって行く可能性はあるが、測定距離や角度などによって測定結果にばらつきが生じる。実験室レベルでの判定基準値の検証が期待される。

## 参考文献

- [1] 神保吉秀 他、「回転機器への音響診断適用について」、日本保全学会 第6回学術講演会論文集 (2009)
- [2] 日本鉄鋼協会、「設備診断技術ハンドブック」、pp.82-93(1986)
- [3] 日本音響学会、「音・振動による診断工学」、pp.58-74(2000)
- [4] 井上紀明、「実践 振動法による設備診断」、pp160(1998)
- [5] 鈴木昭次、西村正治、雉本信哉、御法川学、「機械音響工学」、pp8-11(2004)

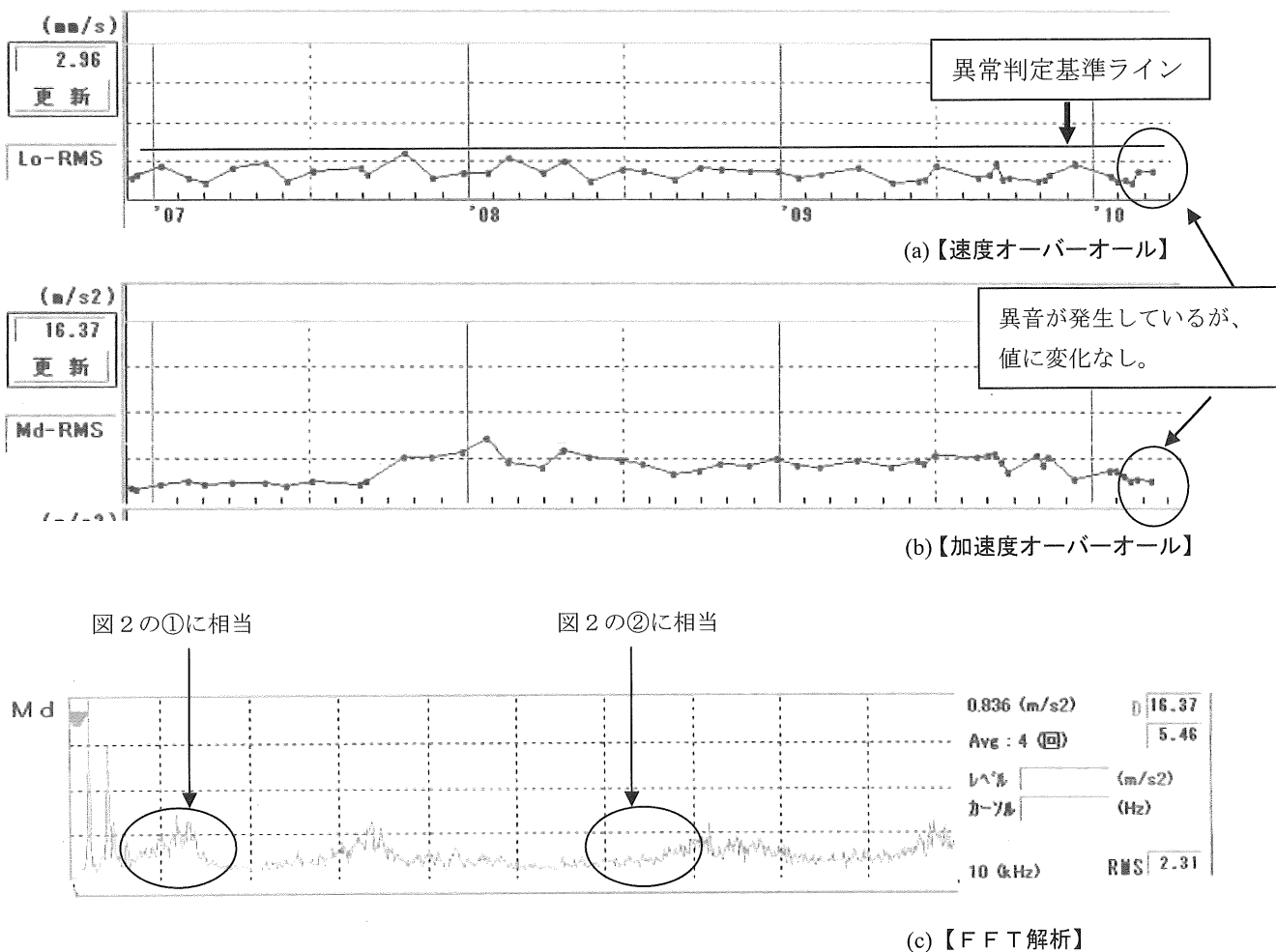


図1 振動診断結果

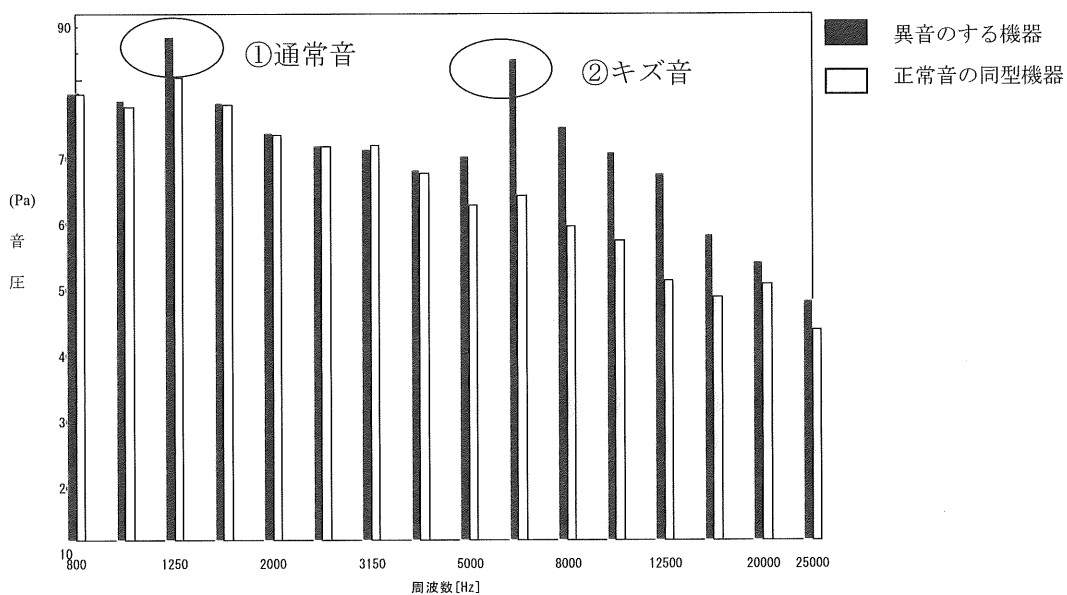
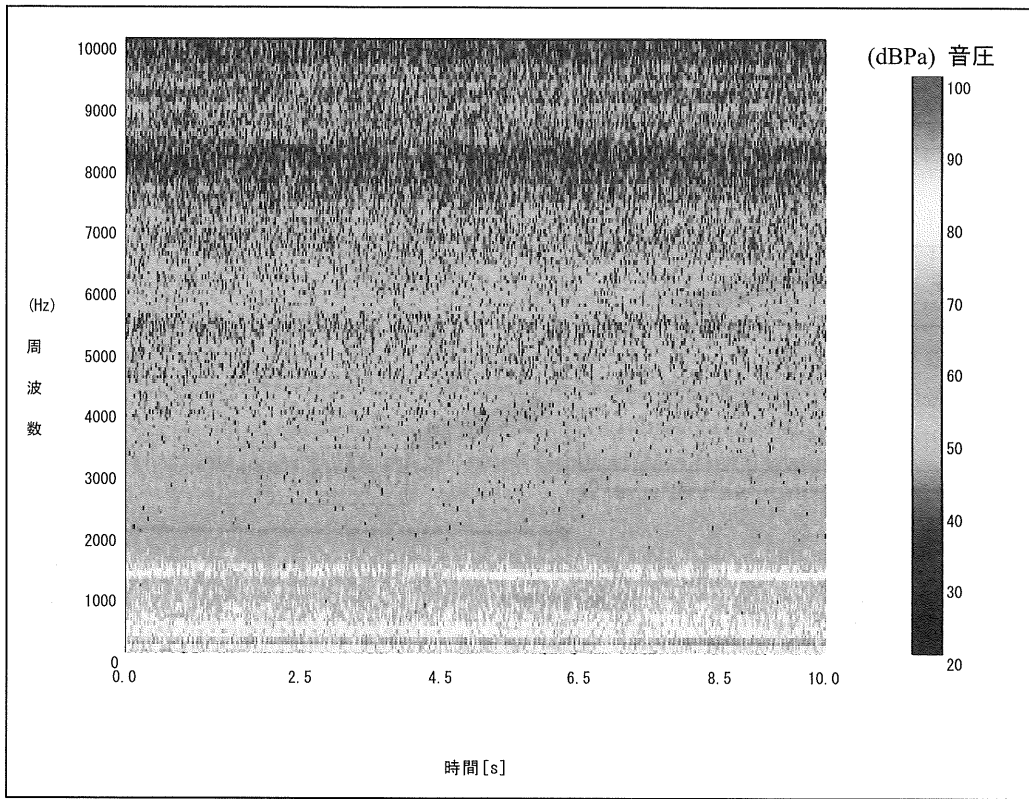
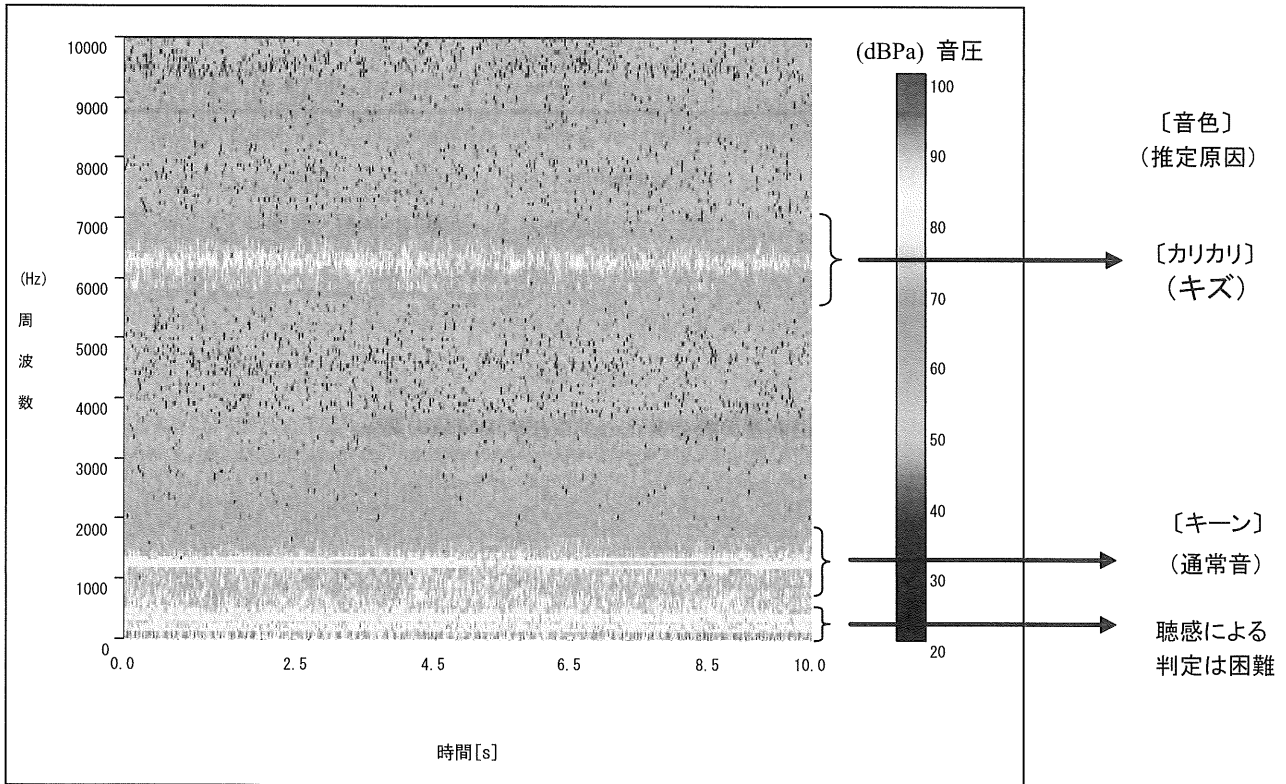


