

# 電動機のウェーブワッシャ不良による深溝玉軸受の 早期損傷メカニズムと振動診断

Early damage mechanism and vibration diagnosis for ball bearing of electric motor caused by unsuitable function of wave washer.

(株) ジェイテック 佐々木 一人 Ichito SASAKI (Member)  
(株) ジェイテック 瀬川 佑太 Yuta SEGAWA (Member)

Maintenance methods are broadly grouped to the preventive maintenance(Time Based Maintenance) and the post incident maintenance(Condition-Based-Maintenance,Breakdown-Maintenance).

It is unusually confirmed after maintenance that an unsuitable disassembling of rotating equipment causes incident such as increasing of vibration or abnormal sound. At the case of maintenance of electrical motors that are used for mid or small sized pumps or blowers, and wave-washer is reused, a few times of these phenomena were experienced during short duration after maintenance. By means of vibration analysis and disassembling of these motors, we confirmed that these wave-washers degraded and situation of the inside of bearings was unsuitable. Furthermore, we confirmed the similar features of vibration wave between them.

This report describes these experience about characteristic of vibration, mechanism of these phenomena, and diagnosis as post incident maintenance.

**Keywords ; Vibration diagnosis, Motor, Bearing, Wavewasher**

## 1. 緒言

回転機器類をはじめとする設備の保全方式については「予防保全(Time Based Maintenance)」と「事後保全(Condition-Based-Maintenance,Breakdown-Maintenance)」に大別される。設備の分解点検については、これらの保全方式を問わず、「分解点検後の組立作業にて健全性を損なうことの無いようにすること」、「分解点検が必要となった異常事象を解消し健全な状態に復旧すること」が必須要件である。

中小型ポンプや送排風機等に多用される電動機の分解点検においてウェーブワッシャを再利用されることが多い。このことが原因となり分解点検後から短期間で異音を伴って振動が増加する事象を複数回経験した。

振動解析および軸受分解検証の結果、劣化したウェーブワッシャを利用することで、ラジアル内部すきまが狭小状態となる。この時、振動データにおいて共通した特徴が現れることを確認した。

本稿は、外観上異常の無いこと、および経済的観点から再利用したウェーブワッシャが不良になっていたことによる軸受の早期損傷メカニズムと周波数的特徴およびこれに基づく振動解析の手法について報告するものである。

連絡先：佐々木 一人

〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村尾駸字沖付 4-91

株式会社ジェイテック 設備保修部

第三機械グループ 設備診断チーム(J-MUEDS)

e-mail: ichito-sasaki@j-tech66.co.jp

## 2. 事象概要

### 2.1 振動の増加と異音の発生

電動機の軸受が適切に組み込まれた状態では、外輪・内輪の転走面と転動体に内部すきまが確保される。

しかし、運転時に生じる動的不平衡はアキシャル内部すきまが増大させるとともにラジアル内部すきまが狭くなり摩擦量を増加させる[2]。この際、転動体と保持器の接触によってそれぞれのキズ周波数成分で形成された異音が発生し、短期間で軸受の損傷に進展する。

(Fig.1)

