INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD ON TURBOMOLECULAR PUMPS

Kenichiro Kanazawa[A)], Norio Ogiwara[A)], Kazuaki Suganuma[A)]
Takashi Inohara[B)], Kaoru Wada[B)]

[A)] Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Naka, Ibaraki 319-1195 Japan
[B)] Osaka Vacuum Ltd., Nabari, Mie, 518-0605, Japan

Abstract

Because Magnetically suspended turbo-molecular pumps(TMPs) with dry backing pumps are very preferable to achieve and maintain UHV without oil contamination, recently they have been widely used in nuclear fusion devices and sometimes in particle accelerators. In order to use them in these fields some researches have been published into the influence of the magnetic fields on TMPs. However , these evaluations were carried out under some ambiguous magnetic fields and only about the special type of TMPs.

Thus, we have intended to establish the standard for dealing with the influence of magnetic field on TMPs. First of all, the influence has been exactly investigated for two parts: one is due to the vertical magnetic field, and the other due to the parallel component.

A solenoid of diameter 500 mm and length 1500 mm has been newly constructed to examine the TMPs in the uniform magnetic fields. This solenoid has 1493 turns per m, therefore,letting a current of about 9.0A flow leads to generate the axial magnetic field of 100 gauss in the central region. The axial magnetic field is uniform with the deviation less than 0.5% in the cylindrical region of 400 mm in a diameter and 280 mm long at the center. The radial component is only about 0.5% of the axial one.

We have studied the influence of the magnetic field on the TMPs of Osaka vacuum Products Co., Ltd. This TMP has not only the magnetic suspension bearing but the spirally grooved rotor, which endures such high backing pressures as 500Pa. The TMP is set on the table made of Al and the direction to the axis of solenoid was adjusted by the support attached to the table.

We have measured the rotating speed, power for driving the rotor, and the rotor temperature as a function of the magnetic fields.

In the field vertical to the rotating axis, both the rotor temperature and the driving power clearly increased even at 10Gauss. On the other hand, they had no changes at 100 Gauss in a parallel field. In this paper the experimental results are shown in detail.

磁場がTMPに与える影響

１．はじめに

TMPの磁場中の試験については2、3の報告があるが、特定のTMPに対し使用環境下で使用可能か否かを判定することに限定されている。そこで我々は、TMPを均一な磁場中で試験できる磁場発生装置を準備し、評価法の標準化を図ろうと考えた。まず、TMPのロータに対する磁場の方向及び強さを精度良く制御し、垂直及び平行な磁場成分毎に調査することとした。その上で、任意の方向の磁場に対し2方向の磁場成分毎の影響を重ね合わせることで、全体の影響が論ずることが可能であるかを調べる。まず、はじめに、TMPのロータに垂直及び平行な2方向の磁場に対して、TMPの変化にどのような違いがあるか調べた。

２．実験の概要

TMPを均一な磁場中で運転するために、図1．に示す磁場発生装置を準備した。本装置はΦ500×L1500mmのソレノイドコイルで、DC9.0 Aの通電により磁場強度100Gaussまで発生できる。コイル巻き数は1493ターンである。TMPはソレノイドコイルの内側に置かれたアルミ製の台を用いて固定する。この台は、ソレノイドコイルの軸と平行に置かれている。また、TMPロータ軸に対して磁場を直交及び平行にするためには、TMP底面に挿入する治具を変更して台に固定する。

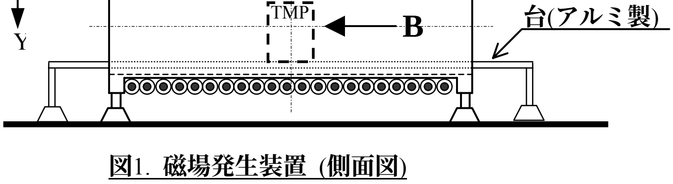
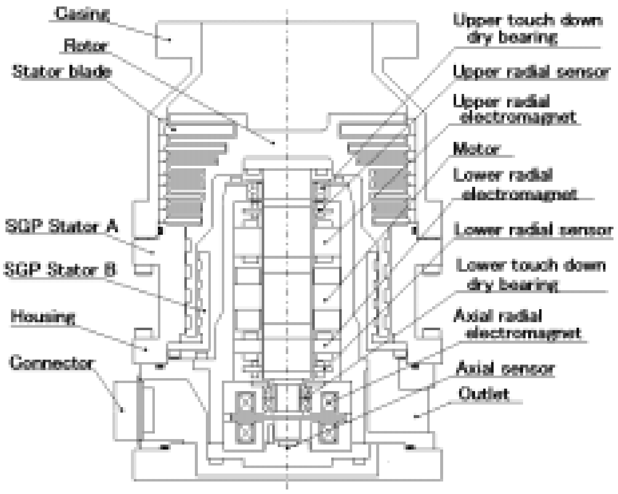


図1. 磁場発生装置 (側面図)

