

磁気浮上ポンプモニタ機について

技術開発研究所 平櫛 真男

1. 要旨

磁気浮上ポンプは、電磁力を用いて、インペラ及び回転子をポンプケーシング内に浮上・回転させることによって、すべり軸受を必要としない完全非接触支持を実現した磁気軸受型シールレスポンプである。機械的摺動部材であるすべり軸受がないため、コンタミレス及び消耗部品のないメンテナンスフリーが実現でき、さらに、空気混入運転や一定量の固形物含有液の取り扱いが可能となる。完全非接触駆動を実現した磁気浮上ポンプは、コンタミレス等のクリーンな送液ができるため、特に半導体装置用途での応用が期待される。そこで、装置組込用途に適したモニタ機とするために行った様々な改善について紹介する。

2. 小型化

図 1 に MFB-025-L 形の外観と外形寸法を示す。本ポンプは最初のモニタ機であり、最大流量 180 L/min、最高揚程 34 m の性能を最高回転数 5000 min⁻¹ で実現するというものであった。端子箱を含めたポンプ幅は約 350 mm、冷却ファンを含めた全長は約 370 mm であり、装置組込用途としては、大きいものであった。そこで、性能を限定し、小型化を図った MFB-015 を開発した。(図 2) 本ポンプの性能は、MFB-0252 形と同様の最高回転数 5000 min⁻¹ にて、最大流量 20 L/min、最高揚程 22 m としたが、そのサイズは幅 230 mm、全長 230 mm と非常に小型なものとなった。本ポンプにて、あるユーザでの装置組込み試験を行ったが、装置の制約によりさらにフット面積を小さくする必要に迫られ、側面について端子箱を上面に、上面にあった GAP センサの端子箱を後面の冷却ファンスペースに移動し、フット面積をさらに小さくした MFB-020 を開発した。(図 3) このポンプの全幅は、180 mm に抑えられている。さらに本モデルでは、圧縮空気を循環させて冷却する方式を採用し、周辺環境を汚染することなくモータの冷却を効率よく行うことができる。

