

# SPM 法による軸受診断の検証と保全の最適化への展開

Inspection of bearing diagnosis and development to optimization by SPM method

新日本空調株式会社	南 明子	Akiko MINAMI	Member
新日本空調株式会社	今治 由博	Yoshihiro IMAJI	Member
中部電力株式会社	名波 健	Takeshi NANAMI	
中部電力株式会社	谷口 祐司	Yuuji TANIGUCHI	

The maintenance of atomic energy-related facilities has been performed mainly on the vibration method until now. However, for the maintenance in atomic energy-related facilities and the fact of the rotary apparatus, it is not enough at all only by the vibration method. We note the SPM method as a technique to watch the bearing condition in accord with those facts and carried out verification. We wrote about a background of starting this verification, the principle of the SPM method, contents of the verification, an advantage of SPM method by the verification result, the maintenance exploit advantage of SPM method, in this article.

**Keywords:** bearing, SPM method, TBM, CBM, time based, condition based, maintenance, fan, vibration, life

## 1. 緒言

原子力関連施設における回転機器の保全は主に時間に基づく保全（以降 TBM）によって行われていたが、平成 21 年の新検査制度の制定以降、機器の状態に基づく保全（以降 CBM）を確立するための動きが強まった。

平成 23 年 3 月 11 日に起きた東北地方太平洋沖地震により発電設備が長期停止状態となったが、換気空調設備のように施設内の環境を維持する設備はその必要性から運転を継続しており、従来通り機器の健全性維持が求められている。また、設備の信頼性向上と保全の最適化を目指し、CBM を確立するための技術拡充の取り組みは現在も継続されている。

CBM を代表する手法として振動法、油分析、サーモグラフィが用いられており、特に振動法については知見が多く機器全体の異常を検知できることから、機器の状態を判断する手法として多くの施設で採用され、幅広く保全に用いられてきた。ただし、その測定と評価には経験と技術が必要であり、解析には専門的な知識と時間が必要である。

発電所では多くの送風機やポンプが使用されており、このような回転機器の不具合は軸受の寿命から来るものがほとんどを占めていることがわかっている[1]。原子力発電所全体として 1 プラントあたり 100 台以上の回転機器が設置されているため、全ての回転機器に対して振動法を実施しようとすると、測定点が膨大（各軸受に対し

て 3 方向）であり、振動データの収集ならびに評価に時間を要してしまうことから、測定および評価に時間のかからない技術、軸受の状態を確実に把握することが可能な技術、軸受を管理する指標が明確な技術が求められている。

前述を踏まえ、原子力発電所の回転機器の実情に適応する技術として SPM(Shock Pulse Measurement)法に着目して検証を行ってきた。

## 2. SPM法について

SPM 法は Fig.1 のように金属同士が衝突した際に発生する圧力波（ショックパルス）の周波数 32kHz 帯にセンサーの共振点を調整することにより、最も感度の良い箇所ショックパルスを測定する方法である。

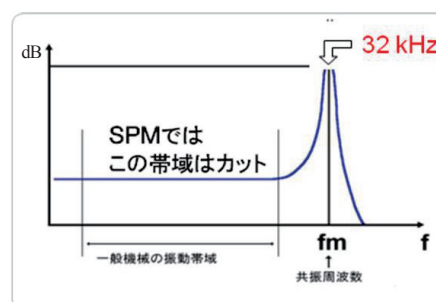


Fig.1 SPM 法の測定周波数帯

測定機器に内蔵された約 43000 種のデータベースと測定結果を比較することで、軸受の油膜厚さの判断、軸受異常の早期発見、軸受寿命の算出が可能手法である。測定機器は Fig.2 のようであり、機器名称と軸受 No、回転数を入力し、プローブを押し当てて測定を行う。1 つの軸受に対し任意の 1 方向のみ約 10 秒で測定を完了することができる。

連絡先：南 明子、〒235-0036 神奈川県横浜市磯子区  
中原 1-1-34、新日本空調株式会社 原子力事業部 技術  
企画部 開発課  
E-mail : minamia1@snk.co.jp



Fig.2 SPM 測定機器

SPM 法の原理はスウェーデンの SPM 社によって開発されたものである。試験によって得られた潤滑状態を示す  $\kappa$  (カップ値) と軸受回転数  $n$  (rpm) との関係から軸受内の油膜厚が衝撃波の大きさに影響を受けることを掴み、評価の元となる約 43000 種の主要な軸受の正常なデータを収集したことで、実測定の現場で使用することを可能にした。

