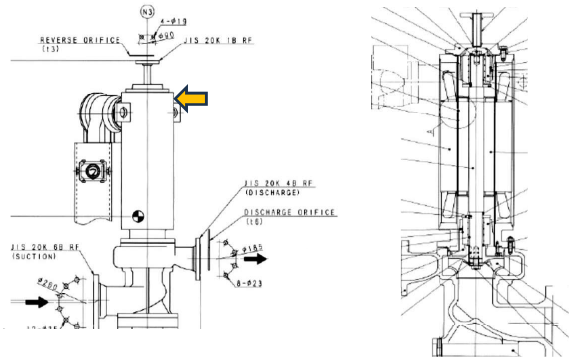


振動相談1: 縦型キャットポンプのフルイドホワールの対策 (2023年振動相談4の継続)



定格回転数: 3481rpm
 定格出力: 45Kw
 定格流量: 2342L/min



メーカー試験場での配管サポート状況

問題事象: 2019年11月に新規に製作し設置したポンプにおいてポンプ本体の振動値が10mm/sを超える振動が発生

測定日	概要	測定場所	内部流体	流量 L/min	振動速度 mm/s.rms
Nov-19	出荷前検査	製作メーカー	常温水	2342	2.0
Nov-21	現場試運転	現場	常温水	1000	5.5
Mar-22	現場試運転	現場	メタノール -42°C	2342	10.2
Apr-24	ポンプ稼働中	現場	メタノール -35°C	1250	0.6

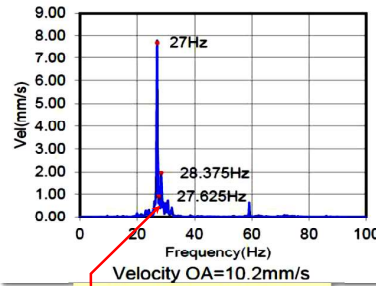
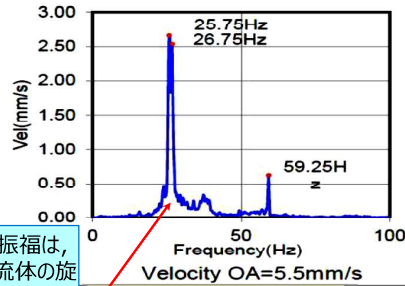
1号機の振動速度mm/s RMS

1

振動原因の推定: 卓越周波数は回転数成分58Hzの0.47Xである27Hzで発生している

1号機

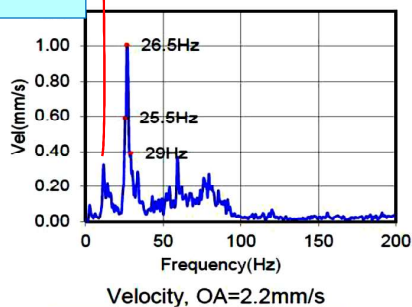
フルイドホワールと推定した



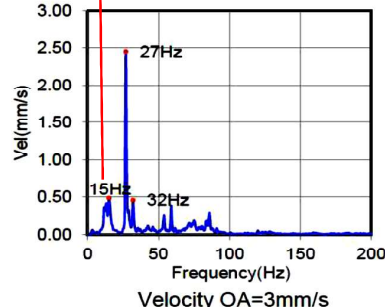
フルイドホワール振福は、ポンプ固有値と流体の旋回速度と密度/粘性により変化している

現地・水・ミニフロー運転

現地・メタノール・定格流量



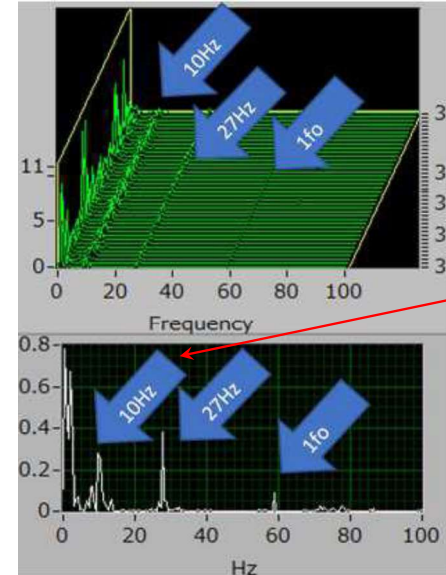
メーカー・水・ミニフロー運転



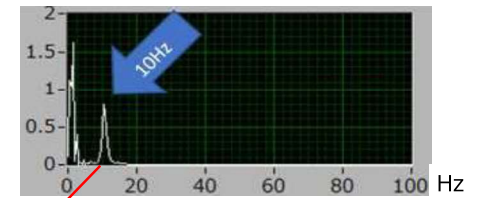
メーカー・水・定格流量

3

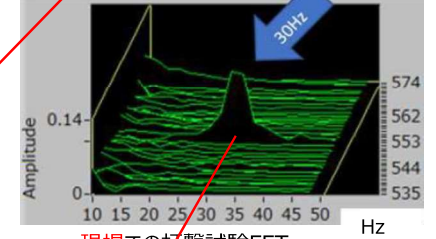
1号機の振動スペクトル (メーカーと現場)



