

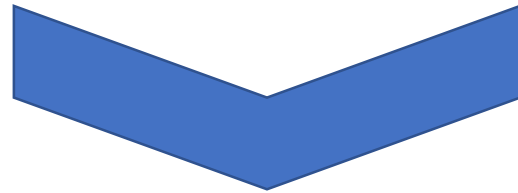
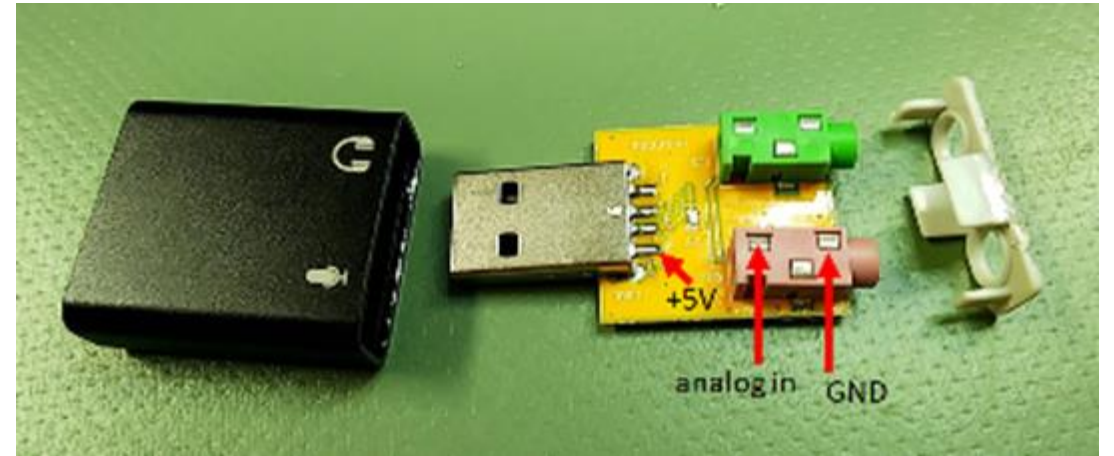
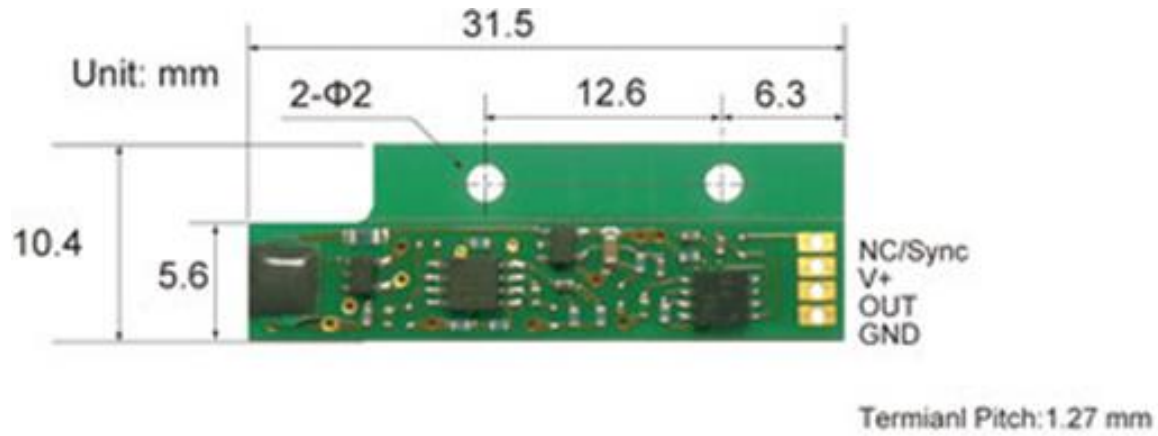
KAGRA出張報告 (9月)

4年 田中隆誠

もくじ

- インジェクションによるノイズ評価の理論
- USB磁束計の作成
- 新規コイルについての詳しい実験
- 坑内での新規コイル実験

USB磁束計の作成



はんだ付け

USB磁束計の作成



USB磁束計の誤差範囲

USB磁束計の出力がdBの整数値である。



dBの値の中で対応する磁束密度にある程度の幅が生まれる。

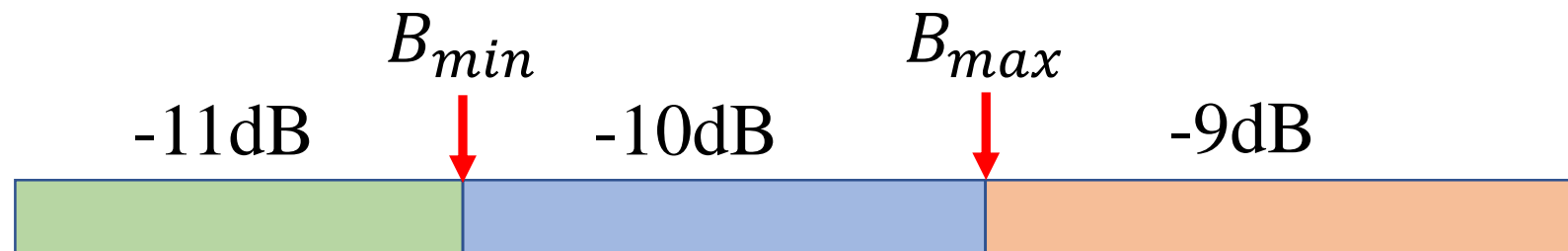


USB磁束計の誤差範囲

USB磁束計の出力がdBの整数値である。



dBの値の中で対応する磁束密度にある程度の幅が生まれる。



新規コイルに関する実験

実験1：コイルにかける電圧と磁束密度の関係を調べる

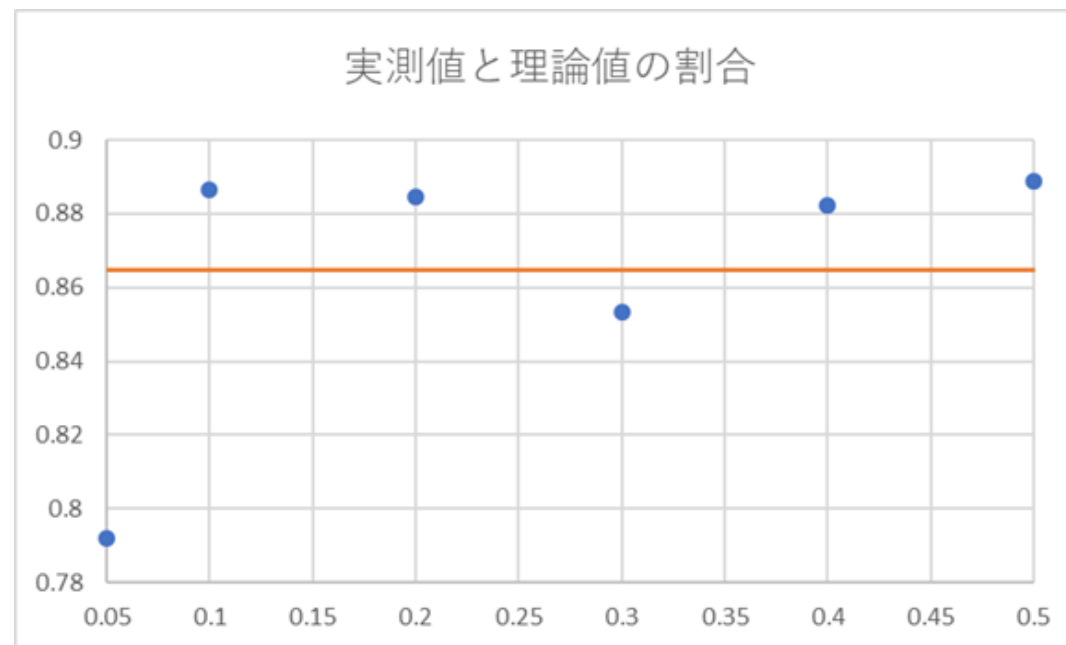
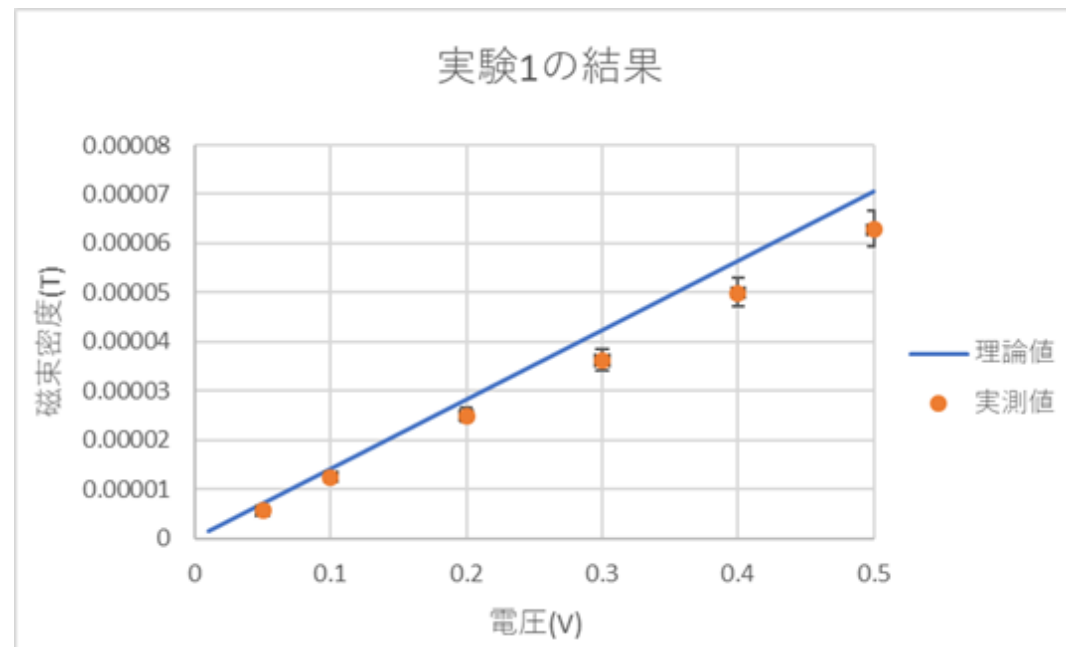
⇒ コイルまでの距離18cm、電圧の周波数110Hz

実験2：コイルからの距離と磁束密度の関係を調べる

⇒ コイルにかける電圧0.05V、0.1V、0.2V、0.3V、
電圧の周波数110Hz

実験1の結果

電圧 (V)	理論値(T)	実測値(T)	B_{max} (T)	B_{min} (T)
0.05	7.07E-06	5.6E-06	5.94E-06	5.29E-06
0.1	1.41E-05	1.25E-05	1.33E-05	1.18E-05
0.2	2.83E-05	2.50E-05	2.65E-05	2.36E-05
0.3	4.24E-05	3.62E-05	3.84E-05	3.42E-05
0.4	5.65E-05	4.99E-05	5.29E-05	4.72E-05
0.5	7.07E-05	6.28E-05	6.66E-05	5.94E-05

