

1. MPMS3磁化測定装置



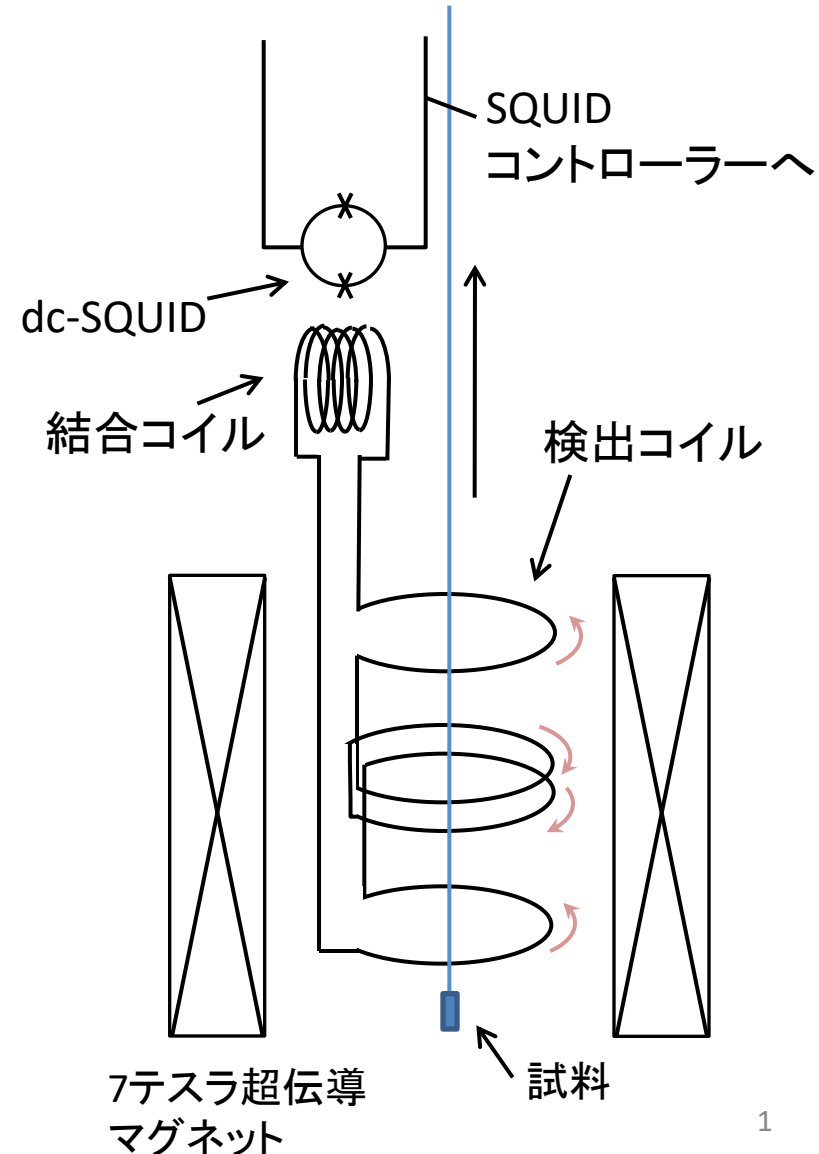
超伝導磁束量子干渉素子(SQUID)を利用した
高感度な磁化測定装置

温度範囲: 1.8K~400K (−271°C~127°C)

