電子システム工学基礎実験　報告書

グループ：　A

実験題目　変位電流

報告者　第　1　班　　学生番号　21121001　　氏名　浅井 雅史

メールアドレス　b1121001@edu.kit.ac.jp

共同実験者

学生番号	21121002	氏名	浅岡 駿介
学生番号	21121007	氏名	伊藤 大智
学生番号	21121008	氏名	井上 翔陽
学生番号		氏名	

実験実施日　2022　年　12　月　01　日　天候　曇り　温度　10　℃　湿度　55　%

報告書提出　（第１回目）　2022　年　12　月　07　日　⇒　受理　／　要再提出

（第２回目）　　年　　月　　日　⇒　受理　／　要再提出

報告書受理日　（最終）　　年　　月　　日

報告書提出者の自己チェック欄（できていれば☐にチェックせよ）

☑実験結果は示されているか？
☑図表の書き方・まとめ方は適切か？
☑考察は十分になされているか？
☑演習問題はできているか？
☑レポートとしての体裁は適切か？

[注意]　・自己チェック欄が未記入のレポートは内容を見ずに返却する
・自己チェック欄と内容に相違があるものは、その程度に応じて減点する

[報告書に対する教員の所見]	[所見に対する報告者の回答]
☐図表の体裁に不備がある (　　　　) ☐実験結果のまとめ方が適切でない (　　　　) ☐結果に対する考察が不足している (　　　　) ☐演習問題が解答されていない (　　　　) ☐レポートとしての体裁が整っていない (　　　　) 裏面に続く	裏面に続く

1　目的

アンペア・マクスウェルの法則に関する実験を行い，変位電流 (密度) の理解を深める．

2　原理

変位電流密度 $\vec{i_d}$ とは電束 $\vec{D}$ の時間変化であり，以下の式で与えられる．

$$\vec{i_d} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

また，平行平板への電圧限として交流を与え場合について考える．微小区間 Δx 離れた二点での電位を測定すると電場は，$|\vec{E}| = \frac{\Delta V}{\Delta x}$ で計算でき，電束密度を $\vec{E} = \epsilon \vec{D}$ と仮定できる．したがって，変位電流密度 $\vec{i_d}$ は以下の式で与えられる．

$$|\vec{i_d}| = |\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}| = \epsilon |\frac{\partial}{\partial t}(\frac{\Delta V}{\Delta x})| = \frac{\epsilon}{\Delta x}|\frac{\partial}{\partial t}(\Delta V)|$$

ここで，平行平板に印加する V の角周波数を ω とすると，$V \propto \sin \omega t$ と書けるので，平行平板電極の面積を S．二点での電位をそれぞれ $V_1 = A \sin \omega t$，$V_2 = B \sin \omega t$ とすると変位電流の大きさ I_{dmax} は以下の式で求められる．

$$|I_{dmax}| = \frac{\epsilon}{\Delta x}|(A - B)\omega|$$

また，ロゴスキーコイルにおいてロゴスキーコイルの両端に現れる誘導電圧を $V_e(t) = C \sin \omega t$ とすると，変位電流の大きさ I_d は以下の式で求められる．

$$|I_{dmax}| = -|\frac{l}{\mu_0 NS}\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} V_e(t)dt| = \frac{l}{\mu_0 NS} \cdot \frac{C}{\omega}$$

3　実験

3.1　実験装置及び器具

木製台，プローブ支持台，ガラス製水槽，平行平板電極，静電プローブ，METRONIX　MTR18-1 交流定電圧定電流電源、TEKTRONIX　TBS1022 オシロスコープ，ロゴスキーコイル，抵抗 (220kΩ)，セメント抵抗 (1 Ω)

3.2　セットアップ

図 1 のように平行平板電極を水に入れた水槽の外側に配置し，電極板に交流を印加する．

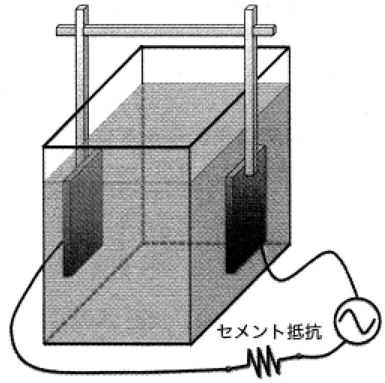

図 1　平行平板を水槽の外に配置した場合の実験配置図

3.3 二本のプローブによる測定

1. 図 2 のように水槽に二本のプローブを差し込む．一つはプローブ支持台を用いて固定し，もう一つはテープで固定する．その間隔 Δx は〜1cm 程度に保ち，Δx の値を測定しておく．
2. 発振周波数は最も高い周波数 (1MHz) からスタートし, 徐々に (50k〜100kHz刻みで500kHzくらいまで) 周波数を下げながら実施し，それぞれの周波数における波形を記録する．