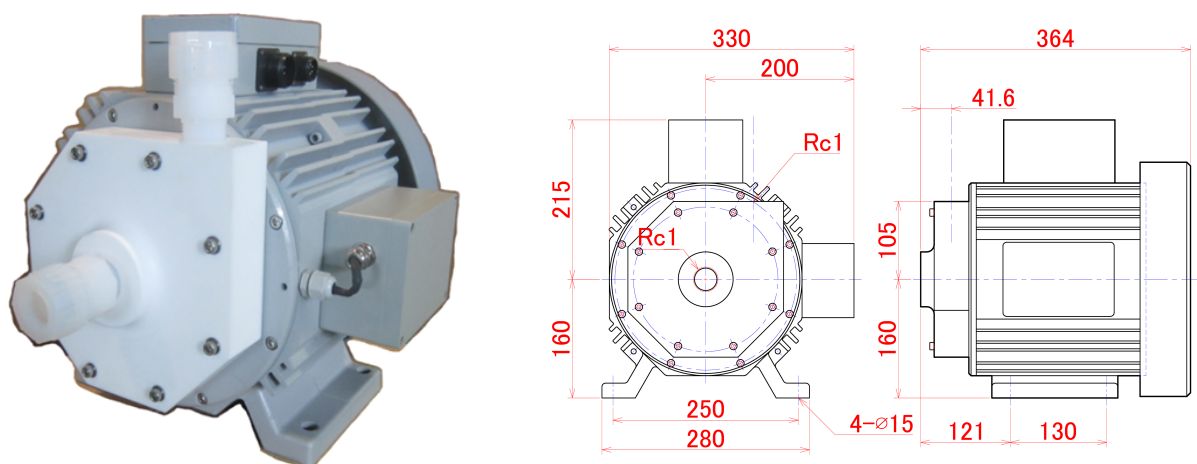


図 1 MFB-0252 外観と外形寸法図

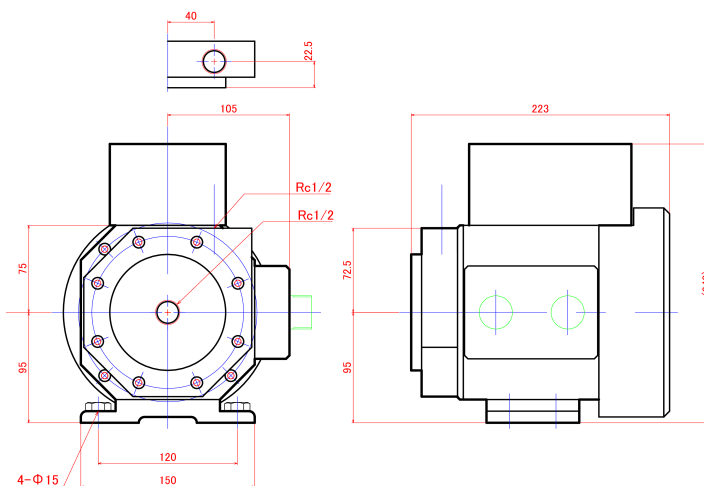


図2 MFB-015 外觀と外形寸法図

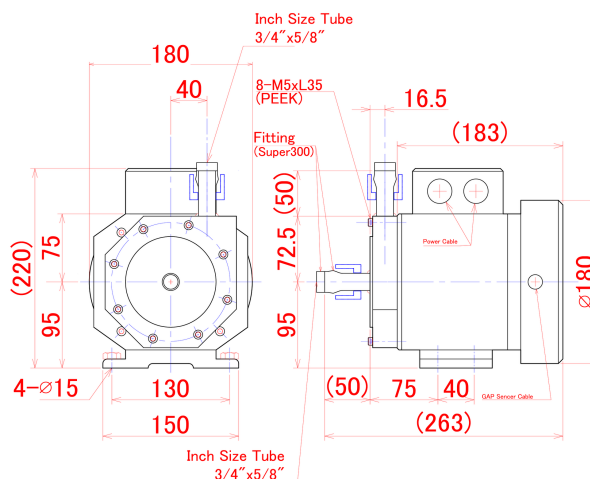


図3 MFB-020 上部外観と外形寸法図

3. 配管

ケーシングの吸込と吐出には、半導体製造装置に標準採用されている日本ピラー工業製のスーパー300タイプピラーフィッティングを採用した。図4にその構造を示す¹⁾。本フィッティングのシール力はスラスト方向だけでなく径方向にも作用するため、広い温度範囲で長時間安定したシール性能を発揮し、最高使用温度は、200℃となっている。低締付トルクで施工することができ、簡単に配管の取り付け・取り外しを行うことができるため、装置の省スペース化に寄与することができる。



図4 フィッティング形状

4. システム概要

図5にシステムの概略を示す。回転制御を行う市販インバータと浮上制御を行うコントローラ、詳細設定を行うパソコンの構成となっている。磁気浮上ポンプのON/OFF、回転のON/OFFや回転速度はパソコンにて設定することができる。また、半導体装置に備え付けのPLC等からも操作が可能となっている。設定をするために必要となるDIO入力機能と出力機能の一覧を表1に示す。さらに、コントローラのアナログ出力(0-10V)により運転回転数をモニタすることが可能である。同様に、アナログ入力により回転速度指令値を入力することができる。換算は下記の式に従う。

$$\text{回転速度指令}[\text{min}^{-1}] = \text{入力電圧}[\text{V}] \div 10[\text{V}] \times \text{最大回転速度}[\text{min}^{-1}]$$