磁場範囲: −7T~7T

分解能: 10ナノ emu

検出コイルに試料を通した時に発生する
微弱な誘導起電流を、結合コイルを介
してSQUID素子を使って検出。



2. 試料ホルダー



カーボンファイバー製の試料ロッドの先端に試料ホルダーを付け、リニアモーターにより検出コイル中で試料を上下させる。



3種類の試料ホルダー
左から、非磁性ストロー
クォーツ、真鍮製

ホルダー中央に試料を固定
・固定用のストローで2重にする。
・ワニス(接着剤)で止める。
・粉末試料はプラスチックカプセルに入れる。
・・・
など

長いホルダーを使用することで誘導起電流がキャンセルされ、ホルダーの磁化は検出されない。

試料空間は約10mmφ

3. EverCool

ボンベのヘリウムガス(47L x 2本)を液化してデュワーに液体を溜め、維持できる”ヘリウム再凝縮装置“を装備



バルブシステム

パルスチューブ冷凍機

※EverCoolが停止すると低温実験が継続できなくなります。

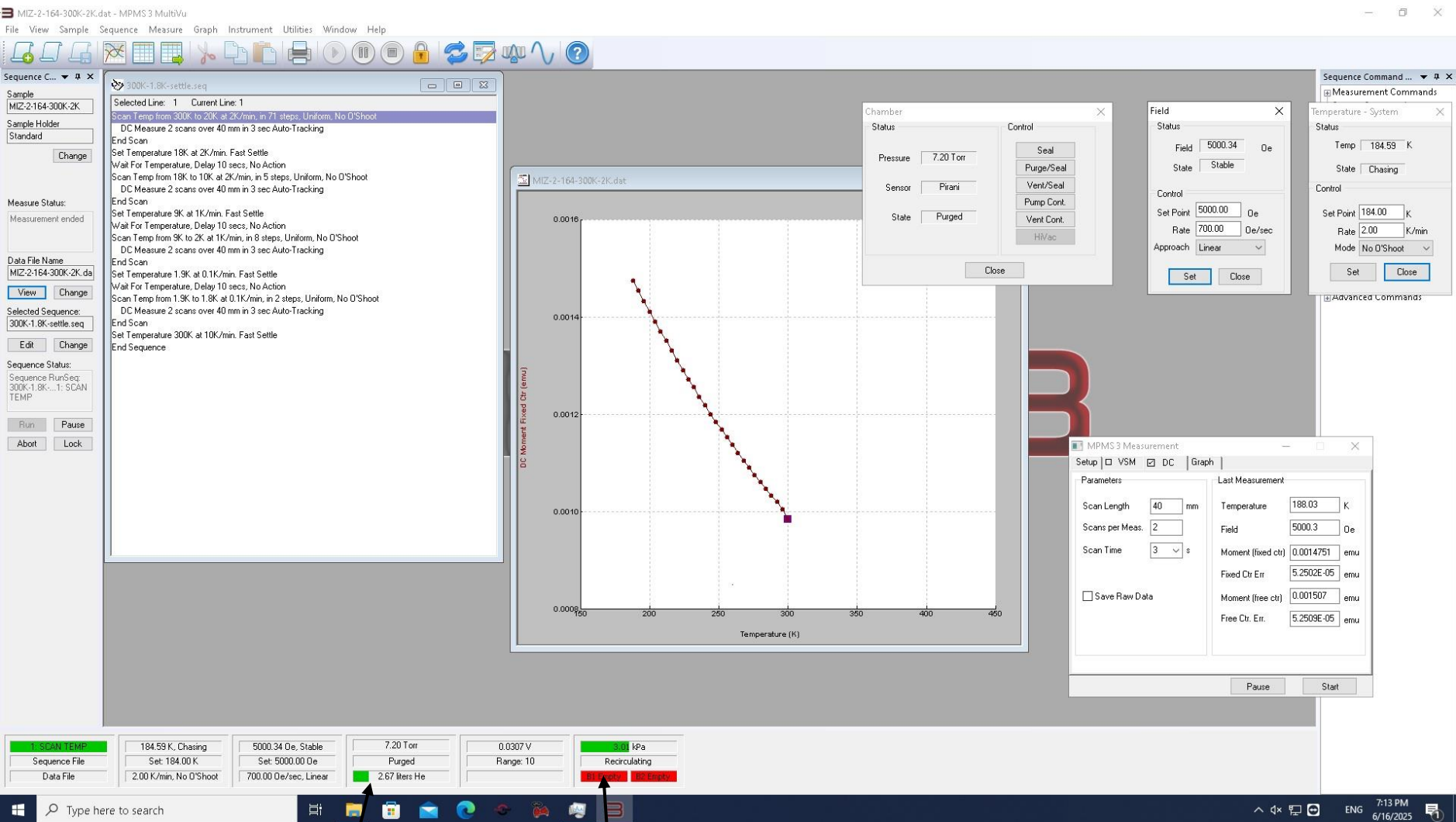
運用中にも係わらず停止している場合、すぐにご連絡ください。

- 1) 音がしていない。
- 2) 冷却水循環装置(チラー)が停止している。



右のチラー運転 box
の緑のランプが点灯
していれば正常

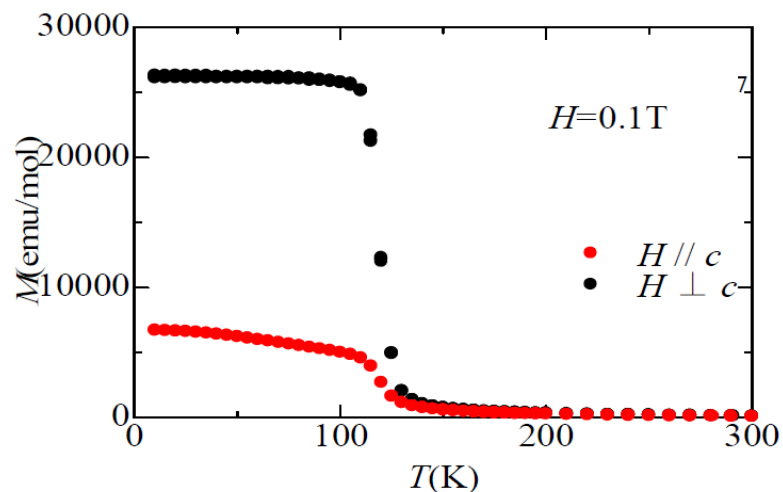
4. MPMS3 MultiVu



He液量

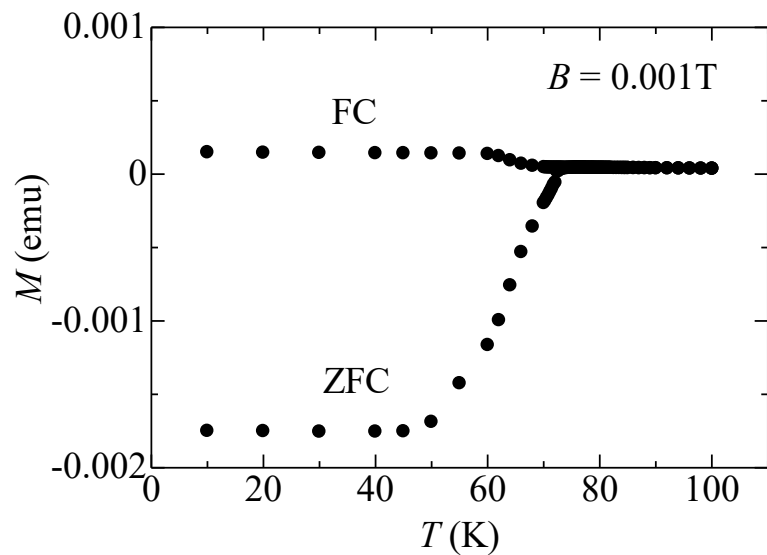
運転圧力
運転モード

5. 磁気特性の測定例

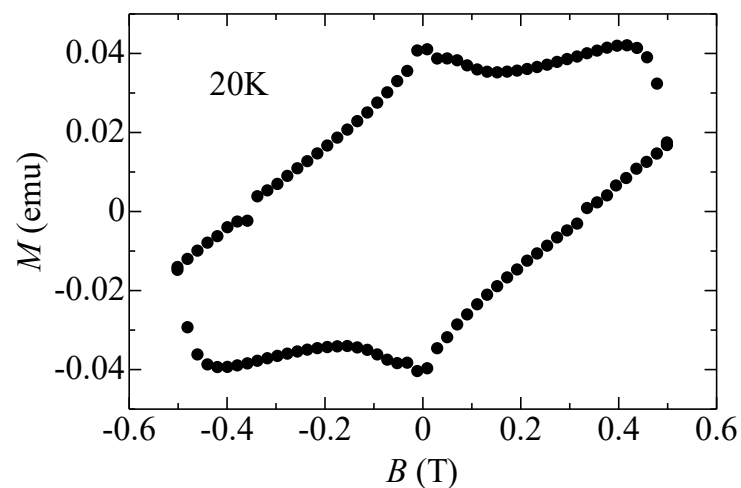


層状Mn酸化物 単結晶

酸化物超伝導体
温度依存性

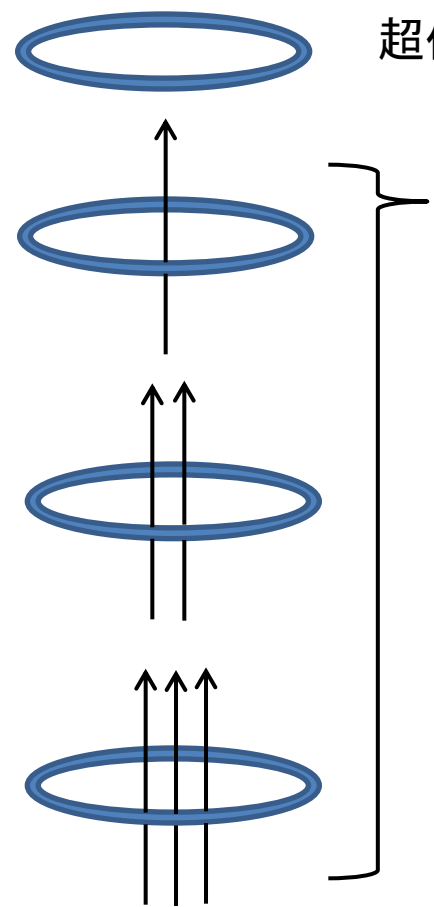


磁場依存性



超伝導磁束量子干渉素子 (SQUID)で測定する仕組み

1. 超伝導リングにおける磁束の量子化



超伝導体でリングを作る.