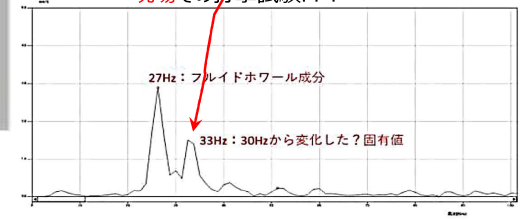
メーカー試験場でのFFTスペクトル



メーカー試験場での打撃試験FFT



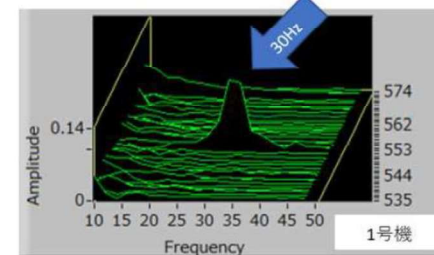
現場での打撃試験FFT



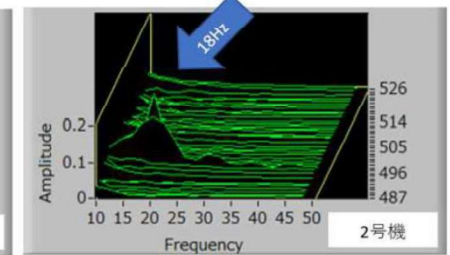
現場での1号機ハーフロード (振動低下時) のFFT スペクトル 2

<固有振動数の測定>

設備停止時にポンプの据付状態による固有振動数を計測した結果、振動値の高い1号機は2号機に比べてフルイドホワール成分の27Hzに近似している固有値であった



1号機の固有振動数

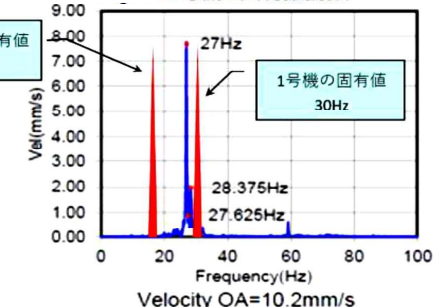


2号機の固有振動数

フルイドホワール振福は、その周波数とポンプ固有値との離反率に大きく影響されるので、工場試験では、考慮が必要。

対策

- ・配管サポート変更による固有値低
- ・モータースタートへの接触振動検知

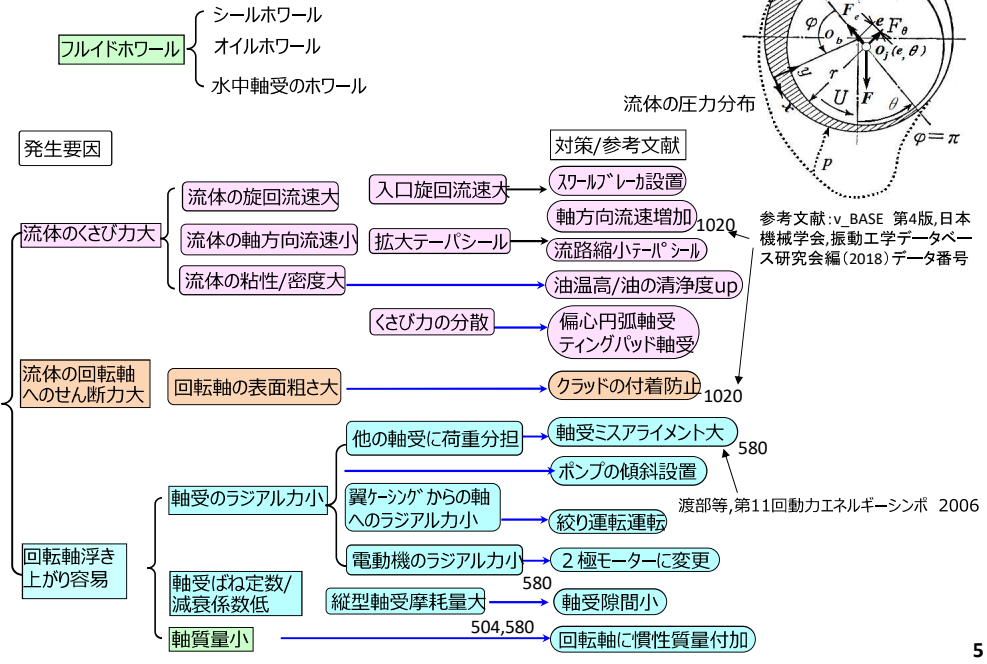


現地・メタノール・定格流量

4

縦型ポンプでのフルイドホワールの発生要因と対策

横軸のタービンやポンプで発生する要因と同じ



振動相談2: 片吸込みターボ型ファンの軸受謎の21Hz成分発生

(2022年より継続)

