

可搬型原子干渉計型重力計のための小型センサーヘッドの開発

中川研究室 高村海渡

1 背景・目的

原子干渉計は、非常に高精度に重力加速度を測定することができる装置である。現在重力加速度の測定は地球物理学などで重要視されている。現在使用されている重力加速度測定器は、光学重力加速度計と呼ばれるコーナーキューブプリズムといった光学素子を真空中で自由落下させ、落下時間を干渉計で測定するといったものである。この装置によって得られる重力加速度は $\Delta g/g = 10^{-8}$ 程度でありこれ以上の精度を達成することは機械的に困難であると考えられている。また、コーナーキューブを物理的に持ち上げ落とすため部品の摩耗が発生するなどの問題もある。そこで、原子干渉計ではコーナーキューブではなく原子を落下させることで重力加速度を求めている。

現在我々の研究室では原子干渉計を用いた重力加速度の測定を行っており、制度としては $\Delta g/g = 10^{-7}$ 程度まで上がってきている。しかしながら、現在使用している原子干渉計には複数の問題点が存在している。それらの問題点を解消した新しい原子干渉計のセンサーヘッドを開発、製作することが今回の目的である。

2 原理

原子をある空間にトラップするには磁気光学トラップ(Magneto-Optical Trap。以降 MOT と記す)を構成する必要がある。MOT は一対のアンチヘルムホルツコイルと、 x, y, z の三方向から対向する円偏光レーザー光が必要である。速度選択則によって、 $m_F = 1$ は σ^+ 光に共鳴し、 $m_F = -1$ は σ^- 光に共鳴する。図 1 の $z > 0$ の領域では、 $m_F = -1$ の準位の原子と、その原子の進む方向と対向する σ^- 光の共鳴周波数に近づくため、コイルの中心へ輻射圧が生じる。同様に $z < 0$ の領域では、 $m_F = 1$ の準位の原子と、対向する σ^+ 光が共鳴周波数に近づくため、コイルの中心へ輻射圧が生じる。

以上の方法で、原子の冷却及びトラップをすることができる。

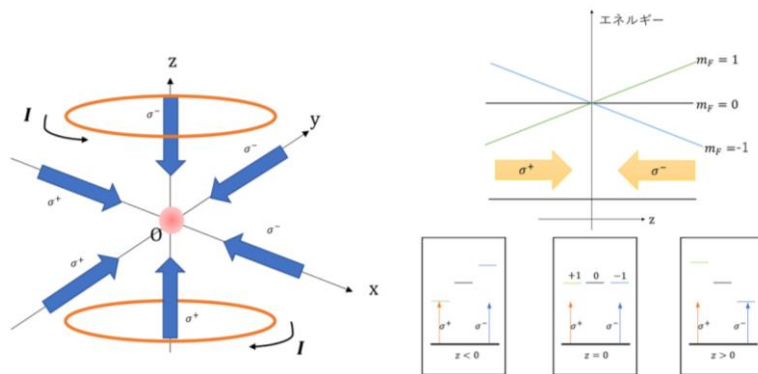


図 1 ゼーマン効果と MOT の原理

3 実験

3.1 実験装置

装置の全体としては図 2 のように設計し、製作を行った。また中央には原子を落下させる真空のガラスセルが配置される。ガラスセル内は、 10^{-9} Torr 位の真空に保たれている。装置の材質としては、チタンや真鍮など非磁性のものを使用している。

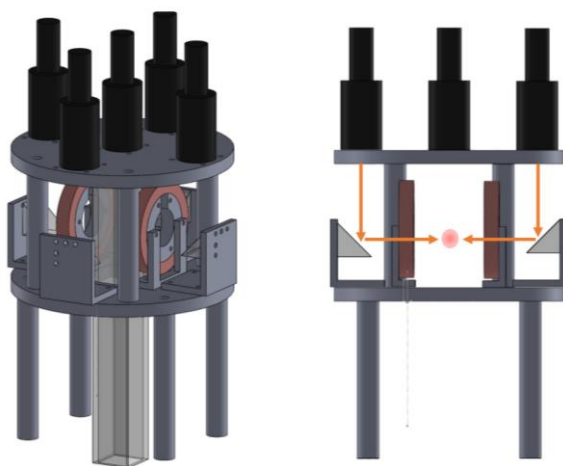


図 2 装置全体像

以前作成した原子干渉計との大きな変更点として MOT に用いるレーザーの経路が挙げられる。従来の干渉計では、 x, y 方向に関してはレーザーを各 1 本で、両端のミラーで折り返すことで、中心に集めていた。一方で今回作成した干渉計では、 x, y 方向で各 2 本使うことで原子が受ける力が左右等しくなり、原子が真っ直ぐ落ちることが期待される。

