

# レポートの書き方

電気電子工学科1年次クラス担任 辻 寧英

# 理科系文書

---

## 特徴

- ・読者に伝えるべき内容が**事実**と**意見**に限られる
- ・心情的要素を含まない

事実: 証拠をあげて裏づけすることができるもの

意見: 何事かについてある人が下す判断

## 心得

- ・必要なことはもれなく記述し, 不要なことは書かない
- ・事実と意見をはっきり区別し, 事実と意見のすり替えを行わない
- ・文章全体を論理的な順序にしたがって組み立てる
- ・はっきり言えることははっきりと言い切り, 曖昧な表現にしない
- ・十分に推敲し, その表現が一義的に読めるかを吟味する
- ・正しい日本語で書く

# レポートを書くための準備

---

- ・目的を明確にする

何について、何のために、誰に対して書くのか

- ・制約条件を明確にする

締め切り, 時間的条件, 分量, その他

- ・中身を作るための調査

文献(図書, 学術論文, 学会資料, 特許等)の調査

インターネットによる情報検索

- ・データの整理

目的を達成するために必要なデータを選別し,  
どのような図あるいは表にまとめると効果的かを考える

- ・結果の考察

新しい事実・知見の確認

結果を鵜呑みにせず疑ってみることも大事

# 実験レポートの構成

---

1. 実験の目的
2. 原理・理論
3. 実験方法
4. 実験結果
5. 考察
6. まとめ
7. 参考文献

# 実験レポートの構成 ～ 0. 表紙 ～

- ・書式が決まっているときにはそれに従うこと
- ・タイトル, 日付, 氏名, 共同実験者等を書く

(例)

タイトル

電気電子工学実験 I  
テーマ 5. 直列共振回路

日付

実験日: 平成16年5月18日  
提出日: 平成16年5月25日

氏名

電気電子工学科2年11番  
辻 寧英

共同実験者

3班: 織田信長, 竹中重治  
明智光秀, 前田利家

# 実験レポートの構成 ～ 1. 実験の目的 ～

---

その実験をなぜ行うのか、何について調べるのかを  
具体的かつ簡潔に述べる

(例) 1. 目的

抵抗, インダクタンス, 静電容量の直列回路に交流電圧を  
加えたときに流れる電流および各端子電圧を測定し, 直列  
共振現象を理解する

# 実験レポートの構成 ～ 2. 理論と原理 ～

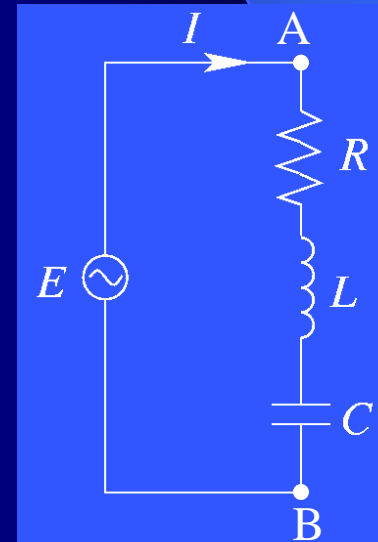
- ・ 実験を行うために必要な理論や原理を、自分で理解した上で、簡潔にまとめる
- ・ 理論式など重要な式には式番号を付ける
- ・ 物理量を表す変数はイタリックで表記する
- ・ 記号を使うときには、初めて読む人にわかるように、必ずその定義を書く

(例) 端子AB間にかかる電圧を  $E$  [V] とする

AB: 点・範囲 (Roman)

$E$ : 物理量 (Italic)

V: 単位 (Roman)



# 実験レポートの構成 ～ 2. 理論と原理 ～

(例)

## 2. 理論

図1に示す  $RLC$ 直列回路を考える. この回路のインピーダンス  $Z$  は

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + jX \quad (1)$$

で与えられる. ここに  $\omega$  は角周波数,  $X$  は回路のリアクタンスを表す. この回路に交流電圧  $E$  を加えたときに流れる電流  $I$  は

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{E}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} \quad (2)$$

で与えられる. リアクタンス  $X$  は角周波数  $\omega$  の値によって変化するので, インピーダンス  $Z$  も  $\omega$  の値により変化し,

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad (3)$$

となる  $\omega$  でインピーダンス  $Z$  は大きさが最小になる. このような状態を直列共振といい, このときの周波数  $f_0$  を共振周波数とよぶ.



式(3)より共振周波数は

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

で与えられる。ここに  $\omega_0$  は共振状態における角周波数(共振角周波数)であり、このとき回路に流れる電流  $I$  は

$$I = \frac{E}{R} \quad (5)$$

で与えられる。一方、共振周波数からのずれが大きくなると電流の大きさは減少し、電流の大きさ  $|I|$  は角周波数  $\omega$  の関数として

$$|I| = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (6)$$

で与えられる。この様子を図2に示す。

- 
- 
-



図1  $RLC$ 直列回路

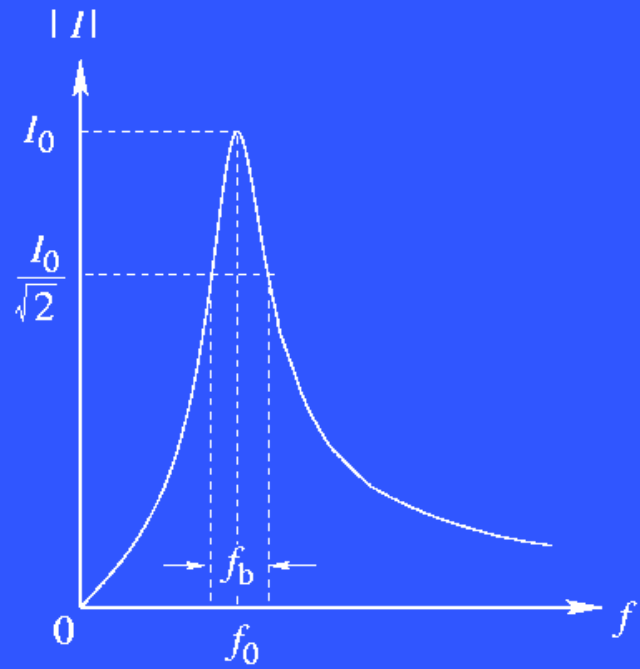


図2  $RLC$ 直列回路の共振特性

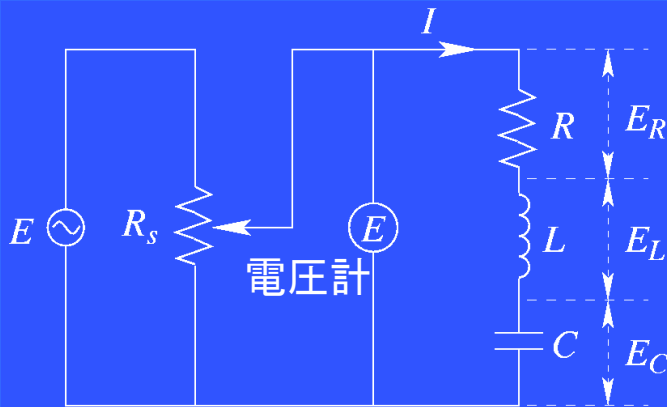
# 実験レポートの構成 ～ 3. 実験方法 ～

- ・実験の操作手順を書く
- ・実験装置の概略図, その名称, 型番, 製造会社などを記す

(例)