・入力電圧範囲は0~10[V]で、負電圧を入力した場合は0[V]と認識される。

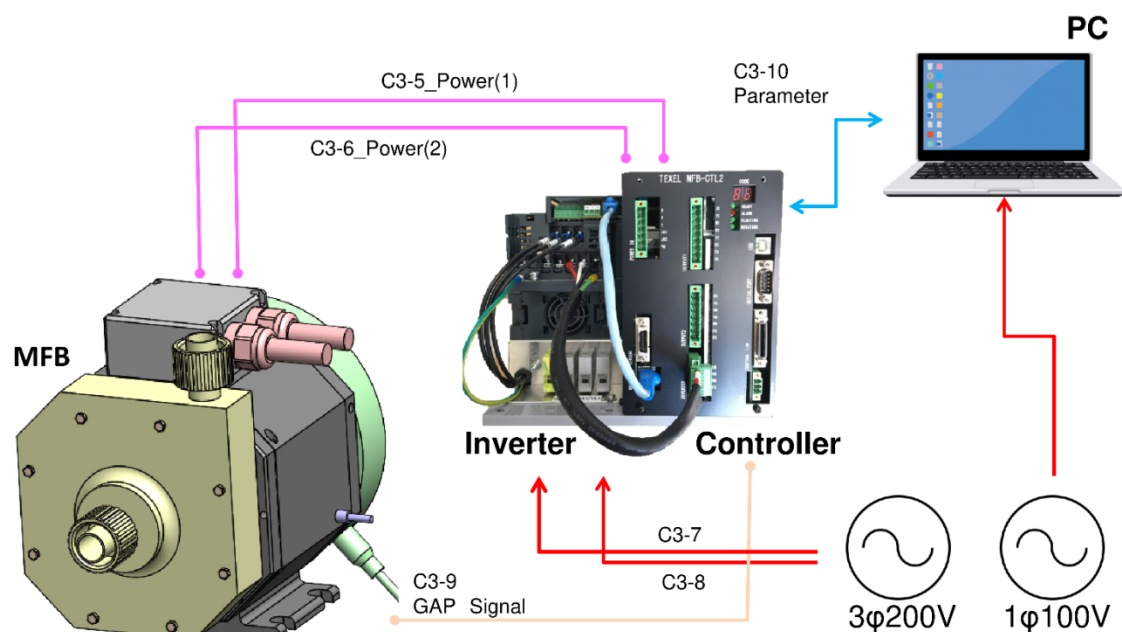


図5 システム構成図

表1 DIO入出力一覧

| No | 名称 | 定義 |
|------|---------|--|
| INP1 | 浮上開始 | カブラ ON にて浮上開始。OFF にて落下動作を行うがモータ回転中ならば、モータ停止動作後落下動作を行う。 |
| INP2 | 回転開始 | カブラ ON、かつ浮上完了状態にてインバータのモータ回転動作開始。OFF にてモータ回転動作停止。 |
| INP3 | アラームクリア | OFF→ON の遷移にてアラームリセット。 |

| No | 名称 | 定義 |
|------|-------|---|
| OUT1 | レディ | 電源投入後、「DIO 入力を受付可能状態になった」ならば ON にする。その後は ON を保持する。 |
| OUT2 | 浮上状態 | ON にて浮上中(浮上完了と判定された)であることを示す。 |
| OUT3 | 回転状態 | ON にモータ速度が目標値に到達したことを示す。 ・速度の目標到達判定については、「6. 速度到達」を参照。 |
| OUT4 | ワーニング | OFF にてコントローラがワーニングを発生していることを示す。 |
| OUT5 | アラーム | OFF にてコントローラがアラームを発生していることを示す。 |
| OUT6 | DRP | OFF にて DRP が発生していることを示す。 ※DRP 実行で回転は停止するが、浮上は継続する。 |

5. 空運転防止機能（DRP 機能）

ミスオペレーション等で、異常運転発生時に、ポンプを安全に停止するための機能である。電動機運転電流値を監視する。空運転もしくは空気混入運転時には、電動機負荷が急激に減少し、電流値が低下することを利用して、異常運転を判定し、安全にポンプを停止することができる。上限電流値、下限電流値、検出時間を設定し、ポンプ運転状態をモニタし、上限電流以上もしくは下限電流値以下の運転状態が検出時間以上継続した場合にポンプを停止する。ただし、浮上制御は継続し、非接触運転状態を保持。本ポンプは、任意の回転数で運転されるため、回転数毎に正常な運転電流値は異なる。そこで、回転数毎に5組の設定値を設定することができ、その間の回転数では線形に補間させた設定値で監視されるようになっており、いかなる回転数でも異常運転状態を検出できるようになっている。

6. 運転例

6-1. PC 運転

運転は PC にインストールしたソフトウェアによる運転が可能である。図 6 に状態遷移図を示す。

運転開始時には、PC 操作画面の浮上 ON ボタンをクリックし、回転子の浮上制御を開始させた後、回転 ON ボタンをクリックすれば、設定された回転数で回転が開始する。回転数は PC で任意に設定が可能となっている。逆に運転終了時には、回転 OFF ボタンを押し、回転を停止させた後、浮上 OFF ボタンを押せば、浮上制御が終了し、回転子は着地する。

