

2 電流が作る磁界の測定

1 目的

直線電流と円形電流が作る磁界の強さを測定し、電流と磁界の強さとの関係を確認する。

2 準備

方位磁針(伏角方位計, クリノメーター)、直流安定化電源装置(20V, 6A)、電流計(5A, 300mA)、大型円形コイル(直径約35cm)、すべり抵抗器

3 方法

- (1) 図1のように、導線を南北に張り、その導線の真下に方位磁針を水平に置く。導線と方位磁針との距離を3.0cmから10.0cmまで、1.0cmごとに変化させ、各距離において、電流を0.50Aから5.00Aまで0.50Aごとに変えて方位磁針の北からの振れの角を測定する。
- (2) 図2のように、大型円形コイルの軸を東西に向け、円形コイルの中心に方位磁針を置く。
 - ア コイルの中心から磁針を上方に3.5cmずつ変化させ、各位置におけるコイルの電流を30mAから300mAまで30mAごとに変えて方位磁針の北からの振れの角を測定する。
 - イ コイルの中心から磁針を東向きに2.0cmずつ移動させて方位磁針の北からの振れの角を測定する。



図1 直線電流が作る磁界

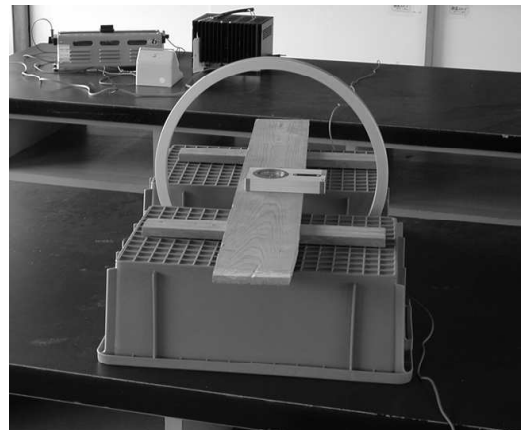


図2 円形電流が作る磁界

4 結果と考察

(1) 直線電流が作る磁界

直線電流が作る磁界 H [A/m]は、電流の大きさを I [A]、電流からの距離を r [m]として、 $H = I / (2 \pi r)$ の式で表される。この実験では方位磁針として伏角方位計を用いた。角度の最小目盛りは 1° である。電流が作る磁界の強さ H は、その地点における地磁気の水平成分を H_0 、磁針の振れの角を θ とすると、 $H = H_0 \tan \theta$ で表される。表1に結果を示す。

距離 [cm]	電流 [A]	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
3.0	$\theta [^\circ]$	9.0	16.6	23.6	29.2	34.2	38.4	42.2	46.0	49.0	51.6
	$\tan \theta$	0.158	0.298	0.437	0.559	0.630	0.793	0.907	1.036	1.150	1.262
4.0	$\theta [^\circ]$	6.8	13.6	19.2	24.6	29.6	33.6	37.6	41.6	44.4	47.8
	$\tan \theta$	0.119	0.242	0.348	0.458	0.568	0.664	0.770	0.888	0.979	1.103
5.0	$\theta [^\circ]$	5.2	10.6	15.8	20.8	25.0	29.0	33.2	36.6	40.0	43.4
	$\tan \theta$	0.091	0.187	0.283	0.380	0.466	0.554	0.654	0.743	0.839	0.946
6.0	$\theta [^\circ]$	5.0	9.8	14.2	18.6	23.0	27.0	30.8	33.8	37.4	40.2
	$\tan \theta$	0.087	0.173	0.253	0.337	0.424	0.510	0.596	0.669	0.765	0.851
7.0	$\theta [^\circ]$	3.8	7.8	12.0	15.8	19.6	23.4	26.8	29.8	33.2	36.2
	$\tan \theta$	0.066	0.137	0.213	0.283	0.356	0.433	0.505	0.573	0.654	0.732
8.0	$\theta [^\circ]$	3.6	6.8	10.6	13.8	17.2	20.0	23.6	26.8	30.0	33.0
	$\tan \theta$	0.063	0.119	0.187	0.246	0.310	0.364	0.437	0.505	0.577	0.649
9.0	$\theta [^\circ]$	2.6	5.8	8.8	11.8	15.0	18.2	21.0	24.0	26.8	29.4
	$\tan \theta$	0.045	0.102	0.155	0.209	0.268	0.329	0.384	0.445	0.505	0.563
10.0	$\theta [^\circ]$	3.2	5.8	8.6	11.6	14.4	17.0	20.0	22.6	25.2	28.0
	$\tan \theta$	0.056	0.102	0.151	0.205	0.257	0.306	0.364	0.416	0.471	0.532

