



# 硫酸ブロワ駆動用モータの振動

- ▶ 対象の機械
- 振動現象
- 診断の過程
- 診断の結果
- 対策とその結果
- 教訓

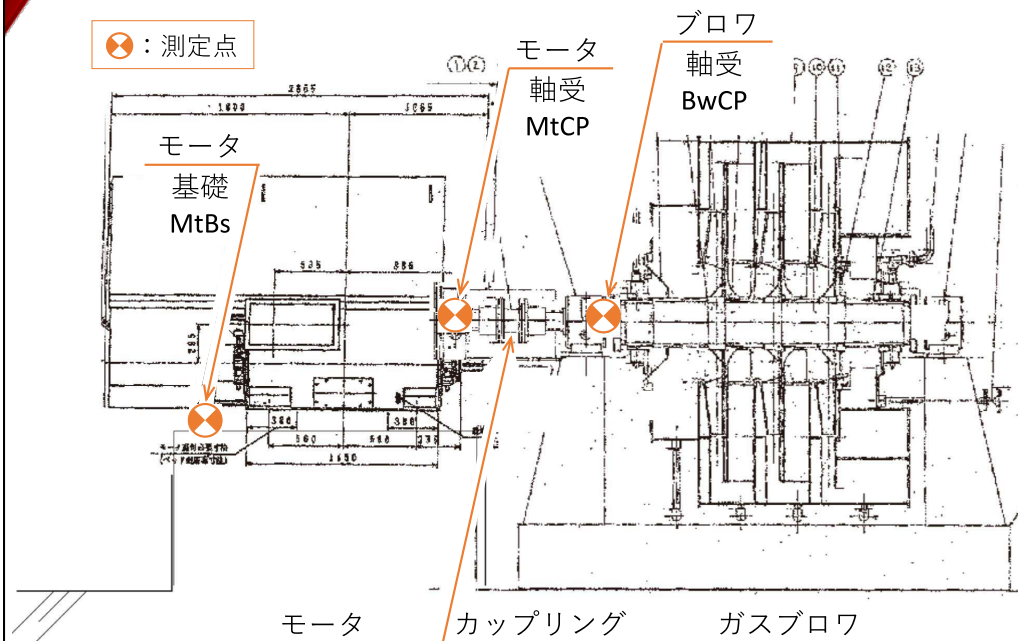
## 対象の機械 (1) 機械の諸元

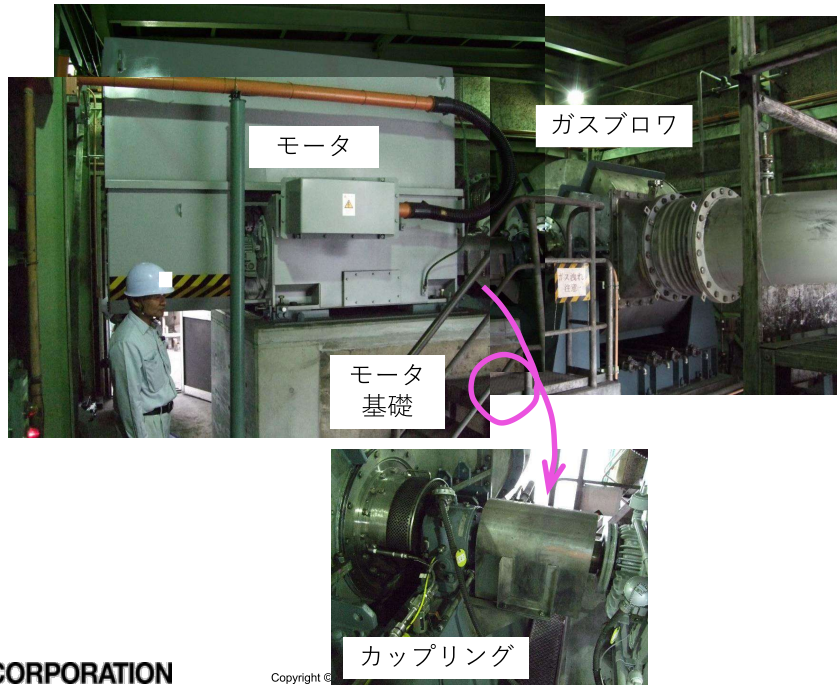
### 硫酸ガスブロワ

モータ駆動、フレキシブルカップリングで直結

- ・ガスブロワ 風量: 333 m<sup>3</sup>/min  
静圧差: 4200 mmAq  
温度: 45 °C
- ・定格運転範囲:  
888 rpm (14.8 Hz; 出力27.5%)  
~3240 rpm (54 Hz; 出力100%)
- ・誘導モータ 出力: 450 kW  
極数: 2 極  
インバータ駆動
- ・軸受は全て、転がり軸受