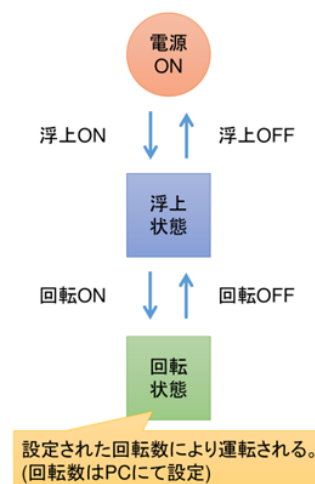


図 6 状態遷移図

6-2. PLC 運転

PLC（プログラマブルロジックコントローラ）から DIO に信号を入力することにより、運転の制御を行うこともできる。制御のための DIO 入力および監視のための DIO 出力の状態を表 2 に順に示す。

表 2 PLC 運転時の DIO 入出力状況

| 動作 | DIO 入力 | DIO 出力 |
|---------|------------------------------|-------------------------|
| ① 電源 ON | | "レディ出力" [OUT1] =ON |
| ② 浮上開始 | "浮上開始" [INP1] =ON(24V 通電) | "浮上状態出力" [OUT2] =ON |
| ③ 回転開始 | "回転開始" [INP2] =ON(24V 通電) | "回転状態出力" [OUT3] =ON |
| | ↓ | |
| ④ 回転停止 | "回転開始" [INP2] =OFF | "回転状態出力" [OUT3] =OFF |
| ⑤ 浮上停止 | "浮上開始" [INP1] =OFF | "浮上状態出力" [OUT2] =OFF |

6-2. Modbus 運転

コントローラに備え付けのシリアル通信端子を使用し、PLC（プログラマブルロジックコントローラ）等により、Modbus 信号を入力することにより、運転を行うこともできる。Modbus の使用例を図 7 に示す。浮上開始・停止、回転開始・停止等の書き込みだけでなく、回転数の設定や読み取り、各エラー状態も読み出しすることができる。

ファンクションコード[05]コイル1点書き込み

○浮上開始

| スレーブ 局番 | Function Code | 書き込みアドレス | | 書き込みデータ | | |
|------------|------------------|----------|----|---------|----|-----|
| | | 上位 | 下位 | 上位 | 下位 | |
| 01 | 05 | 00 | 08 | FF | 00 | CRC |

○浮上停止

| スレーブ 局番 | Function Code | 書き込みアドレス | | 書き込みデータ | | |
|------------|------------------|----------|----|---------|----|-----|
| | | 上位 | 下位 | 上位 | 下位 | |
| 01 | 05 | 00 | 08 | 00 | 00 | CRC |

○回転開始

| スレーブ 局番 | Function Code | 書き込みアドレス | | 書き込みデータ | | |
|------------|------------------|----------|----|---------|----|-----|
| | | 上位 | 下位 | 上位 | 下位 | |
| 01 | 05 | 00 | 09 | FF | 00 | CRC |

○回転停止

| スレーブ 局番 | Function Code | 書き込みアドレス | | 書き込みデータ | | |
|------------|------------------|----------|----|---------|----|-----|
| | | 上位 | 下位 | 上位 | 下位 | |
| 01 | 05 | 00 | 09 | 00 | 00 | CRC |

図7 Modbus 使用例

7. 小型高揚程ポンプ

装置内の限られたスペースで高揚程を実現するポンプを開発した。磁気浮上ポンプと同様の遠心ポンプでは、運転すると、そのインペラには、ポンプ吸込側に吸引されるアキシャル荷重が発生する。この力は、揚程の上昇に伴って大きくなり、非接触駆動を行っている磁気浮上ポンプでは、浮上の安定制御を困難にする。そこで、特殊形状のインペラを採用し、揚程アップと低アキシャル荷重を同時に実現することに成功した。開発した MFB-0251 の仕様は、30 L/min x 55 m となっている。同ポンプの外観を図8に示す。全幅は、MFB-020 の 180 mm と比較して、210 mm となっており、わずか 30 mm のサイズアップにとどまっている。