表 1

表 1 より、各距離 r [cm]における電流 I [A]と、電流が作る磁界 H [A/m]を H_0 で割った値 $H/H_0 = \tan \theta$ とのグラフを図 3 に示す。

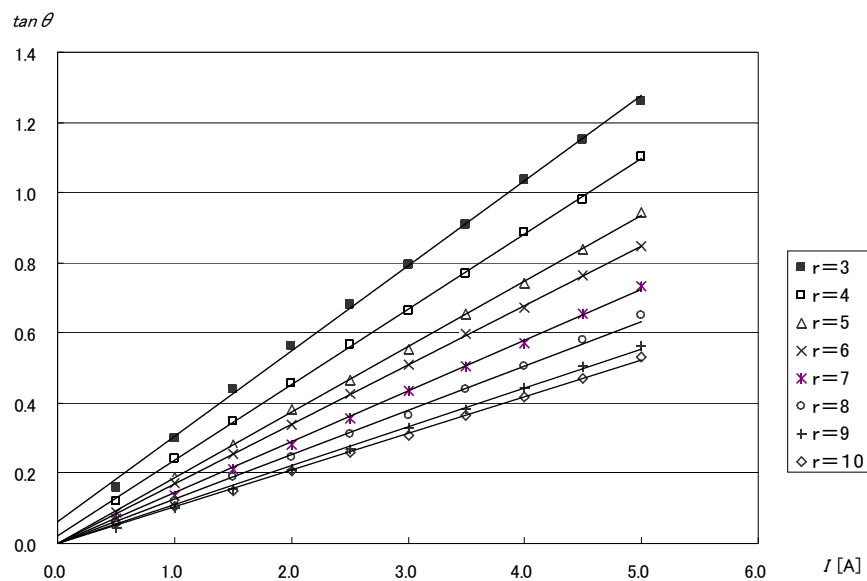


図 3

図 3 より、 $r = 5$ cm以上では、電流がつくる磁界 (H)と導線を通る電流 (I)との間には

比例関係 ($H \propto I$) があるといえる。しかし、導線と磁針との距離が近い (3, 4, 5 cm) の場合は、グラフが原点を通る直線になっていない。これは、磁針 (長さ 7.5 cm) の振れ角が大きくなるに従って、導線と磁針との距離が最初の状態に比べて大きく変化するためであると考えられる。

電流が作る磁界 H と方位磁針と導線との距離 r との関係調べるために、各電流値における $1/r$ と H/H_0 とグラフを図 4 に示す。ただし、図 3 のグラフからわかるように、 r の値が 3 ~ 5 cm では r の値が最初の設定値から大きく変化するため、図 4 のグラフのデータからは省いてある。図 4 より、 H と $1/r$ との間には比例関係 ($H \propto 1/r$) があるといえる。