## 対象の機械 (2) 機械の図面および測定点





## 振動現象

モーターとインバータをリプレイスした結果、モーターの振動変位が許容値 ( $10 \mu\text{m}_{\text{p.p}}$ 、携帯型振動計で計測) を超えた。客先から振動測定をし、原因を調査したデータがほしい。データを用いてモーター業者やブローア業者と対策の所掌決めをしたい。との依頼があった。

計測のみが依頼範囲ながら、それでは目的として不十分という自分の考えから原因追及まで関わることにした。

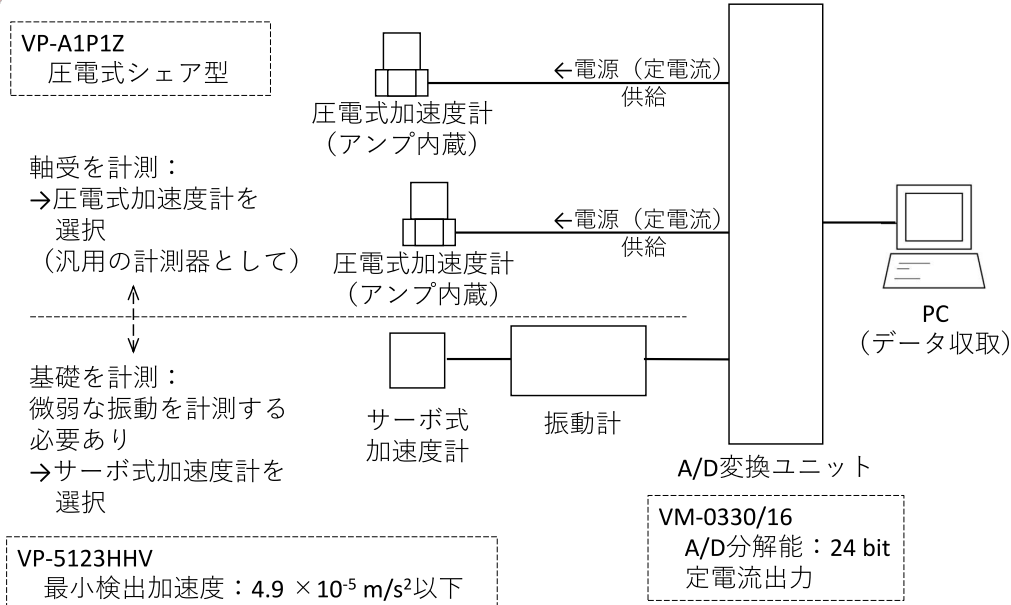
- 対象の機械
- 振動現象
- 診断の過程
- 診断の結果
- 対策とその結果
- 教訓