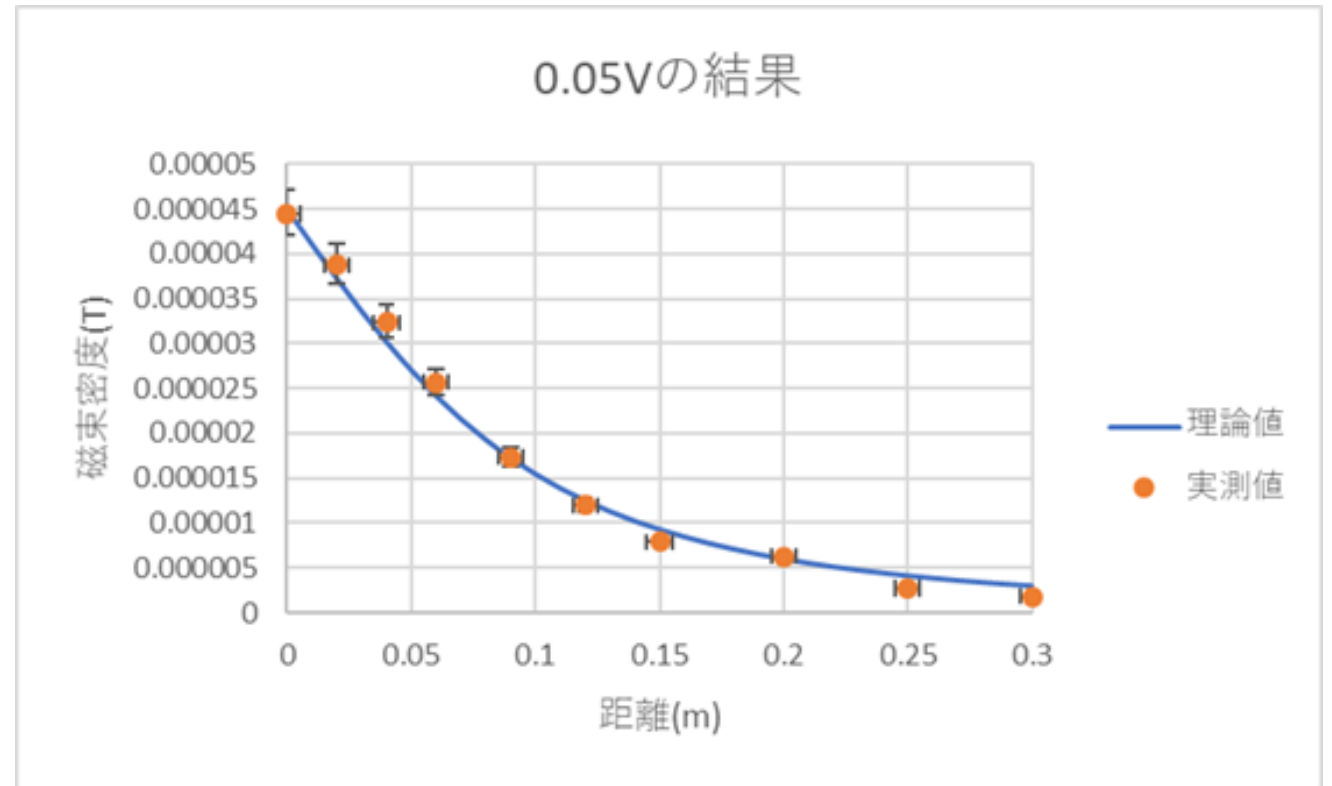


実験1の考察

- DAQの誤差は $0.05V < 0.5V$ となる。
- 電圧の誤差や環境ノイズに受ける誤差は $0.05V > 0.5V$ となる。
- $0.05V$ における割合のずれが大きいのには環境ノイズや電圧の誤差について考慮してないことが原因として考えられる。
- 割合の平均が理論値の傾きの約 0.865 倍となったのはコイルの実際の仕様と理論上のコイルの仕様が異なることが考えられる。

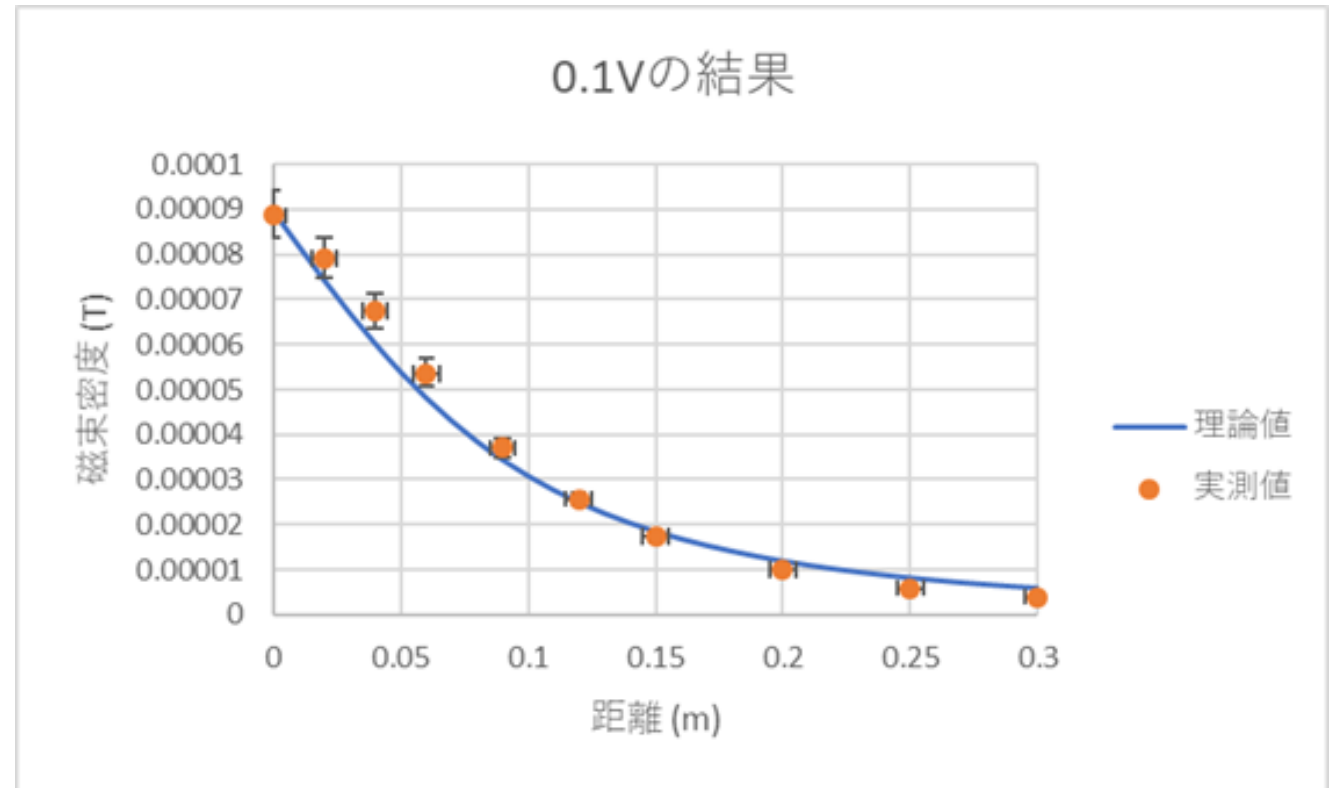
実験2の0.05Vにおける結果

距離(m)	理論値(T)	実測値(T)
0	4.50E-05	4.446E-05
2.00E-02	3.73E-05	3.876E-05
4.00E-02	3.02E-05	3.232E-05
6.00E-02	2.42E-05	2.568E-05
9.00E-02	1.72E-05	1.731E-05
1.20E-01	1.25E-05	1.198E-05
1.50E-01	9.27E-06	7.906E-06
2.00E-01	5.98E-06	6.294E-06
2.50E-01	4.11E-06	2.744E-06
3.00E-01	2.97E-06	1.818E-06



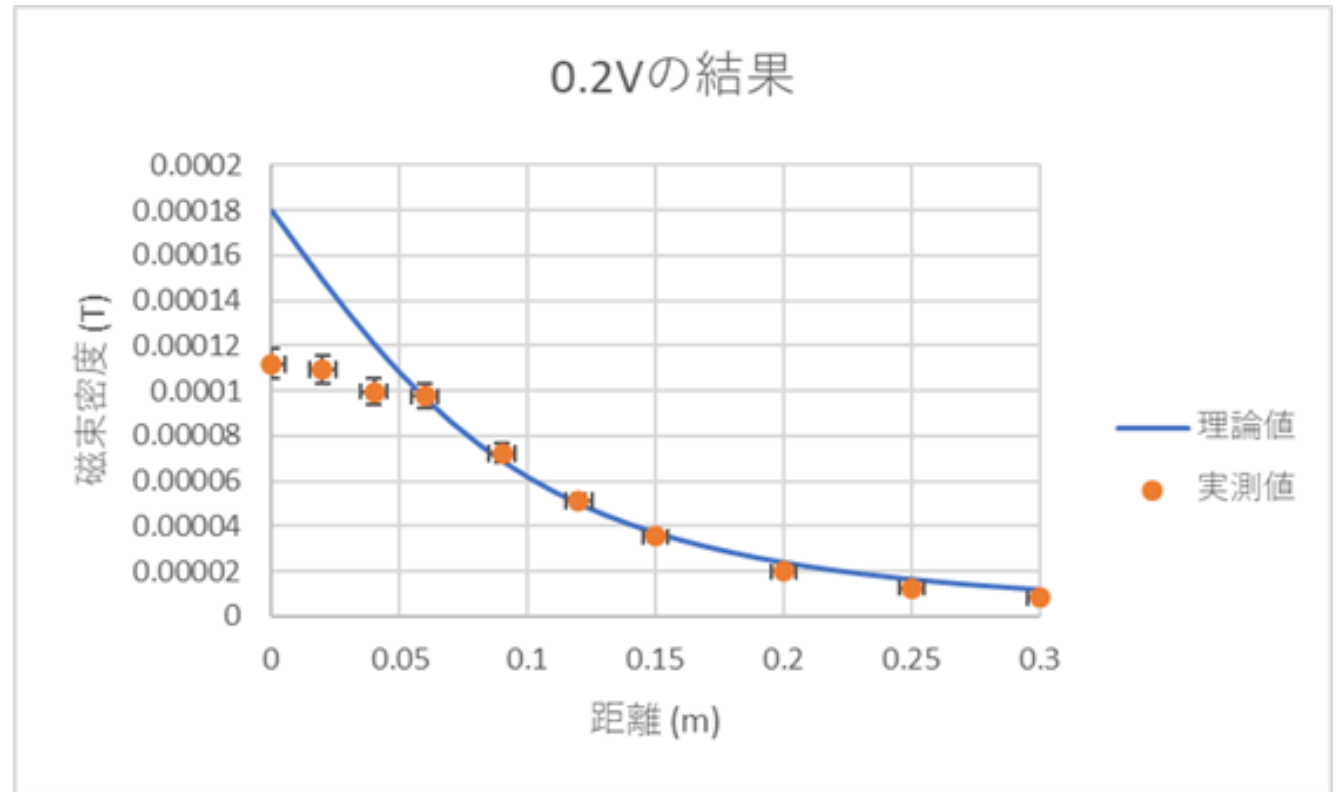
実験2の0.1Vにおける結果

距離(m)	理論値(T)	実測値(T)
0	8.993E-05	8.87E-05
2.00E-02	7.45E-05	7.906E-05
4.00E-02	6.04E-05	6.739E-05
6.00E-02	4.83E-05	5.353E-05
9.00E-02	3.45E-05	3.704E-05
1.20E-01	2.50E-05	2.561E-05
1.50E-01	1.85E-05	1.731E-05
2.00E-01	1.20E-05	9.953E-06
2.50E-01	8.22E-06	5.87E-06
3.00E-01	5.94E-06	3.962E-06



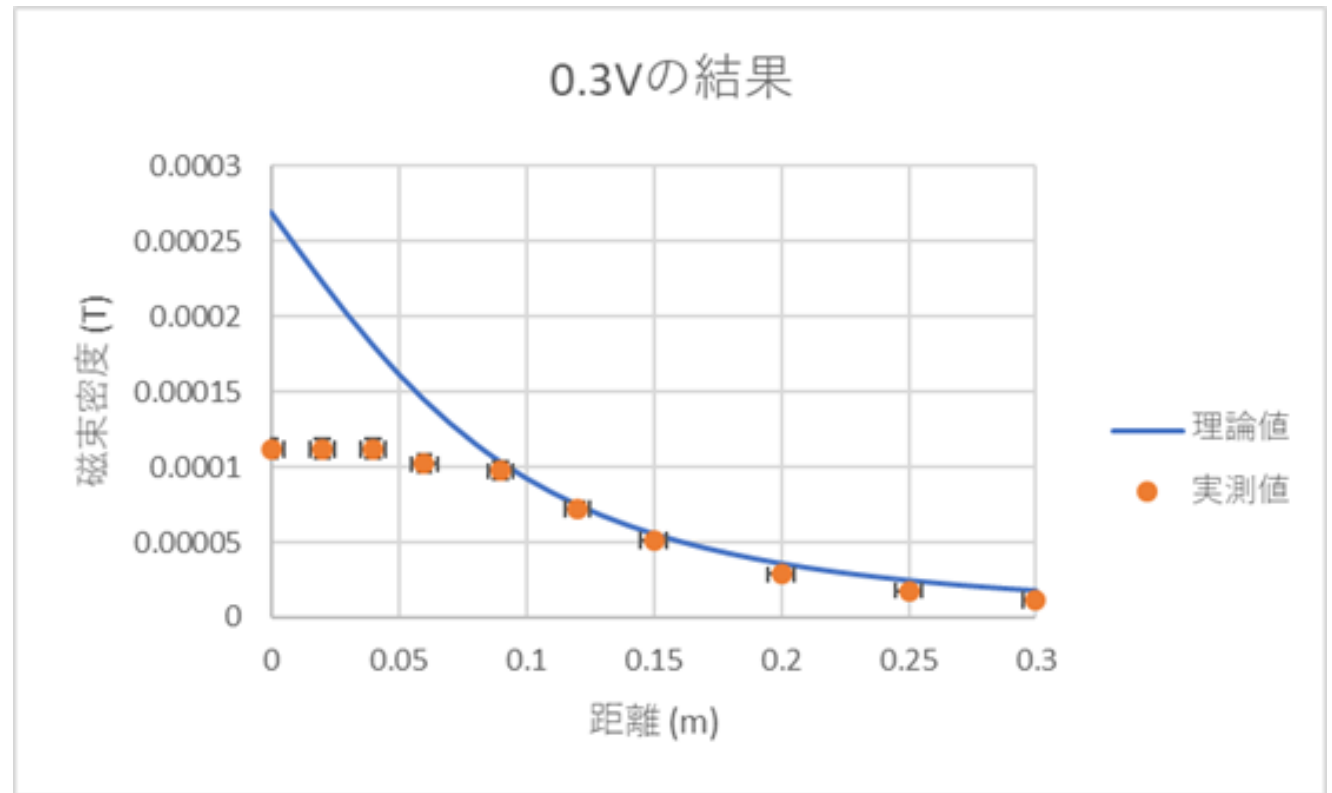
実験2の0.2Vにおける結果

距離(m)	理論値(T)	実測値(T)
0	0.0001799	0.0001117
2.00E-02	1.49E-04	0.0001092
4.00E-02	1.21E-04	9.953E-05
6.00E-02	9.66E-05	9.736E-05
9.00E-02	6.90E-05	7.218E-05
1.20E-01	5.00E-05	5.11E-05
1.50E-01	3.71E-05	3.531E-05
2.00E-01	2.39E-05	1.986E-05
2.50E-01	1.64E-05	1.253E-05
3.00E-01	1.19E-05	8.099E-06

