

鉄多価イオン分光用小型イオン源の製作

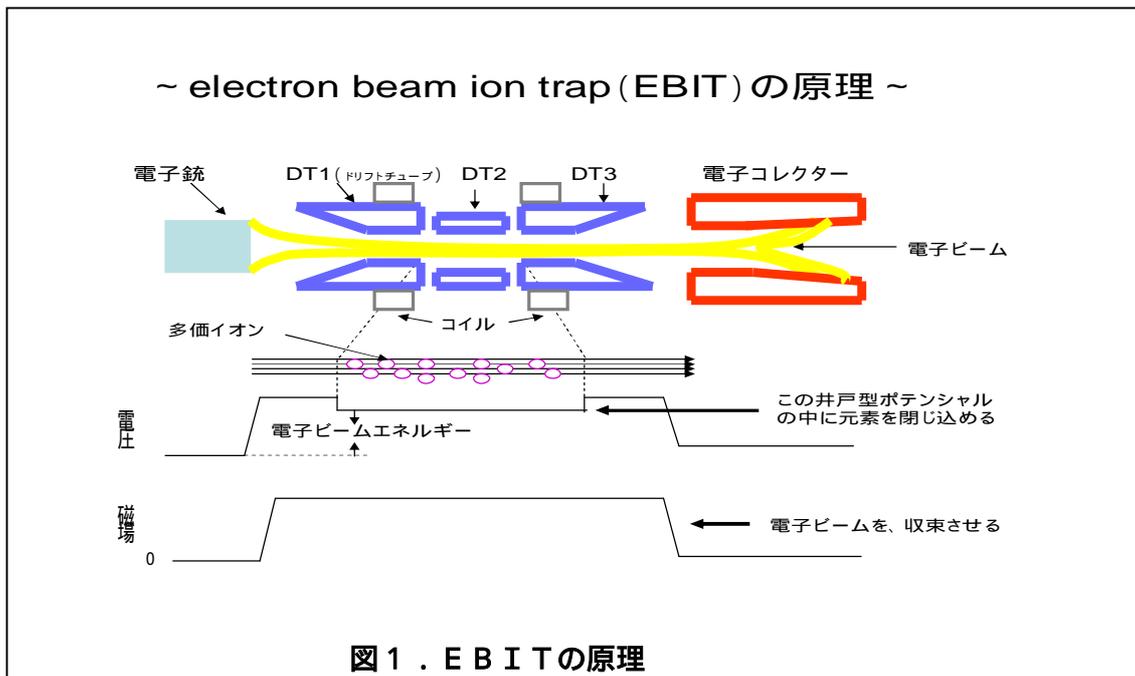
中村(信)研究室 福嶋宏隆

1. 背景

昨年9月に打ち上げに成功した太陽観測用衛星 Solar-B は、光球からコロナまでの広領域を、可視から X 線までの様々な波長領域で分光測定することにより、コロナ加熱などの問題を解決することを目的としている。太陽のコロナには 10 価程度の鉄が多く存在するため、得られたデータの理解のために、鉄多価イオンの基礎原子データの蓄積が強く望まれている。本研究では、そのような鉄多価イオンの基礎原子データの測定を目的とした小型イオン源の製作を行った。ここでは主に電子軌道のシミュレーションと超伝導コイルの製作、試験を行った。

2. 原理

製作するイオン源は、電子ビームイオントラップ (electron beam ion trap: EBIT) と呼ばれるもので、電子銃、ドリフトチューブ (DT), 電子コレクターの 3 つの部分から成る。その原理を図 1 に示す。DT は、さらに 3 つの部分 (DT1, DT2, DT3) に分けられている。DT 1、DT3 の電位を DT2 より少し高くすることで、DT 中心にポテンシャルの井戸を作る。そこに閉じ込められたイオンに電子ビームを当てることで逐次電離により多価イオンを生成する。DT の周りには、コイルを置き、その磁場により電子ビームを高密度化し、効率良く多価イオン化を進めていく。