測定によって得られる LR (Low rate of occurrence Range) 単位時間当たりの発生数が少なく強い衝撃波の平均値 (dB) と HR (High rate of occurrence Range) 単位時間当たりの発生数が多く弱い衝撃波の平均値 (dB) から、潤滑状態と軸受の潤滑・損傷の度合をそれぞれ LUB (lubricant) と COND (condition) という値で定義している。

また、SPM 社が各軸受の試験結果から独自に得た判定基準により緑 (正常)、黄 (注意)、赤 (要注意) の色によって軸受の状態を判断することが可能である。

### 3. 検証の実施

SPM 法の測定結果の精度を検証した結果を以下に示す。

#### 3.1 検証方法

検証は中部電力浜岡原子力発電所にて 2012 年から 2013 年にかけて行った。一年目は SPM 法および振動変位、温度の測定データを蓄積し原子力発電所における回転機器の状態把握を試み、機器の再起動と潤滑状態との関係性を見ることができた。二年目はデータの蓄積を行うと同時に分解点検が行われた機器について軸受の分解調査を実施し、その調査結果から SPM 測定データの精度を確

認した。さらに、本稿では二年間の継続した測定の中で明らかとなった SPM 法の利点を挙げるとともに、その利点を活用した保全方法についての検討までを行った (Fig.3)。

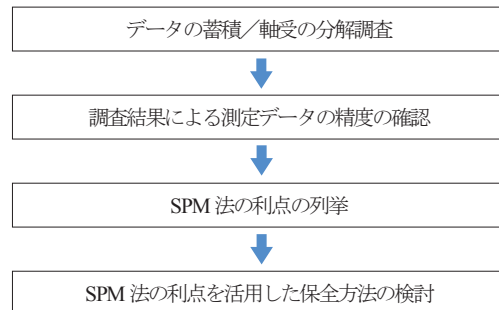


Fig.3 検証の流れ

### 3.2 調査対象機器の選定

測定対象の軸受は 2013 年度に分解点検が予定されている機器を含め軸受サイズ・タイプ・機器の駆動方式が網羅されるよう、発電所に設置されている 90 台 (軸受にして 300 点) を選定し、データの収集を実施した。この内、2013 年度に分解点検が行われ、調査を実施することができた機器は Table.1 の送風機 5 台の軸受 10 点であった。

Table.1 分解調査実施機器

番号	機器名称	駆動方式	回転数	軸受番号	分解点検日時	
①-1	H-1 原子炉給気ファン(A) 本体	負荷 反負荷	ベルト 両持	648	22222 22220	2013/08/10
①-2	H-2 原子炉建屋排気ファン(A) 本体	負荷 反負荷	ベルト 両持	785	22224 22220	
②-1	H-2 原子炉補機給気ファン(A) 本体	負荷 反負荷	ベルト 両持	800	2316 2313	2013/08/10
②-2	H-2 タービン給気ファン(B-2) 本体	負荷 反負荷	ベルト 両持	511	22222 22220	
③-1	H-4 補助建屋給気ファン(A) 電動機	負荷	直結 片持	1200	6220CM	2013/07/22
③-2		反負荷			6315CM	

### 3.3 測定・軸受分解調査

SPM 法は 1 つの軸受に対して、一箇所の測定で評価が可能であることから、測定時間が振動法に比べ短時間であること、他状態監視技術では評価が難しいケーシング内に設置されている直接測定が行えない軸受についても、ケーシングの側面からの測定で評価が可能であることが分かった。

Table1 のうち、軸受の分解により典型的な軸受の異常を確認することができた②-1 の軸受について各測定・調査結果を以下に示す。

### 3.3.1 測定

3.2にて選定した機器について、月に1回、2～3日の測定日を設け、測定を実施した。

Fig.4 に測定結果を示す。Fig.4 のトレンドグラフではLR、HR、LUB、COND の時系列の変化を示している。この軸受は、線の位置で分解点検を実施している。

分解点検前の測定でLR/HRの値が上昇し、CONDが赤(異常)となったことがわかる。異常が示される約二月前の測定では正常な値であったことから、経年的な劣化事象ではなく、この二か月の間に発生した偶発的な不具合の可能性が高いと考える。

次に異常が確認された際の評価チャートをFig.5に示す。

評価チャートにはLR、HR、LUB、CONDの関係が示されており、縦軸にLR-HR、横軸にHR、さらに中の三角形の縦軸にCOND、横軸にLUBを取っている。プロットがLR-HRの低い位置の右側(HR高)にあると潤滑状態が悪く、COND値が高くなると軸受が損傷している可能性があると分かる。