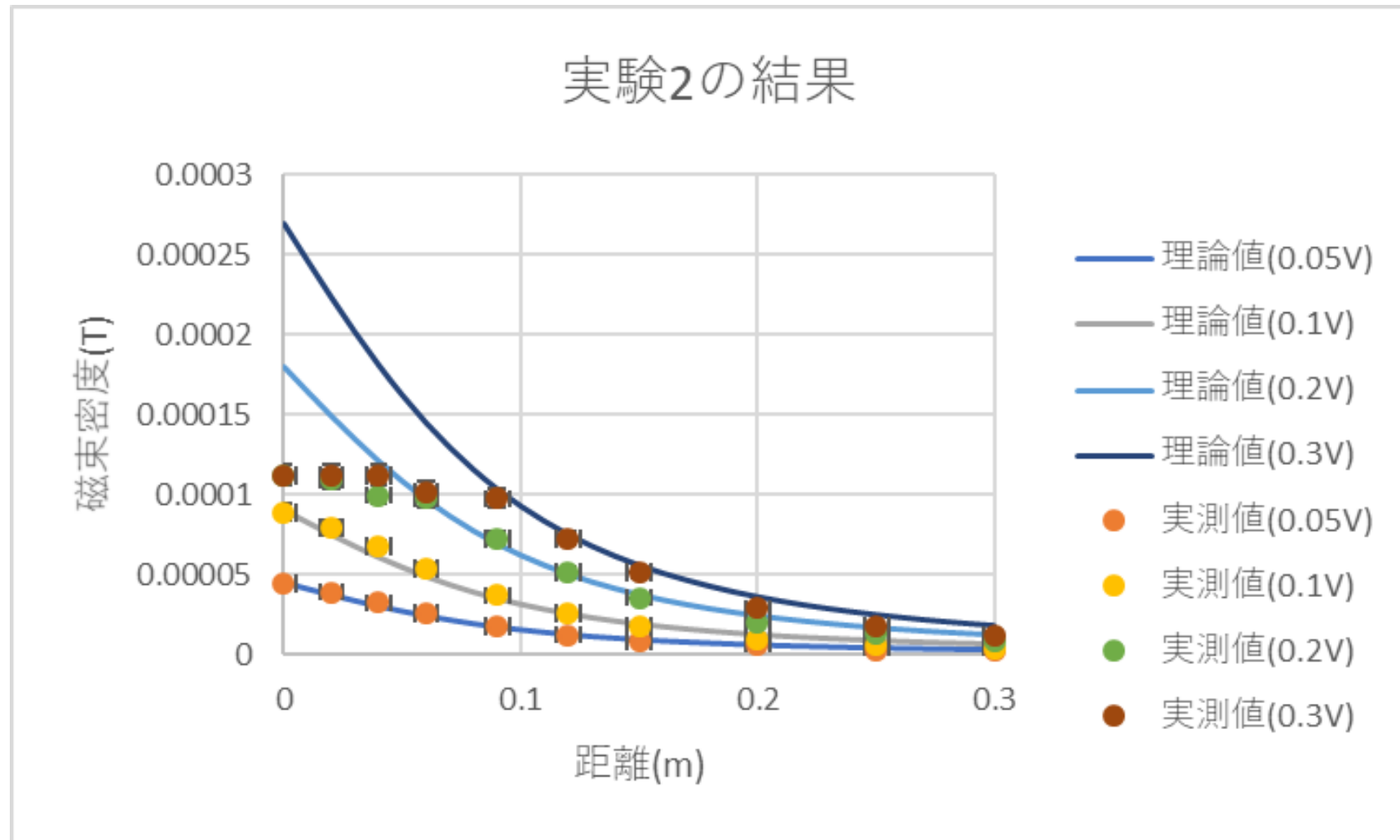


実験2の0.3Vにおける結果

距離(m)	理論値(T)	実測値(T)
0	0.0002698	0.0001117
2.00E-02	2.24E-04	0.0001117
4.00E-02	1.81E-04	0.0001117
6.00E-02	1.45E-04	0.000102
9.00E-02	1.03E-04	9.736E-05
1.20E-01	7.50E-05	7.218E-05
1.50E-01	5.56E-05	5.11E-05
2.00E-01	3.59E-05	2.873E-05
2.50E-01	2.46E-05	1.77E-05
3.00E-01	1.78E-05	1.171E-05



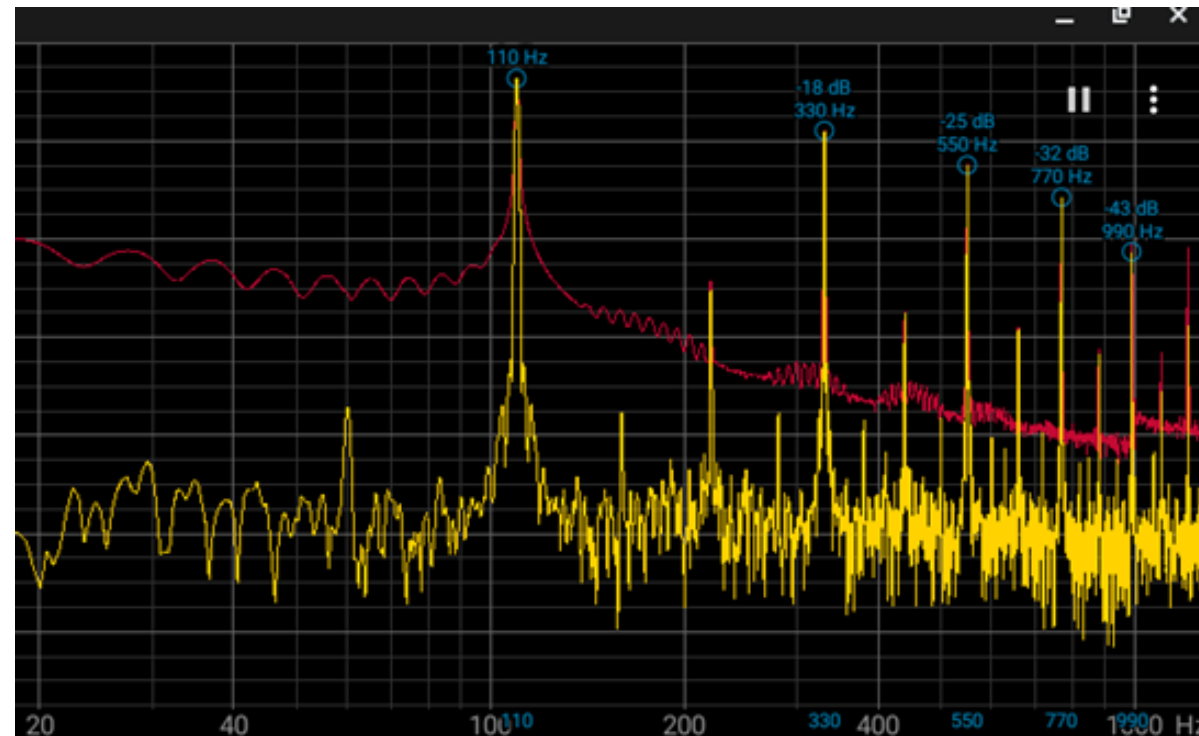
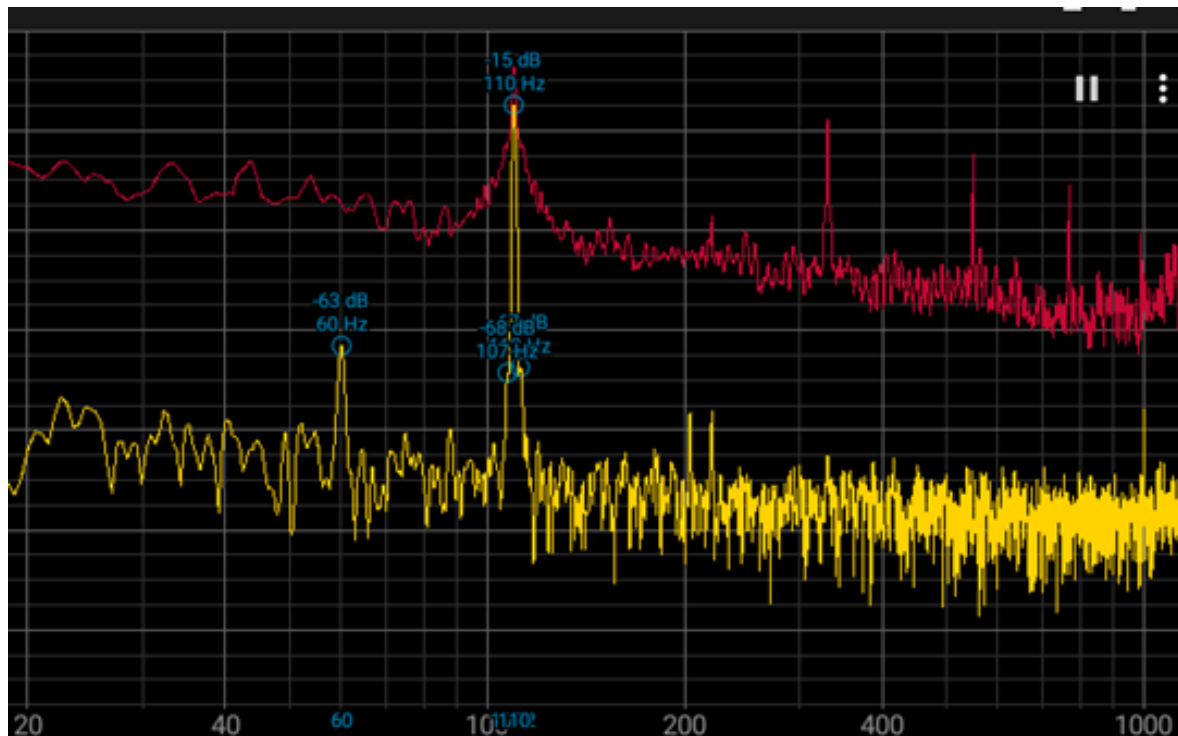
実験2の結果



実験2の考察

- DAQの誤差は $0.05V < 0.5V$ となる。
- 電圧の誤差や環境ノイズに受ける誤差は $0.05V > 0.5V$ となる。
- 理論値と実測値に大きなずれが生じていた箇所には入力周波数の3倍波や5倍波が確認されたため、サチュレーションが起こっていたと考えられる。
- 理論値は磁束計の測定可能範囲内だったため、出力を行う際にサチュレーションが起こったと考えられる。