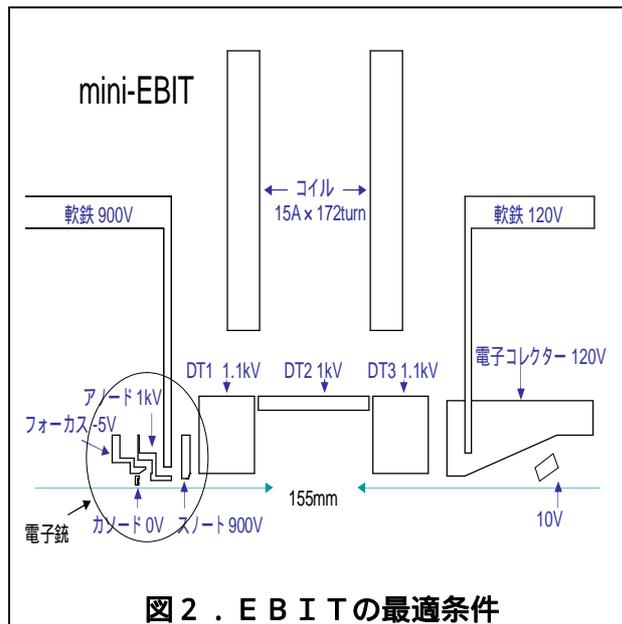


3. 仕様

イオンの価数としてはネオン様鉄(16価)までを生成することを目指す。電子ビームエネルギーは、そのようなイオンを生成するのに最適な1 keV(最大値)に設定した。電子電流は、既存の電子銃の仕様により10 mA(最大)とした。中心磁場は最大で0.6Tとした。コイルには、液体窒素の温度で超伝導になる線材(住友電工 DI-BSCCO)を使用した。高温超伝導コイルをEBITに使用するのは、世界初の試みである。線材の臨界電流は、77kで110Aである。

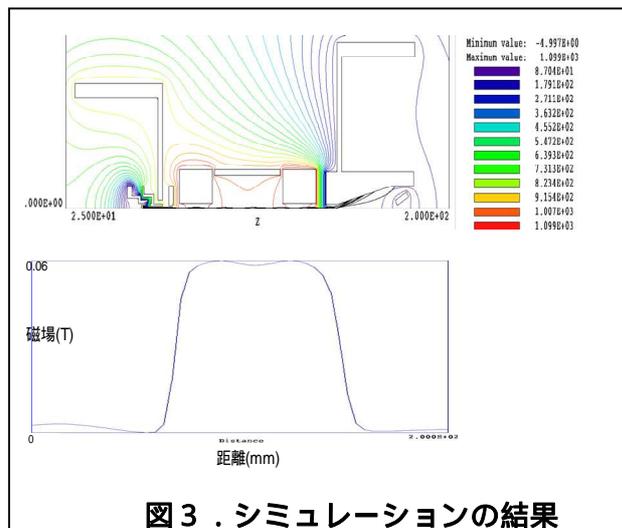
4. シミュレーション

図2に製作するイオン源の電極配置を示す。電極の形状や電位を変え繰り返しシミュレーションすることで、最適条件を探しこのような配置に至った。電子ビームの電流は、カソードとアノードの電位差によって制御される。透磁率の高い軟鉄を配置することによって、カソード部分の磁場を0にして、短い距離で磁場が立ち上がるようにする。そうすることで、電子ビームを綺麗に収束させることができる。



5. シミュレーションの結果

シミュレーションの例を図3に示す。カソードから出た電子がアノードで加速され、ドリフトチューブを通り、電子コレクターで回収される様子が分る。下のグラフは、磁場を表している。軟鉄を配置することで、カソードから短い距離で磁場が上昇し、コレクター近辺で再び下降し、0になっていることが分かる。



6 . 全体図

製作中のイオン源の全体図を図4に示す。図4に示されたように、電子銃、DT、電子コレクターと下から上に垂直に配置されている。DTの周りに超伝導コイルを配置している。超伝導コイルを液体窒素で冷やすため、液体窒素容器を上方に配置した。スペクトルの観測は、DTの間の観測用ポートから行う。製作途中のコイルの写真を図5に示す。右は、超伝導コイル部分の拡大図である。黄色のリボン状の線が高温超伝導線材によるコイルであり、その中心部分にDTが配置される予定である。