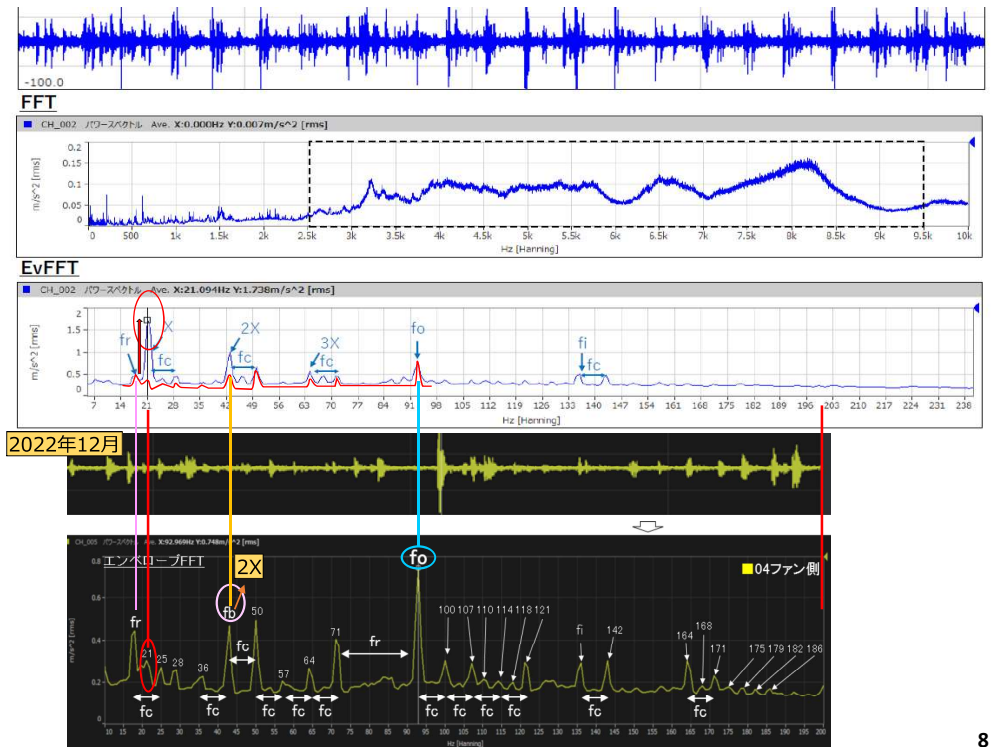
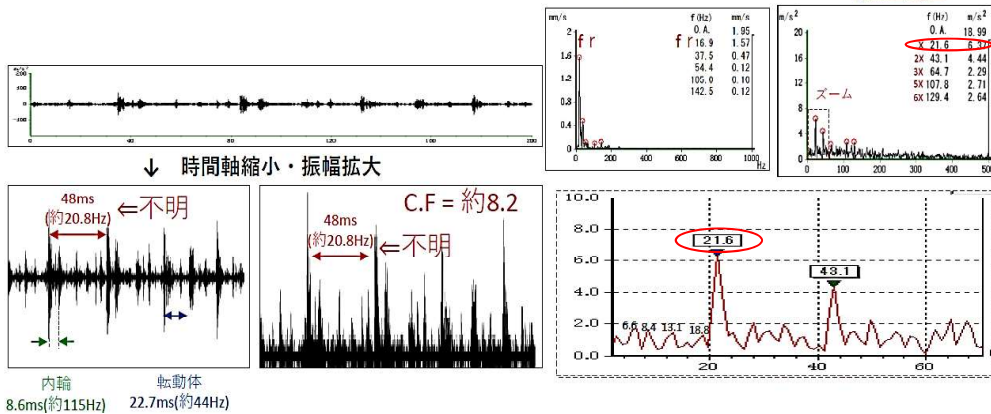
片吸込みターボ型ファン
1050rpm (17.5Hz)
羽根枚数12枚
160 kW 6極誘導モーター
(回転周波数19.7Hz)

2020年: 月2回計測, 1年間 謎の21Hzと高次成分計測
2021年—2022年: 外輪キズ成分に代わり安心。
2023年: 21Hz再発, 1年継続, 聴診棒で異音有, 若干発熱傾向。
モーター側軸受は回転体×2の高次成分(4次成分迄発生) 継続検知, 玉キズの兆候と判断
流体脈動力が大きい冬場に, 21Hz成分が3~4m/s²rms発生多発
2024年: 21Hz再発, 元ベリシール部では観測されず。

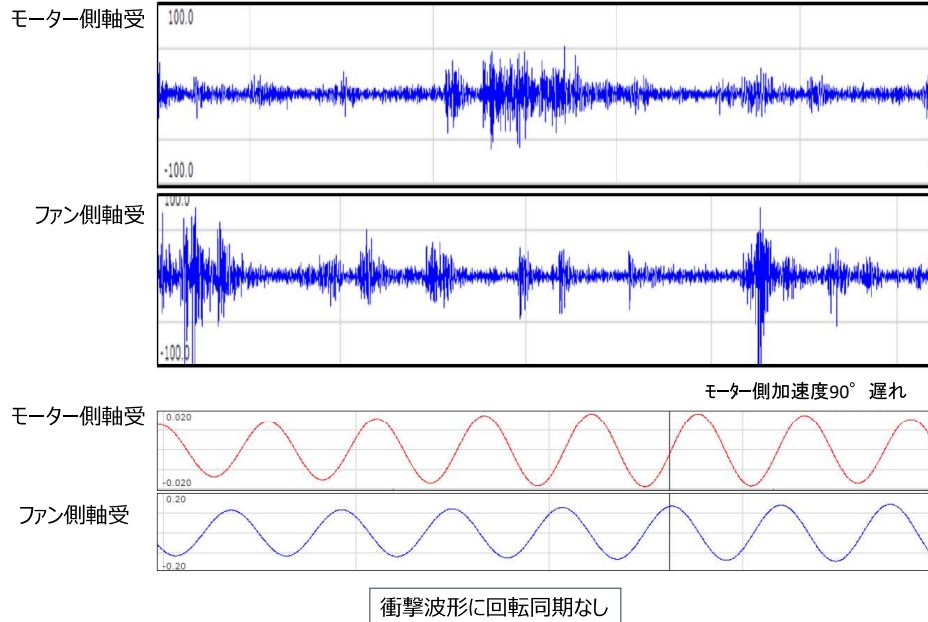
軸受の回転周波数成分変位振動モード
・1.6Hzの振動変調がある。原因不明

2020年12月の振動分析

回転周波数 fr [Hz]	内輪キズ fi [Hz]	外輪キズ fo [Hz]	転動体キズ fb [Hz]	保持器キズ fc [Hz]	ベルト周波数 fv [Hz]	羽根周波数 fz [Hz]
17.5	135.3	92.2	44.5	7.1	5.3	210.0