- 対象の機械
- 振動現象
- 診断の過程
- 診断の結果
- 対策とその結果
- 教訓

# 診断の過程

- 計測データ取得および周波数分析
- 主要周波数成分の考察
- 原因の推定

# 診断の過程 (1) 計測システム



# 診断の過程 (2) 振動測定点



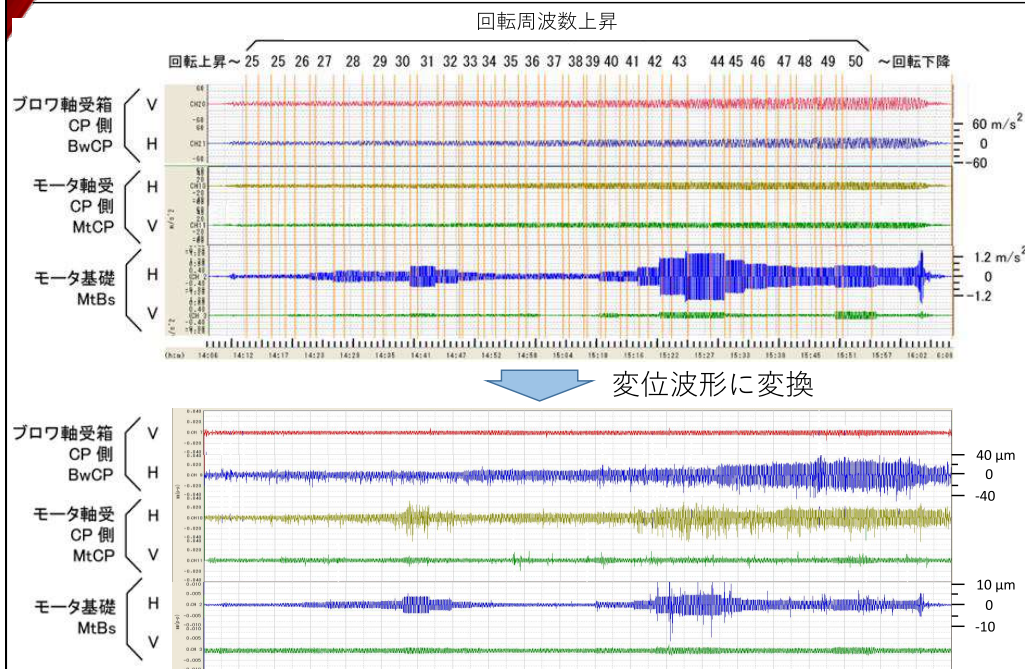
モータ基礎  
MtBs

モータ軸受  
MtCP

ブロワ軸受  
BwCP

加速度計は接着剤(エポキシ系および瞬間接着剤)で貼り付けした

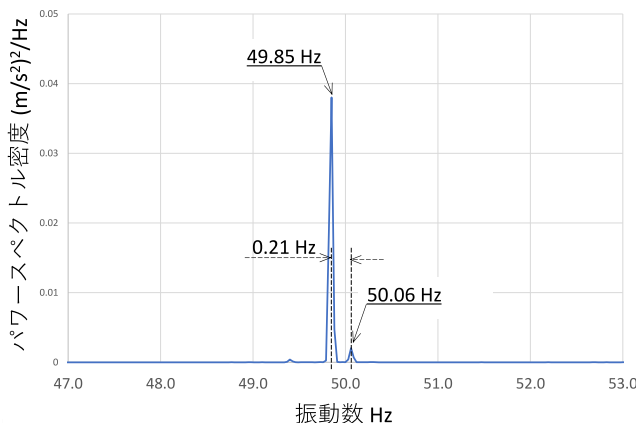
# 診断の過程 (3) 測定データの例





誘導モータすべりについて

測定点：モータ軸受部のカップリング側MtCP  
インバータ50 Hz運転時



$$s_f = s \cdot \frac{2}{p} f$$

$s_f$  : すべり周波数  
 $f$  : 電源周波数  
 $p$  : 磁極数  
 $s$  : すべり率

$$s = s_f \cdot \frac{p}{2} \cdot \frac{1}{f}$$

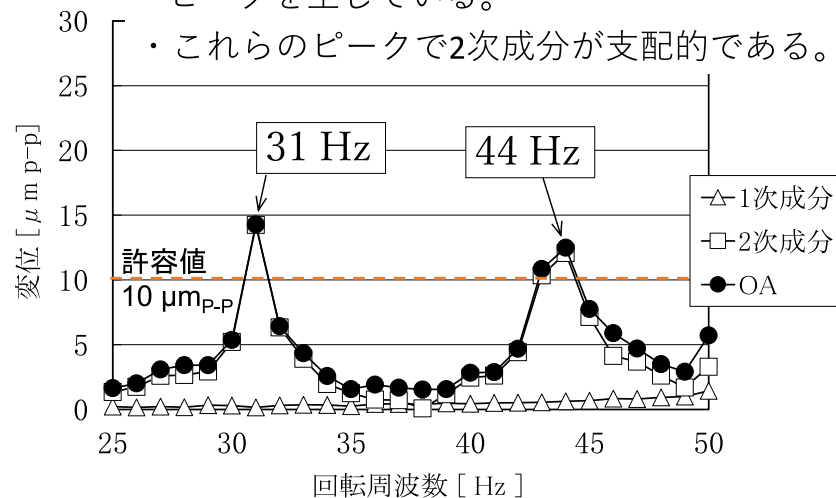
$$= 0.21 \cdot \frac{2}{2} \cdot 50.06$$