## 2. 実験方法

- 1) 図3のような  $RLC$ 直列回路を構成し,  $R, L, C$  の値を一定に保ち電源周波数を変化させて各端子電圧を測定し, 電圧—電流曲線を描く. ただし  $R=100 \Omega$ ,  $L=50 \text{ mH}$ ,  $C=0.50661 \mu\text{F}$  とし,  $E=1 \text{ V}$  一定となるように  $R_s$  を調整しながら測定する. (1)



発振器: ○○社製, XX00YY  
電圧計: ××社製, RR44KK

図3 測定に用いた回路

# 実験レポートの構成 ～ 4. 実験結果(1) ～

---

## 実験で得られた**事実**を書く

- ・表や図を示し、本文中から参照する形で結果について説明する
- ・実験を行った条件を明記する
- ・単位を適切に用いること
- ・有効桁数や誤差の大きさに注意する

# 実験レポートの構成 ～ 4. 実験結果(1) ～

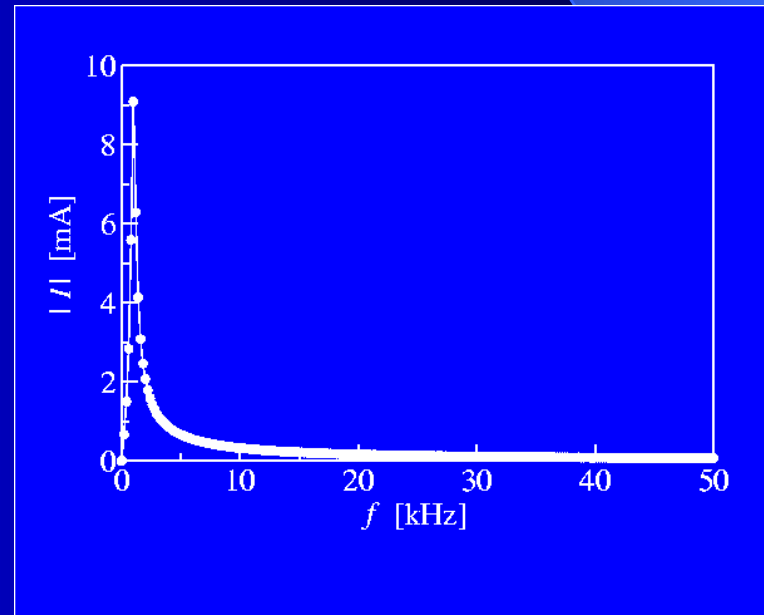
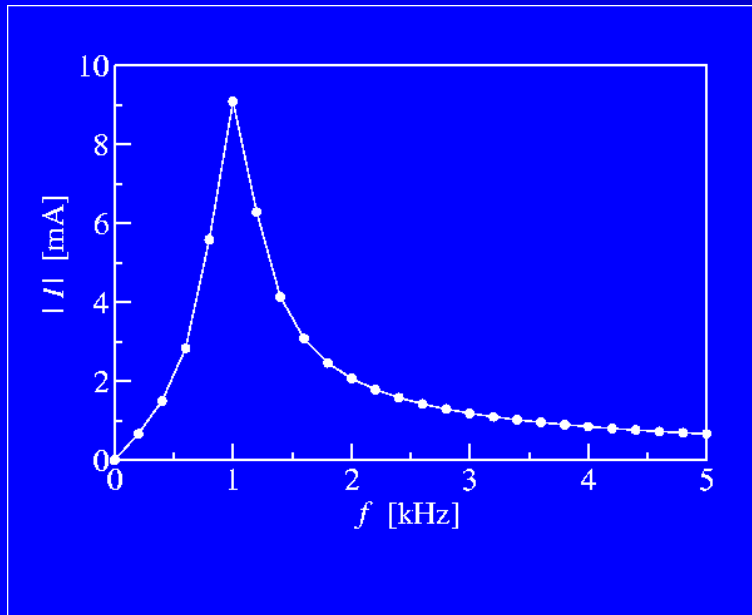
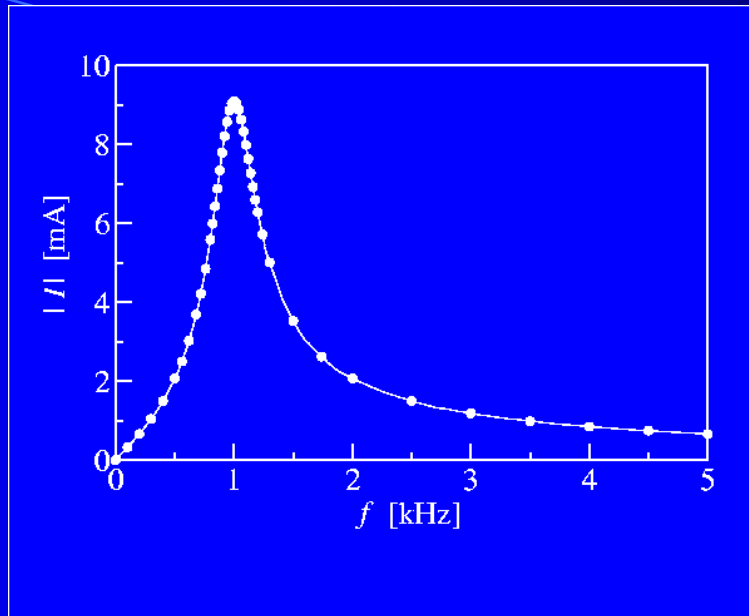
## ・ 図と表の書き方

- ・ 図と表には(通し)番号を付け, その後に図や表の題目を書く  
(例) 図1 電圧・電流特性
- ・ 図・表の題目を書く位置  
図の場合 …… 図の下側に書く  
表の場合 …… 表の上に書く
- ・ 実測値を表す点を○, ●, □, ……等の記号で明記する
- ・ グラフが連続的に変化する場合, 滑らかな曲線で結ぶ  
(雲形/自在定規, 最小二乗法による近似曲線)
- ・ 必要に応じて理論値を書き込み比較する
- ・ 図の横軸, 縦軸には軸の説明, 単位, 目盛りを書く
- ・ 実験条件となるパラメータ値は必ず図中に明記する
- ・ 必要に応じて片対数, 両対数グラフ等を用いる