2024年2月の振動分析



9

ファン側軸受21Hz成分の原因推定

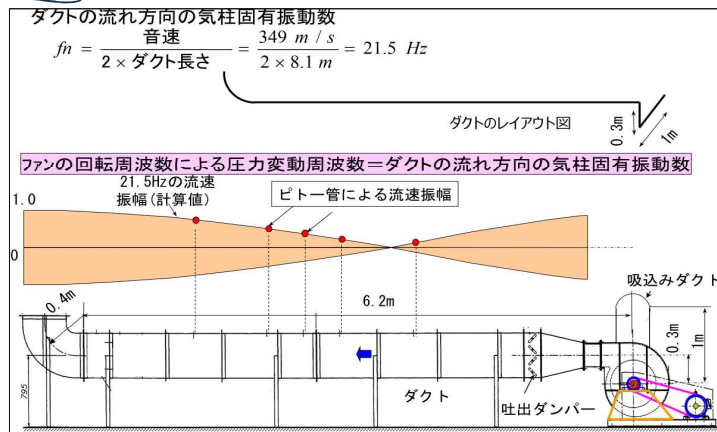
原因推定根拠

- ① ベリンスール部では観測されず
- ② モータ側軸受では、まれにしか検知されていない
- ③ 21Hz成分は、4年間で4倍近くの変動をしているが、回転成分/外輪傷成分は変化なし
- ④ 21Hz成分は、空気密度の大きい冬場に多く発生

原因候補案

- ・ダクト内の流れ方向の脈圧21Hz共鳴によるファンへの回転軸軸方向加振大によるころ端面の接触振動

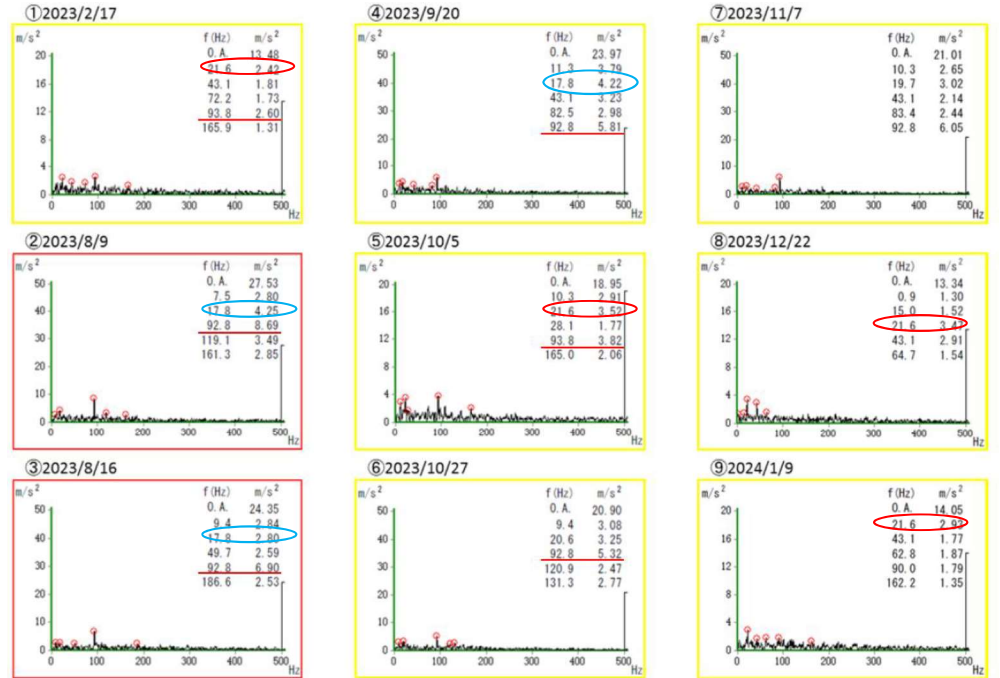
モーター軸/軸直角振動からのベルトを介した入力振動 19.7Hz



ダクト流れ方向の共鳴事例

11

23年度1年間のファン側軸受振動速度FFTの変化



10

振動相談3：ルーツ式ブロワー（2葉）の振動計測点について

設備概要

モータ容量 : 11kW
 機種 : ルーツブロワー(2葉)
 入力伝達方式: ベルト駆動
 軸受① : NU308
 軸受② : 5308
 回転数 : 1650rpm
 役割 : タンク内部の薬品攪拌

全体



振動計測点

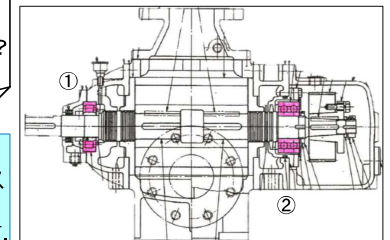


質問

本来、各軸受毎で振動計測することが望ましいと考えますが、設備が小さく、計測が困難です。各軸受の中間箇所計測しても設備異常を検知可能でしょうか？また当該設備の振動診断で、注意すべきポイントがあれば教えてください。