Fig.5ではLR-HRが高く、右側にあることから軸受損傷の可能性が高いということを視覚的に認識することができる。

さらに、SPM法で得られる振動加速度のスペクトルをFig.6に示す。スペクトルからは、振動法のスペクトルと同様に異常が起きている部位を特定することができる。

今回測定されたスペクトルでは軸受異常を示すピークははっきりと表れていないが、わずかに保持器に異常を確認することができる。

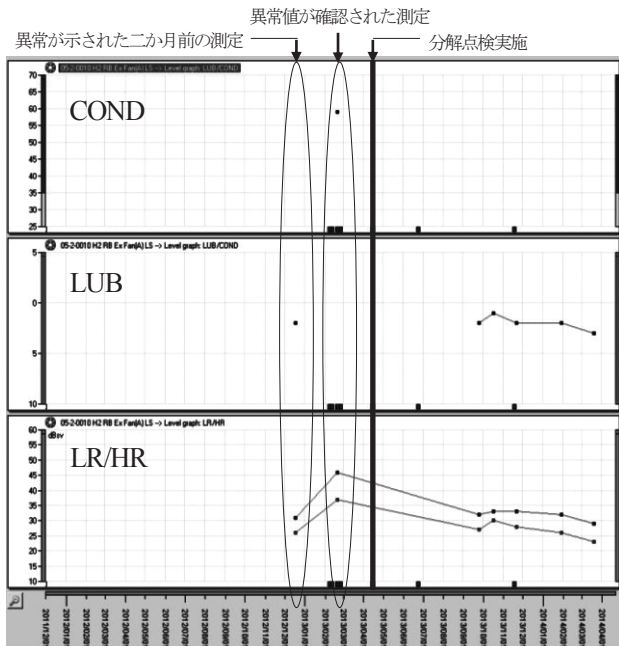


Fig.4トレンドグラフ

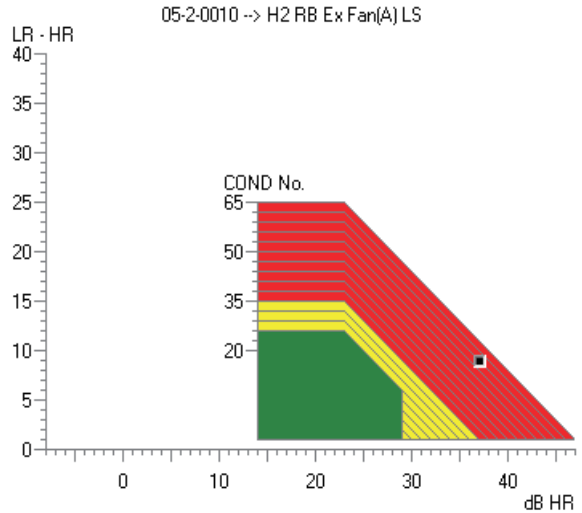


Fig.5 評価チャート

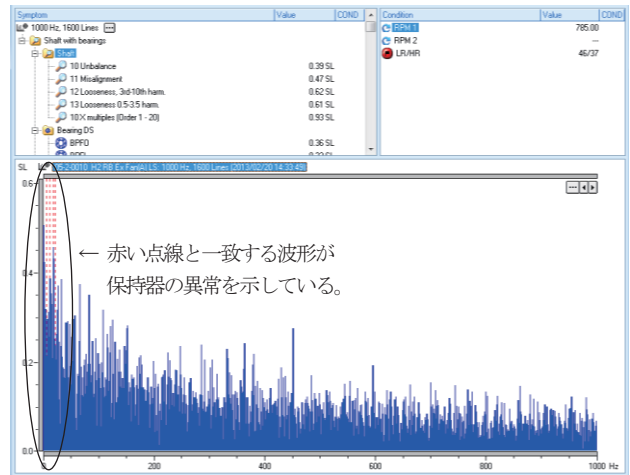


Fig.6 SPM スペクトル

### 3.3.2 軸受分解調査

通常であれば廃棄されてしまう取り外された軸受を確認することにより、SPM測定結果の検証を実施した。調査は軸受メーカーの意見を元に内輪と外輪について表面粗さ・目視による観察・マイクロハイスコープによる観察を実施した。

目視とマイクロハイスコープによる観察結果はTable.2の通りであった。

表面粗さは新品の軸受の約26倍という結果であり、フレーキングが起きた他の軸受に比べ、低い値であった(他フレーキング発生軸受①-2:約278倍、③-1:225倍)。