# 実験レポートの構成 ～ 4. 実験結果(2) ～

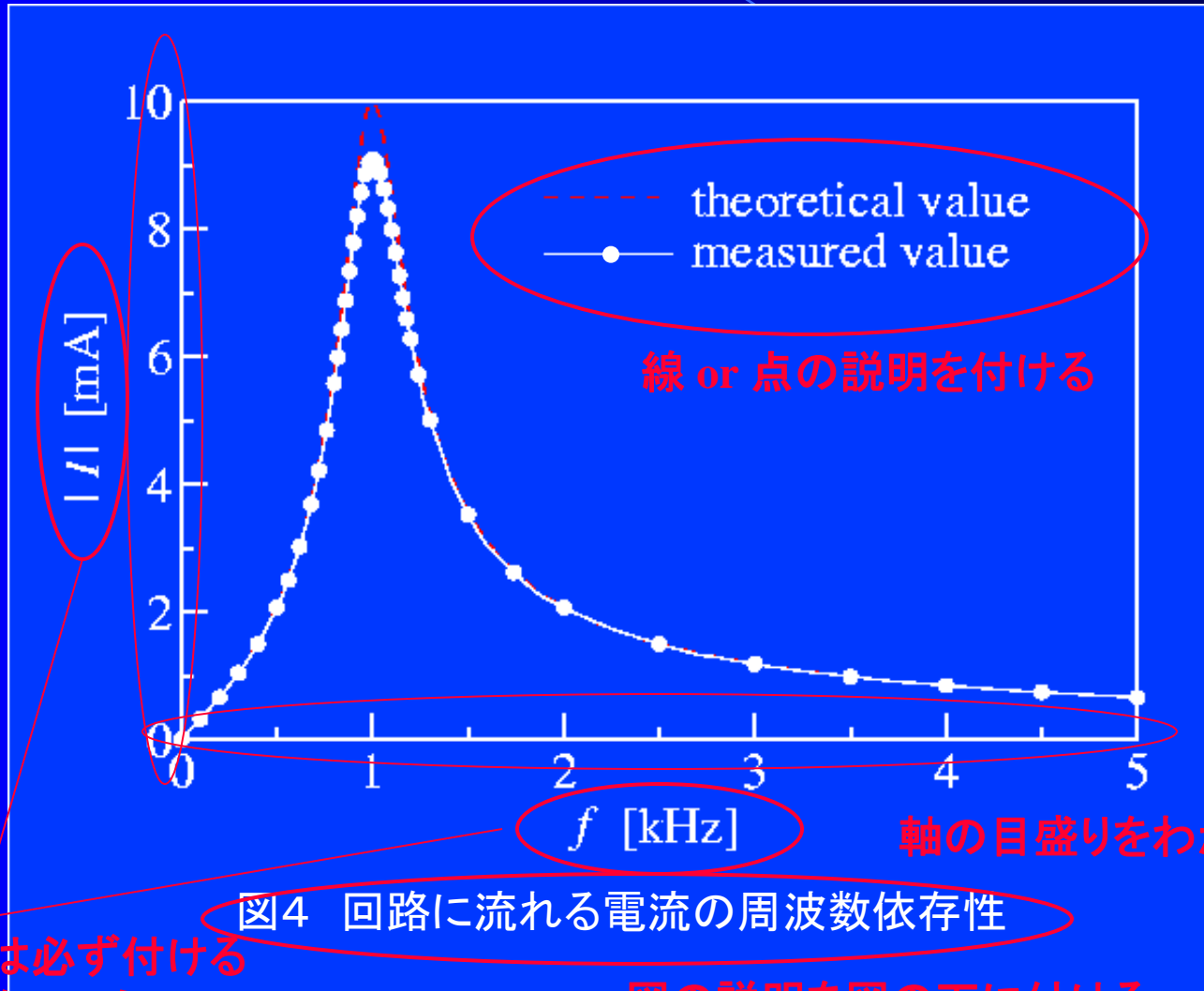
---

- ・データの採り方について
  - ・どのくらいの範囲でパラメータを動かすべきなのか
  - ・データの値はどのくらいの範囲で動くものなのか
  - ・変化の激しい箇所は詳細にデータを採り、比較的変化がゆるやかな領域は粗くならない程度にデータを採る
  - ・測定を行った条件を必ず記録しておく