回答

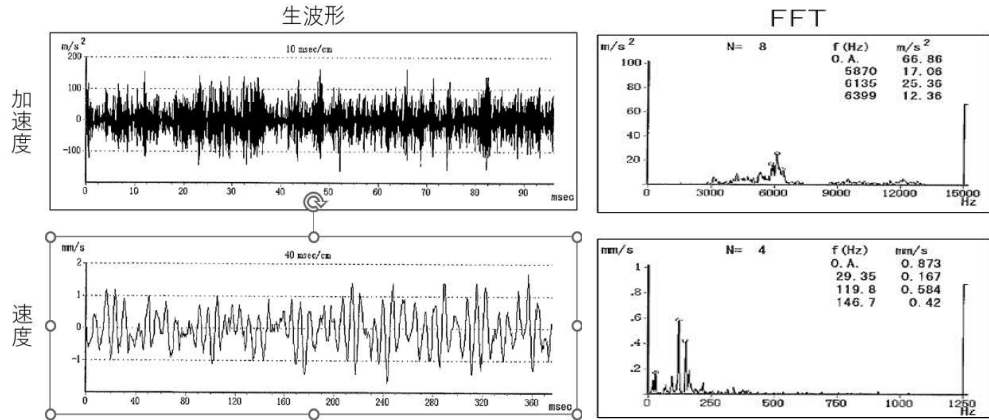
- ① 軸受摩耗が進行し、ロータがケーシングに接触、またはケーシングにスケールが付着し接触振動が発生する可能性が大きい。軸受中間位置に取り付けて、状態監視せざるを得ないと思います。高周波の接触振動を検知。接触振動なら多少加速度振動が大きくても壊れません。
- ② 軸受交換時の軸受/歯車の偏角取付けによる回転周波数2倍の振動/歯車かみ合い周波数2倍の振動大と、ころ軸受のころ軸端接触振動大も監視必要。



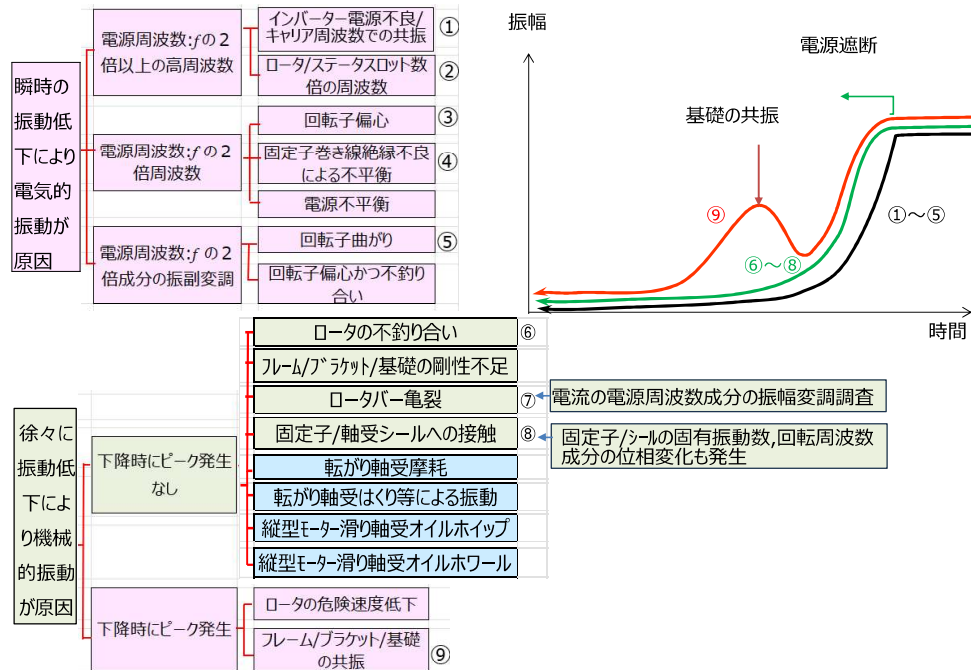
12

振動相談4：三相誘導モーター分解点検直後の振動増加への対応

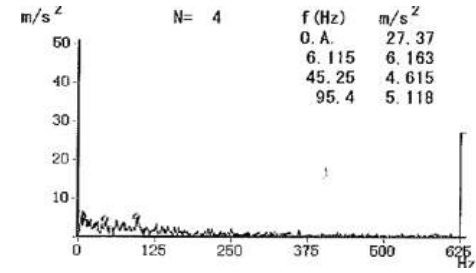
- [状況]
- ・電動機（三相交流110kw1760rpm）にて異音が発生。振動診断では速度および加速度の管理基準値を超過。
 - ・分解点検の結果、負荷側軸受に内輪フレーキングが発生していたが、他に異常はなく、軸受交換のみ実施。
 - ・復旧確認として、電動機単体の試運転時に振動診断を実施したところ、加速度の管理基準値を超過。
 - ※エンベロープFFTに卓越した周波数は無い(ランダム振動)。電源周波数の2倍成分が回転周波数で振副変調。
 - ・給脂（若干多め）によって、一時的に振動は低下するが、1分以内に管理基準を超過。
 - （振動加速度が高いことから、修理業者の判断で追加の給脂を実施。※複数回試行するも同様の事象が発生）
 - ・給脂時に排出されるグリースは灰色に変化しているが、摩耗粉は見られない。（目視点検）