出力画面の比較



坑内実験

実験1：コイルまでの距離と磁束密度の関係を3軸磁束計を用いて調べる

⇒ コイルの電圧0.05V、電圧の周波数110Hz

実験2：コイル中心軸以外の磁束密度をUSB磁束計を用いて調べる

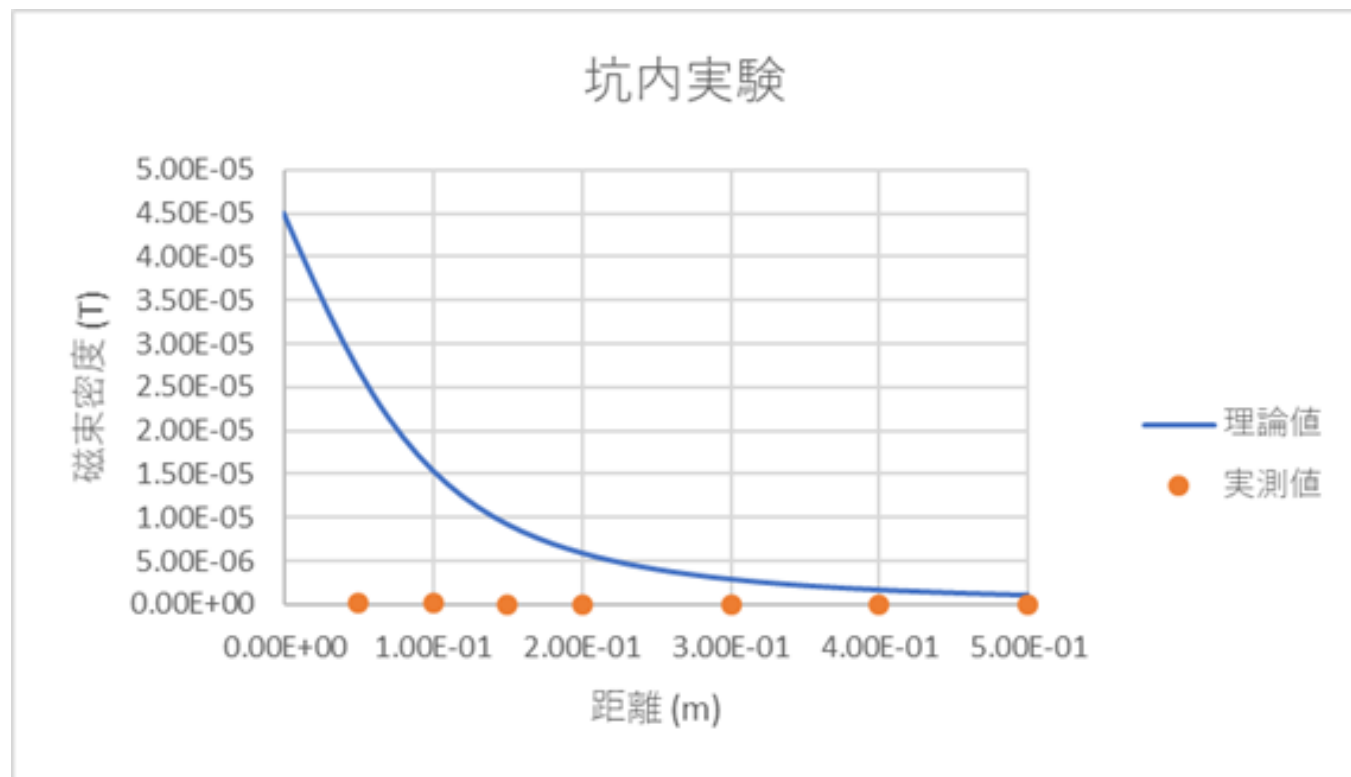
⇒ コイルにかける電圧0.05V、0.1V、電圧の周波数110Hz
コイルからの距離5cm、10cm、20cm

実験3：コイル中心軸以外の磁束密度を3軸磁束計を用いて調べる

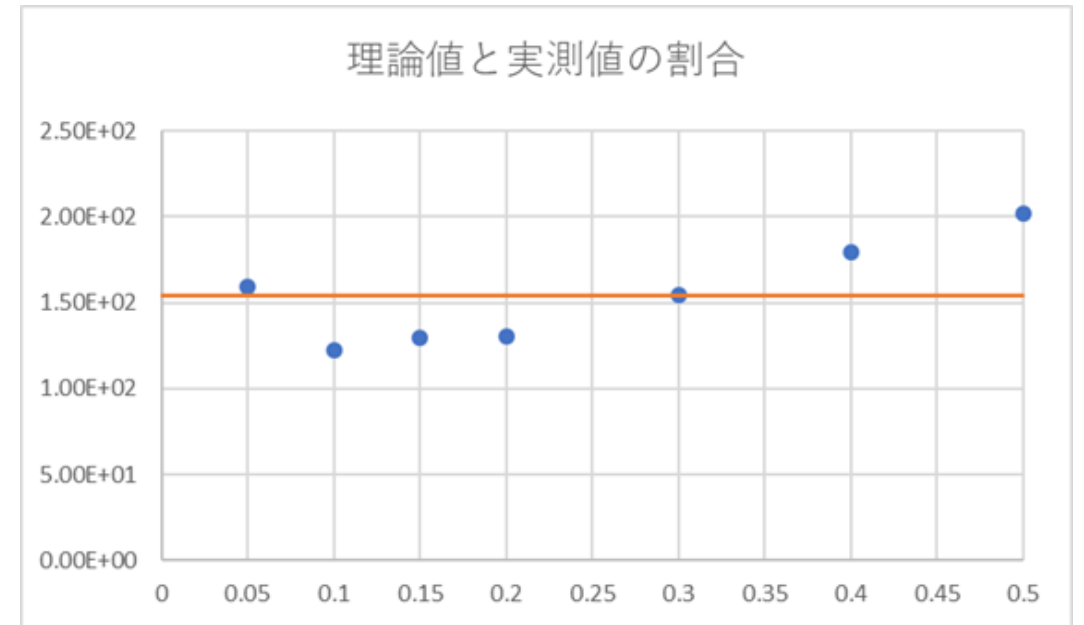
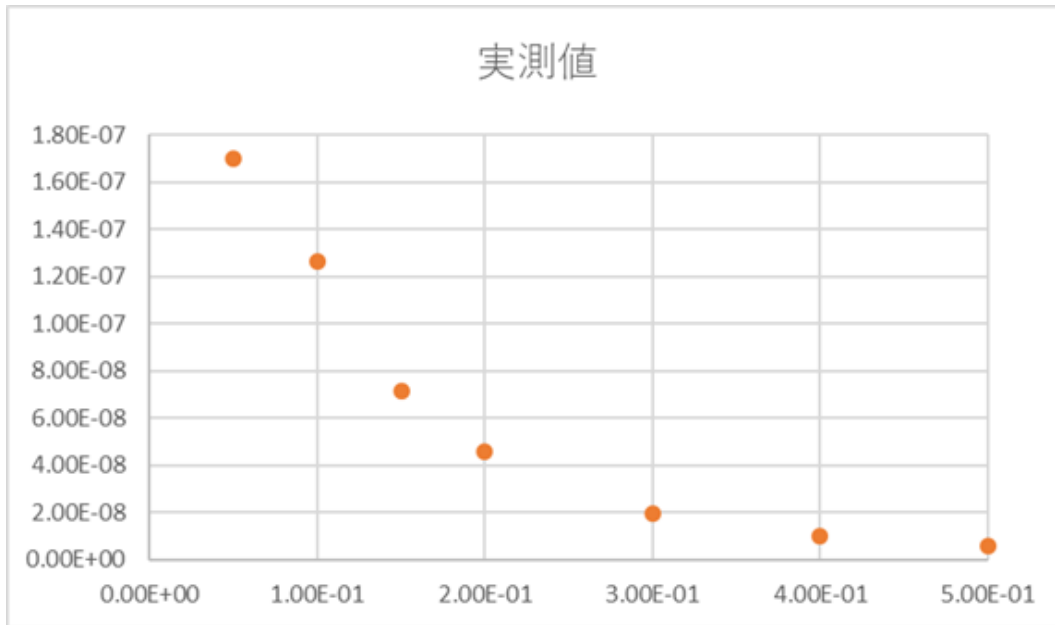
⇒ コイルにかける電圧0.1V、電圧の周波数100Hz
コイルからの距離20cm

坑内実験1の結果

距離(m)	理論値(T)	実測値(T)
5.00E-02	2.7E-05	1.7E-07
1.00E-01	1.55E-05	1.26E-07
1.50E-01	9.27E-06	7.17E-08
2.00E-01	5.98E-06	4.57E-08
3.00E-01	2.97E-06	1.93E-08
4.00E-01	1.74E-06	9.72E-09
5.00E-01	1.14E-06	5.63E-09



坑内実験1の結果



坑内実験1の考察

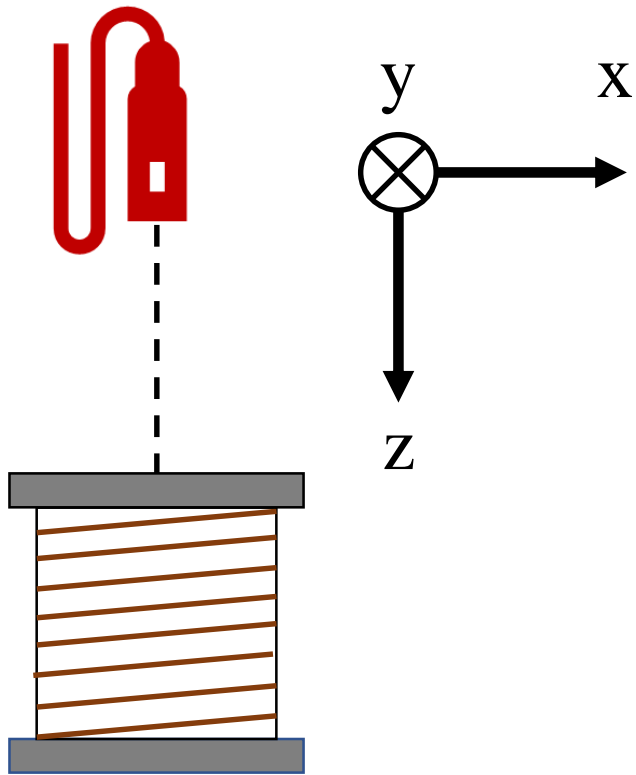
- 理論値に対して実測値が平均して約150分の1になってしまった。
- 実測値をプロットしたものの概形は理論値に非常に近い。
- 実験方法は回路室で行った実験と同様である。