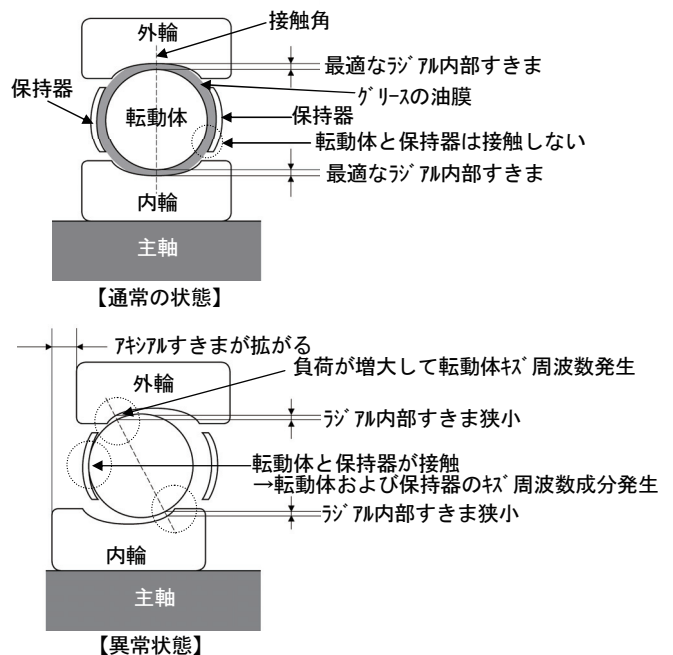


Fig.1 アキシャル内部すきまについて

## 2.2 ウェーブワッシャの役割について

電動機に用いられるウェーブワッシャは、軸受のアキシャル方向に均等な予圧を与えてガタを無くす目的の他、Fig1 に示した軸受の動的不平衡を調整して接触角のずれや傾きを解消させる役割がある。(Fig.2)

ウェーブワッシャのバネ力が正常に働かなかつた場合、動的不平衡を吸収できなくなり、ラジアル内部すきま狭小に伴う摩擦過多が発生する。その結果、軸受の性能や寿命を著しく損ね、短期間で損傷に至る。

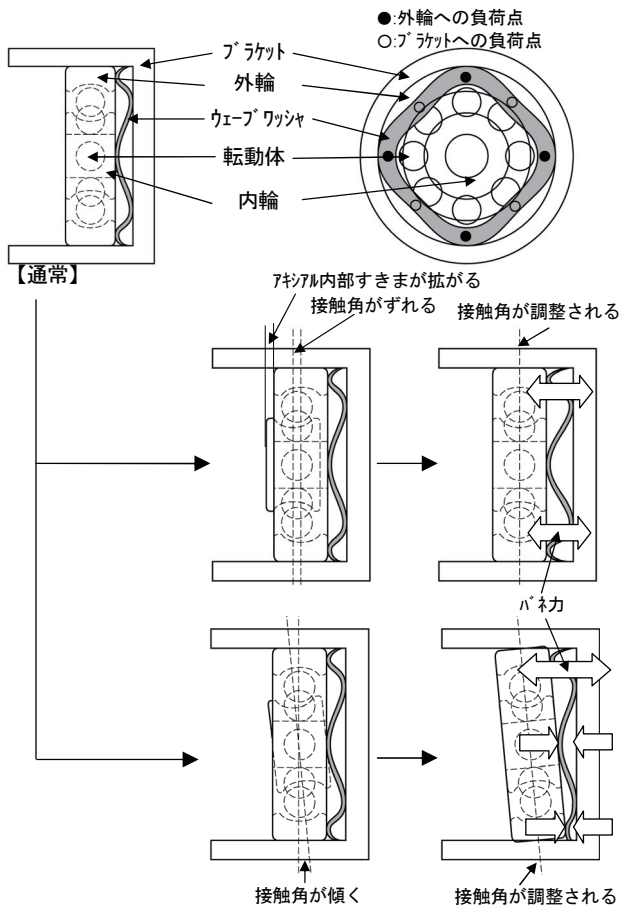


Fig.2 ウェーブワッシャの機能

## 2.3 事象発生に伴う軸受の損傷

ウェーブワッシャが本来の機能を果たさなかつた場合、軸受の各部品において以下の通り特徴的な痕跡が生じる。(Fig.3)