モーター単独運転定格回転から電源断を行い電氣的要因か機械的的要因かを判断



加速度エンベロープFFT
卓越した周波数は無い

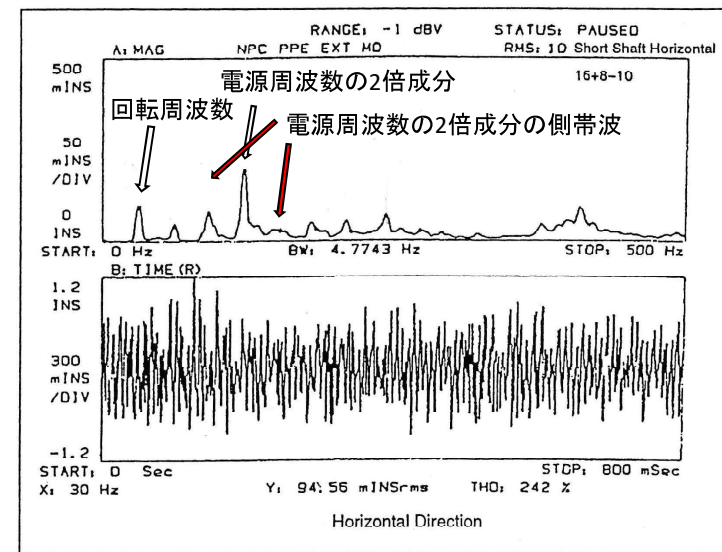


[相談内容]

- ① 加速度エンベロープFFTに卓越した周波数がない場合に想定される異常を教えてください。
- ② 複数回の給脂に問題はありませんか？（グリース過多の弊害を懸念しております。）
- ③ メンテナンス直後に加速度が管理基準を超過した場合のトラブルシューティングを教えてください。
- ④ 加速度の管理基準超過により、設備運用停止を判断しましたが、様子を見るべきでしょうか？
速度：最大値1.09[mm/s] 正常値
加速度：最大値 152[m/s²] 実効値45.1[m/s²] **管理基準超過**
- ⑤ 今回のケースは、軸受の初期不良もしくは施工不良と断定できますか？
(固定子、回転子、ハウジング、軸等、各計測・検査において異常はありません)
- ⑥ 交換直後の軸受が損傷した事例がありましたら紹介して下さい。

- ・内/外輪偏角取付けまたは軸受締結部のフレーキングによる滑り振動
- ・固定子/フランジ嵌め合い部の滑り振動
- ・猫足取付け脚のガタ振動
- ・温度が上昇していないなら大きな問題はない
- ・軸受温度上昇/3相の電流値大/モーター締結部猫足チェック
- ・定格運転時に電源断を行い電氣的要因か機械的的要因かを判断(ローター/スロット数の倍数振動なら急減少)
- ・内輪偏角取付け大による電磁振動大と応答変化の原因とグリース摩耗分調査必要
- ・外輪偏角取付けによる焼付け

磁界中心から偏心したロータのケーシング速度振動の事例



Vibration of a Four Pole, 1500 HP Motor Whose Rotor is Being Held Off Magnetic Center

Reason, J., "Power Plant Motors," Power, Vol 130, No.3, Mar 1986 より

モーター単独運転時の異音原因

転動体と保持器/内外輪との接触振動

- ① 潤滑不良/油膜切れ
- ② 外輪固着
- ③ 過大/過少予圧付加(シム設置不適切/軸受ハウジング締結不備)

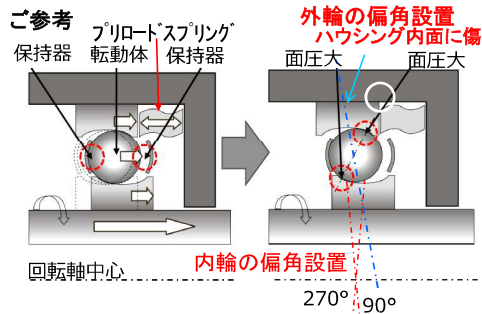
回転周波数の2倍の振副変調原因

(高周波振動の接触振動やロータバー/スロット数の倍数の電磁振動に対する振幅変調)

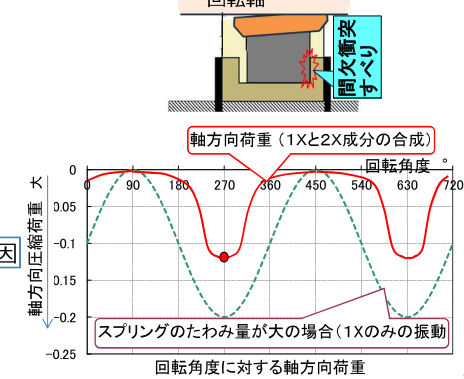
- ① 外輪偏角設置と内輪偏角取付けの重なり
 - ・プリロードスプリングのたわみ量が小さく小さい偏角量で、スプリング荷重が下図となり回転成分の2倍成分発生
 - ・ハウジング内面に傷があり、動きが拘束
- ② 外輪偏角設置と回転軸曲りの重なり
- ③ 内輪偏角取付けあるいは回転軸曲りによる外輪のハウジング内/ころ端面での間欠衝突すべり
 - ・プリロードスプリングの荷重が小さくてすべる
- ④ 内輪はめ合い部の異物混入による楕円変形