リングに磁束が入っている時, 磁束は量子化される!

$\Phi = n\Phi_0$ ($n=0, 1, 2, 3, \dots$)
 Φ_0 : 磁束量子 $\Phi_0 = hc/2e$ ($\approx 2 \times 10^{-7} \text{ G cm}^2$)
 h : プランク定数 c : 光速 e : 電子の電荷

リングを流れる電子(クーパ対)がマクロなサイズで量子化され, 一周した電子の波動関数の位相変化が必ず 2π の整数倍でなくてはならないためである.

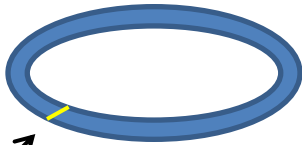
↙

原子軌道上の電子が一周した時に波動関数の位相変化が $2\pi n$ となり, とびとびのエネルギーの軌道のみ許されるのと同じ事情.

リング内の磁束の数 n を知ることで高感度な磁気センサとして利用出来る.
しかし, 完全なリングを作ると遮蔽電流によりこれ以上磁束が進入できない.

2. 超伝導磁束量子干渉素子(SQUID)

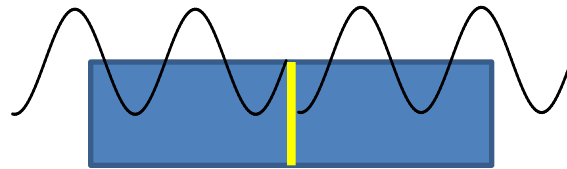
Superconducting QUantum Interference Device



超伝導線に薄い絶縁体を挟んだジョセフソン接合

磁気センサとして利用する時には、左図のようにジョセフソン接合を持ったSQUID素子を作る。

超伝導電流は薄い絶縁体をトンネル効果によって通り抜ける。

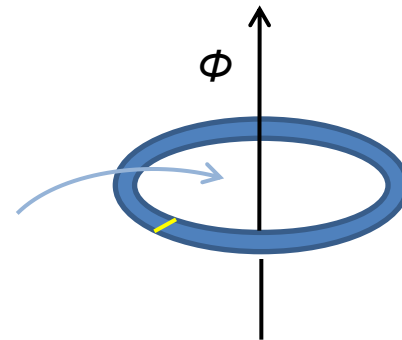


※絶縁体の両側には位相差が生じることがある。

磁場を掛けた時、ジョセフソン接合のおかげで磁束は連続的にリングに侵入する。

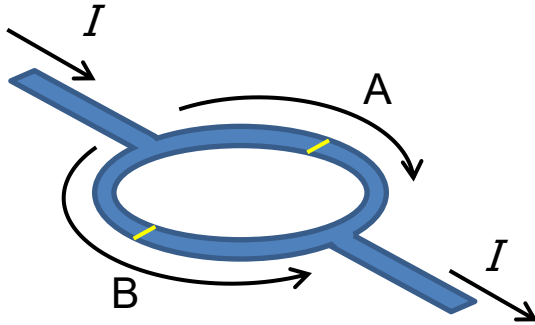
しかし、リングを流れる超伝導電流は上の位相差を満たす時に大きく流れるので、磁束が ϕ_0 分入る度に振動することになる。

⇒ではどうやってリング上の電流を測定する？



3. dc-SQUIDとは？

精度良く磁束を測るための仕組みが **dc-SQUID**である.

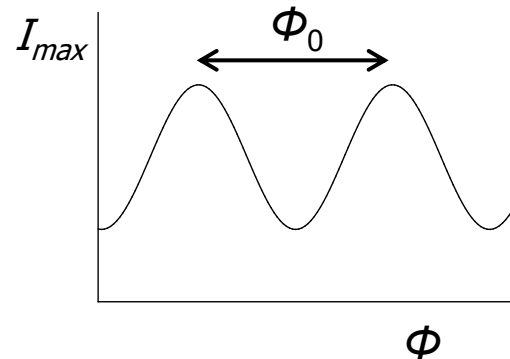
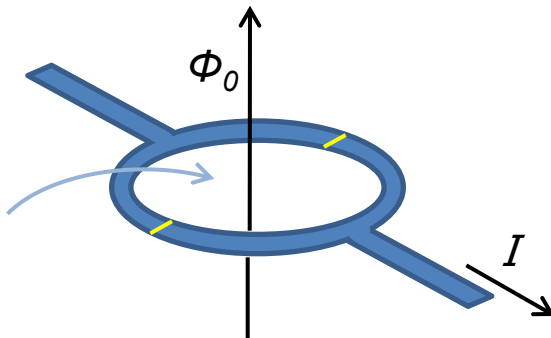


図のようにジョセフソン接合を2つ持った素子で、電流 I を流すための2本のリード線が付いている.