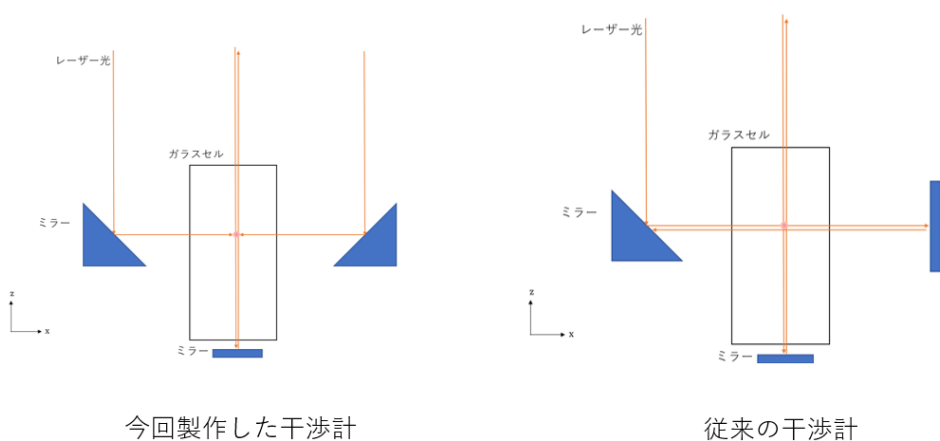


図 3 今回と以前の MOT の比較

3.2 アンチヘルムホルツコイルの磁場

MOT によって原子をトラップする際に、アンチヘルムホルツコイルの磁場勾配が重要になってくる。磁場勾配とレーザーのビーム径によって MOT のトラップできる原子の個数が決まる。原子の個数が多いほど、重力加速度の測定精度は良くなる。今回の新しく製作し

た原子干渉計は、以前のものよりもレーザーのビーム径とコイルの大きさを大きくしたため、より多くの原子がトラップすることができると期待される。

MOT にはガラスセルの大きさから、 $\pm 10\text{mm}$ の磁場勾配がある程度一定である必要がある。また、磁場勾配が 15G/cm にすることが目標となってくる。今回の実験ではコイルに1Aの電流を流したときの磁場を測定する。磁場勾配は電流値に対して線形的に変化するため、この結果によって目標の磁場勾配にするための電流値を決定することができる。

4 結果

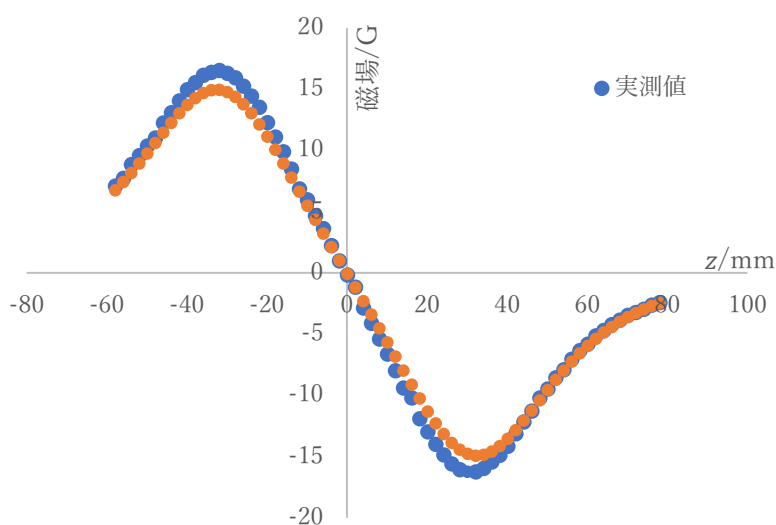


図 4 アンチヘルムホルツコイルの測定した磁場

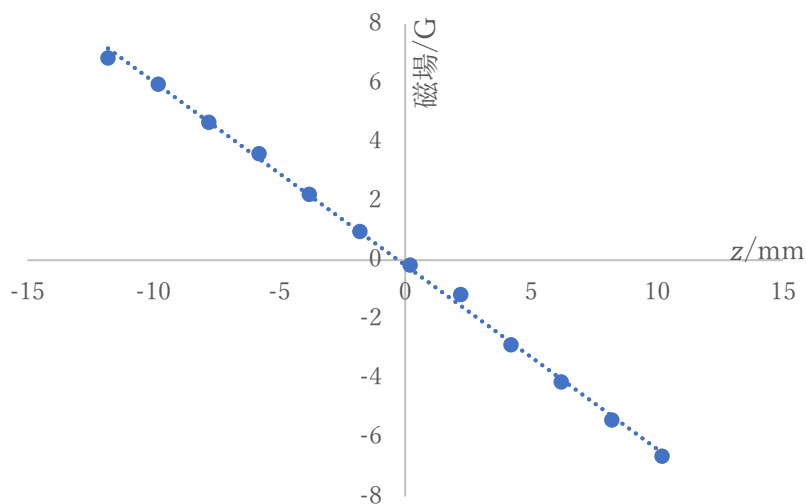


図 5 ガラスセル内での磁場