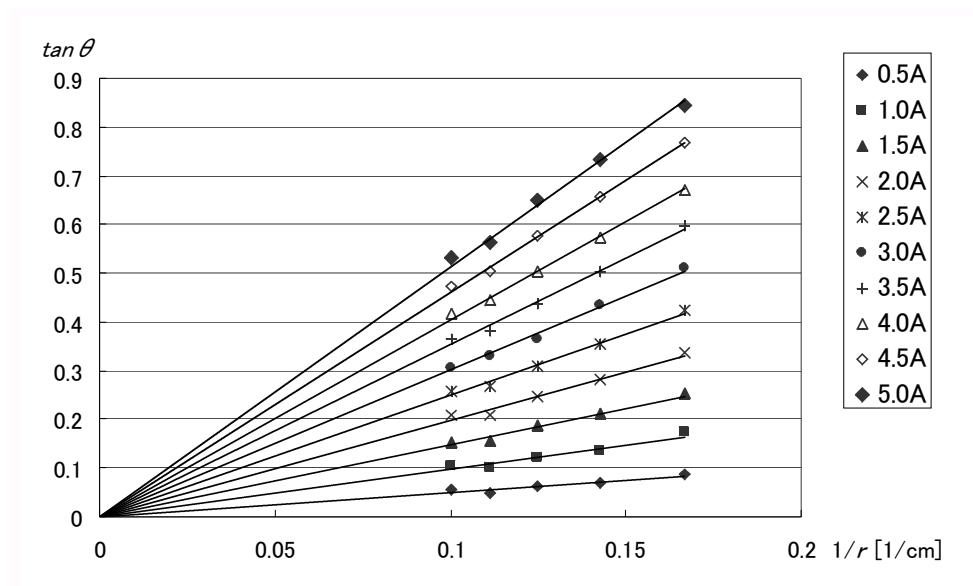


図 4

2つのグラフより、 $H/H_0 = k \cdot (I/r)$ の関係式がいえるので、図 4 の各直線の傾きと電流の関係を表 2 と図 5 に示す。ただし、 r の単位は m にしてある。図 5 の直線の傾きから、 $k = 6.4 \times 10^{-3}$ の値が求まる。 $H = I / (2 \pi r)$ の式と k の値より、 $H_0 = 24.9 \text{ A/m}$ の値が得られる。

電流 [A]	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
傾き	0.0099	0.0149	0.0199	0.0250	0.0301

表 2

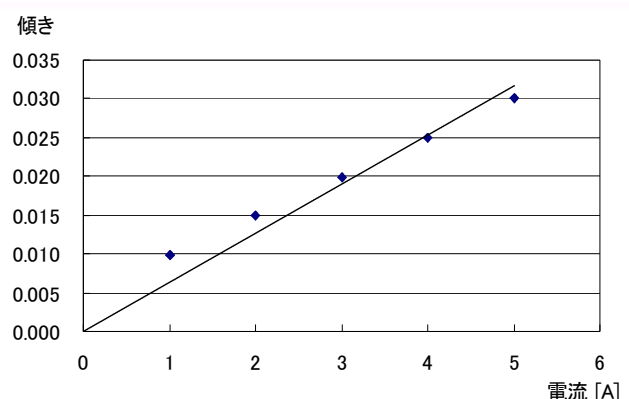


図 5

(2) 円形電流が作る磁界

円形電流がその円の中心に作る磁界は円の半径を R として、 $H = I / (2R)$ の式で表される。この実験では円形コイル (44 回巻、巻いてあるコイルの平均半径 $R = 17.4 \text{ cm}$) と方位磁針

としてクリノメーター(角度の最小目盛り 2° , 磁針の長さ2.6cm)を用いた。これは磁針の回転によって磁針の位置が大きく変化しないためである。表3と表4に(ア)と(イ)の結果を示す。表内の距離は、磁針とコイルの中心間の距離である。なお、実験(イ)では、電流の値が0.15Aと0.20Aの場合だけ測定した。

