

# 軸受転動体異常の定量的評価手法に関する研究

## A Study on Evaluating the Amount of Bearing Flaking in Balls

株式会社 IIU	角皆 学	Manabu Tsunokai	Member
株式会社 IIU	萱田 良	Ryo Kayata	Member
株式会社 IIU	ペランステファン	Stephane Perrin	Non Member
株式会社 IIU	高瀬 健太郎	Kentaro Takase	Member

This study aimed to establish the method for evaluating the amount of bearing flaking in balls. We performed 5 accelerated aging tests of ball bearings that expedite the occurrence of flaking in balls and analyzed the vibration signal. Some characteristic features for initial stage of flaking in balls are revealed such as sudden decrease of vibration level or pulse vibration once per several revolutions of a ball. Those knowledge can be used for diagnosing the severity of bearings that indicate the existence of flaking in balls and the foundation for establishing the quantitative evaluation method.

**Keywords** vibration diagnosis, ball bearing, nondestructive detection, quantitative evaluation, rotating machine

### 1. 諸言

プラントの信頼性と効率を高めるという観点から、状態監視保全（CBM : Condition Based Maintenance）の重要性が高まっている。CBM を効果的に行うためには、センサで得られた情報と機器の状態が定量的に結びついていくことが望まれる。

回転機器の主要な劣化部位である軸受の損傷定量的評価手法に関して、これまでに内輪または外輪に人工的に付与した損傷の程度を評価する手法や、自然に発生した外輪剥離の周方向長さを評価する手法が報告されている。

[1][2]

本研究では内輪剥離、外輪剥離と並んで軸受の主要な劣化モードである転動体剥離について、その信号特性についての知見を拡充するとともに、定量的評価手法を検討する。

### 2. 劣化加速試験

#### 2.1 試験方法

本試験では転動体剥離発生後の信号に着目しているため、まず新品の深溝玉軸受の転動体に微小な傷加工を施し、転動体剥離の発生を促進させた状態で劣化加速試験機に組み込み運転する。

連絡先： 角皆学、〒110-0008 東京都台東区池之端  
2-7-17 井門池之端ビル 10F、電話 03-5814-5350  
E-mail:tsunokai@iiu.co.jp

傷加工の方法は、レーザー加工により転動体の1つに保持器を貫通させて傷をつけるものである。

加工により転動体付与される傷は直径 1mm、深さ 0.5mm 程度である。Fig.1 にレーザー加工を施した試験軸受を示す。

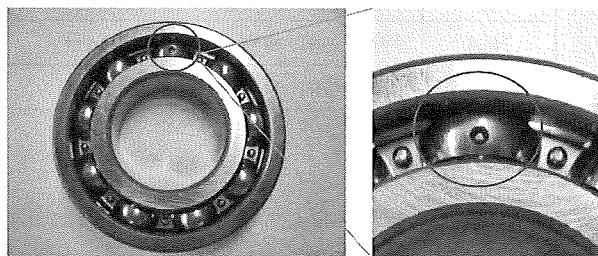


Fig.1 Test bearing processed by laser

劣化加速試験機は試験軸受の径方向に高荷重をかけて運転を行うものである。Fig.2 に劣化加速試験機の外観とセンサ設置箇所を示す。本研究では荷重条件を変え5つの試験を行った。

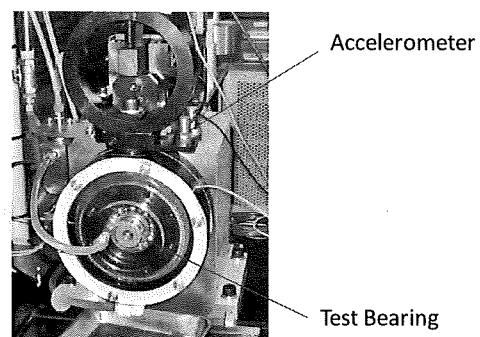


Fig.2 Accelerated aging test machine

Table 1 に各種試験条件、Table 2 にそれぞれの試験の荷重条件を示す。なお本試験で剥離発生後も継続して運転を行うが、試験終了条件は振動レベルや運転音、運転時間等によっており試験ごとに異なる。