- 外輪転走面：回転体の転走痕の中心ズレ
- 内輪転走面：回転体の転走痕の中心ズレ
- 回転体表面：環状の接触痕
- 保持器：端部に回転体との接触痕

外輪および内輪における転走痕の中心ズレは、軸受のアキシャル内部すきまが広がり、接触角に不平衡が生じていたことを示す証拠である。

生じていたことを示す証拠である。

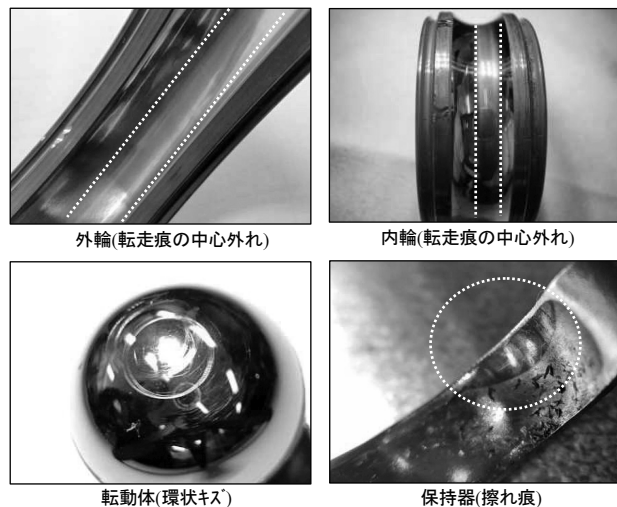


Fig.3 ウェーブワッシャ不良発生による軸受の損傷状態

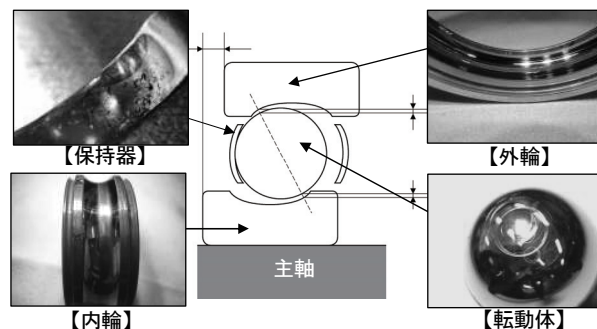


Fig.4 アキシャル内部すきま狭小と軸受損傷の相関

## 3. ウェーブワッシャ不良発生時の振動解析

異音および振動増加事象が発生した際の振動トレンド、振動速度、振動加速度の振動解析すると、以下の共通した特徴が現れることを確認した。

### 3.1 振動トレンドの特徴

振動速度および振動加速度の両パラメータの振動トレンドは、Fig.5 の振動トレンドに示す通り、分解点検実施まで良好な値で推移しているが、分解点検後から2~3ヶ月という短期間で振動値の著しい上昇が現れる。特に振動加速度の上昇が顕著に現れるのが特徴的である。振動加速度の増加は軸受内部の接触圧が強いことを示す。振動速度の増加は、軸受内部の接触圧増加によって過剰な回転エネルギーが生じていることを示す。

このような振動トレンドの特徴が現れた場合、軸受の摩耗損傷が推測される。しかし、分解点検(軸受交換)の実施から日が浅いことから、軸受の摩耗損傷と断定するのは難しい。

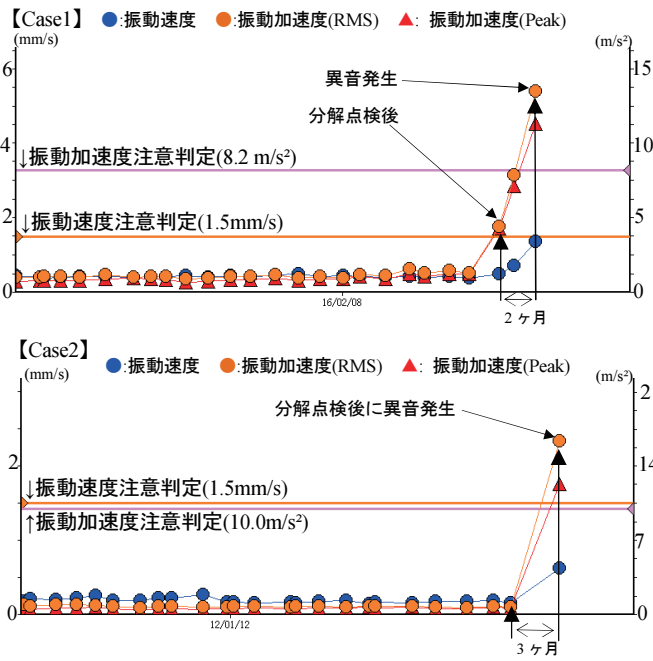


Fig.5 分解点検後の振動トレンドグラフ

### 3. 2 振動速度パラメータの特徴

振動速度の時間波形において、振幅の大幅な増加と転動体キズ発生時のピーク間隔が現れる。(Fig.6)

振動速度スペクトルにおいて、転動体キズのハーモニクスに相当する周波数成分が現れる。(Fig.7)