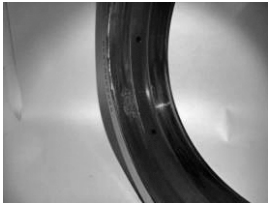
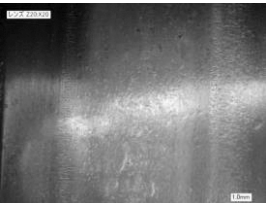
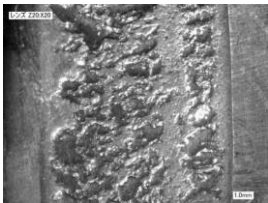
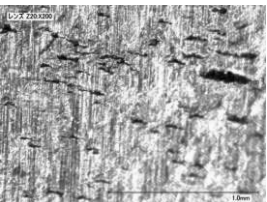
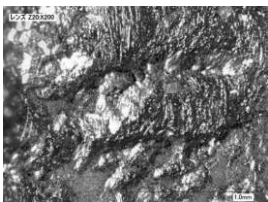
他の軸受についても同様に調査を行った結果、軸受のタイプによって劣化の違いを確認することができた。

自動調心ころ軸受の特徴としては日常的に大きな負荷がかかるため発生すると考えられる内外輪接触部の溝が確認できた。また深溝玉軸受には停止中の微振動により発生したと考えられる圧痕、自動調心玉軸受には保持器



の鋭利部と外輪とが接触して発生したと考えられる円周上の細いフレーキングを確認した。

Table.2 分解調査結果

	内輪	外輪
目視		
ハイスコープ20倍		
ハイスコープ200倍		
所見	目視で保持器に欠損と外輪のフレーキング・縁の欠け・起動面に溝、内輪になし地。ハイスコープでは内輪の疲労破壊を確認。	

### 3.4 SPM法の確かさと利点

Table.1 の 10 点の軸受について SPM 法による測定結果と軸受の分解調査結果とを比較したところ、測定結果と軸受の内部の状況はほぼ一致し、SPM 法では軸受の状態を確実に把握することができることを確認した。

また、2 年間の測定データ収集結果と、分解調査による精度の確認結果を踏まえ、SPM 法の利点を以下に示す。

- ・各軸受に対して一方向の測定で済むため、短時間で測定を行うことができる。
- ・明確に軸受を評価する基準が設けられており、即座に軸受の状態を評価することができる。
- ・トレンドデータが無くても、一度の測定で軸受の状態を知ることが可能である。
- ・間接的な衝撃波を拾うことができるため、ケーシング等の内部の軸受も測定可能である。
- ・損傷か潤滑異常かの判定において敏感であり、即座な判断が行える。
- ・油膜の定量的な評価により適時のグリスアップが行え、軸受の延命が可能である。
- ・技量の差に関係無く測定・判定が行える。

## 4. 結言

今回の SPM 法の検証結果から、SPM 法は振動法に必要な経験と技術、専門的な知識と時間を必要とせず、これまで測定が困難であった部位の測定が SPM 法では行えるなど原子力発電所の回転機器の実情に適応することがわかった。この検証結果を踏まえ、SPM 法と振動法それぞれの得意とするところを組み合わせることが保全の最適化につながるものと考ええる。

具体的には、日常点検を SPM 法により実施することで、効率的な設備診断と、他の診断では測定が困難であった軸受状態の確認も可能となる。更に、グリス補充のタイミングと適切な補充量を把握することで、軸受の延命を図ることができる。

SPM 法による日常点検によって、潤滑不良ではない異変や損傷が確認された場合は、振動法による測定を行い、多数ある知見を活用して異常原因を究明する。

詳細点検により、軸受以外の異常についても原因究明および対策が可能であることから、SPM 法と振動法を組み合わせることで効率的で確実な状態監視が実現できると考える。

## 5. 今後について

本検証では、原子力発電所の回転機器について SPM 法による継続した測定を実施するとともに、分解点検が行われた機器について軸受の分解調査を行い、その調査結果から SPM 測定データの確かさを確認、SPM 法の利点を活用した保全方法まで言及した。

今後は SPM 法の測定・評価時間が短いこと、軸受の状態を確実に把握できること、経験が不要といった点だけではなく、寿命算出が可能という点にも着目し、その活用方法について原子力発電所の回転機器と、さらには一般の機器にまで測定範囲を広げデータの収集および検証を進めたいと考えている。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、SPM Instrument Japan 株式会社、SPM ユーザー会、軸受メーカーの方々には大変有益なご助言を賜りましたことに感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 鋤柄 光二他 “東海再処理施設 30 年の歩みと今後の展望 ー保全技術管理支援システムの運用ー” 日本原子力学会 (2006 秋の大会)