# 実験レポートの構成 ～ 4. 実験結果(3) ～

## ・図の書き方



線 or 点の説明を付ける

軸の目盛りをわかりやすく付ける

図4 回路に流れる電流の周波数依存性

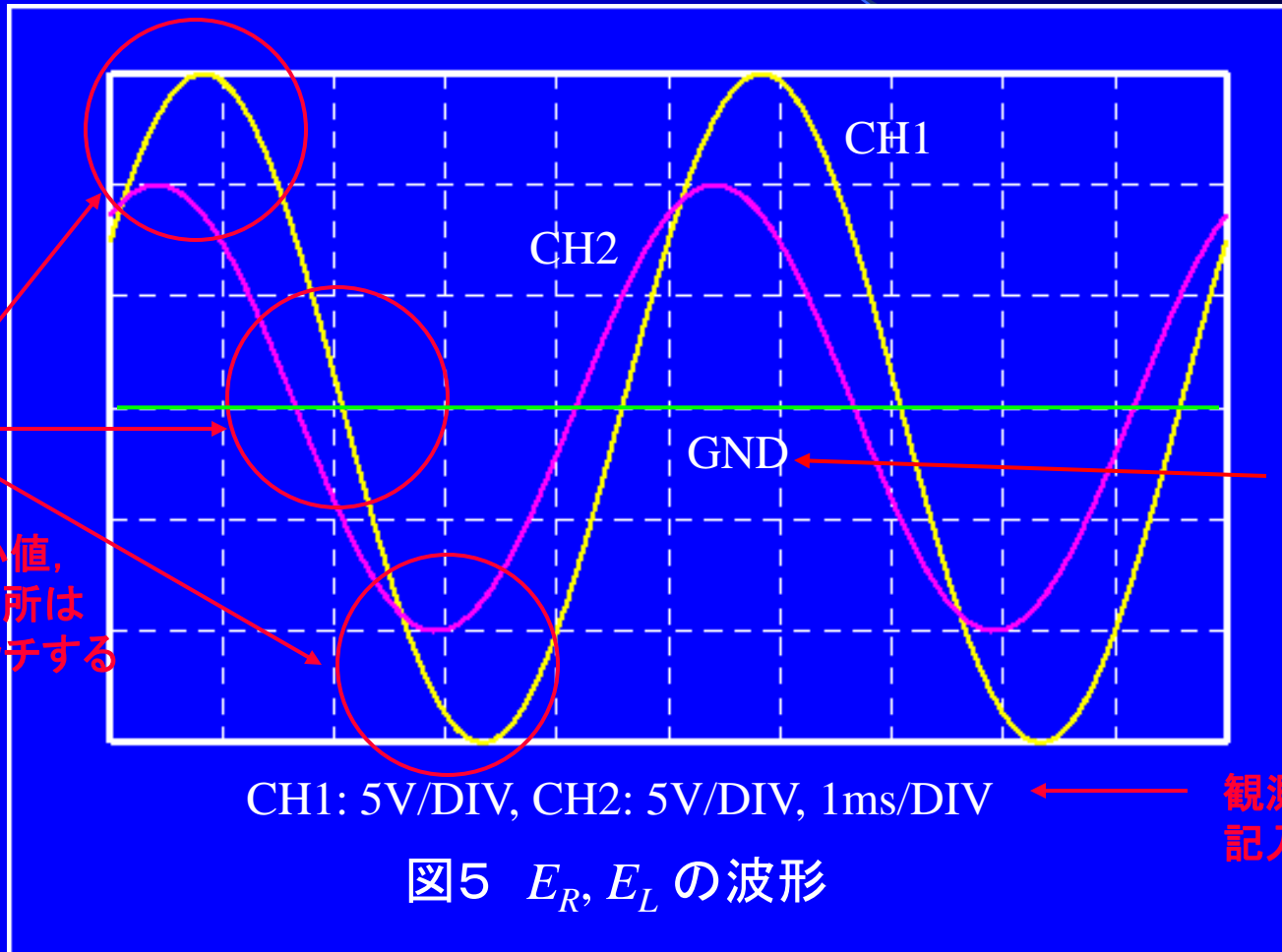
軸のラベルは必ず付ける  
単位を忘れないように

図の説明を図の下に付ける



# 実験レポートの構成 ～ 4. 実験結果(4) ～

## ・オシロスコープのスケッチ



最大値, 最小値,  
0 を横切る箇所は  
正確にスケッチする

GNDを示す

観測時のレンジを  
記入しておく

# 実験レポートの構成 ～ 4. 実験結果(3) ～

## ・ 表の書き方

表1 回路定数と共振周波数

表のタイトルは表の上を書く

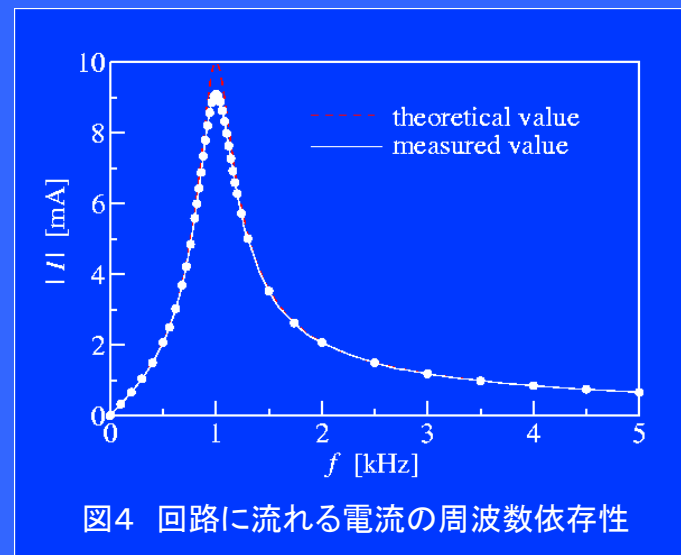
	$R$ [ $\Omega$ ]	$L$ [mH]	$C$ [ $\mu$ F]	$f_0$ [kHz]
実験1	100	50	0.50661	1.00
実験2	50	500	0.05066	1.00

# 実験レポートの構成 ～ 5. 考察 ～

- ・感想を述べるところではない
- ・実験結果に対する検討を行う
- ・理論と照らし合わせて実験結果はどう解釈できるか  
何を示しているのかをじっくり考え、それを簡潔にまとめる

(例)

図4より、共振周波数付近での電流の測定値が理論値よりも小さくなっていることがわかる。これは、理論ではコイルの抵抗を0としているが、実際にはコイルの抵抗が無視できないためであると考えられる。コイルの抵抗を  $00\ \Omega$  と考えると理論値と測定値はよく一致する。



# 実験レポートの構成 ～ 6. まとめ ～

実験結果にもとづき、実験の目的で達成できたことを示す

(例)

*RLC*直列回路を構成し、電源周波数を変化させながら回路に流れる電流を測定した。電流がある角周波数  $\omega$  で最大となり、共振状態が観測された。測定された共振角周波数は理論値  $\omega = 1/\sqrt{LC}$  と良く一致していた。共振時の電流理論値は  $I = E/R$  で与えられるが、測定値は理論値より小さく、実際にはコイルの抵抗の分だけ電流が理論値よりも小さくなったものと考えられる。

# 実験レポートの構成 ～ 7. 参考文献 ～

著者名, 書名, 出版年月, 出版社, 参照ページなどを書く

(例)

## 参考文献

- [1] 辻 寧英, 早田和弥, 小柴正則, “電界が印加された量子細線構造の固有状態解析 — 重み付けポテンシャル法によるアプローチ —”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J74-C-I, No. 11, pp. 494-500, Nov. 1991.
- [2] N. Kono and Y. Tsuji, “A novel finite-element method for nonreciprocal magneto-photonic crystal waveguides,” J. Lightwave Technol., Vol. 22, No. 7, pp. - , Jul. 2004.
- [3] 西原 浩, 裏 升吾著, 「光エレクトロニクス入門」, コロナ社

# 実験レポートの作成練習課題

## 1. 目的

周期関数をフーリエ級数展開し、いくつかの有限次数の場合について実際にグラフを作成し、展開次数を上げることで元の波形を良く近似できることを確かめる。

## 2. 理論

周期  $T$  をもつ関数  $f(x)$  はある条件下において次のようにフーリエ級数展開 (Fourier series expansion)  $\phi(x)$  が定義される。

$$\phi(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^N \left\{ a_n \cos\left(\frac{2\pi n}{T} x\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi n}{T} x\right) \right\}$$

ただし、 $a_n, b_n$  は

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \cos\left(\frac{2\pi n}{T} x\right) dx \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(x) \sin\left(\frac{2\pi n}{T} x\right) dx \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で与えられる。

# 実験レポートの作成練習課題

## 3. 実験方法

$0 < x < T$  の範囲で以下のように定義される周期  $T$  の周期関数をフーリエ級数展開し, 展開次数  $N = 1, 3, 5$  の場合について  $-T/2 < x < 3T/2$  の範囲でそれぞれグラフを描く

$$f(x) = \frac{x}{T} \quad (0 < x < T)$$

$$\longrightarrow a_0 = 1, \quad a_n = 0, \quad b_n = -\frac{1}{\pi n} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

## 3. 実験結果

フーリエ級数展開係数  $a_n, b_n$  を計算し  $n = 5$  までを表にまとめる  
フーリエ級数展開した結果を表にまとめる  
関数  $f(x)$  とそのフーリエ級数展開した結果をグラフに書く