**Table 1 A list of the testing conditions**

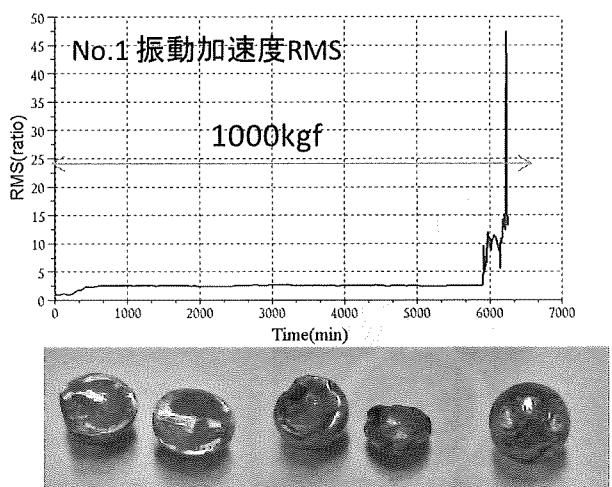
軸受仕様	深溝玉軸受 6206 動定格荷重 2 トン 転動体数 9
潤滑方式	自然落下方式の循環給油
軸回転数	2000 rpm
荷重方向	純ラジアル荷重
測定条件	使用センサ：振動加速度計 サンプリング周波数：20kHz サンプリング時間：10 秒 フィルタ：10kHz LPF

**Table 2 A list of the load conditions**

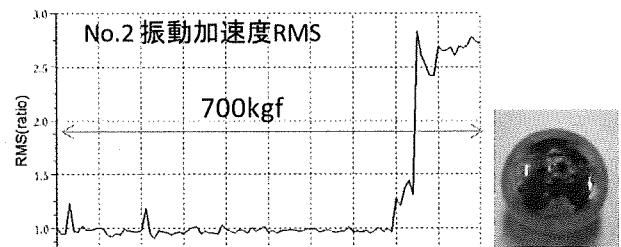
試験 ID	荷重条件
No.1	1000kgf (試験開始から終了まで一定)
No.2	700kgf (試験開始から終了まで一定)
No.3	剥離発生前 900kgf 発生後 600kgf
No.4	剥離発生前 900kgf 発生後 500kgf
試験 No.5	剥離発生前 900kgf 発生後 400kgf

## 2.2 試験結果

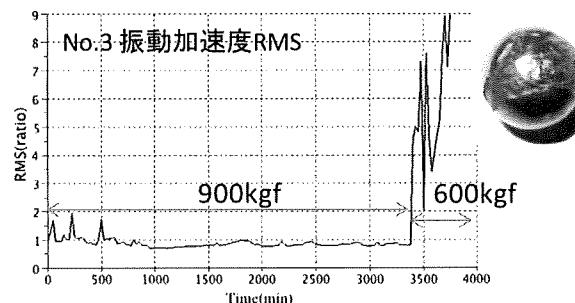
Fig.3 に全ての試験の開始から終了までの振動加速度 RMS と試験終了時点の損傷状態を示す。なお RMS は試験開始時の値を 1 とした比で表している。



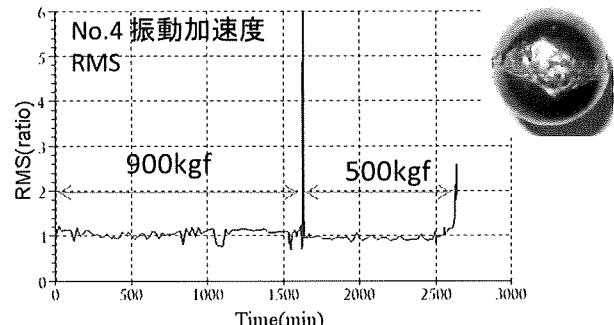
(a) Test No.1



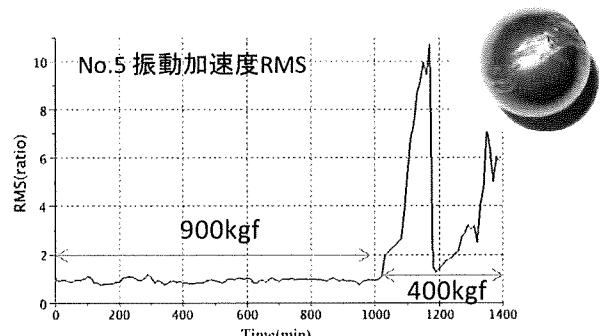
(b) Test No.2



(c) Test No.3



(d) Test No.4



(e) Test No.5

**Fig.3 RMS of acceleration and defects of test bearings**

全ての試験において微小傷加工を起点として転動体剥離が発生した。最も高荷重の試験 No.1 では 3 個の転動体に剥離が発生し、そのうち 2 個は割れが発生していた。全ての試験において転動体以外の部位に剥離は発生しなかった。