$$= 0.42 \%$$

- すべり0.42%は低すぎる (2%~くらいが実勢値)
- すべりが起こるインバータはV/f制御方式である。本インバータはベクトル制御方式と判断する。

測定点：モータ軸受部のカップリング側MtCP

- オーバーオールが、回転周波数31 Hz、44 Hzで、ピークを生じている。
- これらのピークで2次成分が支配的である。



診断の過程 (6) 許容値について

客先の許容値の設定とISO 20816-1 (旧ISO 10816-1)の比較

機械のクラス別	クラス I	クラス II	クラス III	クラス IV
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ヤット及びガスタービン)			

450 kW → クラス III

インバータ周波数31 Hzについて

$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot V_{0-P} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 2\pi f \cdot \frac{D_{P-P}}{2}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 31 \times 2 \cdot \frac{0.015}{2}$$

$$= 2.07 \text{ mm/srms}$$

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				
0.45	A			
0.71		A		
1.12	B		A	
1.80		B		A
2.8	C		B	
4.5		C		B

- A : 新規に製作した機械の振動レベル。
- B : 問題無しに運転が継続できる振動レベル。正常振動領域
- C : 長期の連続運転は望ましくない振動レベル。注意しながら運転しその間に適切な対策を実施する。
- D : 機械に損傷をもたらす可能性のある振動レベル。運転不可。

診断の過程 (7) 許容値について

客先の許容値の設定とISO 20816-1 (旧ISO 10816-1)の比較

機械のクラス別	クラス I	クラス II	クラス III	クラス IV
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ヤット及びガスタービン)			

450 kW → クラス III

インバータ周波数44 Hzについて

$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot V_{0-P} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 2\pi f \cdot \frac{D_{P-P}}{2}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 44 \times 2 \cdot \frac{0.013}{2}$$

$$= 2.54 \text{ mm/srms}$$

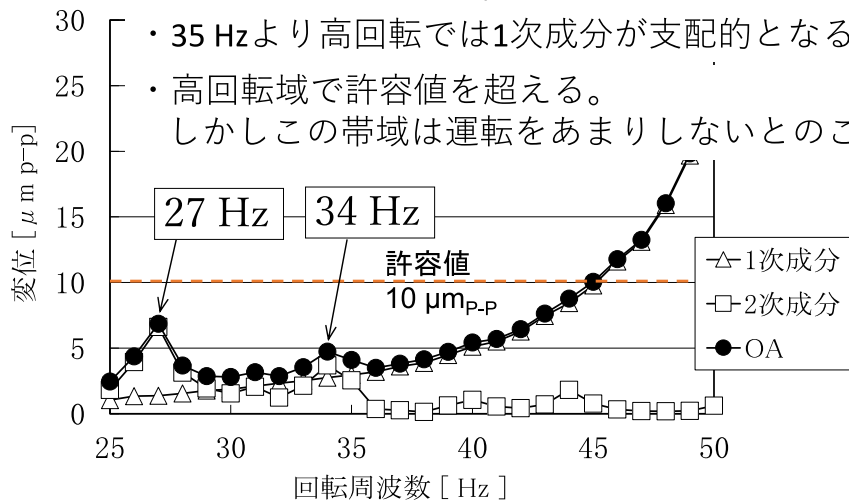
振動速度の rms 値 mm/s	クラス I	クラス II	クラス III	クラス IV
0.28				
0.45	A			
0.71		A		
1.12	B		A	
1.80		B		A
2.8	C		B	
4.5		C		B

- A : 新規に製作した機械の振動レベル。
- B : 問題無しに運転が継続できる振動レベル。正常振動領域
- C : 長期の連続運転は望ましくない振動レベル。注意しながら運転しその間に適切な対策を実施する。
- D : 機械に損傷をもたらす可能性のある振動レベル。運転不可。