図2 音響オクターブ解析結果



(a) 正常音の同型機器



(b) 異音のする機器

図3 音響時間周波数解析結果

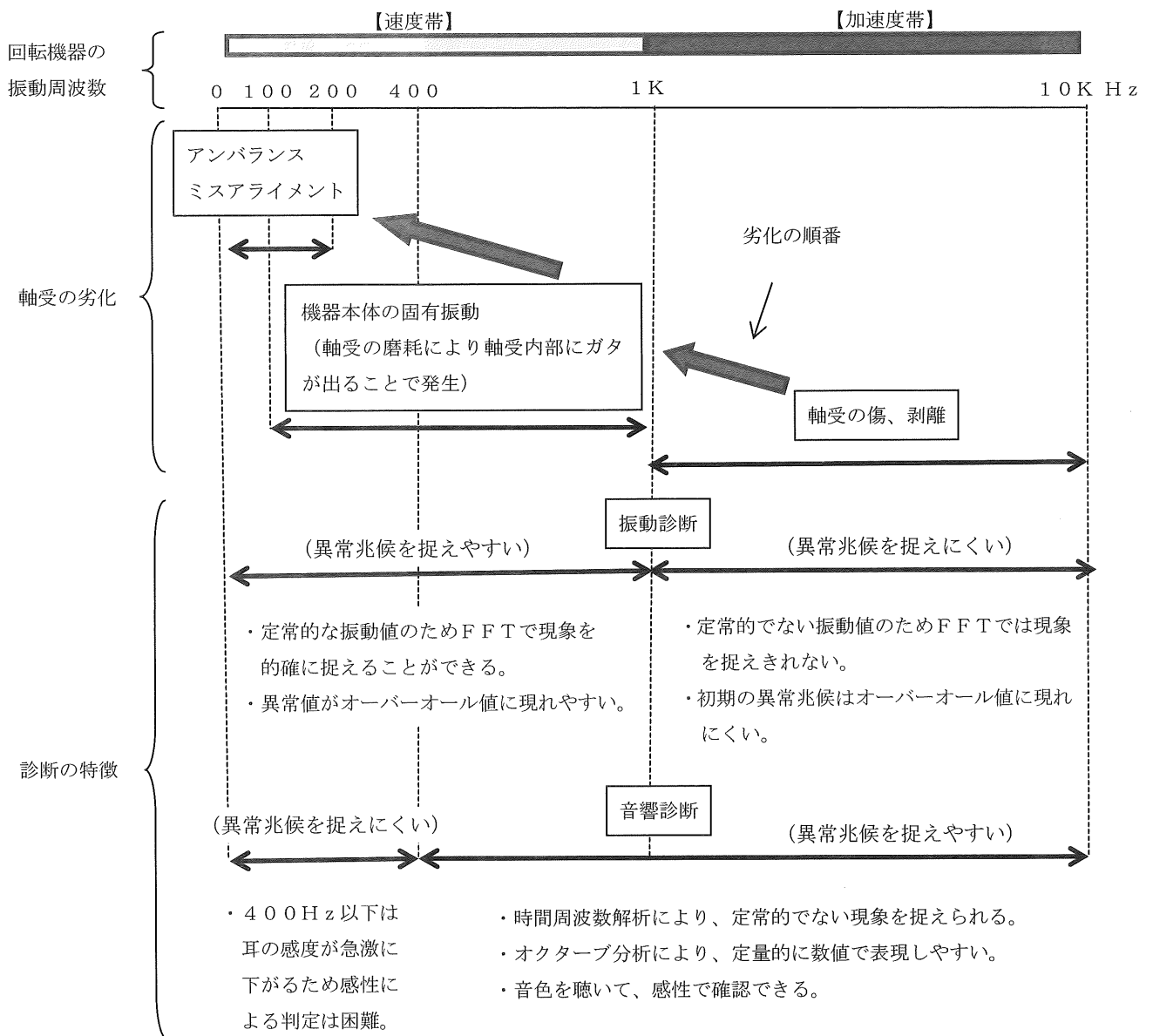


図4 回転機の軸受劣化と診断技術の特徴の関係