

## 磁気浮上式回転球体用風洞装置の開発

水野 毅（理工学研究科・教授）

### 1 目的

本プロジェクトでは、ゴルフボールや野球ボールのようにスピンを伴う球体に作用する流体力を精密に測定し、実際のゴルフボールの周りで起きている流体力学的現象の正確な観測を可能とする磁気浮上式風洞を開発する。

物体に対する流体抵抗や、物体周りの流れを観測するために、風洞装置が用いられている。風洞装置では、風洞内部に一樣流を流入させ、観測対象物周りの流れに影響を与えないために、風洞の半径と長さを十分にとっている。通常の風洞装置では支持機構として支持棒やワイヤーが用いられているが、これが物体周りの流れに影響を与えてしまうという問題がある。この問題を解決する最も有効な手段として、観測対象を非接触で支持する磁力支持天秤が開発されている。磁力支持天秤では原理的に支持棒による流れへの影響がなく、電磁石の制御信号から揚力、抗力など観測対象に作用する流体力を非接触で高精度で推定できる。しかしながら、従来の装置は、観測対象として飛行機のような飛翔体を想定しているため、ゴルフボールのように高速でスピンする対象は支持できない。

本プロジェクトで開発する磁気浮上式風洞では、浮上と回転を同時に実現するというベアリングレスモータの原理を適用し、電磁石によって非接触支持した観測対象を高速回転させる。

### 2 研究内容

本研究の実施形態に係る風洞試験装置は図1に示すように、気流送出用の吹出し口を有する風洞装置、回転球体支持装置及び気流排出用の風洞装置から構成される。回転球体支持装置は、強磁性体が含まれた球体（浮上体）を磁気浮上させ、且つ、回転させるための磁界を発生する電磁石を備えている。

このような構想に基づいて回転球体支持装置を作成するためには以下の二つの問題がある。

- ・電磁石から発生する磁路中に、断面積が大きな風洞を挿入するため、大ギャップでの磁気浮上が必要となるが、風洞部分には磁極を配置できない。
- ・風洞部分に検出器を置くことができないので、渦電流センサなどを用いることができない。

本研究では、前者の課題に対して、強力な磁場を発生させる為に、磁極の材質や、磁極及びコイルの配置を検討し、磁気浮上装置を作成した。後者の課題に対しては、安価な並進三自由度位置検出用光センサを作成した。これらを用いて浮上体の支持と、並進三自由度浮上実験を行った。

また、この装置内部に風洞を設置し、風洞内に送風機（PC ファン）から風を送り、風量を変化させた時に浮上体に作用する流体抗力の測定を行った。

本研究で作成した磁気浮上装置を図2に示す。装置寸法は約  $300 \times 300 \times 250$  [mm]で、制御用に電磁石

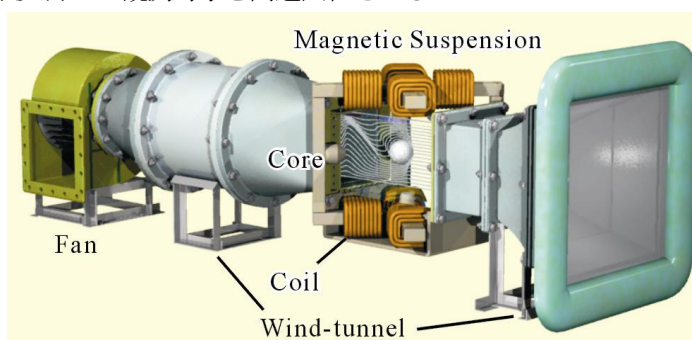


図1 基本構想図

を 8 個備える。また、 $z$  方向の磁極先端には重力補償用の厚さ 2 [mm] の永久磁石を用いている。磁極間距離は風洞を挿入することを想定して、全ての軸方向で 80 [mm] とした。強力な磁力を発生させるため、一つの電磁石に対して、コイルの巻き数を 1000 回とし、磁極の材質は快削電磁軟鉄 (SUY) と快削電磁軟鉄 (ME1F) を用いた。大きな電流を流すことができるようにコイルの線径は 1.0 [mm] とした。磁気飽和が起りにくいように、磁極面積は  $\phi 40$  (テーパ部磁極) と  $32.5 \times 40$  [mm] (柱部磁極) とした。浮上体の材質は SS400 で、質量は 80 [g]、直径は 19.5 [mm] である。

