

高性能磁気浮上型クリーンポンプの開発

— タッチダウン動圧軸受の設計と評価 —

High performance magnetically suspended clean pump

- Design and evaluation of hydrodynamic bearing for touchdown -

04T1063A 田村 尚規

指導教官：増澤 徹

1. はじめに

現在、半導体産業における超純水や薬品等を送液するポンプとして、拍動流式のペローズポンプが広く用いられている。近年、これらの市場では無摺動、無拍動でよりクリーンな送液性を有するポンプが求められており、軸受のない磁気浮上ポンプの需要が高まっている。我々は径方向支持に磁気軸受、軸方向支持にスパイラル溝付き動圧軸受を用いた磁気浮上型クリーンポンプの開発を行っている。本研究では、タッチダウンとして用いられるスパイラル溝付き動圧軸受の設計を行い、性能評価試験機により動圧軸受の浮上性能を評価したので報告する。

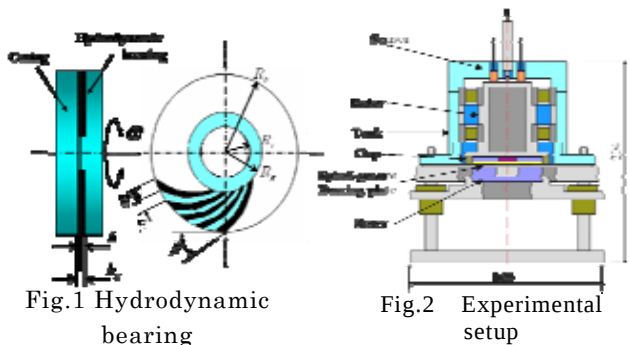
2. 方法

2.1 スパイラル溝付き動圧軸受の設計

Fig.1に設計した動圧軸受の概略図を示す。対象とする磁気浮上型ポンプは回転数 5000 rpm で、揚程 6mH₂O、流量 5 L/min で 40 N のスラスト力が発生する。本磁気軸受では、このスラスト力を受動安定力と動圧軸受で静的に支持することになる。そこで最大 40 N のスラスト力を支持できる動圧軸受の開発を行った。設計は有限要素法を用いた解析により、動圧軸受の最適寸法を求めた文献¹⁾のデータを基に行った。本研究では外半径 R_o :20 mm、内半径 R_i :10 mm で溝幅比 $A=(b_2/(b_1+b_2))$ が 0.55 と 0.38、 R_o :15 mm、 R_i :5 mm、 A :0.55 の 3 つ動圧軸受を製作した。溝深さ h :60 μ m、溝数 16、スパイラル角 β :16° は全ての動圧軸受で同じである。

2.2 動圧軸受性能評価試験機の設計

Fig.2に動圧軸受性能評価試験機の概略図を示す。動圧軸受は、アルミプレートにスパイラル溝を加工し製作した。本試験機は磁性材に永久磁石を 8 枚貼り付け、真鍮のカップに封入した円柱ロータとモータステータが動圧軸受を挟み込むように設置した。動圧軸受に与える負荷は、ロータとモータステータ間の磁気吸引力を利用する構造とした。磁気吸引力 40 N を得るため、経験値を考慮した理論計算より磁石厚さを 2 mm とした。モータステータは外径 ϕ 58 mm、突極数 12 である。各突極にはコイルが 65 巻きしてあり、3 相 8 極の回転磁場を発生し、同期モータを構成した。モータステータを軸方向に変位



させ、エアギャップを変えることで磁気吸引力を調整することを可能とした。ロータは径方向を 2 個のジャーナル軸受で支持し、軸方向に自由に動くことができるようにした。軸方向浮上変位及び、振動振幅は、試験機上部に取り付けた 4 つの渦電流変位センサと静電容量変位センサにより計測した。

2.3 実験

性能評価試験機モータの磁気吸引力測定

荷重変換機を用いてコイルに流す電流の指令波高値 2.5 A 時のロータ、ステータ間の磁気吸引力とエアギャップ、位相差の関係を求めた。エアギャップは 3.5~8.5 mm まで 0.5 mm 間隔、位相差は 10 deg 間隔で測定した。

動圧軸受性能評価試験

開発した動圧軸受性能評価試験機を用いて、エアギャップを 0.5 mm 間隔、ロータの回転数を 100 rpm 間隔で変化させロータの軸方向浮上変位を計測した。作動流体は動粘度 1.5mm²/s のシリコンオイルを用いた。

3. 結果および考察

Fig.3に試験機モータの磁気吸引力測定結果を示す。開発した動圧軸受性能評価試験機のモータはエアギャップ 4 mm 以下において 40 N 以上の磁気吸引力が得られた。これより、本試験機は動圧軸受へ負荷 40 N を加えることができることを確認した。動圧軸受に 40 N の負荷を与えた時の、ロータの軸方向浮上変位を Fig.4 に示す。製作した動圧軸受は、推定負荷 43.4 N、回転数 800 rpm 以上で浮上し、回転数 1000 rpm において浮上距離 6.7 μ m を達成した。高負荷時においても、低回転での浮上が可能であることから、本動圧軸受は磁気浮上ポンプの軸方向のタッチダウンとして十分な機能を有していると考えられる。

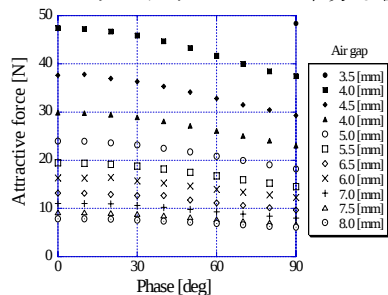


Fig.3 Attractive force

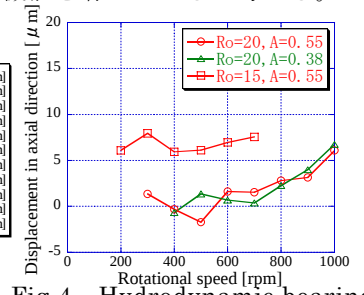


Fig.4 Hydrodynamic bearing performance

4. まとめ

磁気浮上ポンプ用タッチダウンの動圧軸受および性能評価試験機を設計・製作した。動圧軸受の 1000 rpm において発生力 40 N、浮上距離 6.7 μ m の性能が確認でき、本動圧軸受はタッチダウン用として磁気浮上ポンプに組み込むことが十分可能であると考えられる。

参考文献

1. 黒川 淳一, スパイラルグループ軸受の流れと最適寸法, 日本機械学会論文集(B編), 60(570), 75-81, 1994