## 4. 考察

実験結果について可能な範囲で考察する

## 5. まとめ

わかったことを書く

## 参考文献

参考にした資料(おそらく本)を書く

# 実験レポートの添削結果

---

## 表紙

全体のバランスを考える

漢字を間違えない

課代 → 課題, 確任 → 確認

名前だけでなく所属を書く

通常タイトルに句読点は不要

「フーリエ級数展開。」→「フーリエ級数展開」



## フーリエ級数展開

提出日:4月22日(金)

実験者:電気電子工学科 1年11番 辻 寧英

バランスが悪い

## フーリエ級数展開

実験日:4月21日(木)

提出日:4月22日(金)

電気電子工学科 1年11番  
辻 寧英

全体的なバランスを考えて

## 目的

文章を良く見直す

「実数に」→「実際に」

理論

# 実験方法

## 実験結果

- ・ 図, 表には通し番号を付ける  
表  $f(x)$  のフーリエ係数 → 表1  $f(x)$  のフーリエ係数
- ・ 番号だけではなくタイトルを付ける
- ・ 表は必要に応じて枠を付ける

$x/T$	$\phi_1(x)$	$\phi_3(x)$	$\phi_5(x)$
0.2	0.197	0.166	0.242
0.5	0.500	0.500	0.500
0.8	0.803	0.834	0.758



$x/T$	$\phi_1(x)$	$\phi_3(x)$	$\phi_5(x)$
0.2	0.197	0.166	0.242
0.5	0.500	0.500	0.500
0.8	0.803	0.834	0.758

- ・ 表のタイトルは表の上に(中央に)書く

表2  $\phi_n(x)$  の値 ( $N=1,3,5$ )

$x/T$	$\phi_1(x)$	$\phi_3(x)$	$\phi_5(x)$
0.2	0.197	0.166	0.242
0.5	0.500	0.500	0.500
0.8	0.803	0.834	0.758



表2  $\phi_n(x)$  の値 ( $N=1,3,5$ )

$x/T$	$\phi_1(x)$	$\phi_3(x)$	$\phi_5(x)$
0.2	0.197	0.166	0.242
0.5	0.500	0.500	0.500
0.8	0.803	0.834	0.758

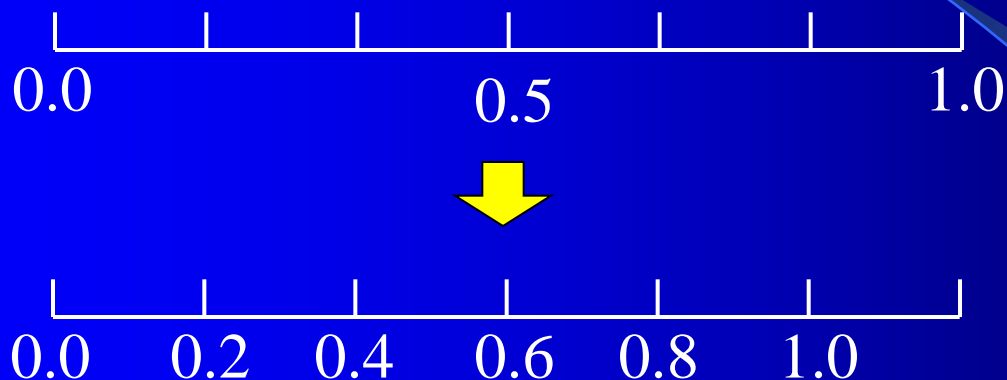
・表はバランス良く

$N$	1	3	5
$\phi(x)$	$\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \sin \frac{2\pi}{T} x$	$\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \left( \sin \frac{2\pi}{T} x + \frac{1}{2} \sin \frac{4\pi}{T} x + \frac{1}{3} \sin \frac{6\pi}{T} x \right)$	$\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \left( \sin \frac{2\pi}{T} x + \frac{1}{2} \sin \frac{4\pi}{T} x + \frac{1}{3} \sin \frac{6\pi}{T} x + \frac{1}{4} \sin \frac{8\pi}{T} x + \frac{1}{5} \sin \frac{10\pi}{T} x \right)$



$N$	$\phi(x)$
1	$\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \sin \frac{2\pi}{T} x$
3	$\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \left( \sin \frac{2\pi}{T} x + \frac{1}{2} \sin \frac{4\pi}{T} x + \frac{1}{3} \sin \frac{6\pi}{T} x \right)$
5	$\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \left( \sin \frac{2\pi}{T} x + \frac{1}{2} \sin \frac{4\pi}{T} x + \frac{1}{3} \sin \frac{6\pi}{T} x + \frac{1}{4} \sin \frac{8\pi}{T} x + \frac{1}{5} \sin \frac{10\pi}{T} x \right)$

- ・図のタイトルは図の下に書く
- ・グラフは方眼用紙に書く(あるいは計算機で作図する)
- ・方眼紙の升目は適切に使用する



- ・計算で得られた点を滑らかな線で結ぶ
- ・自分で定義した変数, 関数は必ず説明を付ける  
「 $\phi_n(x)$  は  $N=n$  のときの  $\phi(x)$  を表す」
- ・グラフは表ではなく図である
- ・グラフの縦軸, 横軸の意味を必ず書く
- ・... $n=5$  までの計算を右にかいた  
→  $n=5$  までの結果を表1にまとめた

## 考察

$N$  の値が大きくなるほどグラフの形が複雑になっているのがわかる  
 $N$  の値が大きくなるほど値が上下しているのがわかる  
 $x$  を増加させていくとある一定の値に近づいていく

—————→ *図に対する感想を述べているだけで意味が不明*

$N \rightarrow$  無限大とした場合  $\phi(x)$  は元の波形  $f(x)$  を良く近似できると予想される

—————→ *根拠がない*

理論値が分からなかったので決定的な比較はできないが...

—————→ *今回の計算は理論計算である*

グラフの形が違うようだ、原因は考える限りではフーリエ級数展開後の式にあるのではないかと思う、もう一つ考えるならばフーリエ級数展開係数であろうか、値を出すときに間違えた可能性がある...

要因としては、値を出すときの計算間違いであろう。

—————→ *計算ミスは良く確かめて修正する。  
明らかなミスは考察の対象外である*



$N$  の値が多くなるほどグラフがなめらかな形からのこぎり波形に近づいていく

————→ 何を言いたいのかが不明.  
 $N$  は値なので「多く」ではなく「大きく」

sin 波のようななめらかな波を無限に足していけば「のこぎり波が」できてしまう

————→ 事実と異なる

$N$  を大きくしていくとより詳しくなる

————→ 日本語としておかしい(?), 何が詳しくなるのか不明

整弦波

————→ 「正弦波」が正しい

周期が  $T$  の点を軸に点対称となっている

————→ 何を言いたいのかが不明  
 $T$  の点を軸に →  $T$  の点を中心に  
周期は対称にはならない → グラフが点対称

$N=1,2,3$  共に  $x=T/2, T, 3T/2$  のとき 0.50

————→ 何を言いたいのかが不明

$f(x)$  と  $\phi(x)$  のグラフは似たようなところ通っている

————→ 漠然としている。「ところ通っている」→「ところを通っている」

グラフの中の  $\phi(x)$  の形は  $N$  の値に比例していることがわかった

————→ *意味が不明*

図において  $x=0$  において  $\phi(0)=1/2$  であり,  $f(0)$  と一致しない. これは一般に  $f(x)$  が不連続点となる点  $x$  において  $\phi(x)$  の値は  $(f(x+0)+f(x-0))/2$  に一致することによる.