客先の許容値の設定は、非常に厳しい値といえる硫酸という危険な物質を扱う設備のため？

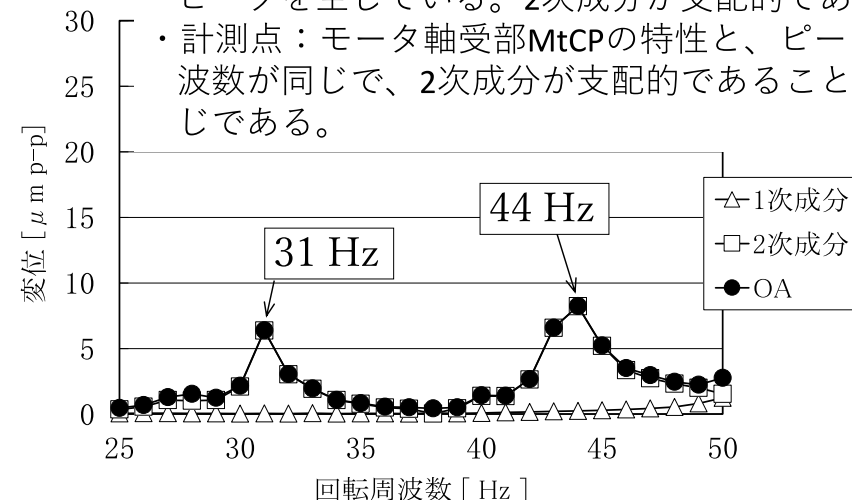
測定点：ブロワ軸受 カップリング側BwCP

- ・オーバーオールが、回転周波数27 Hz、34 Hzで、ピークを生じている。2次成分が支配的である。
- ・35 Hzより高回転では1次成分が支配的となる。
- ・高回転域で許容値を超える。しかしこの帯域は運転をあまりしないとのこと。



測定点：モータ基礎MtBs

- ・オーバーオールが、回転周波数31 Hz、44 Hzで、ピークを生じている。2次成分が支配的である
- ・計測点：モータ軸受部MtCPの特性と、ピーク周波数が同じで、2次成分が支配的であることも同じである。



- ・対象の機械
- ・振動現象
- ・診断の過程
- ▶ 診断の結果
- ・対策とその結果
- ・教訓

診断の結果 (1)

振動データの特徴：

- ・モータ
  - 31 Hz、44 Hzでピークとなり、許容値を超える
  - いずれも電源周波数(軸回転周波数)の2次成分が支配的
- ・ブロワ
  - 1次成分が支配的、回転の上昇とともに増加(許容値を超えるが、あまり使用しない帯域とのこと)
  - 2次成分が支配的なピークが27 Hz、34 Hzにあり(許容値以下)(モータとブロワの基礎は共通ではない)

## 診断の結果 (2)

振動が高くなった原因:

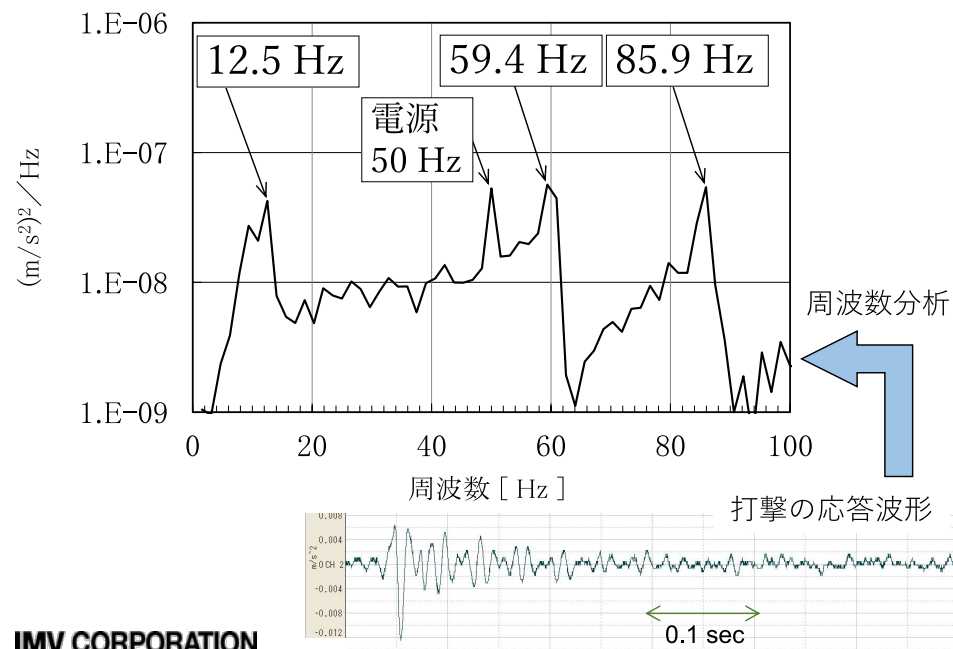
- ・モータの静的ギャップ不均衡  
電源周波数(軸回転周波数)の2次成分が支配的  
→ギャップ不均衡  
かつ、振動波形にうなりを生じていない  
→不均衡は静的  
→31 Hz、44 Hzでピークとなる原因?

