

電磁診断技術によるすべり軸受摩耗量評価手法の研究

Study of Evaluation Method for the Amount of Wear-Out of Plain bearings with Electromagnetic Sensor

株式会社 IIU	萱田 良	Ryo KAYATA	Member
日本原燃株式会社	馬渡 慎吾	Shingo MAWATARI	Member
株式会社 IIU	ペラン ステファン	Stéphane PERRIN	Non Member
株式会社 IIU	角皆 学	Manabu TSUNOKAI	Member
株式会社 IIU	高瀬 健太郎	Kentaro TAKASE	Member

A new electromagnetic method for the nondestructive evaluation of electric pumps with sliding bearings is proposed. A permanent magnet generates a static magnetic field and a coil of several hundred turns wrapped around it is used to pick up eddy currents induced inside rotating impellers. This electromagnetic nondestructive evaluation method is applied to the canned pump. By monitoring the movement of the impeller in a canned pump, the rotation speed, the variance of the impeller position as well as the wear of sliding bearing has been evaluated.

Keywords: Electromagnetic Nondestructive Detection Method, Plain Bearings, Eddy Currents

1. 緒言

一般的な化学プラントにおける主要な回転機として、キャンドモーターポンプが存在する。キャンドモーターポンプはメカニカルシール等の軸封部がなく移送する液体の漏洩が少ないことが特徴である。キャンドモーターポンプの不具合としては、インペラー・シャフトに関するものも報告されているが、主な不具合事象はすべり軸受の径方向・軸方向摩耗である。

現在、キャンドモーターポンプの設備診断には、振動診断等による監視が実施されている。しかし、測定されたデータには精度と異常箇所の特定制に問題があることに加えて、機器の使用期間の限界値の判断が困難であること、不具合の原因が特定できないこと、トラブルが必ずしも検知できていないこと、等の問題が指摘されている。

本研究はこれらの課題に対し、回転機器の異常検知に優れた電磁診断技術^{[1]-[6]}を適用することで解決することを目的とする。電磁診断技術は、インペラの羽根を測定することで、すべり軸受の摩耗量を間接的に推定できることが示されている^[5]。この成果を踏まえ本研究では、すべり軸受劣化模擬試験を行い、すべり軸

受の劣化の進展と電磁信号との関係のデータを取得し、すべり軸受の劣化と信号との関係を明確化する。この際、摩耗量の推定手法として、^[5]で用いられた「距離法」とともに、軸方向摩耗と径方向摩耗を分離し評価する手法を開発し適用した。

2. 電磁診断技術の原理

電磁センサは、永久磁石等の静磁場印加部とコイル等の変動磁場検出部よりなる。静磁場の中を導体が通過したとき、誘導起電力が生じ発生する渦電流を捉える(図1)。

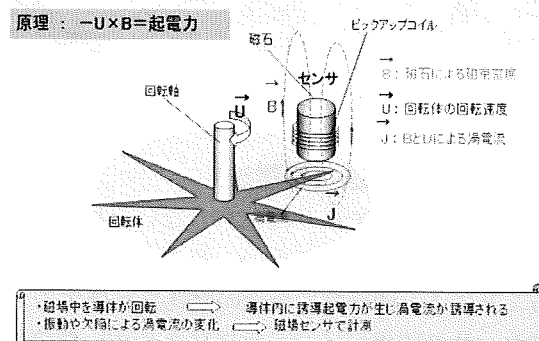


図1 電磁診断技術の測定原理

連絡先: 萱田 良、〒110-0008 東京都台東区池之端
2-7-17、株式会社 IIU、電話: 03-5814-5350、
e-mail: kayata@iiu.co.jp

3. すべり軸受劣化模擬試験

3.1 試験環境

図2に試験に使用したキャンドモーターポンプを示す。試験用キャンドモーターポンプのインペラ及びインペラ部の材質は SUS304 である。測定に使用した電磁センサはφ30mm×20mmのネオジウム磁石と500ターンのコイルからなり、インペラケーシング軸方向に設置した(図3)。