このデータから、回転エネルギー増加の要因に転動体が関与していることが判断できる。

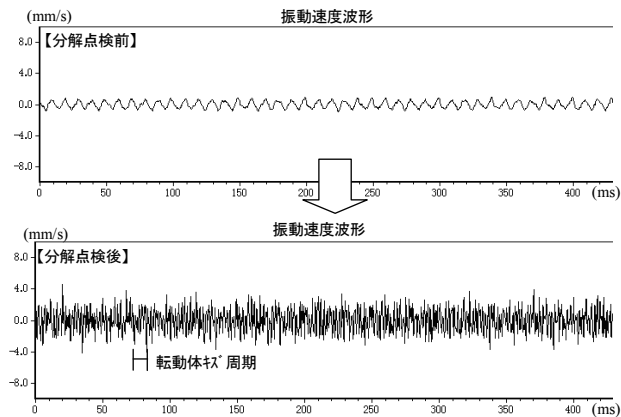


Fig.6 振動速度波形

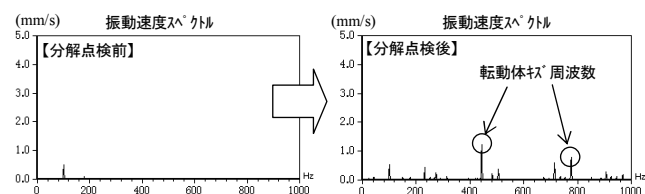


Fig.7 振動速度スペクトル

### 3. 3 振動加速度パラメータの特徴

振動加速度の時間波形において、振幅の増加と保持器および転動体のキズ発生時のピーク間隔現れる。これらの振幅が繰り返されて、約1秒強の大きなうねりを形成している。(Fig.8)

振動加速度スペクトルにおいて、転動体と保持器のキズ周波数成分が屹立している。これは、本事象が発生した際に生じる異音が、転動体と保持器の固有振動数(キズ周波数)で構成されていることを示している(Fig.9)

以上のことから、異音を伴う振動加速度の増加は、転動体と保持器の接触によるものと判断できる。

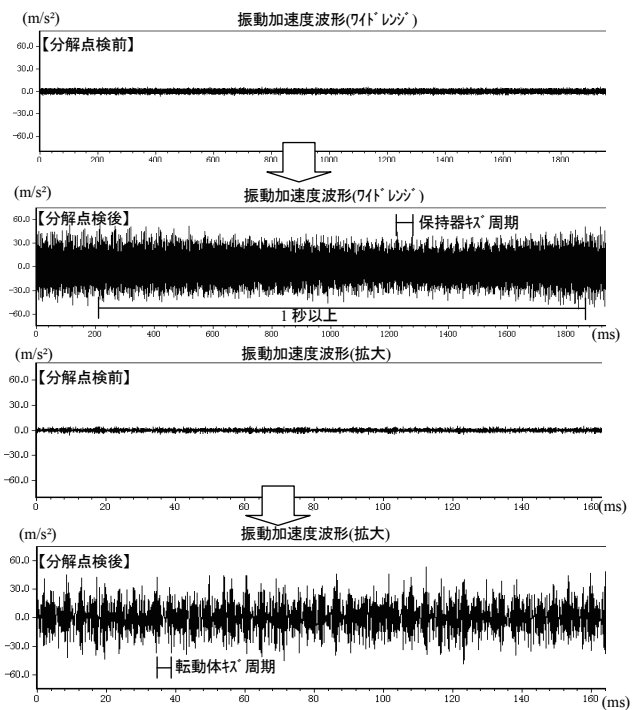


Fig.8 振動加速度波形

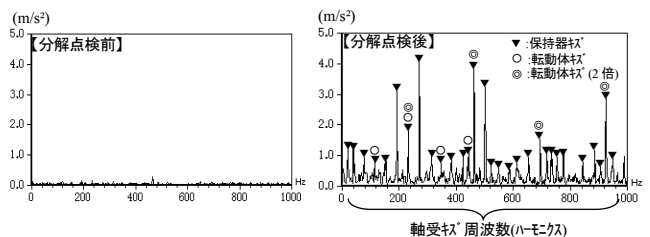


Fig.9 振動加速度スペクトル

### 3. 4 ウェーブワッシャと振動解析の相関性

振動解析は軸受やその周辺の構造体の振動採取を目的としているため、振動解析を用いてウェーブワッシャ単体の異常を直接的に検知することは困難である。

ただし、下記に示すロジックによってウェーブワッシャ不良の影響による異常振動事象を推定することが

可能である。

- ①異音を伴って振動速度および振動加速度の増加
- ②転動体および保持器のキズ周波数の増加
- ③分解点検実施から日が浅く摩耗損傷は考え難い
- ④異音の原因は転動体と保持器の接触と推定
- ⑤接触角にズレ・傾きが生じた可能性あり
- ⑥ウェーブワッシャ不良の可能性あり