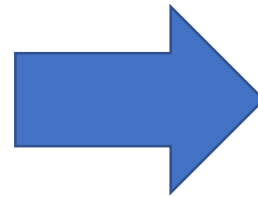
キャリブレーションの値を確認していないため、間違えていた可能性がある。

坑内実験3のイメージ

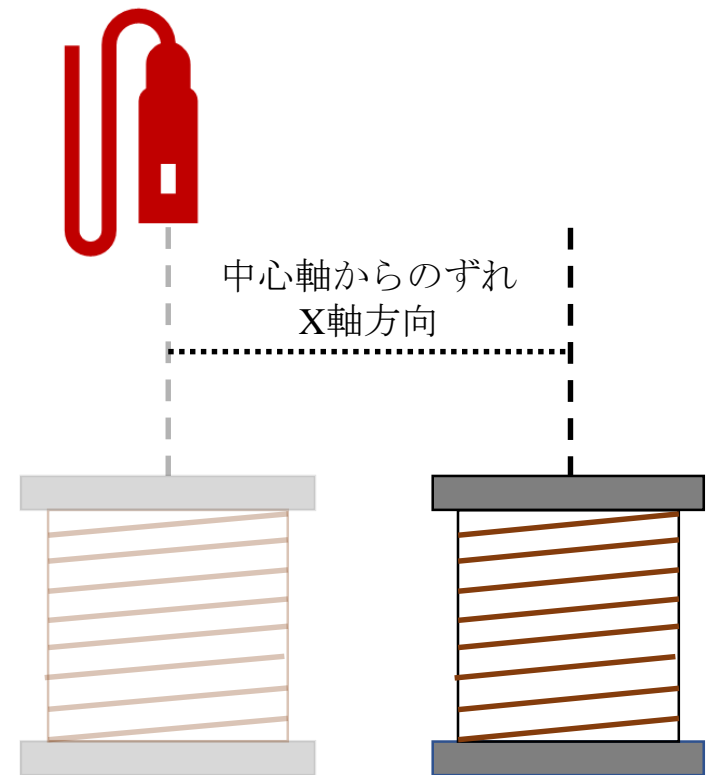
3軸磁束計



コイル



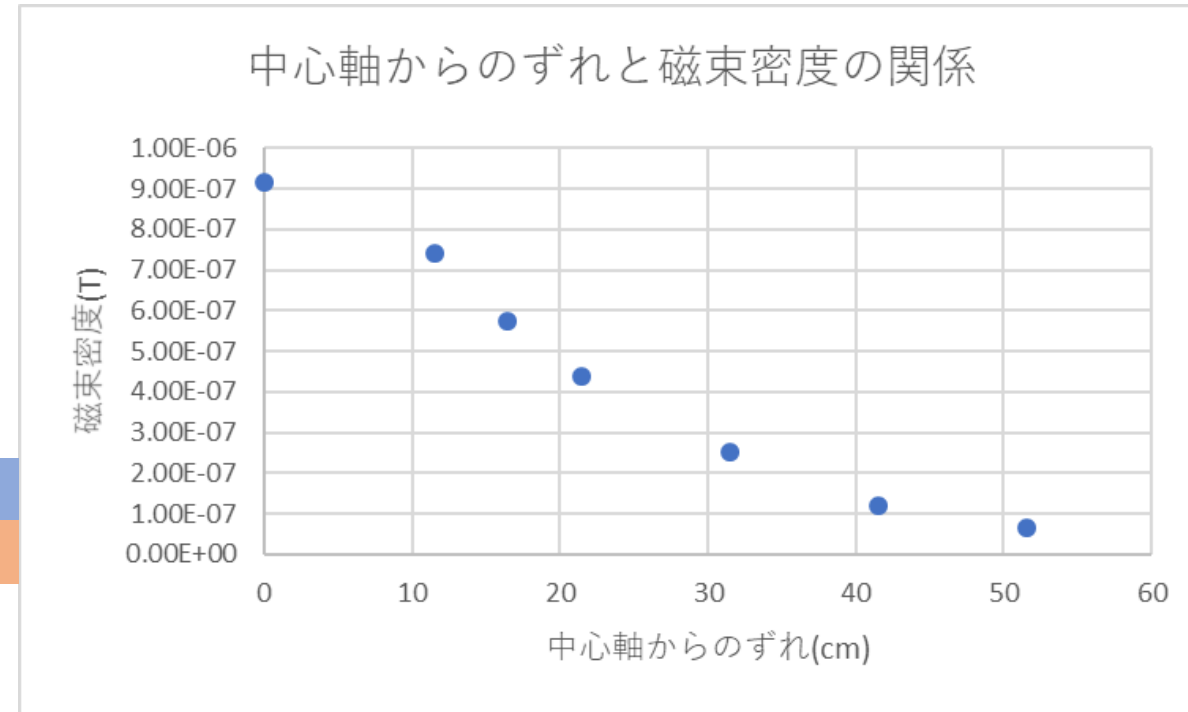
3軸磁束計



コイル

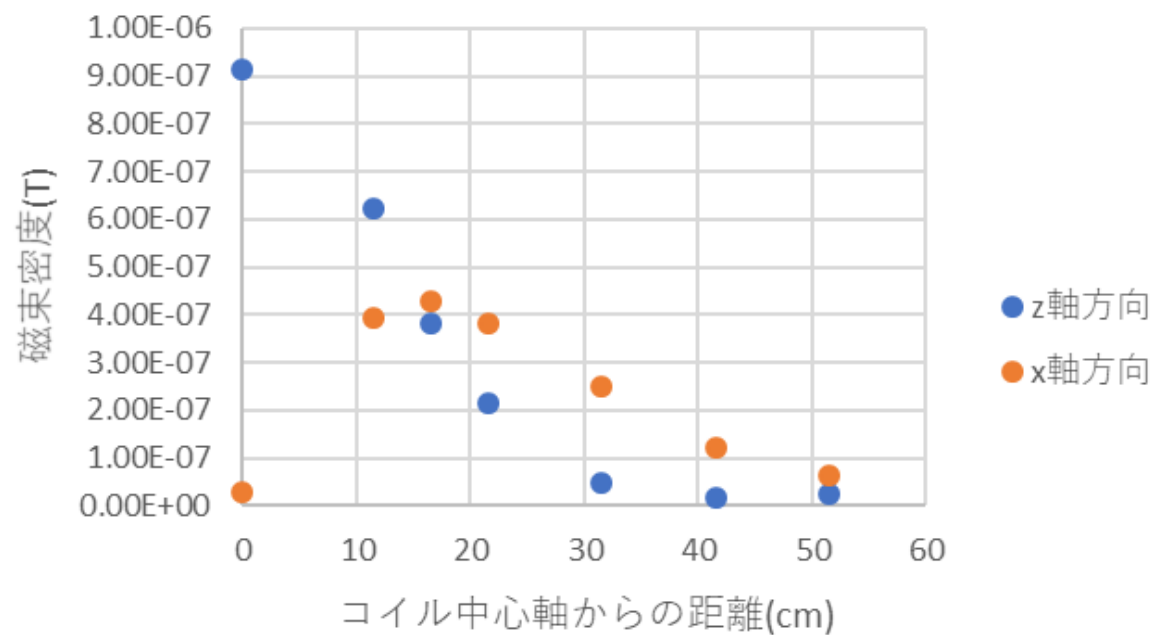
坑内実験3の結果

中心軸からのずれ(cm)	x	y	z	磁束密度(T)	
0	3.02E-08	9.39E-09	9.15E-07	9.16E-07	
11.5	3.93E-07	1.03E-07	6.21E-07	7.42E-07	
16.5	4.29E-07	4.03E-08	3.82E-07	5.76E-07	
21.5	3.80E-07	1.39E-08	2.14E-07	4.36E-07	
31.5	2.48E-07	1.00E-08	4.76E-08	2.53E-07	
41.5	1.20E-07	3.06E-09	1.71E-08	1.21E-07	x < z
51.5	6.22E-08	9.89E-10	2.38E-08	6.66E-08	x > z

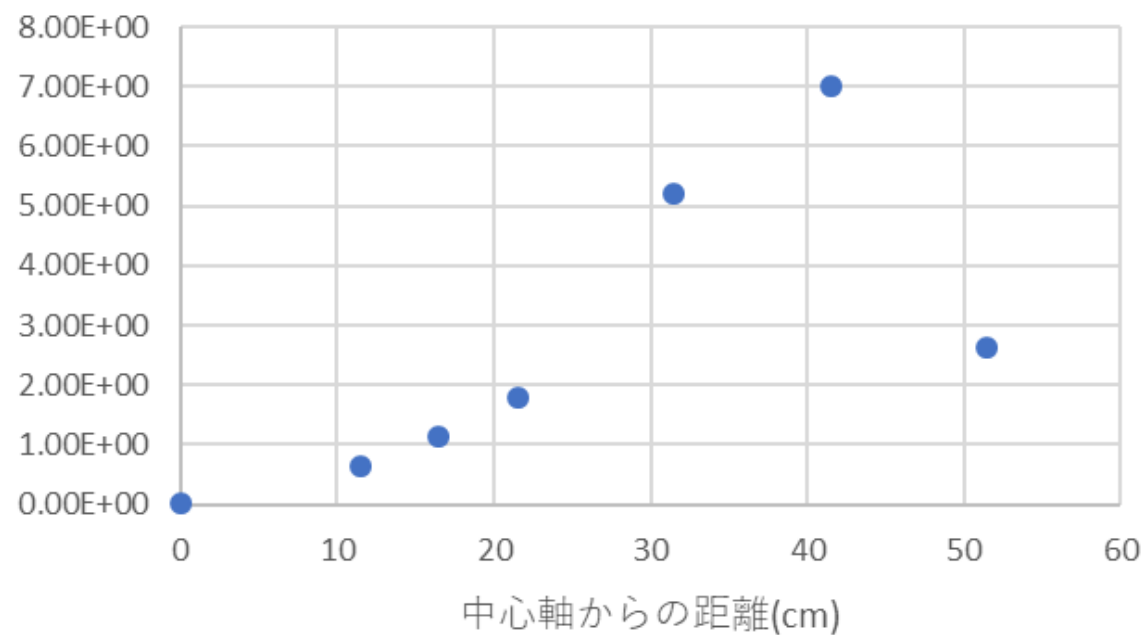


坑内実験3の結果

x、z軸方向の磁束密度



x軸方向/z軸方向



坑内実験3の考察

- キャリブレーションが正しいことを確認してから実験を行ったため、検出された磁束密度は正しいと考えられる。
- コイル中心軸とのずれがない点に関して、理論値とのずれがあるが、USB磁束計での計測結果も回路室と異なっていたため坑内での実験に何らかの要因があると考えられる。
- コイル中心軸からの距離51.5cmにおいて、中心軸から離れるほどz軸方向の磁束に対するx軸方向の磁束の割合が高くなる傾向がみられなかったのは、磁束密度のオーダーが下がり、環境ノイズの影響を受けた可能性があると考えられる。

坑内実験3の考察

- 結果より、コイルからのz軸方向の距離20cmにおいて、コイルの半径+30cm程度までの範囲には今回目標としている 10^{-7} オーダーの値が出ているため、インジェクションの際に考慮する必要がある。
- y軸の値が大きくなっているデータはコイルを移動させる際にy軸方向にも動かしてしまったことや、計測の際に磁束計の軸の向きが変わってしまったことが考えられ、実際のx軸の値は出力された値より高くなることが考えられる。

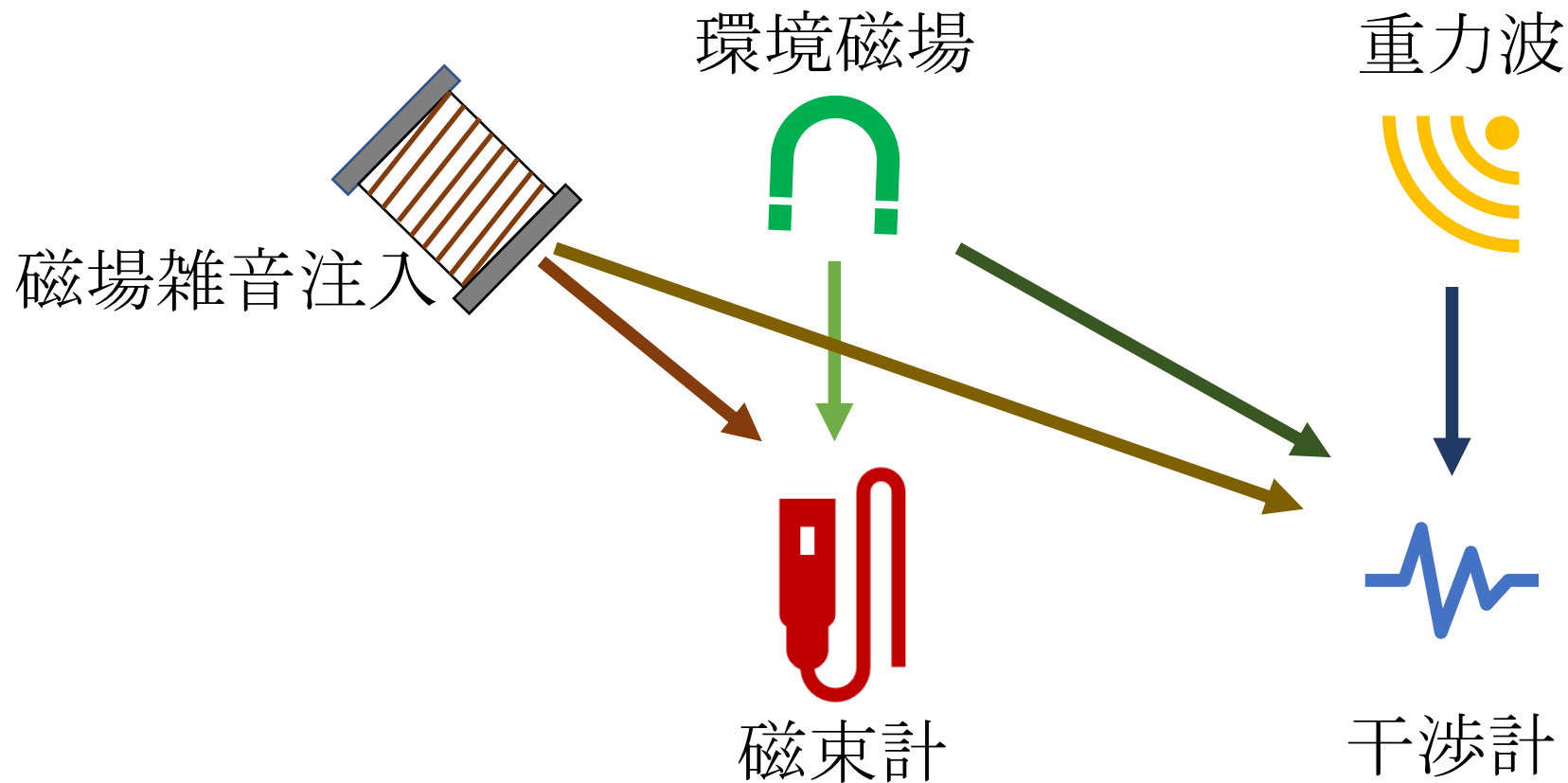
まとめ・今後の展望

- ここまでの実験でコイルの評価を行う実験は概ね行った。
- 理論値からのずれも見られるが、コイルとして特性を持っていることは確認できた。環境ノイズの評価を行う上で、正確な計測が出来ていれば、コイルがそこまで正確である必要はない。
- 今後は実際にインジェクションを行って干渉計の弱点を探していきたい。

