

磁気トラップされた原子の移動装置の製作

清水和子研究室 渡辺 隆寿

【目的】

ボーズアインシュタイ凝縮 (BEC) を実現するために、ガラスセル中に大きな磁気光学トラップ (MOT) を作る。そのトラップされた原子団を、より大きな磁場勾配をもつ Ioffe 型磁気トラップに移動させる。そのための移動装置の製作を行う (図 1)。

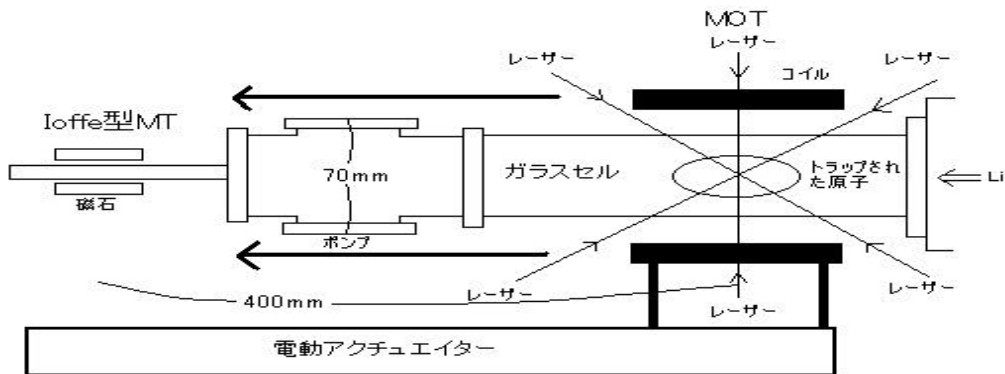
【原理】

まずガラスセル中に冷却された原子をできるだけ多数集めたい。その方法として磁気光学トラップを用いる。

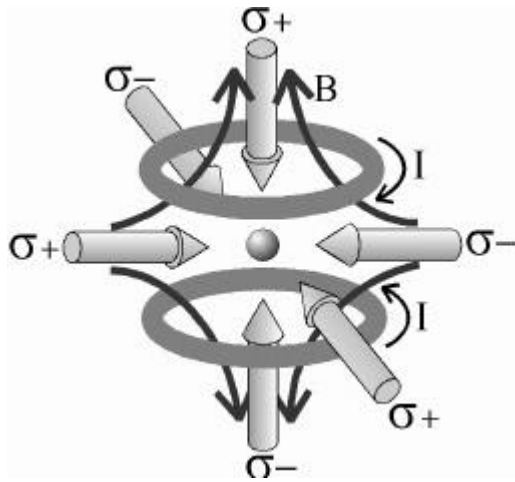
磁気光学トラップは、基本的に図 2 で示すように $\pm x, y, z$ の 6 方向から入射させる。ここで互いに逆向きに入射されているレーザー光は偏光が逆回りになっている。また、原子を多数集めたいので、レーザー光の径は大きくする必要があり、このためガラスセルの断面の一边は 3 cm である。互いに逆向きに電流を流したコイルの対 (反ヘルホルツコイル) を用いて四重極磁場を作り、その中心がレーザーの交点になるようにする。コイルの磁場はコイルの中心軸上、2 つのコイルの間で 0 となる。

次に MOT の光を切り、コイルの磁場のみによる四重極磁気トラップへ移行し、電流を増やして原子団を圧縮する (図 3)。この四重極磁気トラップは、原子団のエネルギー準位のゼーマンシフトが式 のように表され、トラップされた原子の磁気量子数 m_F は 2 であることから、原子は図 3 の原点方向に集まっていくことを利用している。

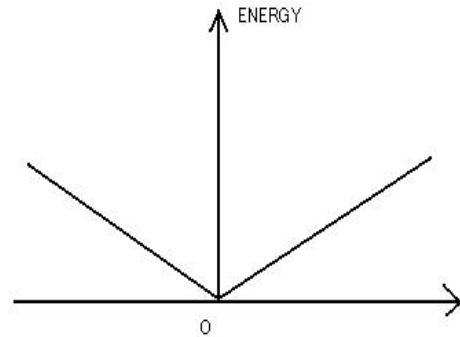
このようにトラップされた原子団を、四重極コイルを動かすことで小さなガラスセルへと移動させる。その際、コイルは電動アクチュエーターを用いて動かす。