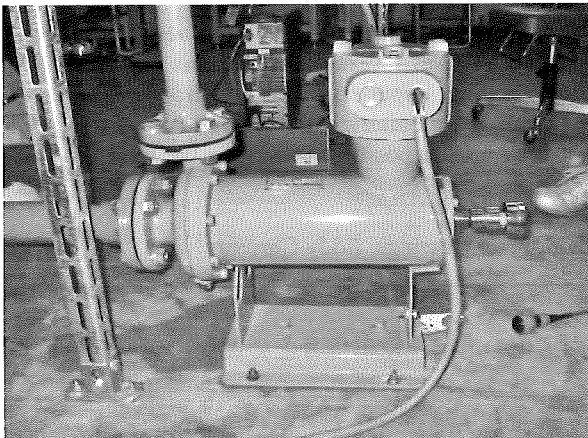


図2 キャンドモーターポンプ (HN21BJA3C)

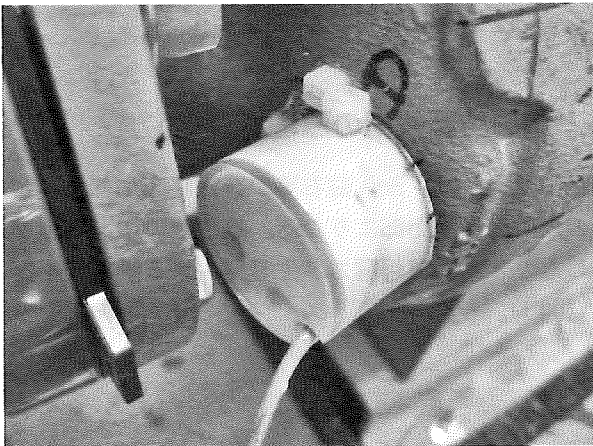


図3 電磁センサ

3.2 信号処理手法(距離法)

滑り軸受は不導体であり回転もしないため、直接電磁診断の測定対象にはならない。そこでインペラを測定することにより間接的に軸受の摩耗を評価する。

電磁センサの磁場がインペラに届きやすい環境では、羽根1枚1枚に対応した信号が得られる(図4)。次に、得られた信号から羽根ごとのピーク値を成分にもつベクトルを作り、基準ベクトル(初期値、正常時)との

ユークリッド距離を評価する(「距離法」)。この手法は、羽根がセンサに近づけばピーク値が大きくなり、遠ざかれば小さくなるという原理に基づいた手法である。

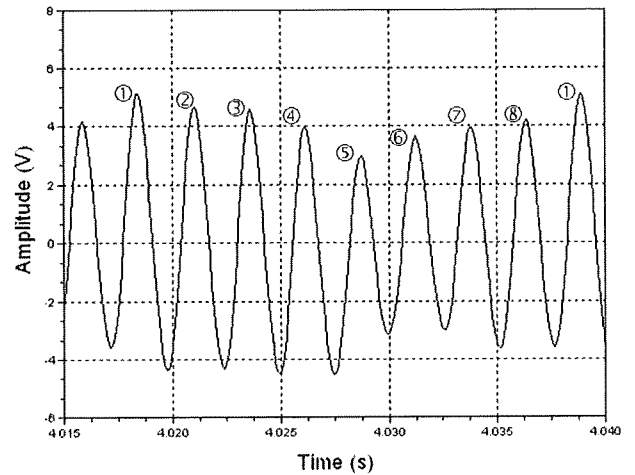


図4 インペラ羽根電磁信号(例、羽根8枚)

3.3 試験結果

すべり軸受の不具合事象は主に軸方向摩耗と径方向摩耗である。すべり軸受の軸方向の劣化を模擬するには、運転時間の経過と共に軸と軸受の軸方向の接触面の位置を変化させる必要がある。接触面の位置を変化させる方法として、軸受側の軸方向部品にベークライトを用いた(図5)。実機キャンドモーターポンプに使用されている素材の PTFE (フッ素樹脂) と比較して、ベークライトは吸水性が高く、ポンプの運転中に吸水し寸法が変化しやすい。