————→ *不連続点の取り扱いに着目しているのは良いと思う*

$N$  を増加する, 周期は変わらず, 振幅が増加する.

————→ *どこの振幅か説明が不十分*

上記と同じ

————→ *こういう書き方はありえない*

$N$  の値が大きくなればなるほど, 波はこまかくなり....

————→ *日本語としておかしい(?)*

## まとめ

グラフは規則的な形を繰り返している

————→ **意味が不明**

今回、実験を通し分かったことは、少しでも式(プログラム)に間違い(バグ)があると、結果が違ったものになるということだ。

————→ **明らかな計算ミスはまとめとしては不適切. 感想に近い**

フーリエ級数は難しいことがわかった

————→ **感想は別のところで書く**

ある一定の周期があることがわかった

————→ **条件がないので意味不明**

今回の実験は始めてであり、少しとまどった部分があったが、与えられた公式を利用し、正確に計算することによって良い結果が得られることが分かった

————→ **感想. 「始めて」ではなく「初めて」**

レポートの説明だけなら高校でやったものを題材にしてほしかった

————→ **レポートは書くことだけではなく、調査が重要である**

フーリエ級数は、周期関数のような不連続関数を連続な関数で表現できる  
————→ *事実ではない*

今の自分の数学力では問題を解くことが難しいということがわかった  
————→ *感想*

周期関数  $f(x)=x/T$  を展開次数  $N=1,3,5$  においてフーリエ級数展開し、  
それぞれ  $f(x)$  のグラフと対比した。  $f(x)$  が不連続点となる点以外では  
展開次数を上げることで元の波形を良く近似できることが確認された。  
————→ *比較的良くまとまっている*

1~5の通りである

————→ *手を抜きすぎ. きちんとまとめる!*

## 参考文献

- 図書の場合は著者, 出版社を書く(その本を一意に特定できるように)
- 文献番号を通し番号で付ける
  - フーリエ級数と境界値問題
  - [1] 吉川 敦, フーリエ解析入門, 森北出版
- 定価は書かなくて良い
- URLの書き方
  - [1] <http://www.kitami-it.ac.jp>
- 「〇〇君のレポート」は適切ではない

## 4. 結果

$f(x) = x/T$  のフーリエ級数係数を表1に示す. 係数の大きさは次数  $n$  に反比例しており,  $n \rightarrow$  無限大で  $b_n = 0$  であり, フーリエ級数がある関数に収束することを表している.

表1  $f(x) = x/T$  のフーリエ係数

$n$	0	1	2	3	4	5
$a_n$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0	0
$b_n$	/	$-\frac{1}{\pi}$	$-\frac{1}{2\pi}$	$-\frac{1}{3\pi}$	$-\frac{1}{4\pi}$	$-\frac{1}{5\pi}$

求めたフーリエ係数を用いて  $N=1, 3, 5$  に対する  $\phi(x)$  のグラフを図1に示す. 展開次数が上がるにつれて  $\phi(x)$  が  $f(x)$  に近づいていく様子が見える.

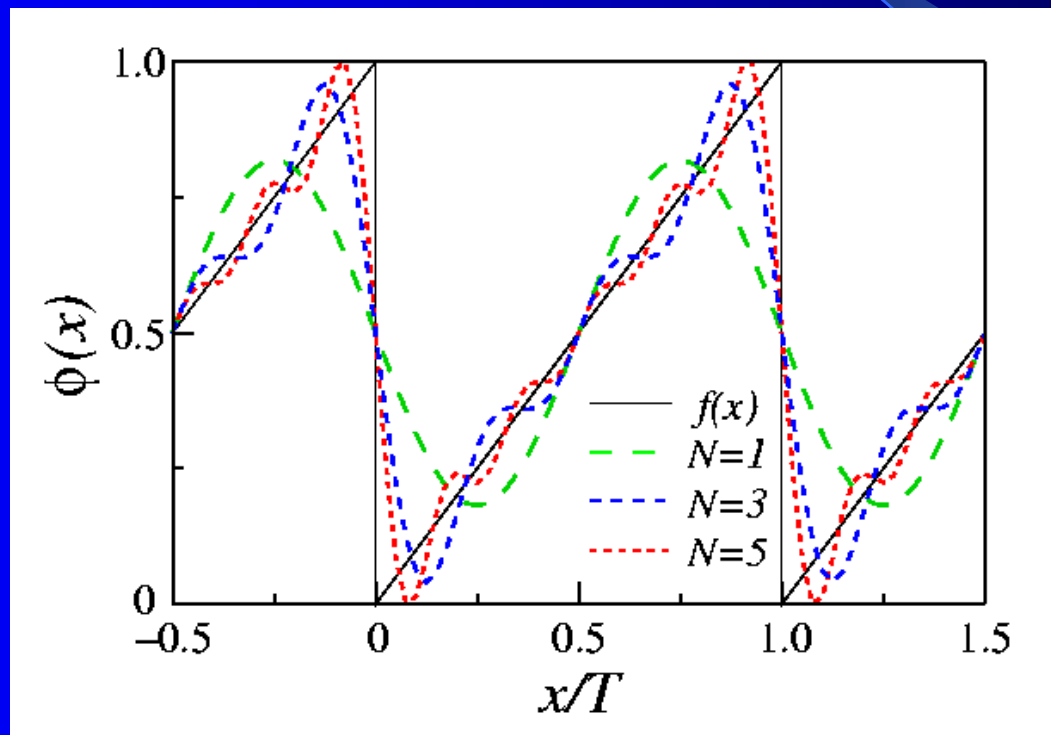


図1  $N=1, 3, 5$  に対する  $\phi(x)$

## 5. 考察

### ・フーリエ級数展開可能性について

周期関数  $f(x)$  が周期  $T$  をもち、 $0 < x < T$  の区間で区分的に連続であり、また、その区間内の各点で左微分係数と右微分係数をもつ関数がフーリエ級数展開可能である。また、 $f(x)$  の不連続点においては級数の和は左極限值と右極限値の相加平均に等しい。

### ・フーリエ級数展開の原関数からの誤差について

#### 最大誤差

フーリエ級数展開  $\phi(x)$  の原関数  $f(x)$  からの誤差を  $0 < x < T$  の範囲で図2に示す。不連続点 ( $x=0, T$ ) 近傍を除く  $x$  での最大誤差を表2に示す。最大誤差の減少は  $N$  の増加に対して比較的ゆるやかであることがわかる。