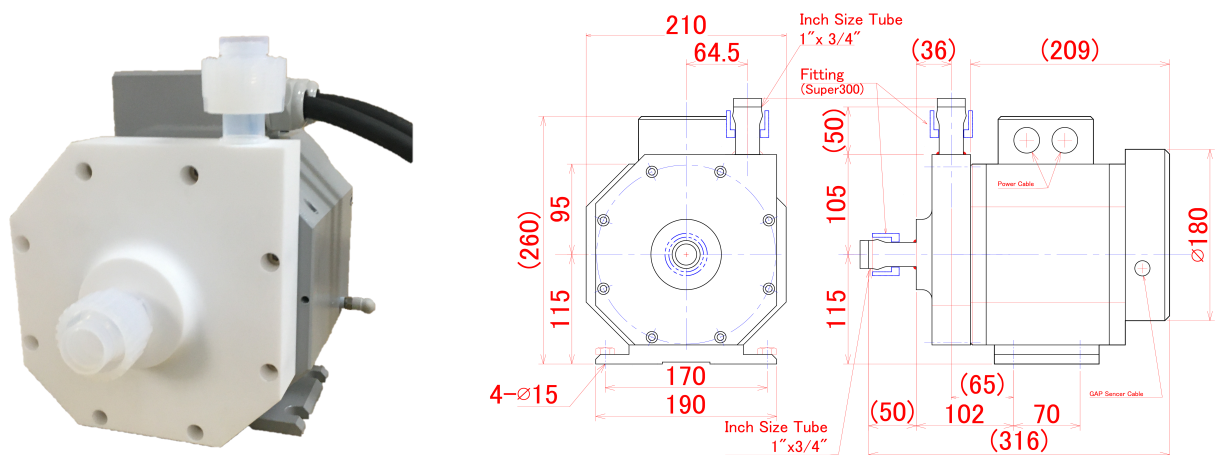


図8 MFB-0251 外観と外形寸法図

8. モニタ機仕様一覧

装置組込用途として開発を行ってきたそれぞれの磁気浮上ポンプの仕様一覧を表3にまとめる。接液部材質は、いずれもオールフッ素樹脂仕様となっており、半導体製造装置に対応可能となっている。

某半導体製造装置メーカーでのモニタでは、数か月に及ぶ連続運転試験や金属溶出試験やコンタミ試験を行い、いずれもメーカー基準をクリアすることができた。

9. 開発体制

半導体関連メーカーで使用される場合、これらのポンプはクリーンルーム内での運用となる。実際に使用される環境を再現し、様々なテストを行うため、社内にクラス 10 万のレベルのクリーンルームを設置し、制御の調整や連続負荷テストを行い、品質アップのためのテストを繰り返している。



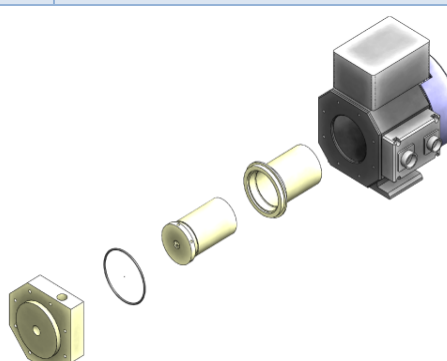
図9 クリーンルーム

9. おわりに

完全非接触駆動を実現した磁気浮上ポンプは、コンタミレス等のクリーンな送液が最大のメリットであり、半導体産業での利用が期待される。モニタの要望、詳細説明の必要があれば、弊社、営業所までお願いしたい。

今回紹介した五軸制御型磁気浮上ポンプを処理装置に組込ることにより、処理装置の性能アップおよび信頼性の向上に役立てば、幸いである。

表3 モニタポンプ仕様一覧

| | | MFB-015 | MFB-020 | MFB-0251 | MFB-025-L |
|-----------|--|---------|---------|----------|-----------|
| 仕 様 | 吸込口径 | 1/2" | 3/4" | 1" | 1" |
| | 吐出口径 | 1/2" | 3/4" | 1" | 1" |
| | 最大流量 [L/min] | 20 | 30 | 180 | |
| | 最高揚程 [m] | 22 | 55 | 34 | |
| | 最高回転数 [min ⁻¹] | 5000 | 5000 | 6300 | 5000 |
| | 最高使用温度 [°C] | 90 | | | |
| 接液部 材質 | ケーシング | PTFE | | | |
| | インペラ | PFA | | | |
| | 回転子ライニング | PFA | | | |
| | リアケーシング | PTFE | | | |
| | O-リング | FFPM | | | |
| |  | | | | |

ⁱ⁾ Super300 カタログ、日本ピラー工業(株)、P4 (2019)