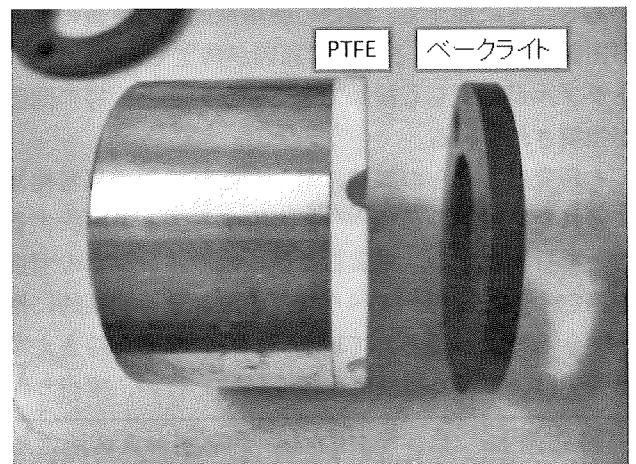


図5 すべり軸受とベークライト

径方向の劣化を模擬する為、図6に示すように径方向部品（軸側）の表面にスリット加工を施し、径方向シートを耐摩耗性の高いフッ素樹脂（PTFE）から耐摩耗性の低い塩ビシートに変更した。

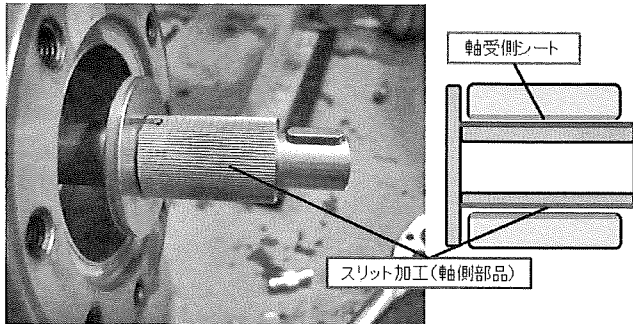


図6 径方向摩耗の模擬

表1にすべり軸受摩耗模擬試験の試験条件を図7～図9に各試験条件の距離法による分析結果を示す。

表1 試験条件

①	正常時 (PTFE)
②	軸方向摩耗模擬 (ベークライトを試験中に吸水させ、運転中に厚さが変化 5.00mm→5.15mm)
③	径方向摩耗模擬 (塩ビシート、スリット加工)
④	軸方向摩耗+径方向摩耗模擬 (ベークライト、塩ビシート、スリット加工)

正常時（試験条件①）において羽根信号極大値 Norm は初期値からほとんど変化していないため、軸方向の接触面の位置の変化も無いと推察される。

試験条件②及び試験条件④において、羽根信号極大値 Norm は初期値から徐々に減少しており、電磁センサとインペラとの距離が遠くなっていると推察される。試験前は厚さが 5.00mm だったベークライトが試験後にはそれぞれ 5.15mm（試験条件②）、5.12mm（試験条件④）になっており、この厚さの変化により軸方向の接触面の位置が変化しているものと考えられる。したがって、すべり軸受の軸方向摩耗に関して、従来の評価法である羽根信号のピーク値を用いた距離法により評価が可能であると言える。