ソレノイドコイル内の磁場分布は、設計値より中央のΦ400×L280mmの範囲においてコイル軸方向磁場の不均一さは±0.5%程度である。実測した結果、

コイル軸中心からコイル軸に直交する方向180mmの位置におけるコイル軸方向磁場の不均一さは0.5%以下であることから、設計値に近い値を示している。測定にはホール素子を用いた。測定精度は0.25%である。また、コイル軸直交成分は軸方向成分の0.5%であり、ソレノイドコイル内は、ほぼ均一な磁場である。なお、コイルが発生する磁場以外に定常的に0.3Gauss程度の磁場がある。

実験では、図2. に示す大阪真空製磁気軸受形複合分子ポンプTG390 を用いた。渦電流損を評価するため、ロータの駆動電力及びロータ軸温度を測定する。駆動電力は、ロータを駆動するためのコイル電流をその位相とともに測定することより求めている。ロータ軸温度は、ロータ軸に黒体テープを貼り付け、放射温度計を用いて直接測定する。温度センサーと黒色テープは吸気側フランジに取り付けたガラス窓(フッ化バリウム製)を介して配置されている。この状態での放射と温度指示値は、大気中で校正されている。また、TMPハウジング、ケーシング温度は熱電対用いて測定する。ロータの回転数は、内蔵されているピックアップコイルにて測定される。さらに、TMP本体に取り付けた加速度計からロータ駆動用磁極の回転数を求めている。



Size : 270mm×193mm

図2. TMP構造図

3. 結果

3.1 ロータ軸方向磁場による変化

定常回転しているTMPに対し、ロータ軸に平行な磁場をかけた場合の変化について調べた。図3.にロータ回転数を680rpsに保ち、磁場なしの状態から70Gaussまで磁場を変化させたときの駆動電力とロータ軸温度を示す。なお、各磁場におけるロータ軸温度は、0Gaussでの温度を差し引いた値で示している。磁場のない場合と70Gaussの磁場をかけた場合を比較すると、ロータ回転数を一定に保つための駆動電力は、どちらも約9.0Wで変化は認められない。

次にTMPの起動及び停止時に磁場の影響があるか否かを調べる。すなわち、磁場の有無での起動時及び停止時の回転数及び駆動電力の変化の違いを調べた。磁場のない場合と70Gaussの磁場がかかっている場合とで回転数及び駆動電力はほぼ等しく、磁場の影響はないと言える。

よって、ロータ軸に平行な磁場は、ロータの回転に対して影響を及ぼさない。これは、ロータが軸に対して回転対称な構造をしていることから説明できる。すなわち、軸方向の磁場に対して、どのような閉ループを考えても、このループを横切る磁束は時間的に一定であり、磁束変化に伴う誘導起電力を生じないからである。

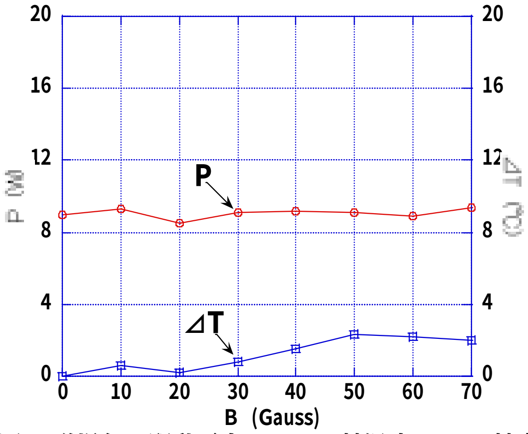


図3. 磁場毎の駆動電力とロータ軸温度(ロータ軸方向磁場)

3.2 ロータ軸直交方向磁場による変化

定常回転しているTMPに対し、ロータ軸に直交する磁場をかけた場合の変化について調べた。図4.にロータ回転数を600rpsに保ち、磁場なしの状態から30Gaussかけたときの駆動電力とロータ軸温度の時間変化を示す。なお、ロータ軸温度は、0secでの温度を差し引いた値で示している。磁場を30Gauss加えると、ロータ回転数を一定に保つための駆動電力が3Wから20Wへ増加した。また、ロータ軸温度は徐々に増加し、⊿T=64°Cでほぼ一定になる。

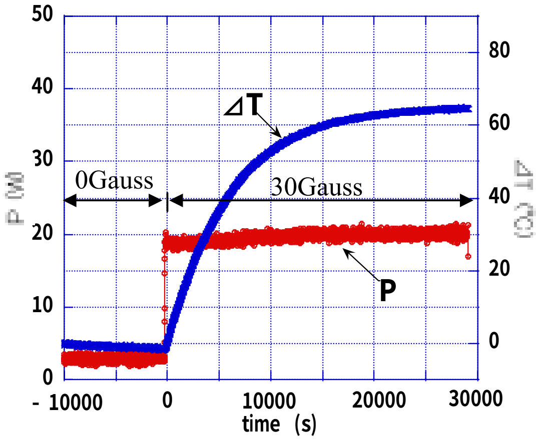


図4. 駆動電力及びロータ軸温度の変化(ロータ軸直交磁場)