## 診断の結果 (3) 打撃加振



## 診断の結果 (4) 打撃加振

モータ基礎H方向応答 ← H方向 励振



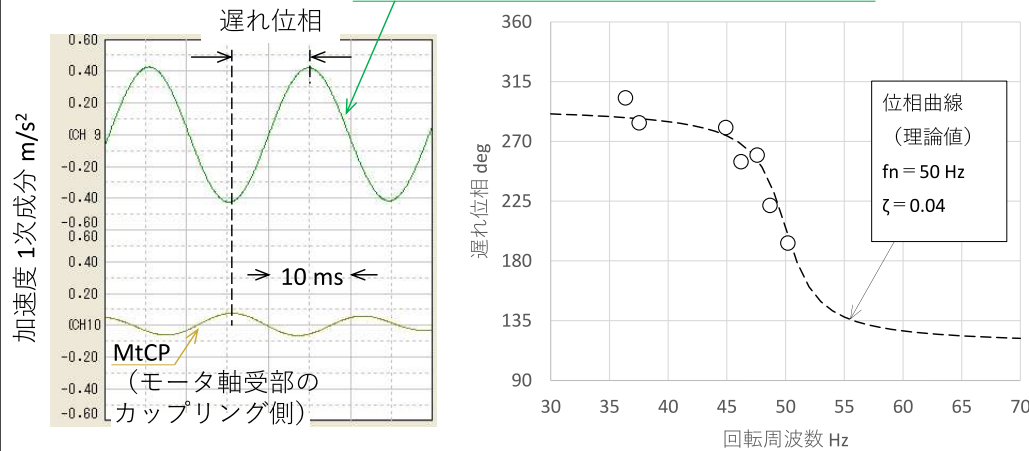
## 診断の結果 (5)

振動が高くなった原因:

- ・モータの静的ギャップ不均衡  
電源周波数(軸回転周波数)の2次成分が支配的  
→ギャップ不均衡  
かつ、振動波形にうなりを生じていない  
→不均衡は静的  
→ピークとなるのは基礎の固有振動数と共振しているため  
モータ基礎部に約60 Hz、約86 Hzに固有振動数あり
- ・ブロワ軸のつりあい  
1次成分が支配的  
(危険回転を超えてはいないが、運転範囲の上限に近い)

ブロワ危険速度の推察

計測点：BwCP (ブロワ軸受カップリング側)



ブロワ危険回転数は約50 Hzと推察する  
(正確には基準マークを設けた計測を行う必要がある)

- 対象の機械
- 振動現象
- 診断の過程
- 診断の結果
- 対策とその結果
- 教訓



対策とその結果

以下の2点の提案を客先にした

- ・ギャップを修正し励振力を低減
- ・(ギャップの修正が実務的で無い場合)モータ基礎を強固なものに固有振動数130 Hz以上(≒使用をよくする帯域の上限44 Hz × 3倍)が理想的である。
- ・ブロワのつり合わせ

対策の実施の結果、

振動は許容値に収まったと伝え聞いている  
(対策の実施は他社の所掌であったため詳細は不明)。

- 対象の機械
- 振動現象
- 診断の過程
- 診断の結果
- 対策とその結果
- 教訓



基礎について、本件の様に問題となることが散見される。  
基礎の仕様を設備と同様に管理する必要がある。

またモータ仕様、極数について

2極モータにおいて吸引力N極、S極は180度 違いの2角度  
位置に偏在する。

4極モータにおいては吸引力は90度 違いの4角度位置に分  
布する。

4極モータの方が起振力を円周方向に分散することができる。

その結果、振動問題が起こりにくい設備とすることができる。

2極を、安価という理由で、選定することにも慎重である必要が  
ある。

以上