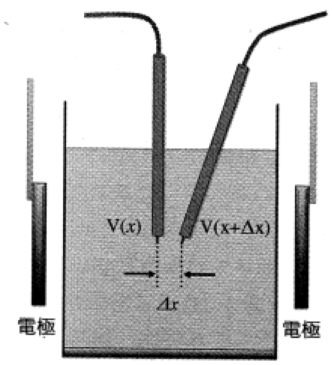

図 2　二本プローブによる変位電流測定実験配置

3.4 ロゴスキーコイルによる測定

1. 図 3 に示すように，水槽と電極板の間にロゴスキーコイルが入る程度のスペースを作り，そこにロゴスキーコイルを挿入する．
2. 実験課題 1 と同様に発振器の周波数 ω を変化させながら，セメント抵抗の両端とロゴスキーコイルからの出力波形を記録する．

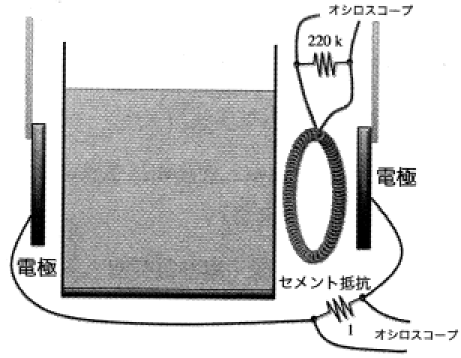

図 3　ロゴスキーコイルによる変位電流測定実験配置

4　結果

4.1　実験課題 1

各周波数 ω における測定結果を以下の図〜図に示す．また，Δx は 8.0 [mm] に調整した．

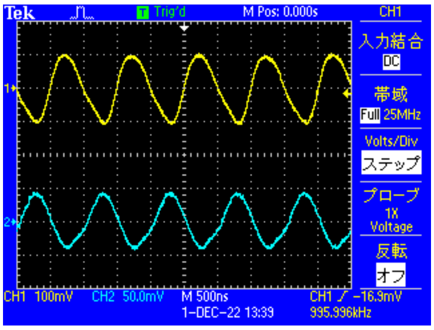

図 4　$\omega = 1\mathrm{MHz}$ のときの測定結果

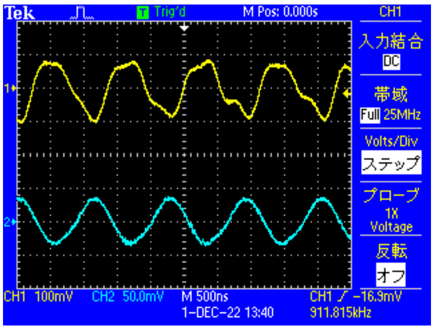

図 5　$\omega = 900\mathrm{kHz}$ のときの測定結果

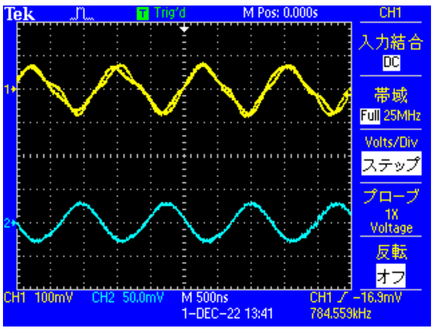

図 6　$\omega = 800\mathrm{kHz}$ のときの測定結果

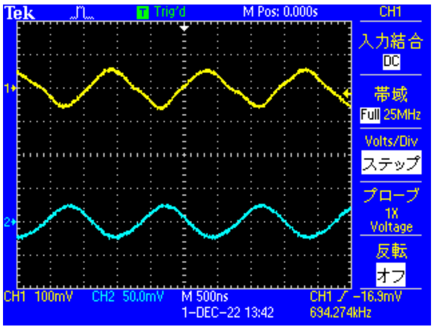

図 7　$\omega = 700\text{kHz}$ のときの測定結果

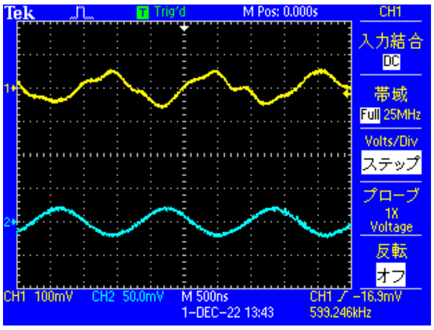

図 8　$\omega = 600\text{kHz}$ のときの測定結果

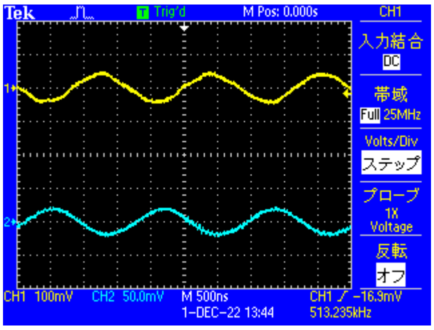

図 9　$\omega = 500\text{kHz}$ のときの測定結果

4.2 実験課題 2

各周波数 ω における測定結果を以下の図〜図に示す．また，用いたロゴスキーコイルに関して，巻き数 $N=211$，円周の長さ $l=2\pi\times 0.1095=0.688\,[\mathrm{m}]$，$S=\pi\times 0.0100^2=0.000314\,[\mathrm{m}^2]$ と測定された．