一方、試験条件③において、羽根信号の極大値を用いた距離法により評価した結果、試験後の塩ビシート

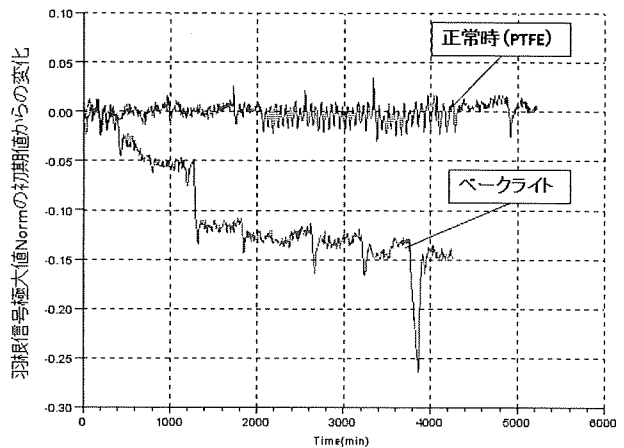


図7 距離法による分析結果（軸方向摩耗模擬）

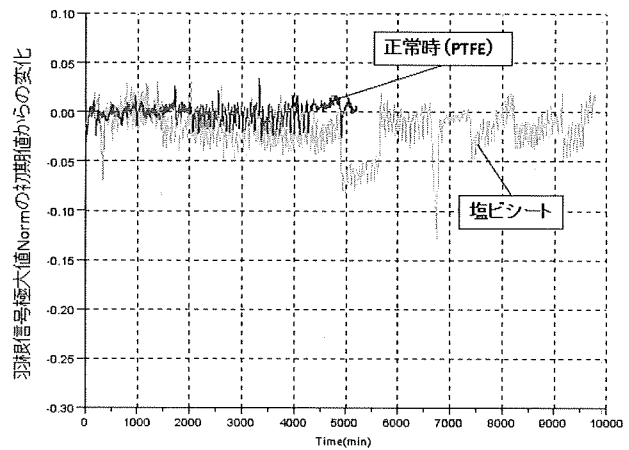


図8 距離法による分析結果（径方向摩耗模擬）

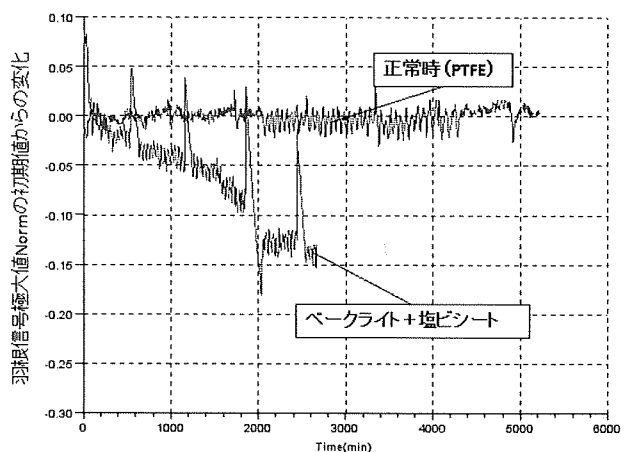


図9 距離法による分析結果
(軸方向摩耗+径方向摩耗模擬)

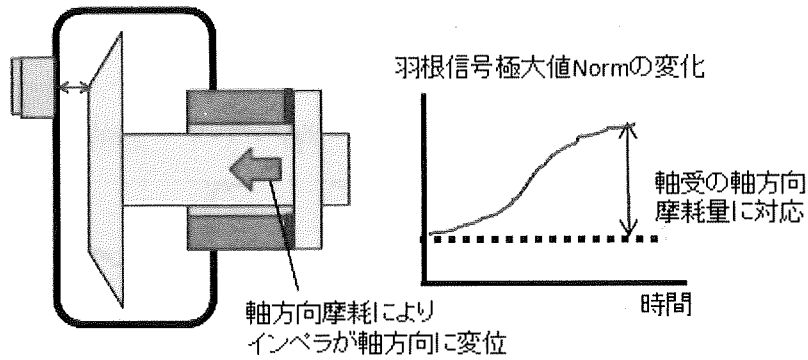
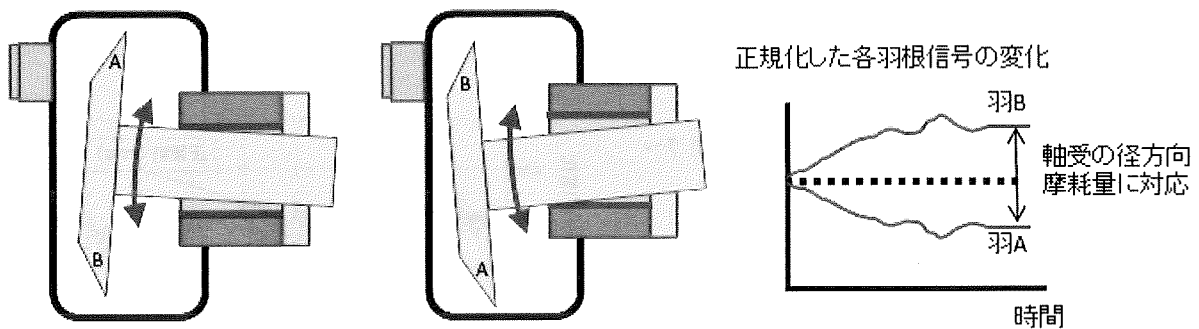