### 2.3 信号特性の分析

#### (1) 転動体剥離を示す典型的なスペクトル

Fig.4 に試験 No.2 における envelope 处理後の周波数スペクトルを示す。なお envelope 处理は高周波（本分析では 3kHz 以上）の振動を包絡線処理することで、周期性を抽出しやすくするものである。

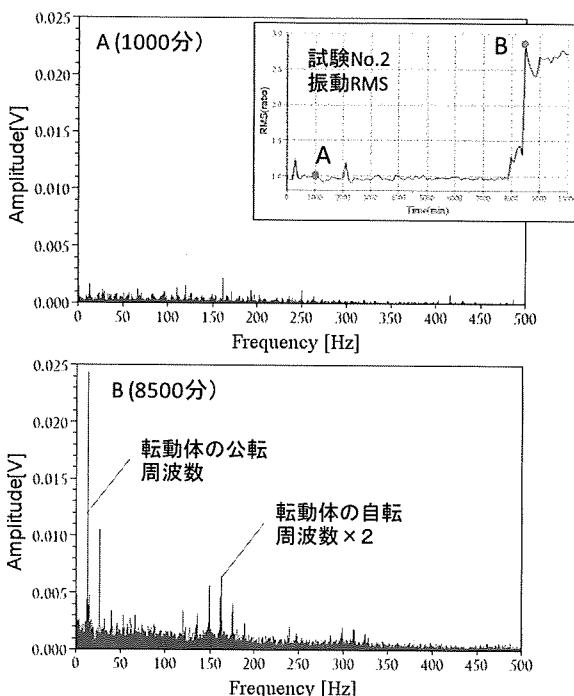


Fig.4 envelope-FFT (Test No.2)

試験開始 8500 分のスペクトルには「① 転動体の公転周波数とその高調波」および「② 転動体の自転周波数 × 2 とそれを中心とする転動体公転周波数間隔のサイドバンド」が現れている。①は剥離の発生した転動体が軸受内の応力集中箇所を通過する度に生じる振動に対応している。②は転動体の自転運動に伴い剥離が内輪と外輪に接する度に発生する振動に対応している。

このようなスペクトルは転動体剥離の典型的なものであり、よく知られた結果である。<sup>[3]</sup> ただし①と②が常に観測されるわけではなく、本試験においては主に①が観測されている。

#### (2) 転動体軌道面の変化

Fig.5 に試験 No.5 における振動加速度 RMS の時間変化及び envelope 处理後の周波数スペクトルを示す。

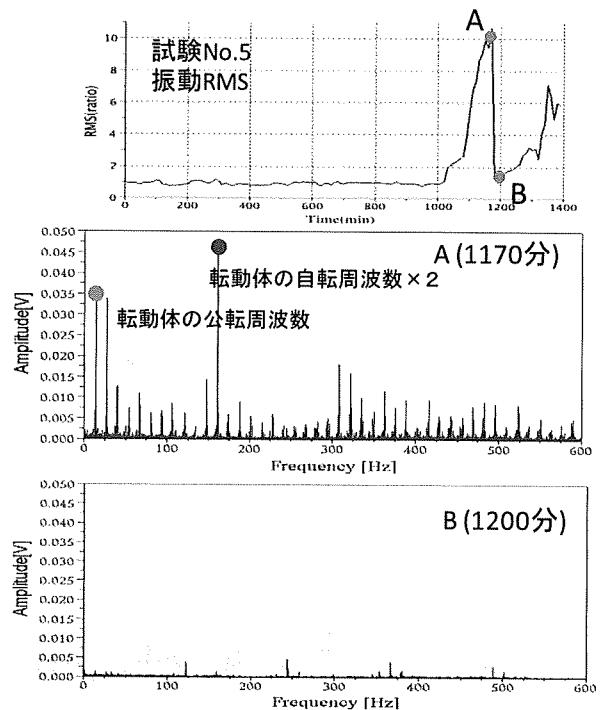


Fig.5 envelope-FFT (Test No.5)