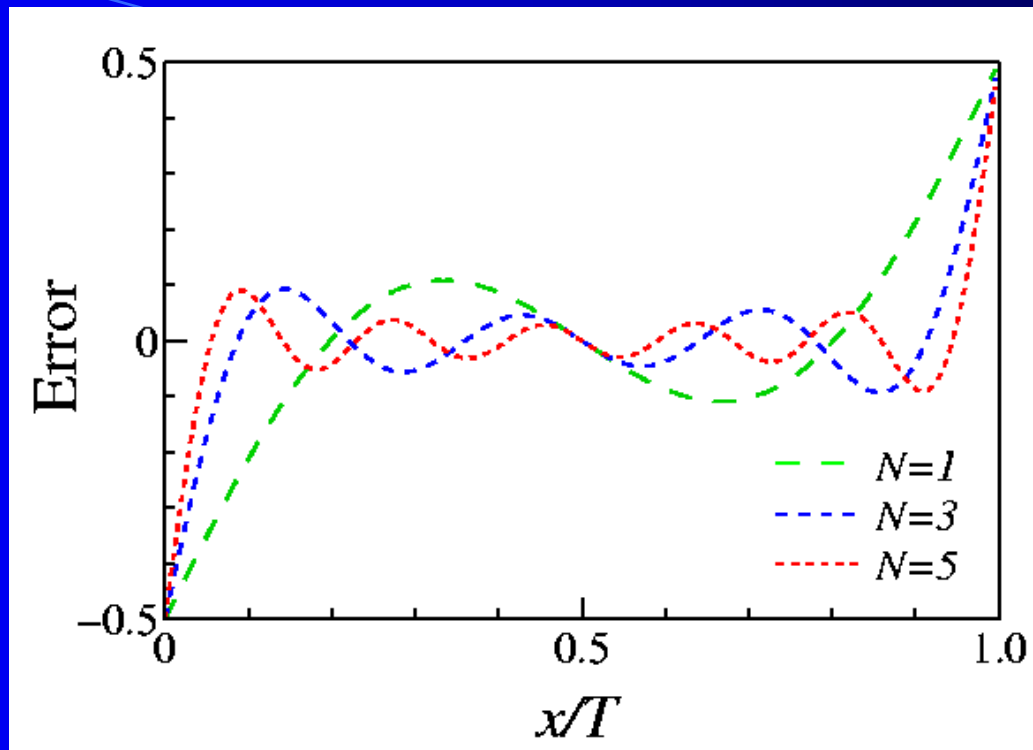


図2 フーリエ級数の原関数からの誤差

表2 フーリエ級数の原関数からの最大誤差

$N$	1	3	5
最大誤差	0.109	0.093	0.091

## 二乗平均平方根誤差

フーリエ級数展開の1周期にわたる近似の精度を調べるため、二乗平均平方根誤差(RMS)を

$$\text{RMS}(N) = \sqrt{\frac{\int_0^T (f(x) - \phi_N(x))^2 dx}{T}}$$

と定義する. 図3に  $\text{RMS}(N)$  を  $N$  の関数として示す.  $N$  の増大に対して原関数からの誤差が一様に減少していることがわかる.

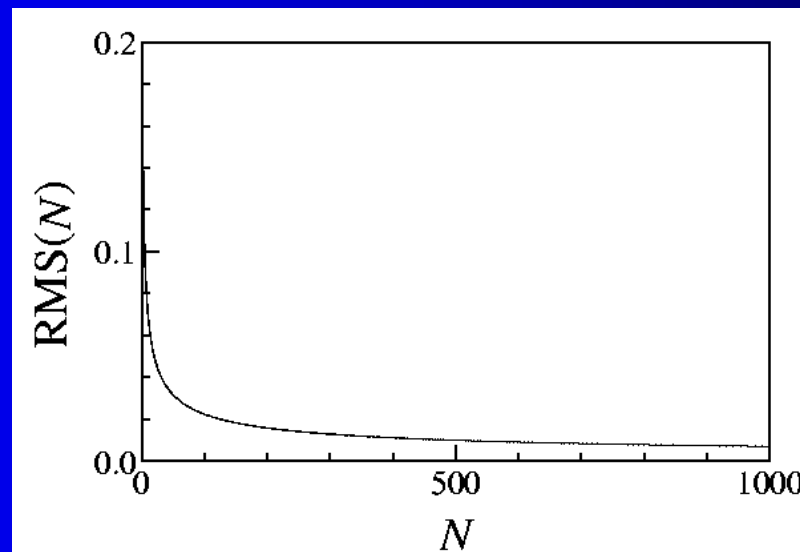


図3  $N$  に対する  $\text{RMS}(N)$  の変化

図5, 6 に図4と同じ結果を片対数, 両対数グラフで書いたものを示す. RMSを1%以下にするためには  $N$  が 500以上でなければならないことがわかる.

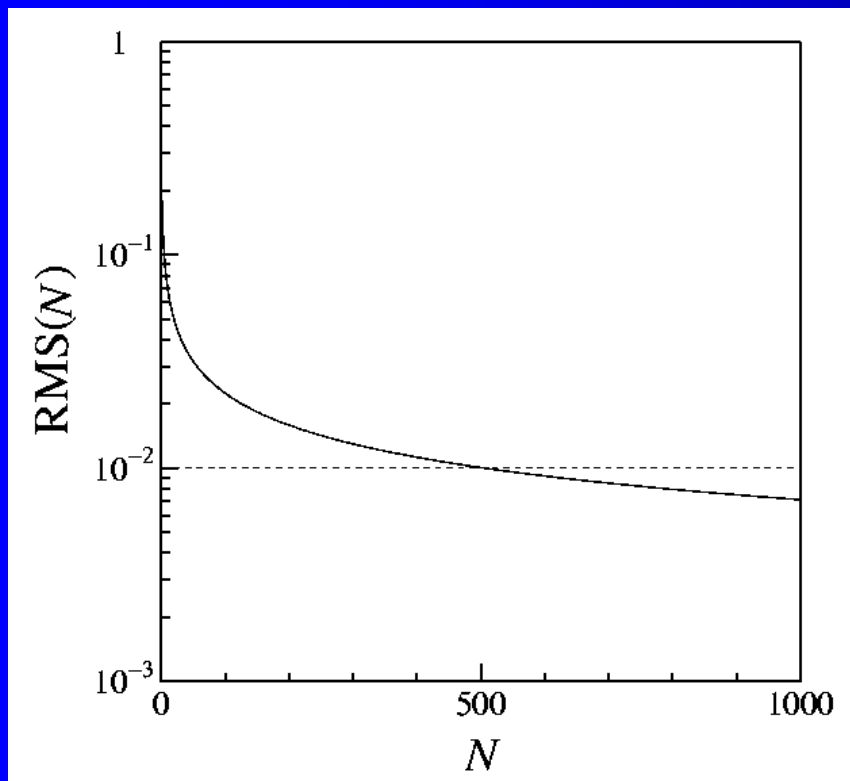


図4  $N$  に対する  $RMS(N)$  の変化  
(片対数グラフ)