経路A, Bを流れる電流(電子の波動)と, リング内に磁束が入った時に発生するリングを一周する電流との干渉効果により, I の最大値が変動する.

$$I_{max} = \left| 2I_0 \cos \frac{\pi \Phi}{\Phi_0} \right|$$

すなわちdc-SQUIDを流れる電流は素子のリングに磁束が Φ_0 入るごとに振動する.

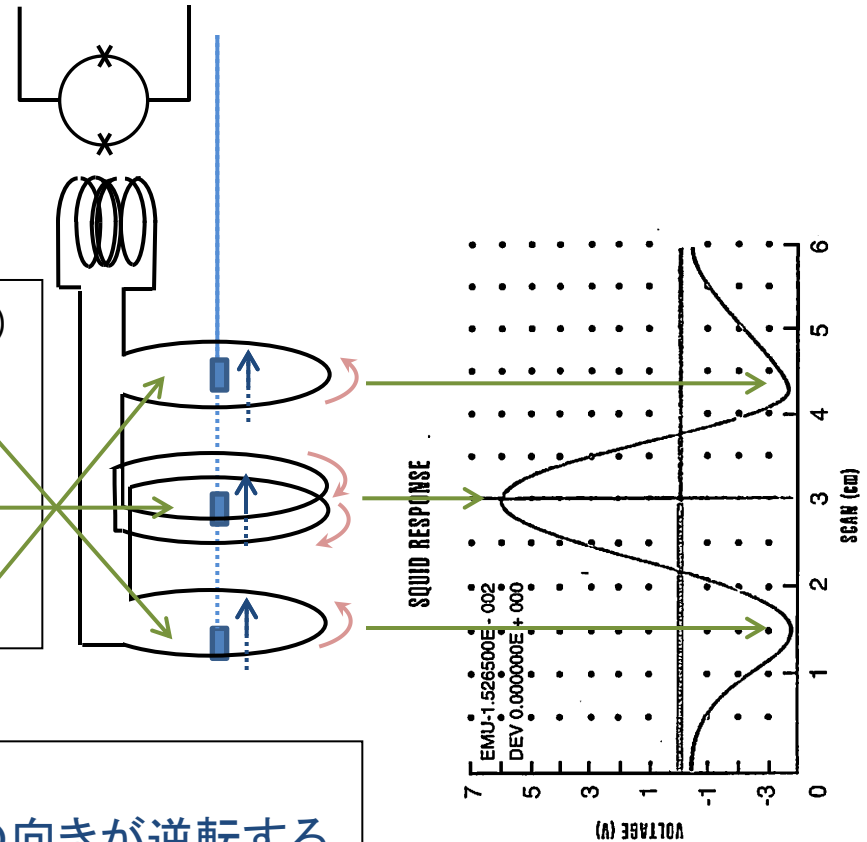


⇒電流 I は計器をつないで測定できる！
⇒磁束量子 Φ_0 の分解能を持つ, 高感度磁束計として利用できる.

4. MPMS磁化測定装置 への応用

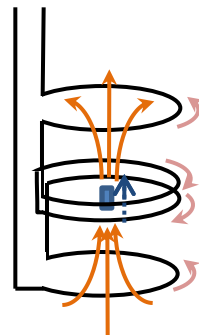
4つの検出コイルに正の磁化(常磁性や強磁性)を持った試料を下から通した時,

- ① 下のコイルで負の誘導電流が生じる.
- ② 中央の2重のコイルで①の2倍の正の誘導電流が生じる.
- ③ 上のコイルで負の誘導電流が生じる.

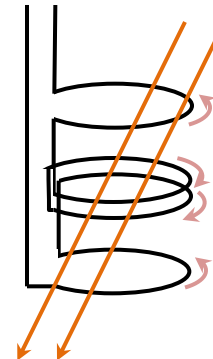


- ・信号の強度が大きいほど磁化が大きい.
- ・負の磁化を持つ(反磁性)場合は誘導電流の向きが逆転する.

逆巻きのコイルを組合せた
検出コイルにする事で,
ノイズ(外部の磁場の変動)
に影響されにくくなる.



コイルの中の
磁場の変化
には感度良く
反応.



外部の磁場
の変化は打
ち消し合う.