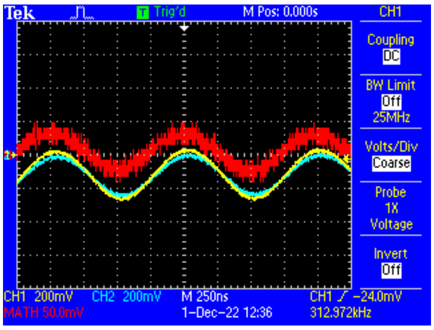

図 10　$\omega=1\mathrm{MHz}$ のときの測定結果

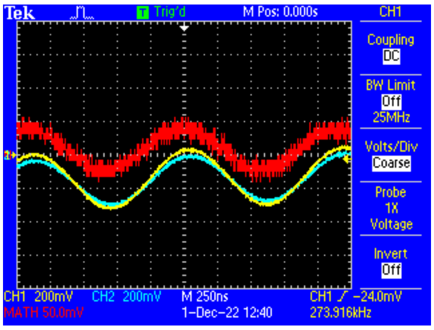

図 11　$\omega=900\mathrm{kHz}$ のときの測定結果

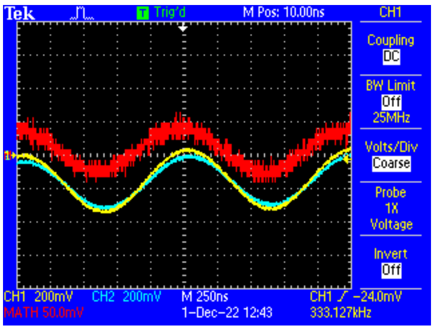

図 12　$\omega=800\mathrm{kHz}$ のときの測定結果

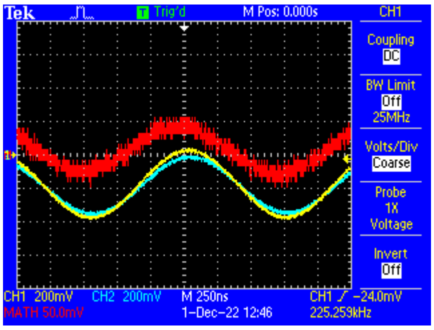

図 13 $\omega = 700$kHz のときの測定結果

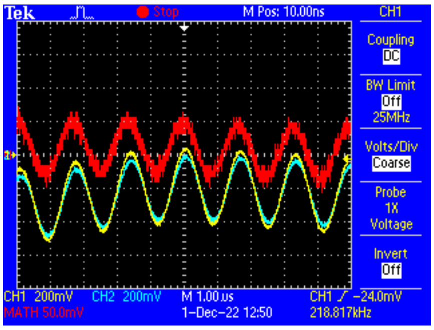

図 14 $\omega = 600$kHz のときの測定結果

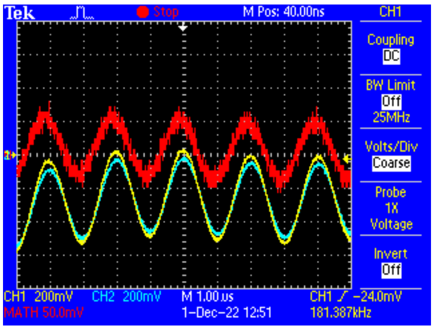

図 15 $\omega = 500$kHz のときの測定結果

5 データ解析と考察

6　宿題

1. $\nabla \times \vec{H} = (i + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t})$ の両辺の発散をとることで，この式が電荷保存則 $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot i = 0$ を確かに満たしていることを示せ.

   両辺の発散をとると，任意のベクトル $\vec{A}$ に関して，$\mathrm{div}(\mathrm{rot}\vec{A})$ となることから，

$$\nabla \cdot (\nabla \times \vec{H}) = \nabla \cdot \left(i + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) = \nabla \cdot i + \frac{\partial (\nabla \cdot \vec{D})}{\partial t} = 0$$

   となる．ここで，ガウスの法則より $\mathrm{div}\vec{D} = \rho$ であるので，以下の式が成り立ち，題意は示された.

$$\nabla \cdot i + \frac{\partial (\nabla \cdot \vec{D})}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot i = 0$$

参考文献

[1] 電子システム工学基礎実験テキスト