電源周波数2倍成分の回転周波数での振副変調原因

- ① 内輪偏心取付けあるいは回転軸曲がり(カップリング取付け偏心)
- ② スターター嵌め合いゆるみ+①
- ③ スターターのゆがみ+①



内輪偏角設置



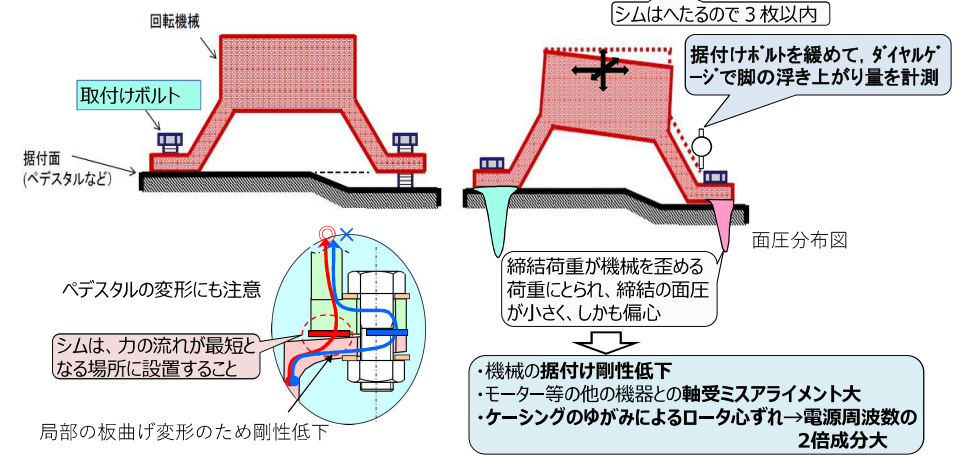
17

ソフトフット (猫足) 取付け脚のガタの影響

機械の据付けベースを安く製作したため、最近多発している

発生要因

- ・据付け面が平坦でない
- ・軸受アライメント不良
- ・ベDESTALの支持はりの影響で機械加工がひずんでいる。
- ・溶接ひずみ等で平坦でない。
- ・モータ等の鉛直方向のレベル合わせのための多数枚のシム使用によるフレットイング



18

振動相談5：配管の枝管位置による渦共鳴の差について

Q1: 図1のような場合、ダンパー通過時の渦剥離周波数と枝管の気柱共鳴周波数が近いと、共鳴が起きるか？

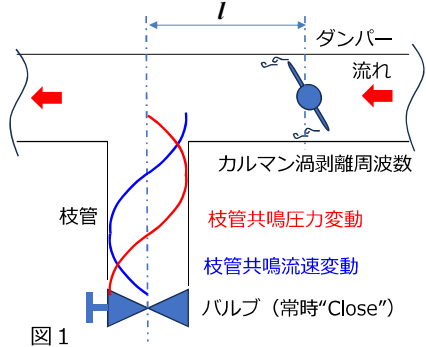
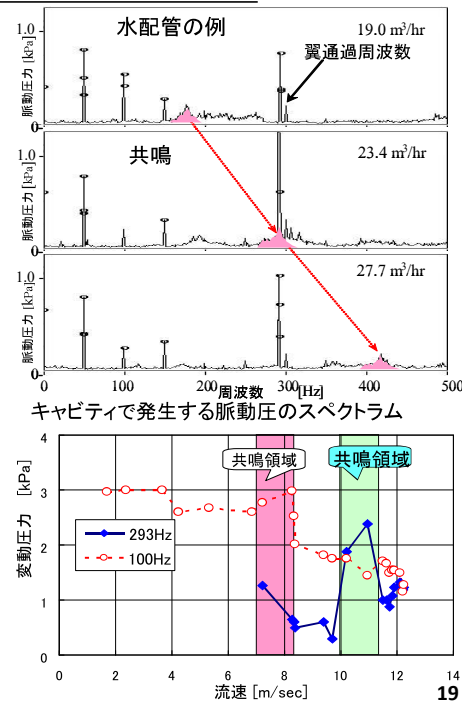
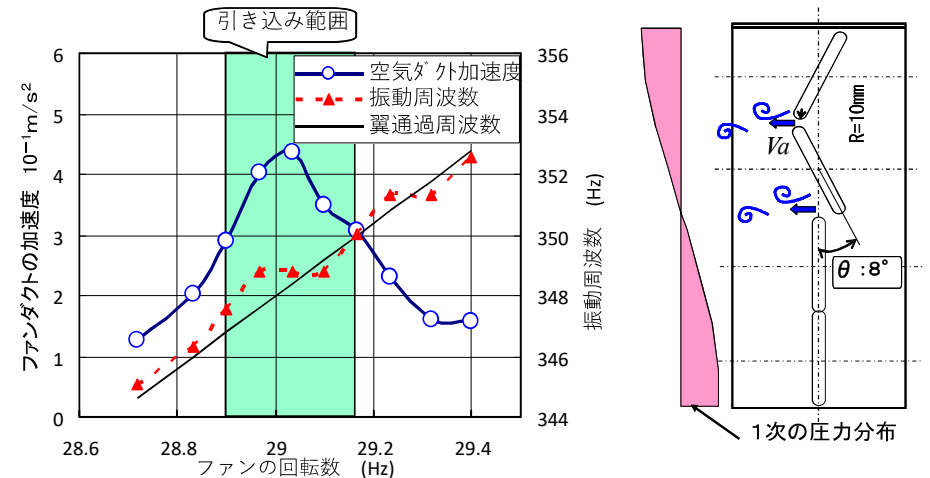


図1



A1: 流速が変化するとキャビティで発生する周波数は変化し、枝管の液柱固有振動数と一致して共鳴する。
さらに入力速度の渦剥離周波数と一致すれば、共鳴は大きくなる。

カルマン渦の剥離周波数 = 翼通過周波数 = ダクト流れ直角方向気柱固有振動数の事例



$$\begin{aligned} \text{翼通過周波数} &= \text{ファン回転数} \times \text{翼枚数} \\ &= (28.9 \sim 29.15 \text{ Hz}) \times 12 \text{ 枚} = 347 \sim 350 \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$\text{ダクト内の気柱固有振動数} : f_n = \frac{\text{音速}}{2 \times \text{ダクト高さ}} = \frac{a}{2H} = \frac{349 \text{ m/s}}{2 \times 0.5 \text{ m}} = 349 \text{ Hz}$$

(流れ直角方向)