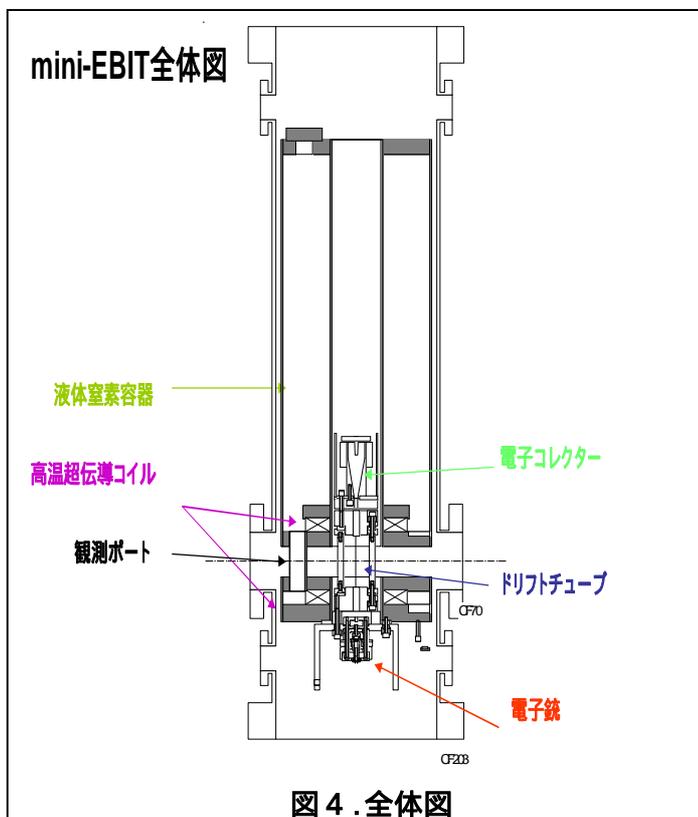


図4 . 全体図

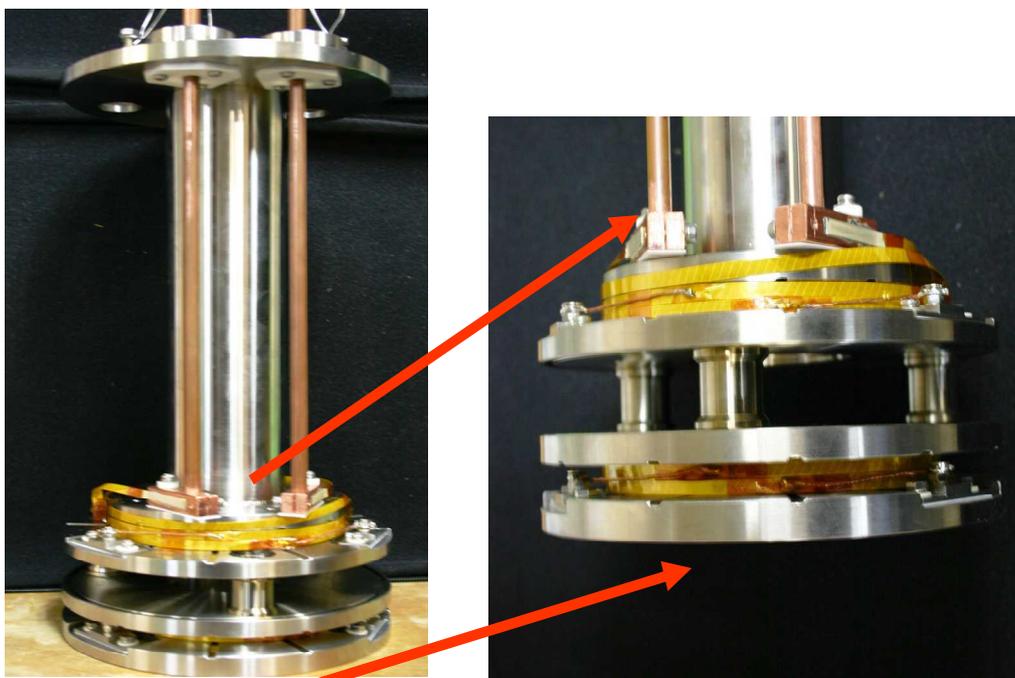


図5 . Mini-EBIT の実物写真

7. 高温超伝導コイル

高温超伝導線材は最近市販されたものであり、我々の研究室でも使用した経験がないため、まずは線材を単体で試験した。線材を 30cm 程度の長さで切って、液体窒素に浸け超伝導になることを確かめた。図 6 に示すように 0A ~ 100A 電流を流し、線材にかかる電圧を測定したところ、その値は 0.008mV ~ 0.009mV でほぼ一定であった。この電圧値は、電圧計の内部抵抗によるものと思われることから、超伝導になっていることが確認できた。次に約 80m の線材を巻き数 172、段数 2 段にして実際のコイルを作り、液体窒素に浸けて同様の測定を行った。すると、図 7 に示すように電流値 60A 辺りから急激に電圧値が上昇するような結果となった。これは、60A 程度で超伝導状態がやぶれていることを示していると考えられる。