付録

環境雑音注入試験

- 意図的に環境雑音を増幅して、その影響を調べることによって環境ノイズの影響を評価する方法が環境雑音注入試験である。



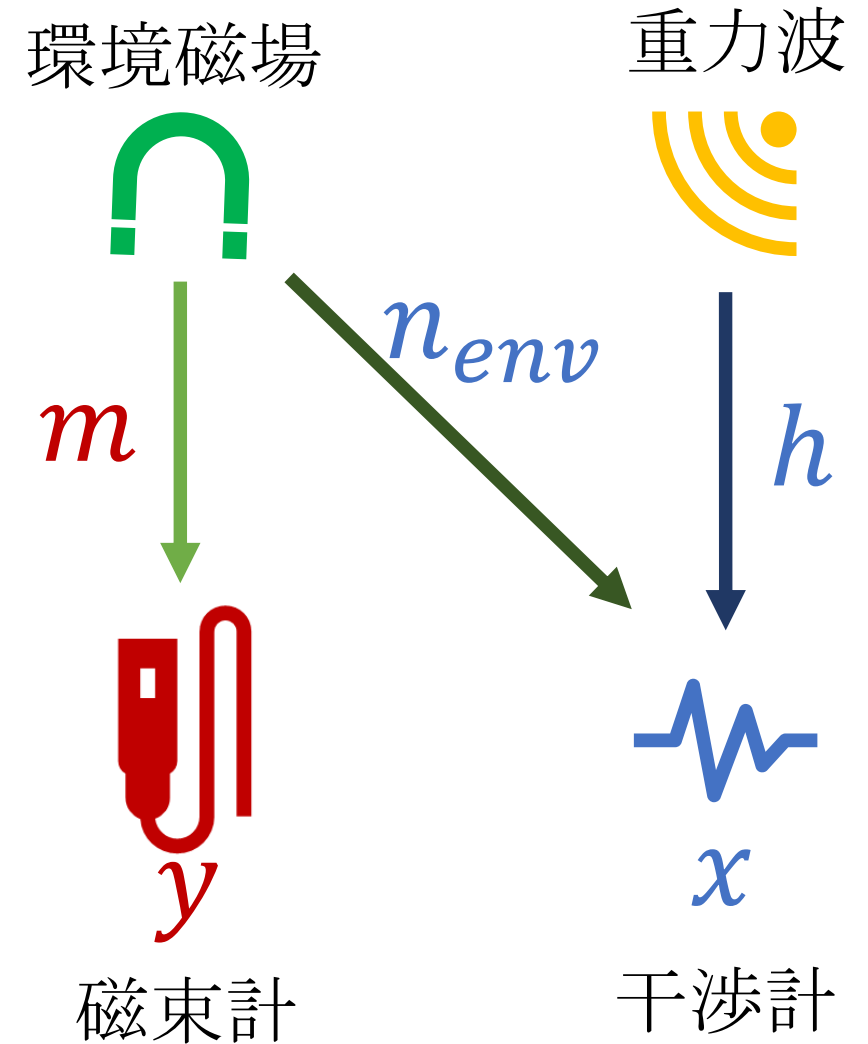
環境雑音注入試験

- 干渉信号を $x(f)$ 、重力波を $h(f)$ とし、評価する環境雑音を $n_{env}(f)$ とする。

$$x^2 = h^2 + n_{env}^2$$

- 磁束計の信号を $y(f)$ 、環境磁場を $m(f)$ とする。

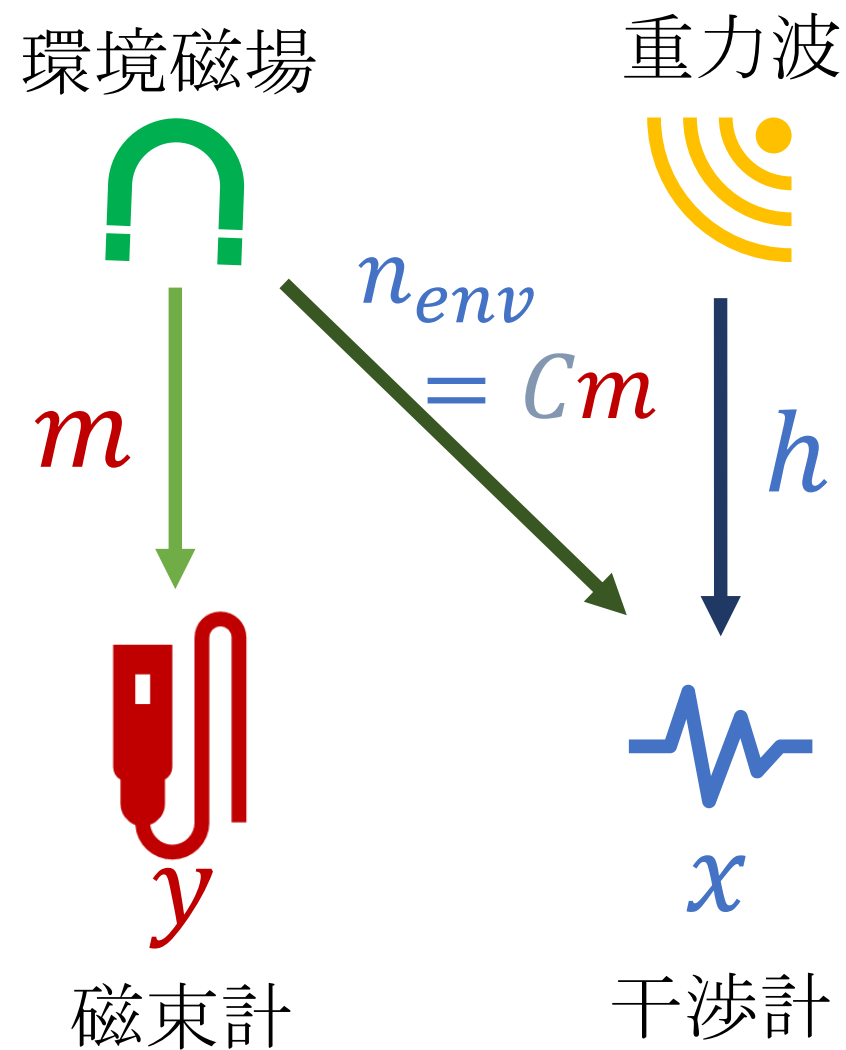
$$y = m$$



環境雑音注入試験

- カップリングファンクション $C(f)$ を用いて、環境雑音 $n_{env} = Cm$ と書けるとすると、干渉信号は

$$\begin{aligned} x^2 &= h^2 + n_{env}^2 \\ &= h^2 + C^2 m^2 \end{aligned}$$

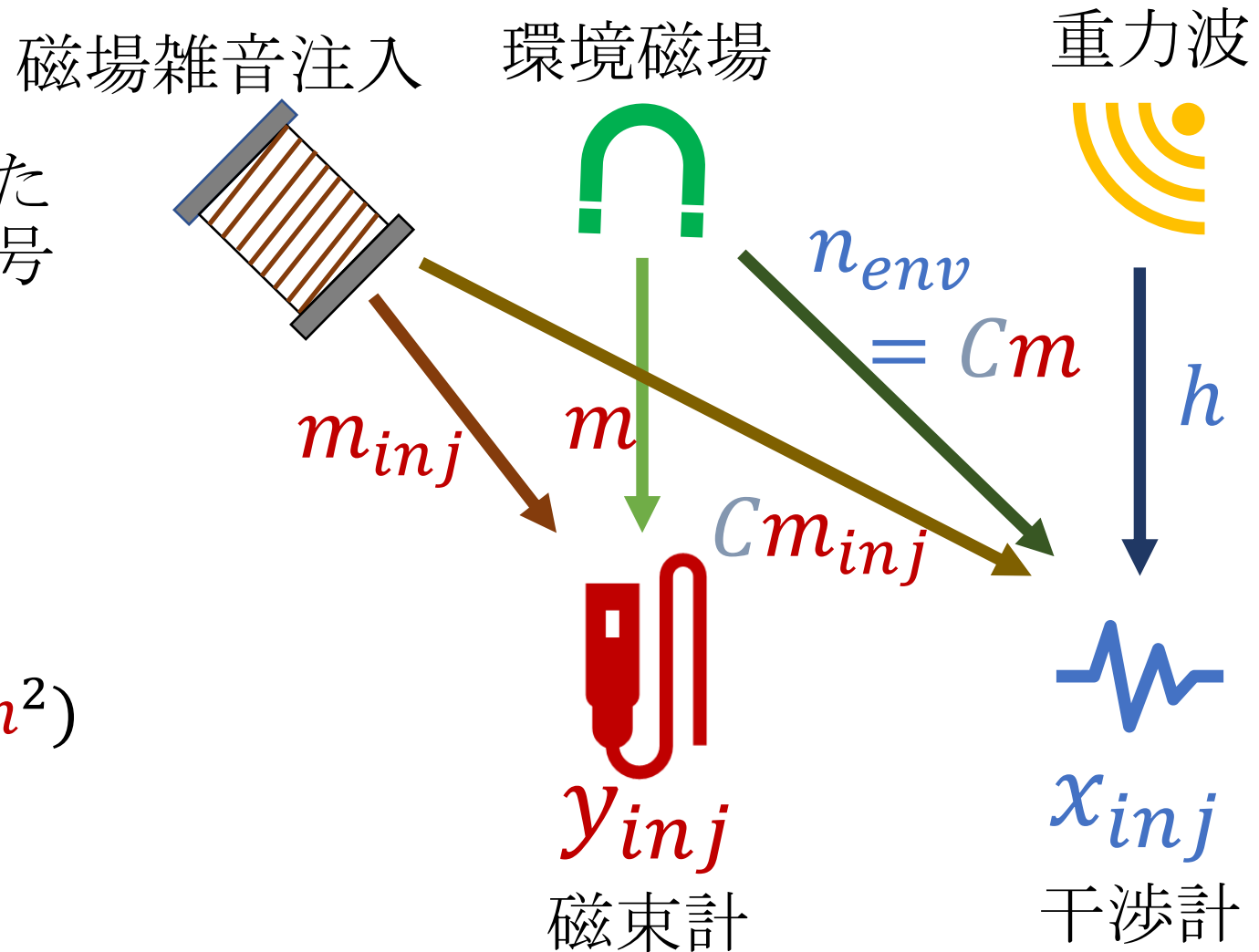


環境雑音注入試験

- 磁場雑音をインジェクションした際の磁束計の信号と干渉計の信号についてはそれぞれ

$$y_{inj}^2 = m^2 + m_{inj}^2$$

$$x_{inj}^2 = h^2 + C^2(m_{inj}^2 + m^2)$$



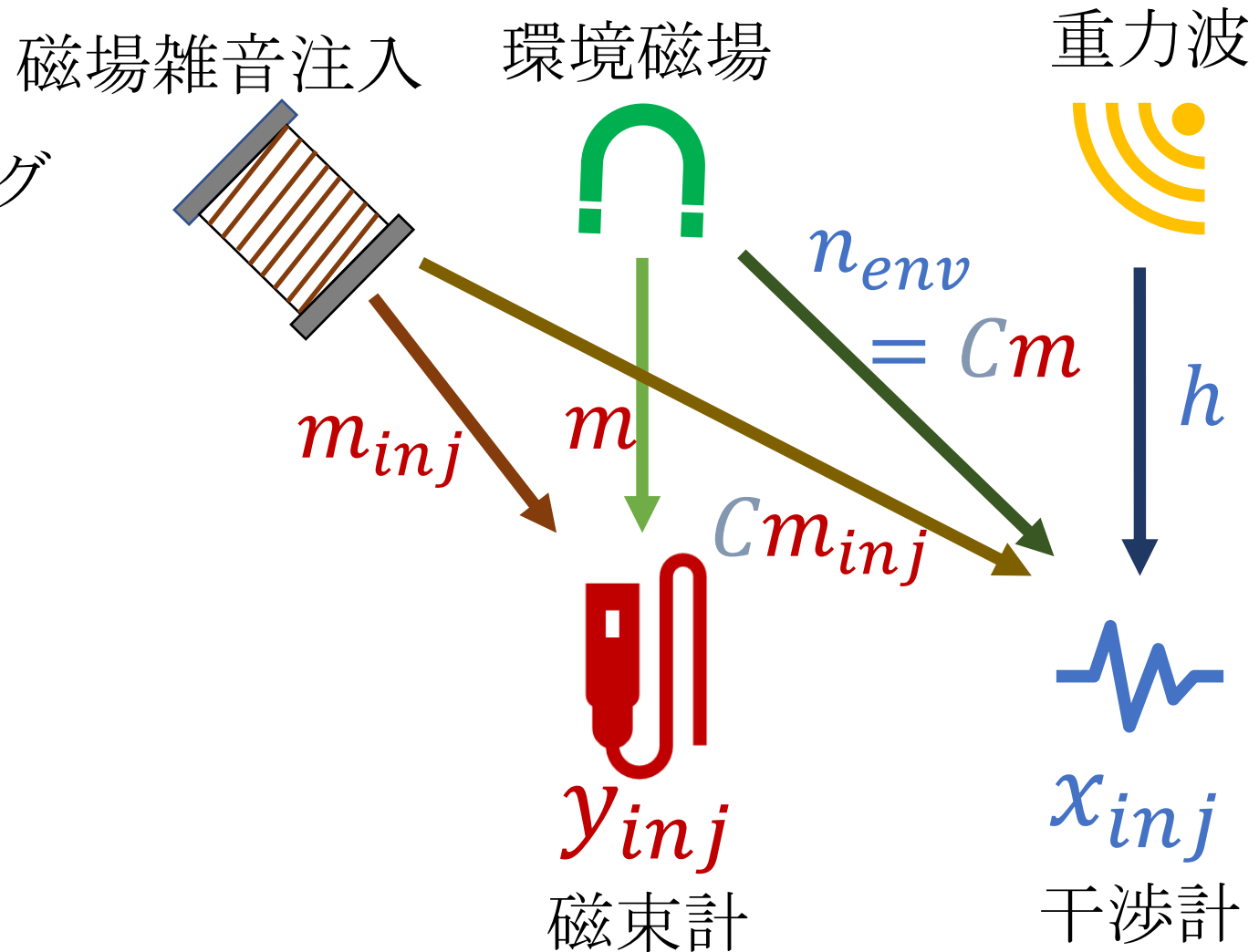
環境雑音注入試験

- これらを計算するとカップリング
ファンクションは

$$C = \sqrt{\frac{x_{inj}^2 - x^2}{y_{inj}^2 - y^2}}$$