図 10 距離法の概略図



1回転する間に軸が振れることにより、羽根Aはセンサから遠ざかり、羽根Bはセンサに近づく。

図 11 軸方向摩耗と径方向摩耗を分離し径方向摩耗を評価する手法の概略図

の一部が 0.45mm 摩耗していたが、羽根信号極大値 Norm の初期値からの変化は $\pm 0.05V$ 程度であり、正常時と比較しても変化が小さく、インペラ位置は軸方向にはほとんど移動していないと推察され、距離法による径方向摩耗の評価は難しい。また、試験条件④の場合も試験後の塩ビシートは一樣に 0.46mm 摩耗していたが、信号の変化が軸方向摩耗によるものか、径方向摩耗によるものかの判別が困難である。

3.4 摩耗方向分離評価手法の開発

以上の結果から、インペラ羽根信号の極大値を用いた距離法は単純な軸方向の摩耗に対しては非常に有用であるが、径方向摩耗の評価は困難である。そこで、一つの電磁信号から軸方向摩耗と径方向摩耗を分離し径方向摩耗を評価する手法を新たに開発した。

軸方向摩耗の場合（インペラが軸方向移動のみの場合）、電磁センサとインペラとの距離に応じて、各羽根信号の大きさが変化する（図 10）。その場合、全ての

羽根信号が一樣に小さくなり、各羽根信号の比（正規化羽根信号）はほぼ一定である。

径方向摩耗のみの場合、極大値 norm の変化は小さく、電磁センサとインペラとの距離はあまり変化していないと考えられる。しかし、各羽根信号の比（正規化羽根信号）が軸方向摩耗のみの場合と比較して大きく変化する事が分かった（図 11）。

これらの各羽根信号の比（正規化羽根信号）の違いは、すべり軸受の径方向摩耗によるインペラの傾きの変化を示していると考えられ、一つの電磁信号から軸方向摩耗と径方向摩耗を区別出来ると考えられる。

図 12～図 14 に各試験条件の摩耗方向分離評価手法による分析結果を示す。

径方向摩耗の無い場合（試験条件①及び試験条件②）、正規化羽根信号の初期値からの変化は $\pm 0.002 \sim \pm 0.003$ で非常に小さい。これは軸とすべり軸受の接触面の遊びに対応する値であると考えられる。

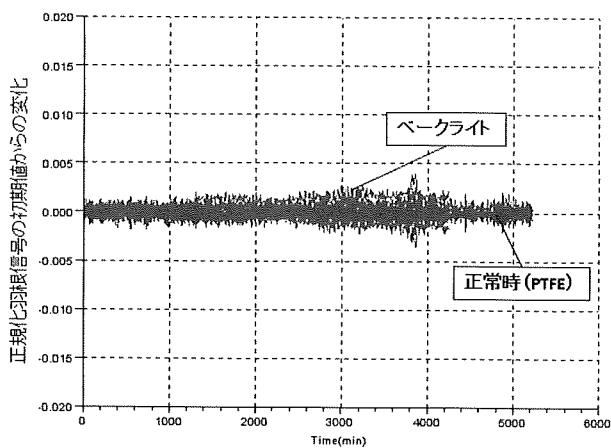


図12 摩耗方向分離評価手法による分析結果
(軸方向摩耗模擬)

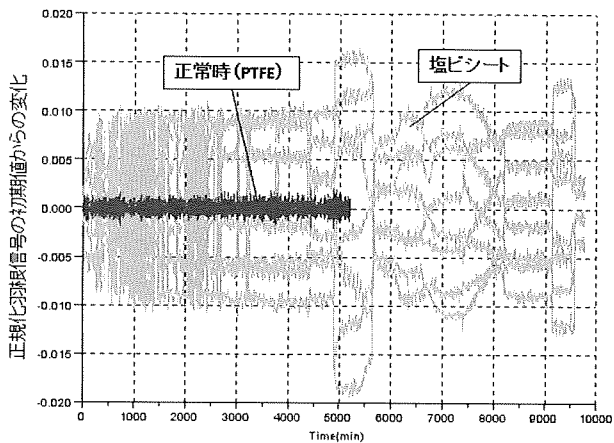


図13 摩耗方向分離評価手法による分析結果
(径方向摩耗模擬)