距離 [cm]	電流 [A]	0.030	0.060	0.090	0.120	0.150	0.180	0.210	0.240	0.270	0.300
0.0	$\theta [^\circ]$	10	21	36	38	44	49	53	56	59	62
	$\tan \theta$	0.18	0.38	0.73	0.78	0.97	1.15	1.33	1.48	1.66	1.88
3.5	$\theta [^\circ]$	13	23	33	39	45	50	54	58	60	63
	$\tan \theta$	0.23	0.42	0.65	0.81	1.00	1.19	1.38	1.60	1.73	1.96
7.0	$\theta [^\circ]$	14	25	34.5	42	49	53	57	61	63.5	66
	$\tan \theta$	0.25	0.47	0.69	0.93	1.15	1.33	1.54	1.80	2.01	2.25
10.5	$\theta [^\circ]$	16	30	39	47.5	54	58	62	64	66	68
	$\tan \theta$	0.29	0.58	0.81	1.09	1.38	1.60	1.88	2.05	2.25	2.48
14.0	$\theta [^\circ]$	27	42	53	61	65	68	71	73	75	76
	$\tan \theta$	0.51	0.90	1.13	1.80	2.14	2.48	2.90	3.27	3.73	4.01

表 3

電流 [A]	距離 [cm]	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
0.15	$\theta [^\circ]$	45	44	43	41	38	33	30	26	22	18	17
	$\tan \theta$	1.00	0.97	0.93	0.87	0.78	0.65	0.58	0.49	0.40	0.32	0.31
0.20	$\theta [^\circ]$	53	53	51	50	46	41	37	33	28	24	21
	$\tan \theta$	1.33	1.33	1.23	1.19	1.04	0.87	0.75	0.65	0.53	0.45	0.38

表 4

表3の結果をグラフにしたものが図6である。このグラフより、 $\tan \theta$ と電流 i (実際に磁界を作る電流は i にコイルの巻数44を掛けた値)の間には比例関係 ($\tan \theta = H/H_0 = k \cdot i$)があることがわかる。この式から、 $H = k \cdot H_0 \cdot i$ になり、各 r での k の値(直線の傾き)を求めたものが表5である。

r [cm]	0.0	3.5	7.0	10.5	14.0
傾き	6.59	6.59	7.48	8.59	13.79
傾きの比	1.00	1.00	1.14	1.30	2.09

表 5

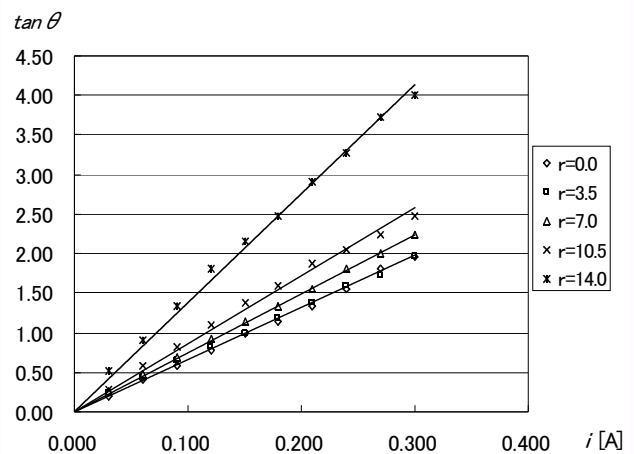


図 6

各 r での H の比は k の比で与えられ、 r と H の比 ($r=0$ の H を 1 とする) のグラフを図 7 に示す。また、Biot-Savart の法則を用いて、各 r における H の比を表計算ソフトで求めたものを図 8 に示す。