(図 1 : BEC 装置図)



(図 2 : MOT)



(図 3 : MT)

$$E = -\mu B = g_F m_F \mu_B B \dots$$

μ : 双極子モーメント

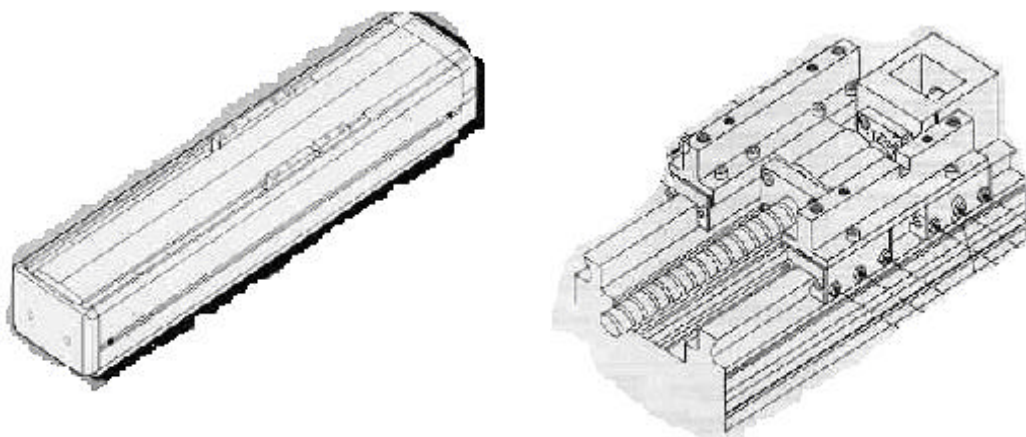
g_F : g 因子

m_F : 磁気量子数 (=2)

μ_B : ボーア磁子

【電動アクチュエーター】

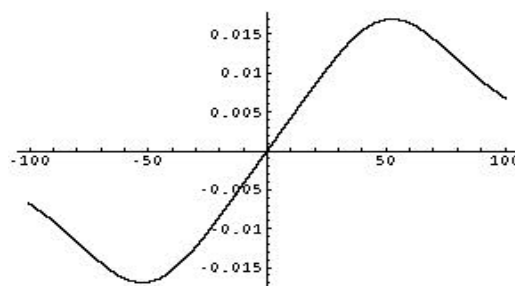
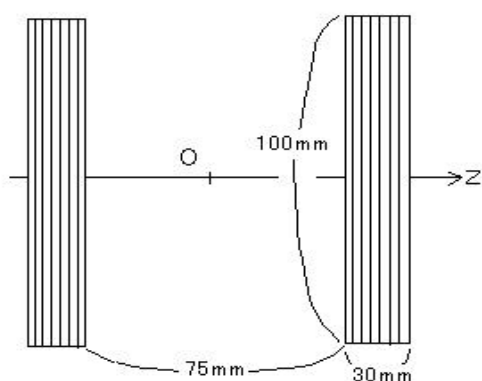
コイルを動かすために電動アクチュエーターを利用した。電動アクチュエーターは、AC サーボモーターでボールネジを回転させることで架台を動かす。位置決め精度は ± 0.02 mm で動かすことができる。また、最大加速度 3000 mm/s^2 、最大速度 600 mm/s 、ストロークは最大 400 mm である。



(図 4 : 電動アクチュエーター)

【製作及び、評価】

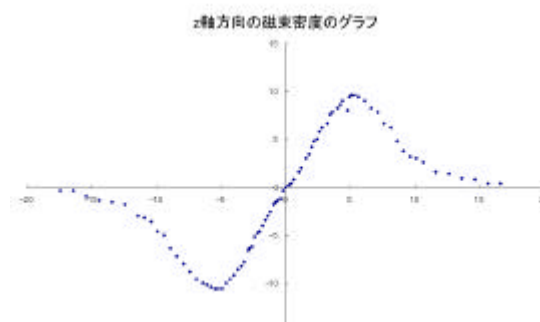
実際に作るコイルは図 5 のようになる。半径 50 mm、両コイル間が 75 mm になるように巻いた。これは、ガラスセルの断面が 30 mm、長さが 150 mm、ガラスセルの取り付け金具の大きさが 70 mm になることから決まった値である。さらに、MOT を行うのに磁場勾配が 50 G/cm 程度までほしい。ただし、コイルは動かすために軽量かつ、電流もなるべく小さい値にしたい。これらの条件を考え、コイルは 7 回巻きを 2 重にして巻いた。図 6 は、実際に 100A 電流を流したときの理論値のグラフである。



