

## BEC 生成に向けた制御機構及び真空機構の開発

日大生産工(院) ○齋藤 佑月 日大生産工(院) 瀧澤 航平

日大・理工 桑本 剛 日大生産工 荒巻 光利 日大生産工 柴山 均

### 1. まえがき

超流動とは粘性がなくなる状態のことであり、超流動液体ヘリウムや原子気体ボース・アインシュタイン凝縮体（以下 BEC）などが代表である。これらは極低温の際に見られる現象である。本研究は、ボース・アインシュタイン凝縮体（BEC）中に対向超流動の形成とその観測を最終目的とする。BEC の生成には、超高真空環境下（ $10^{-9}$  Pa）で数  $\mu$  秒単位での各装置の制御が不可欠である。そのため本発表では、BEC 生成を可能とするための真空装置の作成および実験装置全体を制御するシステムの現状について報告する。

### 2. BEC生成の概要

BECを生成するためにはまず磁気光学トラップ (Fig. 1(a)) で原子を冷却しつつ捕獲する。これは光と磁場を使い  $10^9$  個の  $^{87}\text{Rb}$  原子を冷却、捕獲するトラップである。

これにより集められた  $10^9$  個の  $^{87}\text{Rb}$  原子を Quadrupole-Ioffe-Configuration Trap (以下 QUIC 磁気トラップ) Fig. 1(b) でさらに閉じ込める。閉じ込めた QUIC 磁気トラップ中の原子集団にラジオ波（30 MHz ~ 約 1 MHz）を照射する。これによりエネルギーの高い原子をトラップ内から選択的に排除し全体の温度を下げかつ原子集団の密度を上げることによって BEC が生成される。この BEC を生成するまでの流れは超高真空環境下で行われ磁気光学トラップのレーザーをメカニカルシャッターで遮断した直後に Ioffe コイルを作動させる際などに数 100  $\mu$  秒単位で制御する必要があり、BEC 生成には各装置のリアルタイム制御が必要不可欠である。

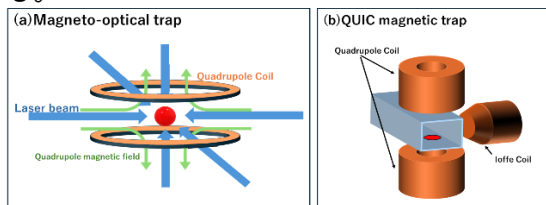


Fig. 1 磁気光学トラップおよび磁気トラップの概略図

### 3. 制御プログラム

この制御プログラムを作成するにあたってデジタル出力ユニットは CONTEC 社の DO-16TY-USB (Fig. 2) を使用し、プログラミング言語には LabVIEW を用いた。



Fig. 2 デジタル出力ユニット (DO-16TY-USB)

実際に LabVIEW を用いて作成したプログラムを Fig. 3 に示す。

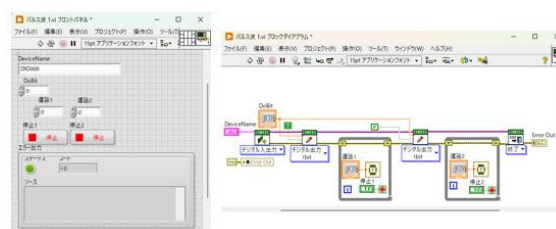


Fig. 3 LabVIEW プログラム

LabVIEW の特徴として Python、C 言語のように文字でコードを打ち込むのではなく、Fig. 3 のようにブロックを線で繋げることでプログラミングしていく。また Fig のように二つの画面に分かれていて左がフロントパネルといいスイッチ等を配置する制御盤のようになっており、右のブロックダイアグラムがプログラム全体の中身になっている。

この Fig. 3 のプログラムは ON の命令を送った時にデジタル出力ユニットが 5V を出力し、OFF の命令を出力した際には 5V の出力が切れるものとなっている。この出力の立ち上がり立ち下りの時間精度を 1ms 以内に収まるようにプログラムを組んだ。

### 4. プログラム実行結果および検討

このプログラムを実行した。この結果から 1ms 以内の誤差で収まる想定とは異なる、 $\pm 1.5$  から 2ms 程の誤差が発生することが確認された。

Development of Control and Vacuum Mechanisms for Bose-Einstein Condensate Generation