仕様である 110A に満たない原因として、線材にひねりを加えてること、張力がかかっている部分があること、ハンダ付け部分の不具合、超伝導コイルが液体窒素温度に達していないことなどが考えられるが、現在も原因を究明中である。

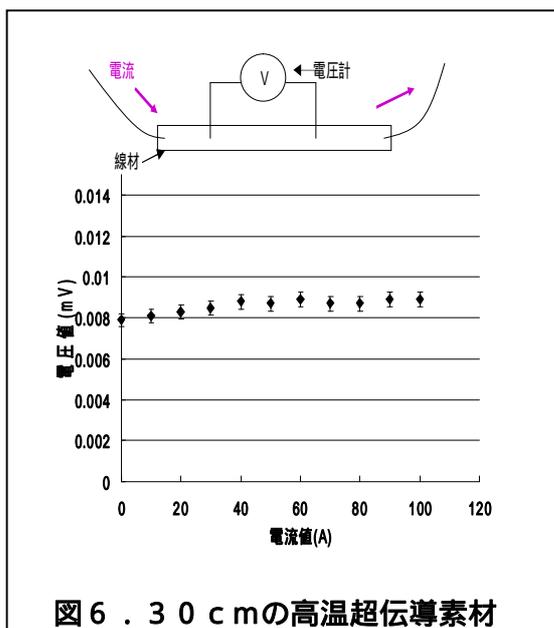


図 6 . 30 cm の高温超伝導素材

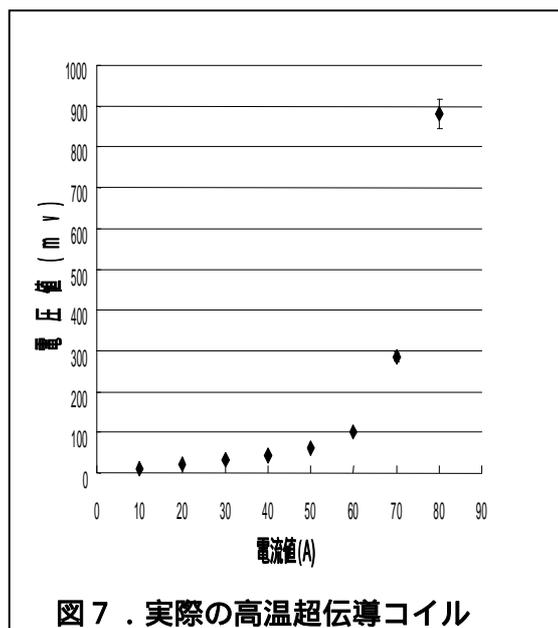


図 7 . 実際の高温超伝導コイル

8. まとめ

鉄多価イオン分光用小型イオン源の製作を目的として、電子軌道のシミュレーションを行い、最適な磁場及び電場配位を決定した。高温超伝導線材を試験した後、実機のコイルに巻き、通電試験を行った。その結果、60A 付近から、急激に電圧が上昇することが確認された。現在、その原因を調査中である。