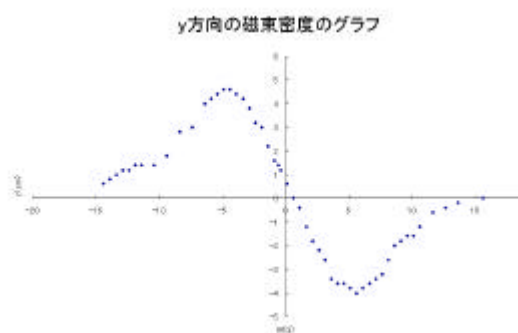
(図 5 : コイル)

(図 6 : 100A 時の磁束密度)

作製したコイルに実際に 6A の電流を流し、磁束密度の測定をした。測定方向は図 5 の z、y の 2 方向を測定した。下のグラフは測定結果である (図 7, 8)。z 軸方向の測定ではコイルの軸の中心にて磁束密度が 0 となっている。一方の y 軸方向の測定ではコイルの中心からずれて 0 となっている。この原因は、上下のコイルの軸がずれていることや、測定位置がコイルの中心で行われていないことが考えられる。より厳密に測定する方法を考える必要がある。



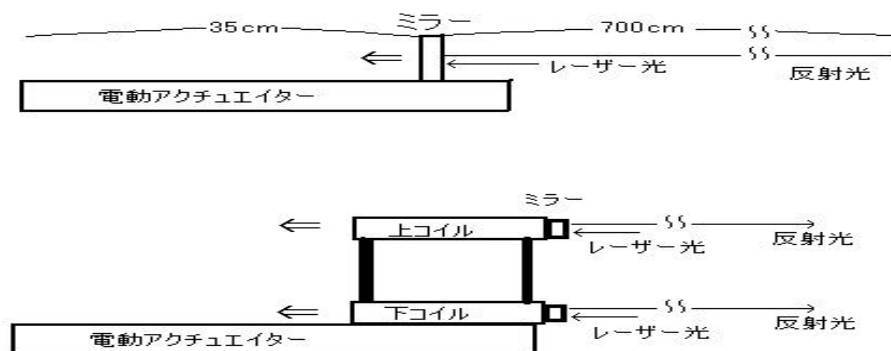
(図 7 : z 軸方向の磁束密度)



(図 8 : y 軸方向の磁束密度)

次に、コイルの始動位置と動作後の位置でのコイルのずれを考える。これは、コイルを動かした際に磁場0の点が常に y 軸上（図5）を動くことが重要であるために調べた。その評価方法は図9に示す。

具体的には、架台に直接鏡を立て、進行方向と同方向からのレーザー光を当てる。その反射光が7m遠方にてどの程度ずれるかを調べた。そこから鏡の変化角度を調べ、そのずれを評価した。結果は以下の表に示す。



（図9：上下へのずれ測定方法）

	上方向への最大ずれ （反射角度、測定値）	下方向への最大ずれ （反射角度、測定値）
架台	48 μ m (3.2°、7.1mm)	18 μ m (1.2°、2.6mm)
上コイル	16 μ m (1.1°、2.3mm)	35 μ m (2.3°、5.0mm)
下コイル	49 μ m (3.2°、7.1mm)	18 μ m (1.2°、2.6mm)

ただし、下方向のずれはスタートから 100 mm前後の位置で起こった。上方向へのずれは 350 mm動かした地点で計測した。この結果から、コイルを動かした際に上のコイルが下のコイルとは異なる動きをしているのがわかる。架台自身も始動と動作後の位置がずれている。この原因としてはアクチュエーターを取り付けた台の剛性や傾き、ボールネジのゆがみが考えられる。多方向からレーザーを当て、考察する必要がある。

【まとめ及び、展望】

- ・コイルを電動アクチュエーターで動かしたときに、磁場0が常にガラスセルの中心を平行に動くよう、アクチュエーターの傾きやコイルの共振対策を考える必要がある。
- ・コイルの中心軸を3次的に正確に決める方法を考える必要がある。
- ・100Aの電流を流したときにコイルには単位当たり 4.4×10^{-3} [N]の力がコイル間の引力としてかかる。この時の装置への影響を考える必要がある。