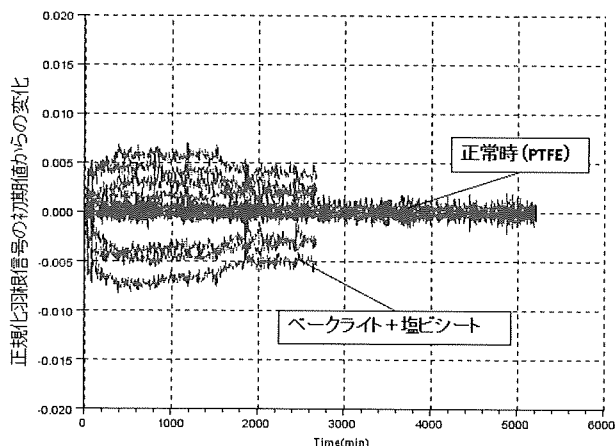


図14 摩耗方向分離評価手法による分析結果
(軸方向摩耗模擬)

一方、径方向摩耗が有る場合（試験条件③及び試験条件④）、正規化羽根信号の初期値からの変化は正常時や軸方向摩耗のみ場合と比較して大きい値を示している。また、試験開始から時間の経過と共に値も大きくなる傾向があり、径方向摩耗の進展によりインペラの傾きが大きくなっていると推察される。したがって、摩耗方向分離評価手法を用いて正規化羽根信号の初期値からの変化を分析することで径方向摩耗のみの検出が可能となり、摩耗の進展も評価できる可能性が示された。

次に、径方向摩耗の検知精度について、正常時の正規化羽根信号の初期値からの変化が正規分布すると仮定した場合、正常時のデータから 3σ (99.74%) は 0.00148 となる。試験条件③について、摩耗 0.45mm が正規化羽根信号の初期値からの変化 0.01 相当すると考え径方向の摩耗検出精度を算出すると、検出精度 0.067mm となり、メーカーの交換基準値である 0.2mm より十分に小さく、実機適用に向けて十分な精度であると言える。

4. まとめ

本研究ではすべり軸受劣化模擬試験を行い、すべり軸受の劣化の進展と電磁信号との関係のデータを取得し、すべり軸受の劣化と信号との関係を調査した。その結果を以下に纏める。

- 軸方向摩耗に関して、羽根信号のピーク値を用いた距離法により評価が可能であることが分かった。
- 径方向摩耗に関して、正規化羽根信号の初期値からの変化を分析することで径方向摩耗のみの検出が可能となり、摩耗の進展も評価できる可能性が示された。
- 測定方法に関して、距離法により径方向摩耗を評価する場合には異なる二つの方向から同時に測定する必要があったが、正規化羽根信号の初期値からの変化を分析することで一方向からの測定だけで簡易に評価が可能となった。
- 今回の径方向摩耗試験では、試験後の塩ビシートが 0.5mm 程度摩耗していることと、その際に正規化羽根信号の初期値からの変化が 0.01～0.02 の間で変動することが分かったが、正規化羽根信号の初期値からの変化の値と径方向摩耗

量との関係が不明確であり、今後も調査が必要である。

参考文献

- [1] 黄皓宇、宮健三、遊佐訓孝、小阪大吾、回転体異常の電磁検出、日本非破壊検査協会第10回表面探傷シンポジウム、東京都城南地域中小企業振興センター、2007/01/25-26.
- [2] Daigo Kosaka, Haoyu Huang, Noritaka Yusa and Kenzo Miya. Electromagnetic nondestructive evaluation of rotating blades. Science and Technology of Maintenance (Under review).
- [3] 萱田良、黄皓宇、遊佐訓孝、電磁診断技術による異物混入ベアリングの挙動測定、日本保全学会第5回学術講演会 水戸市民会館 2008/7/10-12、産学-7.
- [4] 萱田良、石川達也、堀内隆夫、真木紘一、遊佐訓孝、ポンプ軸受及びインペラの不具合の大きさと電磁診断技術の信号との相関関係、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、A-4-3.
- [5] S. PERRIN, S. MAWATARI, R. KAYATA, K. MAKI and K. MIYA. "Characterization of Wear-Out of Friction Bearings with an Electromagnetic Sensor", ISEM 2009, September 20-24, 2009.
- [6] 萱田良、三好剛正、藤原英起、ペラン ステファン、ポンプ軸受の不具合の大きさと電磁診断技術の信号との相関関係、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、A-2-12.