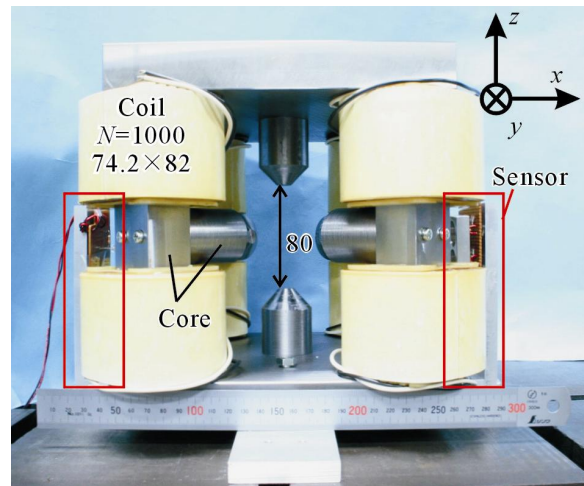


図 2 磁気浮上装置

試作した装置において、まず、浮上体の完全非接触支持を実現した。制御方法としては、 $x, y, z$  それぞれの軸方向について PD 制御を適用した。実験によって、軸間干渉が少ないことを確認した。つぎに、 $x, y$  方向の制御信号に同じ周波数の正弦波を位相を  $90^\circ$  ずつずらして交互に与えることにより、 $x-y$  平面での浮上体の回転を実現した。また、位相を逆転すると逆回転ができることを確認した。さらに、駆動周波数を変化させた時の浮上体回転速度の測定を行った。実験から、浮上体回転数は指令値に与えた駆動周波数に追従して上昇し、2000 [rpm] まで回転させられることがわかった。

つぎに PC ファンを利用して風を風洞内部に送り、風速を変化させた時の浮上体変位と、制御電流から導いた抗力を調べた。ここでは、浮上体の定常変位を一定にするために PID 制御を用いた。浮上体はファンからの風を受けて一時 0.1 [mm] ほど変位し、2.5 [s] ほど経過すると積分補償の効果で元の位置に戻ることを確認した。この結果から、浮上体に作用する力は 2~3 [mN] となり、風速が上がるにつれてその力も大きくなることが確認された。さらに、浮上体を回転させた状態で風を当てた時に、揚力が発生していることも確認した。

### 3 研究成果

#### 【国際会議】

- [1] Mizuno, T., Furutachi, M., Ishino, Y. and Takasaki, M., "Proposal of Wind Tunnel for Spinning Body Using Magnetic Suspension", The 12th International Symposium on Magnetic Bearings, *accepted* (2010.08)

#### 【解説・資料】

- [1] 水野 毅：磁気浮上の新しい試み，精密工学会超精密位置決め専門委員会定例会講演前刷集，No.2009-5, pp.1-23 (2010.1)

#### 【学術講演】

- [1] 水野 毅，古舘 宗大，高崎 正也，石野 裕二：磁気浮上式回転球体風洞装置の開発（第 1 報）基本構想，第 21 回「電磁力関連のダイナミクスシンポジウム」講演論文集，pp.133-136 (2009.5)
- [2] 酒井 康博，石野 裕二，高崎 正也，水野 毅：磁気浮上式回転球体風洞装置の開発（第 2 報）変位検出方法の検討，第 22 回「電磁力関連のダイナミクスシンポジウム」講演論文集，pp.22-23 (2010.5)