Yuzuki SAITO, Kohei TAKIZAWA, Takeshi KUWAMOTO, Mitutoshi ARAMAKI and Hitoshi SHIBAYAMA

この結果の要因としてデジタル出力ユニットの中にカウンタ機能が搭載されていないことがあげられる。このためFig. 4のアナログ出力ボードを使用する。

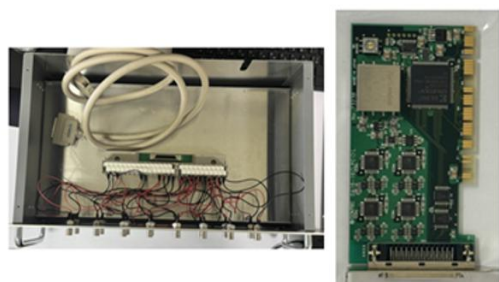


Fig. 4 アナログ出力ボード

このボードにはカウンタ機能が搭載されているためDO-16TY-USBより高精度の時間制御ができると考えられる。

## 5. 真空機構

BEC生成に関する研究は、超高真空中で行われる。そのため超高真空を作るための真空装置(真空チャンバー)の構築を行った。

Fig. 5(a)は、真空チャンバーの概略図とベーク時各種真空ポンプの配置である。Fig. 5(b)に現在構築中のチャンバーの写真を示す。各フランジを接続する際には接続部に銅パッキンを挟み同じ力で対角線上の段階的に締めることで隙間から空気が漏れるのを防いでいる。

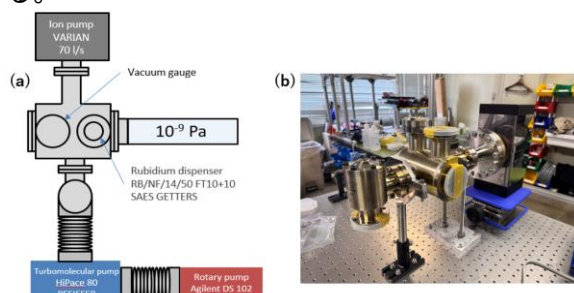


Fig. 5 (a) 真空チャンバーの概略図とベーク時のポンプ配置

(b) 真空チャンバー+イオンポンプ(70L/s)

ベーク後は、ターボ分子ポンプ前の真空バルブを閉じて、イオンポンプのみで、真空チャンバー内の真空状態を長期的に維持する。また



Fig. 6 ディスペンサー、フィードスルー

Fig. 6は真空装置に導入するRbディスペンサーである。Rb ディスペンサーは、真空中にルビジウム原子を安定して供給するための棒状の原子源である。このディスペンサーへの電流供給には、フィードスルーという部品を用いる。

またチャンバーを200℃程度に加熱しながら排気するベーク作業の準備に取り掛かった。ベークでの排気にはターボ分子ポンプとロータリーポンプの2つのポンプ(Fig. 7)を使用し、加熱にはリボンヒーターを使用する。



Fig. 7 ターボ分子ポンプ・ロータリーポンプ

Fig. 8のようにリボンヒーターにアルミホイルを巻き付け動作確認、空焚きを行った。この動作確認の結果、正常に動作したため、今後は真空チャンバーに巻き付けベーク作業を行っていく。



Fig. 8 リボンヒーター使用例

## 6. まとめ

本研究では、BECの生成を目標とし、その基盤となる真空チャンバーおよび制御システムの構築を行った。制御システムにはLabVIEWとデジタル出力ユニット(DO-16TY-USB)を用い、1ms以内の時間精度を目指して信号制御を行ったが、実測では±2ms程度の誤差が確認された。この要因としてカウンタ機能の非搭載が考えられ、今後はカウンタ機能付きアナログ出力ボードを使用することで精度向上を図っていききたい。また、イオンポンプやRbディスペンサーを含む真空系を組み立て、超高真空環境を実現するための真空チャンバーを構築した。今後はベーク作業を進めBEC生成可能な真空環境の構築を目指す。

## 参考文献

- 1) Tilman Esslinger *et al*, PRA **58**, R2664 (1998).