また、その他の異常振動事象の振動的特徴と比較すると、ウェーブワッシャ不良が影響を及ぼす振動異常の特有性があることが分かる。その他の異常振動事象の振動的特徴と比較することで本事象の原因がウェーブワッシャ不良であると推定することが可能である。(Table1)

**Table1 各振動異常とウェーブワッシャ不良の相関性**

異常種別	振動的特徴	ウェーブワッシャ不良の影響
【電氣的振動異常】 ・電磁振動 ・溝高調波振動 ・スロット折損	・振動速度の増加 ・分解点検直後に増加 ・電源周波数×2 ・固定子スロット周波数	×
【機械的振動異常】 ・共振 ・アンバランス ・ミスアライメント ・シャフト曲がり ・据付がゆるみ	・振動速度の増加 ・分解点検直後に増加 ・うなりを伴う異音 ・回転成分 ・回転成分×1/2 ・回転成分×2	×
【軸受の損傷】 ・軸受キズ ・軸受摩耗 ・軸受クレープ [5]	・振動加速度の増加 ・周期的な異音、打撃音 ・軸受キズ周波数の屹立 ・回転成分の増加	△
【油膜切れ】 ・潤滑不良 ・グリース劣化 ・水分混入	・振動速度および加速度の増加 ・非周期的な異音 ・高周波数帯域の増加 ・特定の軸受キズ周波数なし	×
【軸受部品同士の接触】 ・接触角のずれ ・接触角の傾き ・軸受自体の傾き	・振動速度および加速度の増加 ・金属同士が磨れ合う異音 ・うなりを伴う異音 ・転動体と保持器のキズ周波数	○

### 3. 5 振動解析の留意点

本稿に記すアキシアル内部すきま狭小については、

ウェーブワッシャ不良の他、電動機ケーシングの据付不良や積層板式カップリングの過剰な締め付けといった軸方向に働く機械的不平衡によっても発生する。

上記の機械的不平衡が原因となる接触角のズレや傾きが生じた場合、振動解析で特徴的な振動を確認することができるため診断は容易だが、より正確に原因を分析する上で点検記録等から上記の機械的不平衡の有無を確認する必要がある。

## 5. 結言

分解点検後の異常振動事象については、軸受内部の潤滑状態の変化や摩耗損傷と異なり傾向管理で異常を検知することは困難である。そのため、分解点検完了から短期間で異常振動事象が発生した際は、以下の点を確認することで原因を推定することが可能と考える。

- ・振動解析による異音の構成の分析
- ・軸受、ウェーブワッシャ等の消耗品交換の有無
- ・点検記録の確認

ウェーブワッシャは外観の破損が無い限り外観確認のみで劣化の有無を判断するのは困難である。本稿に記した軸受内部すきまが狭まるメカニズムとウェーブワッシャの役割を考慮すると、機能性の確認が取れない既存部品の再利用は避けるべきであり、分解点検の都度で新品のウェーブワッシャに交換することが品質と総括的な経済効果に繋がるものと考えられる。

## 参考文献

- [1] ISO 基準に基づく機械設備の状態監視と診断(振動),振動技術研究会
- [2] 転がり軸受総合カタログ,NTN 株式会社
- [3] 図説・設備診断技術シリーズ①回転機械診断の進め方,豊田利夫著,株式会社 JIPM ソリューション
- [4] 佐々木一人,瀬川佑太,吉村定志,沢田悠,須藤重輝：“六ヶ所再処理工場における回転機器の設備診断-振動解析による設備診断”,日本保全学会 第11回学術講演会 要旨集,pp.439-446(2014)
- [5] 佐々木一人,瀬川佑太：“六ヶ所再処理工場の横型遠心ファンにおける軸受外輪クレープの振動診断について”,保全学,Vol.15,№3,pp.109-114(2016)