- 環境磁場ノイズは

$$n_{env} = \sqrt{\frac{x_{inj}^2 - x^2}{y_{inj}^2 - y^2}} y$$



dBからTへの変換

USB磁束計の出力はdBの整数値 B_{dB} である。

今回、磁束計が示しているdBは磁束計が磁束を感知して出力する電圧 V_{out} と基準電圧 V_{ref} の電圧比を示したものである。

今回使用したUSB磁束計の基準電圧 V_{ref} は1Vである。

今回使用した磁束計の感度は4mV/ μ T

dBからTへの変換

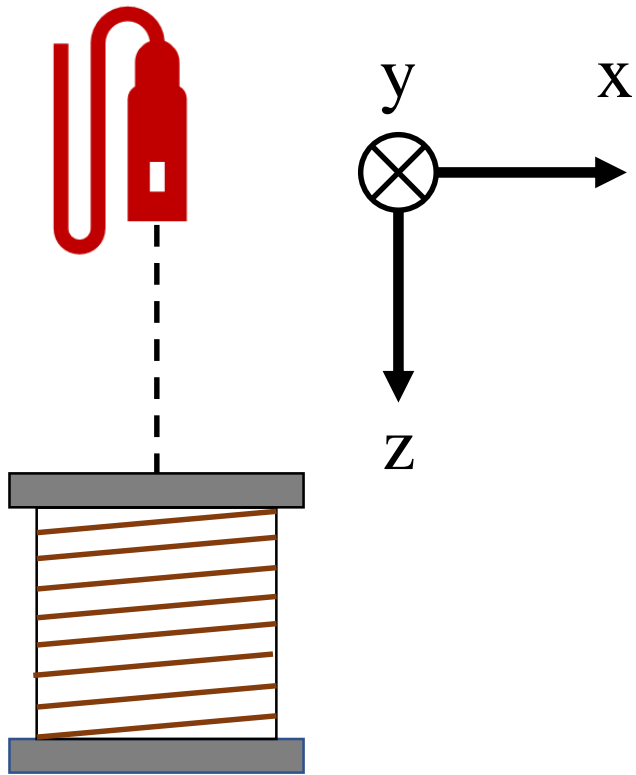
USB磁束計のdB出力値 B_{dB} $B_{dB} = 20 \log_{10} \frac{V_{out}}{V_{ref}}$

USB磁束計の出力電圧 V_{out} $V_{out} = 10^{B_{dB}/20}$

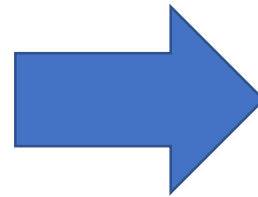
磁束密度の値 B $B = \frac{V_{out}}{0.004} * 10^{-6}$

坑内実験2のイメージ

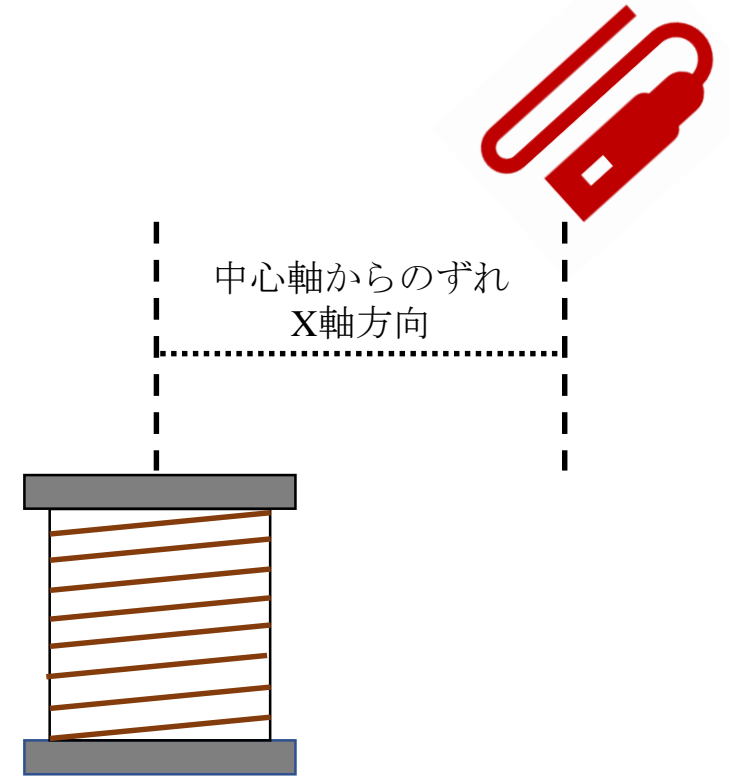
1軸磁束計



コイル



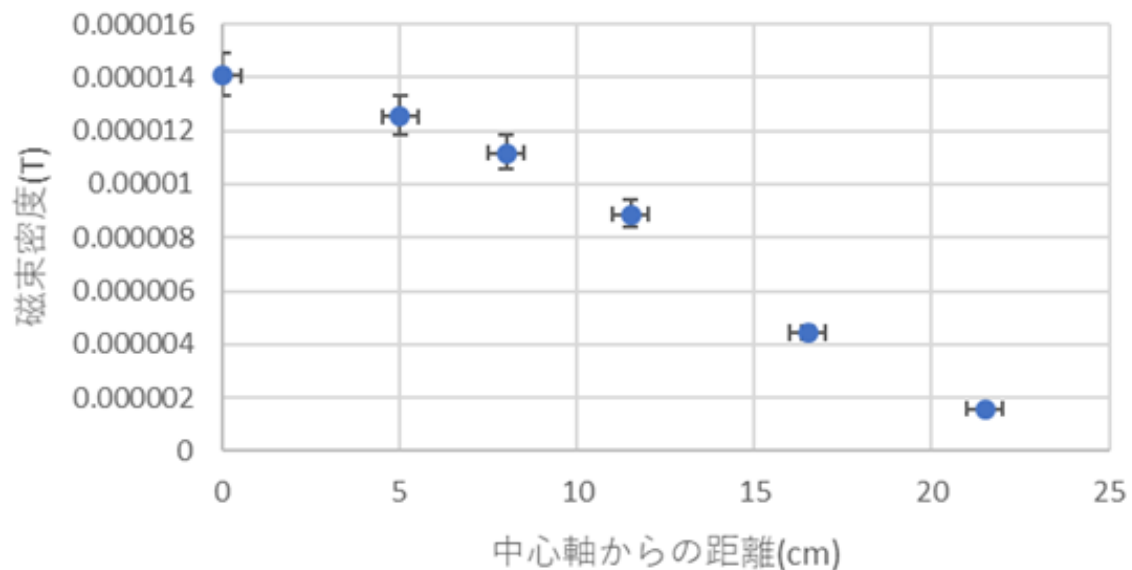
1軸磁束計



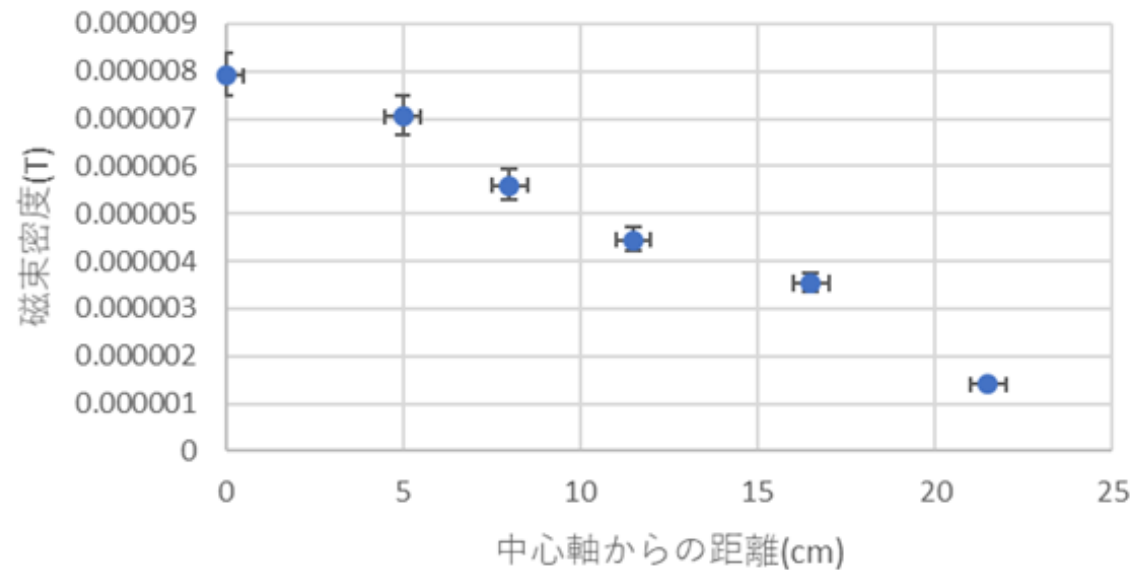
コイル

坑内実験2の結果

コイルからの距離5cm(0.05V)

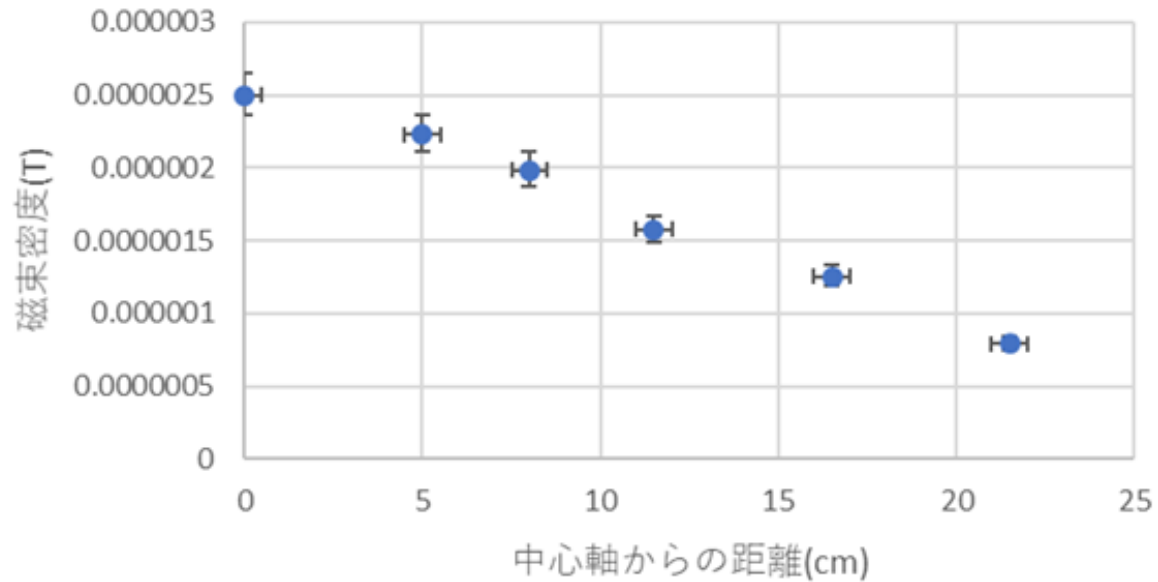


コイルからの距離10cm(0.05V)