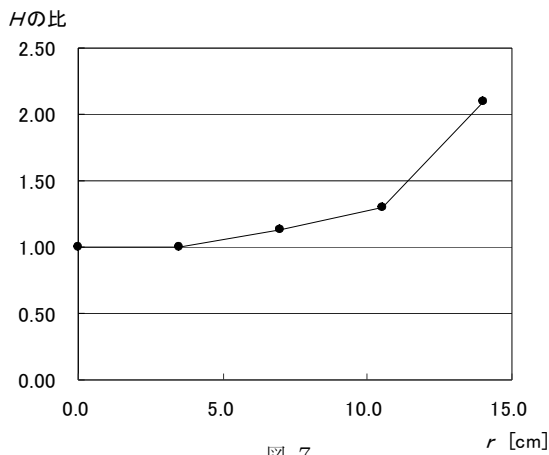


図 7

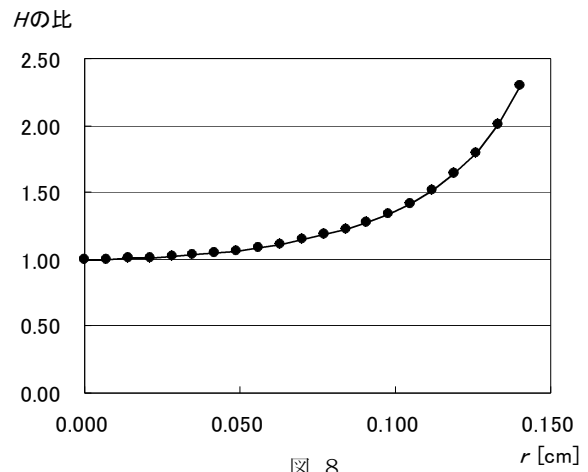


図 8

実験結果と理論値との傾向は非常によく似ている。このグラフから、円形コイルの断面内では半径の25%以内では磁界の強さがほぼ一定(中心の磁界の強さの4%ほどしか変化しない)であることがわかる。また、コイルの中心における磁界の強さ H は、コイルの巻数を N として $H = N \cdot i / (2R)$ と表されるので、 $k \cdot H_0 \cdot i = N \cdot i / (2R)$ から $H_0 = N / (2Rk)$ が導かれる。この式に実際の値を代入すると $H_0 = 19.2 \text{ A/m}$ が計算できる。しかし、この値は(1)で求めた 24.9 A/m とはかなり異なっている。

表 4 の結果をグラフにしたものが図 9 である。コイルの軸状における磁界の強さ H は、次の式 $H = R^2 \cdot N \cdot I / \{2(R^2 + r^2)^{3/2}\}$ で求めることができる。この式を用いて H を計算したグラフが図 10 である。2つのグラフはかなり似ているといえる。また、 $H_0 = 19.2 \text{ A/m}$ を用いて H を計算すると、その値は公式で求めた値にかなり近くなる。

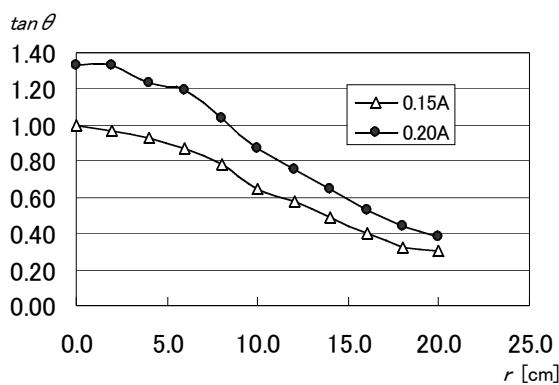


図 9

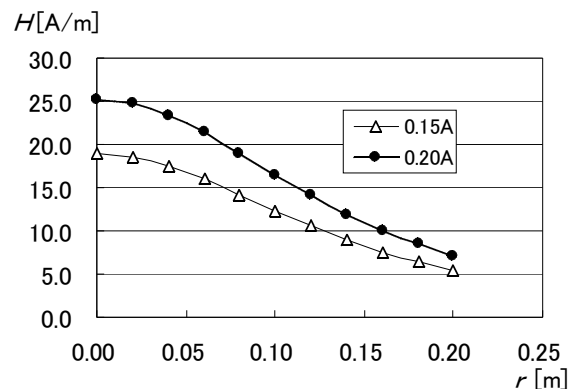


図 10

5 発 展

円形コイルが1つだけでなく、2つのコイルをコイルの半径分だけ隔てて向かい合わせておいた場合(ヘルムホルツコイル)の中心付近の磁界の強さを調べる。