20

- 枝管までの距離: l が短いと枝管脈圧大
- 脈圧は上流にも伝搬するので、ダンパーの開閉制御に影響を与える可能性がある

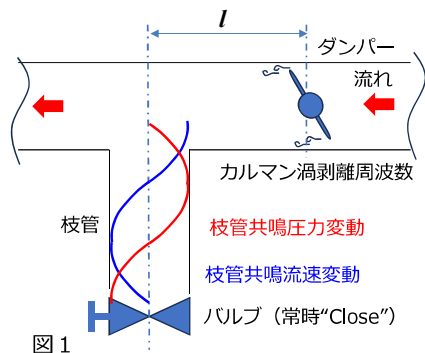
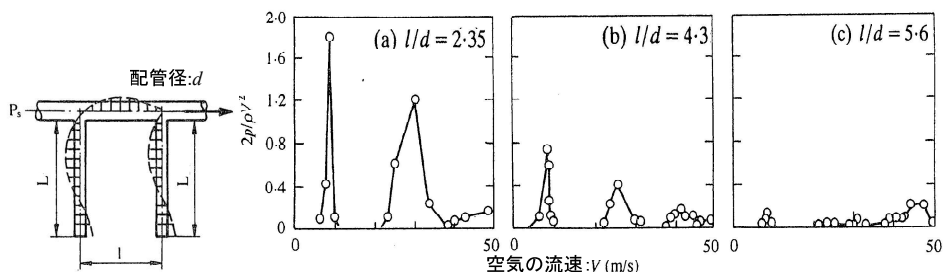


図1



Frequency and amplitude of the pressure pulsation as functions of the flow velocity for three values of the spacing between the tandem branches: (a) $l/d = 2.35$; (b) $l/d = 4.3$; (c) $l/d = 5.6$. $L = 1.0$ m, $P_2 = 0.96$ bar.

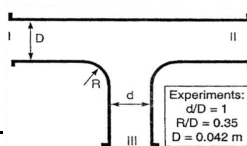
Q3: 右図のダンパーでもカルマン渦は発生するか?

A3: 開度が小さいと通過流速差が大きいので渦周波数が乱れるので、あまり卓越はしないが、開度大だと卓越すると考えられる



Q4: 枝管径が母管径と同じでもキャビティーンは発生するのか?

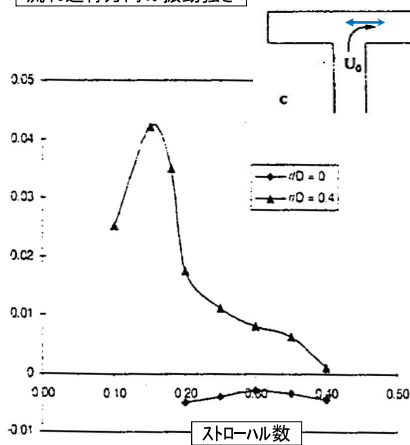
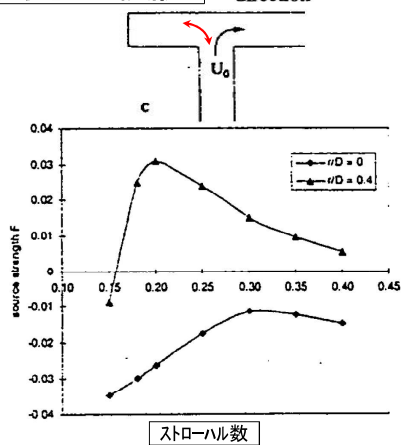
A4: 下記実験データがある通り発生する。丸み半径 R が大だと脈圧大。



M.C.A.M. Peters & E. van Bokhorst Flow-induced pulsations in pipe systems with closed branches, impact of flow

流れ後退方向の振動強さ direction

流れ進行方向の振動強さ



Q2: 図1でダンパー通過時の渦剥離周波数と枝管の気柱共鳴周波数が近く共鳴が起きる場合、図2のような配管レイアウトでも同様な共鳴が起きるか?

- A2: 共鳴は、必ず発生するが、流れの乱れがあるので、脈圧は小さいと考えられる。
- 曲がり管の内側に枝管があると脈圧は下図のように半減
- 脈圧防止には、オリフィス装着が有効

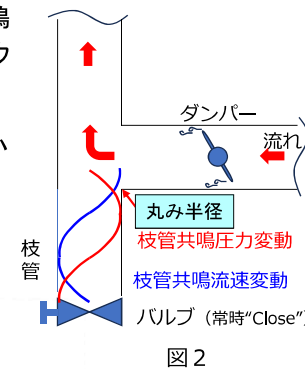
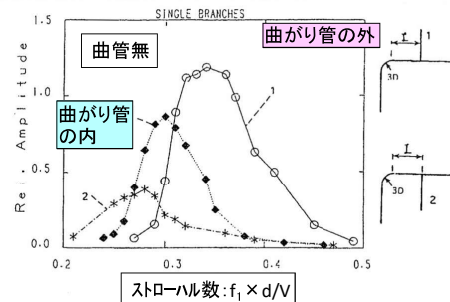


図2



Effect of an upstream elbow on the acoustic response of a single branch. \circ , branch at the outer side of the elbow; $*$, at the inner side; \diamond , no elbow. $d/D = 0.135$, $f_1 = 490$ Hz, $\mathcal{L}/D = 1.85$, test pressure = 3 bar.

by Jungowski & Studzinski (1989)

SELF-EXCITED RESONANCES OF TWO SIDE-

S. ZIADA AND E. T. BÜHLMANN† BRANCHES IN CLOSE PROXIMITY

Journal of Fluids and Structures (1992) 6, 583–601 22