A 点（試験開始 1170 分）では振動 RMS は試験開始時の 10 倍程度まで上昇し、転動体剥離を示すスペクトルが明確に現れている。一方 A 点から 30 分後の B 点（1200 分）では振動 RMS は試験開始時に近いレベルまで低下し、転動体剥離を示すスペクトルがほとんど見られない。

これは転動体の自転軸が変化したことによって、転動体剥離が内外輪に接触しなくなったことによるものと考えられる。転動体剥離が小さい場合、このような現象が発生する。

Fig.3 (d) に示したように試験 No.4 では振動レベルが一度急激に上昇した後、再び試験開始時程度のレベルまで低下し長時間安定した状態で運転されている。これも発生した転動体剥離が転動面からそれたことによるものと考えられる。

内輪または外輪の剥離では剥離の表面状態の変化はあるもののこのような現象は発生せず、転動体剥離に特有の現象と言える。また剥離が転動体の表面積を占める割が大きい場合も、剥離が転動面から逸れることはない。よってこのような現象が観測された場合、初期段階の転動体剥離が発生していると診断することが出来る。

### (3) 転動体初期剥離の信号特性

Fig.6 に試験 No.2 の振動 RMS と生信号を示す。

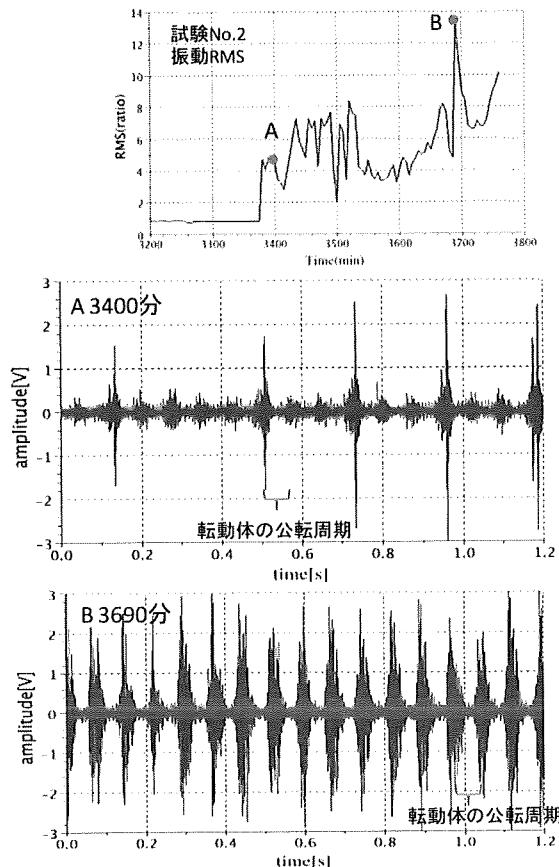


Fig.6 vibration signal (Test No.2)

剥離発生直後である A 点 (3400 分) の信号波形から、転動体の公転周期で信号が大きくなるとともに、公転 3 回に 1 回程度の頻度で特に大きい振動が発生していることが分かる。一方剥離発生後 5 時間程度経過した B 点 (3690 分) では毎公転ごとに大きな振動が発生している。

これらの現象は以下のように説明出来る。軸受には一定方向の荷重がかかっており応力集中箇所が存在する。また軸受の運動として一般的にある場所から転動体が 1 公転した時内外輪と接する転動体の点は 1 公転前とは等しくない。(公転周期が自転周期の整数倍になっていない) このことから転動体剥離が小さい時、剥離の発生した転動体が応力集中箇所を通過する際ちょうど剥離が転動面に接する場合と、そうでない場合があるため A 点で観測されたような信号となる。剥離が大きく進展すると、応力集中箇所を通過する際に常に剥離が転動面と接するようになり B 点のように公転ごとに大きな振動となる。

(Fig.7)