次に磁場の有無での起動時及び停止時の回転数及び駆動電力の変化の違いを調べた。磁場を70Gaussかけたときの起動にかかる駆動電力は、磁場なしのときと比べて47%増加している。また、磁場を70Gaussかけたときの停止では、ロータに対して磁場による制動が働くため、磁場のないときよりも停止に要する駆動電力は31%減少している。

以上の結果は、ロータ軸直角方向の磁場はロータの回転を阻害するように働くことを示している。また、図4に示すようにロータ軸温度の上昇が観測されたことから、ロータ軸に直交する磁場中でロータが回転することによる渦電流損が原因と結論できる。

次に、ロータ軸に直交する磁場によって渦電流損がどのように変化するかを調べた。定常回転するTMPに磁場が作用したとき、その定常回転を維持するために加えられる駆動電力を渦電流損として調べた。結果を図5. に示す。横軸が磁場の強さ、縦軸が渦電流損である。TMPの定常回転数150、200、300、400、500rpsに対して結果を示してある。ここでロータ軸温度の変動範囲は±5°C以内となるようにして測定している。これは、ロータ軸温度の変化が大きいと、ロータ材の抵抗が大きく変化し、渦電流損が誘導起電力のみに依存しなくなるからである。測定値を結ぶ曲線は、渦電流損が磁場の強さの2乗に比例するとして引いたものである。2乗依存性を仮定した曲線で渦電流損は、うまく説明されることがわかる。

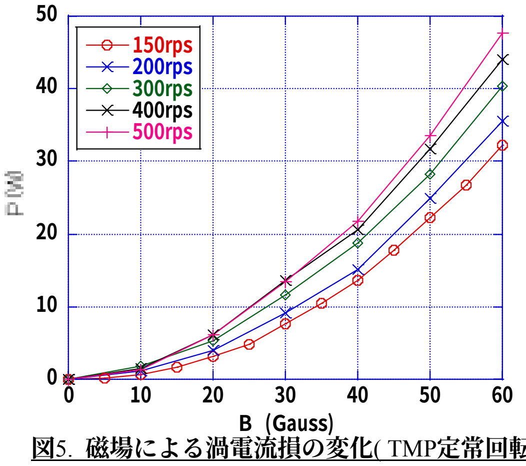


図5. 磁場による渦電流損の変化(TMP定常回転)

さらに渦電流損をロータ回転数の関数として示すと図6. のようになる。ある値の磁場に対してロータ回転数が増すと渦電流損も増加する。ただし、磁場強度依存性とは異なり、ロータ回転数の2乗依存性は示さない。これは、渦電流の周波数(回転数)特性を考慮する必要があることを示している。

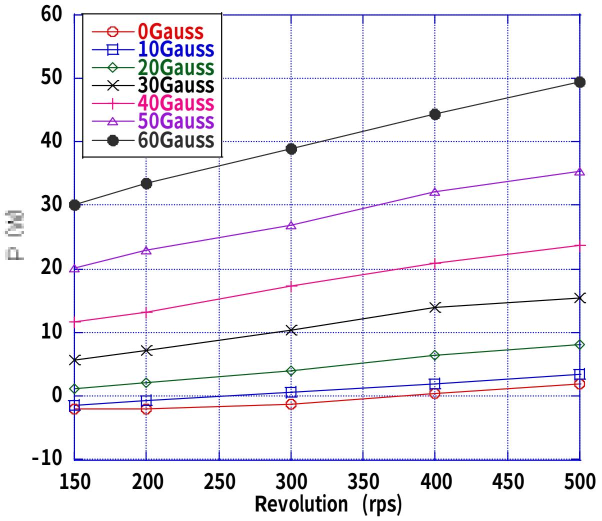


図6. 回転数による渦電流損の変化(TMP定常回転)

4．今後の課題

任意の方向の磁場を作用させて渦電流損を実験的に評価する。これにより、3.1および3.2から予測されるように、ロータ軸に直交する磁場のみを考慮すれば良いことを実証する。

次に、ロータ軸に直交する磁場による渦電流損の詳細を、TMPの構造及び材質等を考慮して議論する。このため計算機シュミレーションを行い、必要な実験を実施する。

さらに、より一般的にTMPに磁場が作用したときに生じる渦電流損を評価するための実験及びシュミレーションを実施したい。

5．まとめ

1) TMPのロータ軸に平行な磁場が作用しても実質的な影響は受けない。
2) TMPロータ軸に直交する磁場は、ロータに渦電流を生じ、発熱が起こり、これによってロータ温度が上昇する。ロータが一定回転数を維持するためには、渦電流損を補填する必要があり、駆動電力が増加する。
3) ロータ軸に直交する磁場による渦電流損は、ロータ温度がほぼ一定である場合において、磁場強度に対して2乗の依存性を示す。これは、ロータに生じる誘導起電力の磁場依存性を示している。

参考文献

[1] A. NISHIDE, *et al.*, “Influence of Magnetic Field on Turbomolecular Pumps”, 第24回真空に関する連合講演会
[2] S. HASHIMOTO, *et al.*, “Influence of Magnetic Fields on a Magnetic Suspended Compound-molecular Pump”, 第27回真空に関する連合講演会