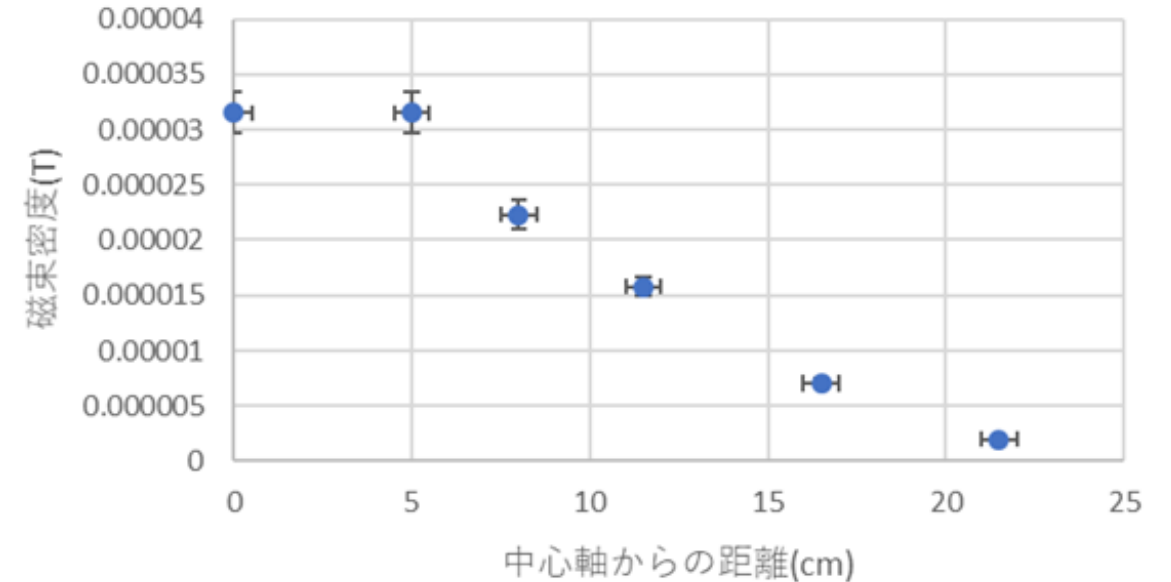


坑内実験2の結果

コイルからの距離20cm(0.05V)

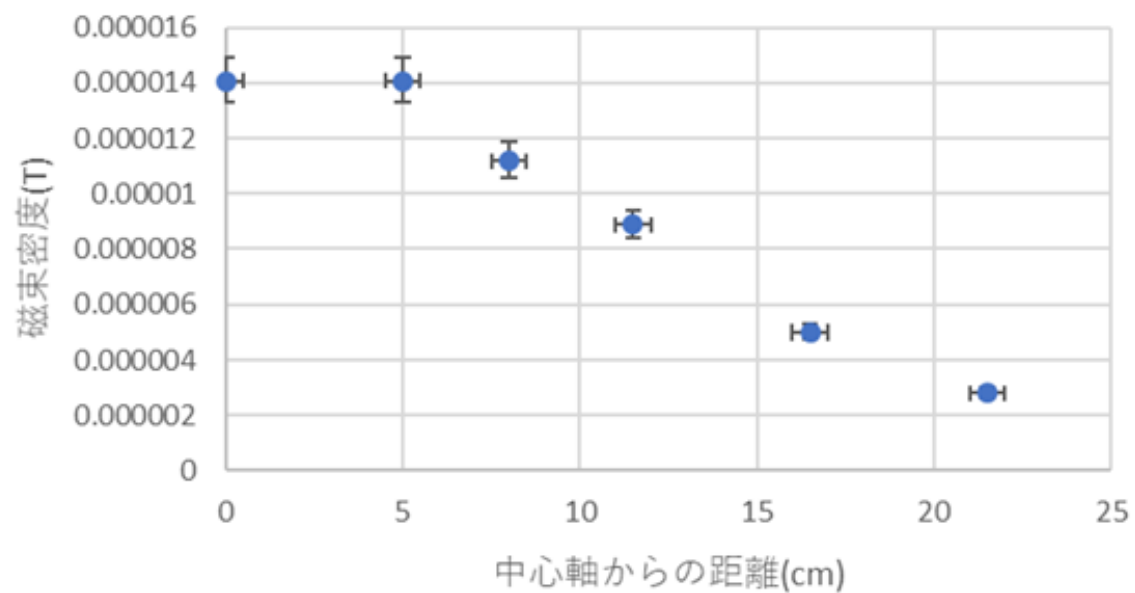


コイルからの距離5cm(0.1V)

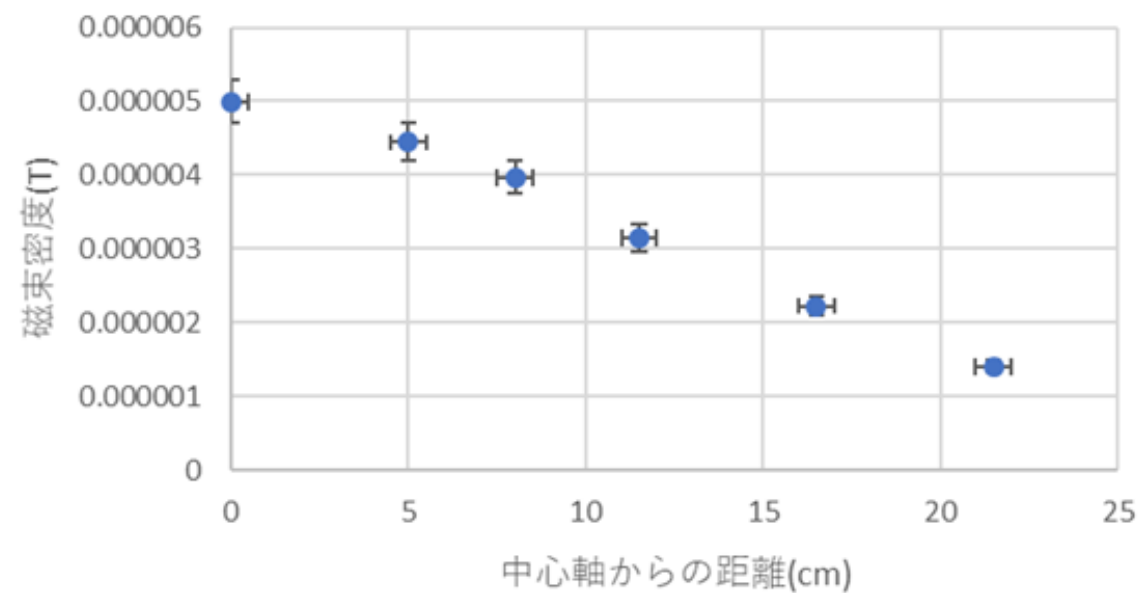


坑内実験2の結果

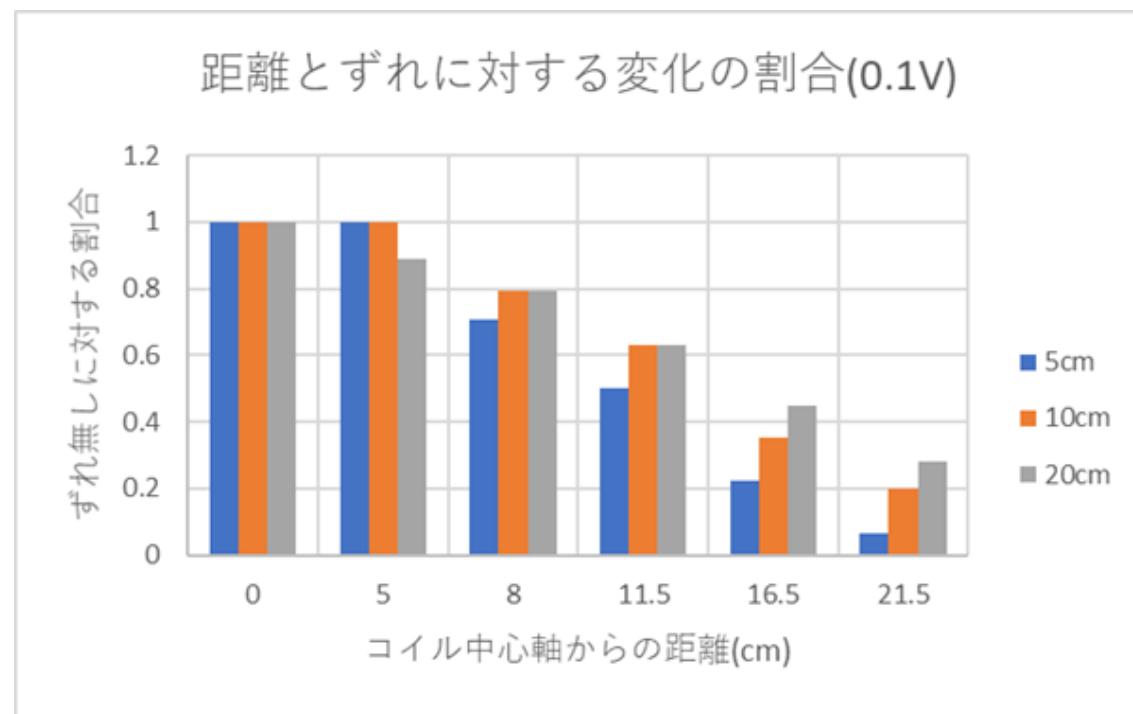
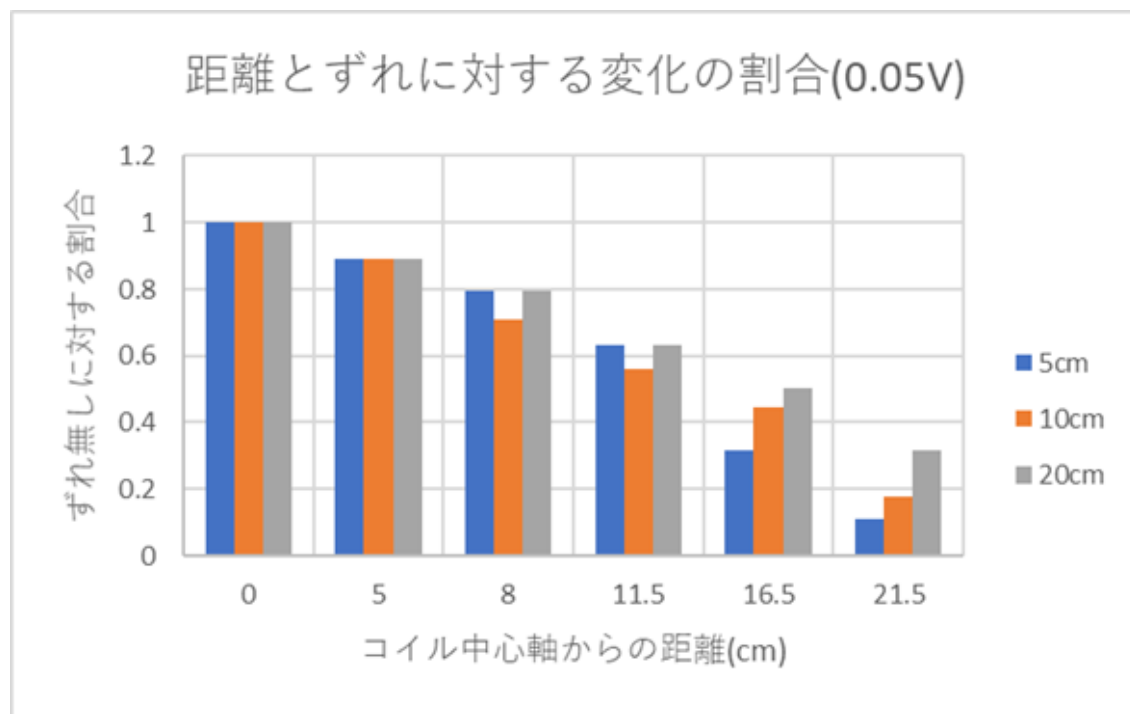
コイルからの距離10cm(0.1V)



コイルからの距離20cm(0.1V)



坑内実験2の結果



坑内実験2の考察

コイル外部である16.5、21.5cmにおけるデータに注目



コイルからの距離が遠くなるとコイルの外部にコイルが作り出す磁束密度が影響を与える範囲も大きくなる。