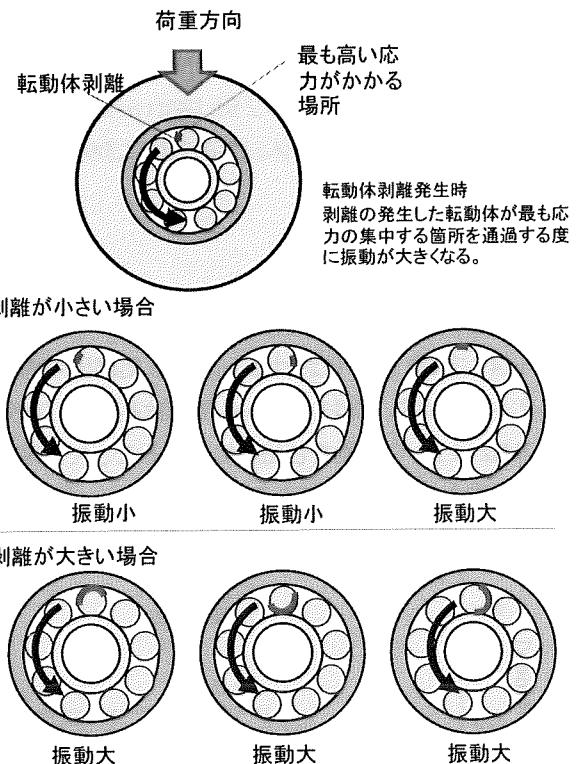


Fig.7 analysis of vibration characteristics

### (4) 損傷進展速度

Fig.8 に全ての試験の剥離発生後の荷重と剥離の進展速度の関係を示す。なお剥離の進展速度は試験終了時の剥離の大きさ (損傷量) を剥離発生後の運転時間で除した値である。損傷量は剥離が転動体の表面積に占める割合とした。なお No.1 については複数個の転動体に剥離が発生し割れも生じているためその他の試験と同列に評価することが出来ないが、ここでは参考として割れの生じた転動体は剥離が全面に生じた場合と同じ損傷量とし、複数個の損傷量は足しあわせて評価したものと表示している。

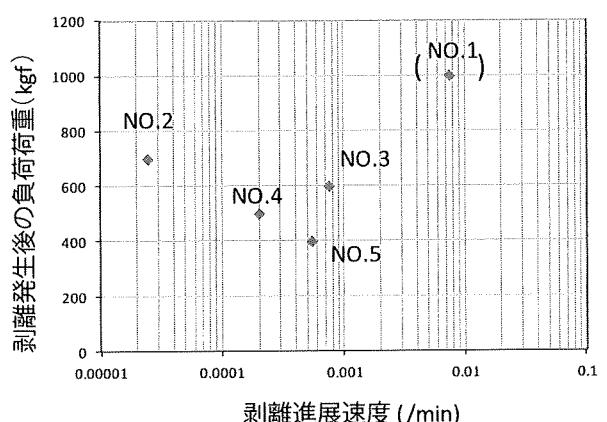


Fig.8 load and speed of damage progress

低荷重ほど進展速度が遅い傾向は現れているものの、ばらつきが大きい。転動体剥離では自転軸が変化することにより剥離と転動面の接触の仕方が変化するためばらつきは大きくなりやすいと考えられる。荷重と進展速度に関係を見出すにはさらに多くの試験を行う必要がある。

### 3. まとめ

レーザーで微小傷加工を施すことにより、転動体剥離を集中的に発生させる試験を行った。剥離の発生や進展の仕方については、このような微小傷の導入の影響を無視することは出来ないが、転動体剥離の形状や大きさと振動信号の関係性についての知見を蓄積するという観点からは有効な試験法であると言える。

本試験により、転動体剥離の初期段階に特徴的な信号特性が明らかとなった。すなわち「① 公転数回に1回の大きな振動の発生」、「② 転動面から剥離が逸れることによる振動値の減少」である。これらは転動体剥離の損傷量を定量的に評価する際の基礎的な知見となり得るものである。

ただしこれらは全ての試験において観測されているわけではなく、違いが生じる原因について現時点では明らかではないため、さらなる試験を行い信号をより深く物理現象と結びつける必要がある。

### 参考文献

- [1] 萱田良、馬渡慎吾、黄皓宇、ペランステファン、真木紘一、電磁診断技術による傷付与転がり軸受の測定及び信号処理による傷大きさの推定法、日本保全学会 第6回学術講演会 ホテルニューオータニ札幌 2009/8/3-5
- [2] 馬渡慎吾、角皆学、高瀬健太郎、萱田良、電磁診断技術による転がり軸受の劣化進展過程の計測及び診断、日本保全学会 第7回学術講演会 御前崎市民会館、浜岡原子力館 2010/7/13-15
- [3] 豊田利夫 回転機械診断の進め方 日本プラントメンテナンス協会 1991/01