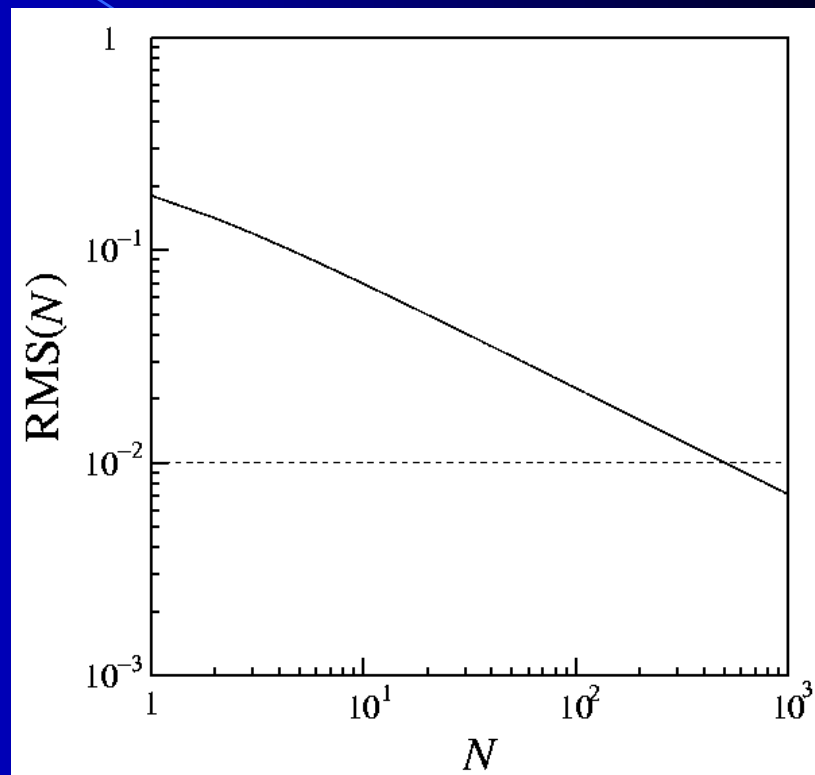


図5  $N$  に対する  $RMS(N)$  の変化  
(両対数グラフ)

## 6. まとめ

周期  $T$  の周期関数  $f(x)=x/T$  ( $0 < x < T$ ) をフーリエ級数展開し原関数との差について調べた。展開項数を十分多く取ることで、フーリエ級数展開は原関数を良く近似できることが確かめられた。

# 学会予稿の構成

---

1. 研究背景
2. 本論
3. まとめ



## トポロジー最適化による90度曲がり光導波路の構成

Optimization for 90° Bend by Using Topology Optimization

辻 寧英\*

平山浩一\*

野村壮史\*\*

佐藤和夫\*\*

西脇眞二\*\*\*

Yasuhide TSUJI Koichi HIRAYAMA Tsuyoshi NOMURA Kazuo SATO Shinji NISIWAKI

\* 北見工業大学

\*\* (株)豊田中央研究所

\*\*\*京都大学

Kitami Institute of Technology

Toyota Central R&D Labs. Inc.

Kyoto University

### 1 まえがき

光通信容量の増大にともない、全光学信号処理と光回路の小型化への要求が高まっている。光導波路の小型化にはフォトニック結晶導波路やHIC光導波路を用いることが有望であるが、より小型の回路を実現するためには、導波路構造の最適化が必要となる。ここでは、90度曲がり導波路を例に取り、トポロジー最適化による導波路構造の最適化を行っている。なお、光導波路の伝搬特性解析には入出力導波路をPMLで置き換えた有限要素法(FEM)を用いている。

### 2 トポロジー最適化

トポロジー最適化では、初期状態として考えた構造に対する光伝搬解析の結果から、FEM解析の各要素の屈折率が微小変化したときの透過率の変化を感度として用い、逐次線形計画法により最適な屈折率分布を推測し、この過程を繰り返すことで最適な構造を探索する[1]。最終的に得られる構造は初期状態との相関が低いため、通常では予測しづらいような構造の探索も可能である。ここでは、導波路に対する知識はないものとして、初期状態として最適化領域内で一定の屈折率をもつ状態を採用している。

### 3 数値計算例

トポロジー最適化の適用例として、90度曲がり導波路を考える。図1に示すような解析領域を考え、コアの屈折率を1.45、クラッドの屈折率を1.0、導波路幅を $w = 0.7\mu\text{m}$ 、動作波長を $1.55\mu\text{m}$ とする。最適化のための領域は $d = 1.5\mu\text{m}$ 、 $W = 4\mu\text{m}$ とする。まず、単純に内弧を用いて90度曲がりを作成したときの光の伝搬の様子を図2に示す。このときの規格化透過率は0.37であった。図3に、トポロジー最適化を用いて求めた屈折率分布と光の伝搬の様子を示す。このときの規格化透過率は0.58であり、単純に曲がりを作成した場合からの改善が見られる。得られた屈折率分布は、曲がり部において、内側を通る光を減速し、外側を通る光を加速することで一定の波面を保つようにし、曲がりきれない放射波を、曲がりの外側に向かうグレーティング構造により抑圧しているものと考えられる。

### 4 むすび

光導波路曲がりにトポロジー最適化を適用しその有効性を確認した。

### 参考文献

- [1] G.Kiziltas et al., IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 51, pp.2732-2743, Oct. 2003.

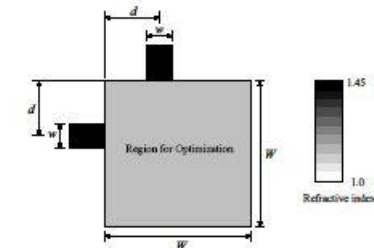


図1 最適化前の90度曲がり導波路

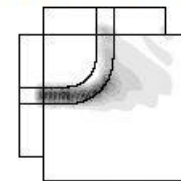


図2 単純90度曲がり導波路の伝搬波形

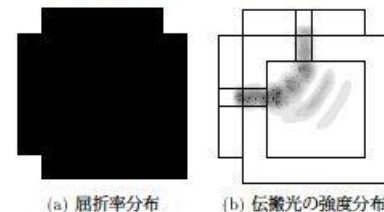


図3 トポロジー最適化により得られた結果

# トポロジー最適化による90度曲がり光導波路の構成

Optimization for 90° Bend by Using Topology Optimization

辻 寧英\*

平山浩一\*

野村壮史\*\*

佐藤和夫\*\*

西脇眞二\*\*\*

Yasuhide TSUJI Koichi HIRAYAMA Tsuyoshi NOMURA Kazuo SATO Shinji NISIWAKI

\* 北見工業大学

\*\* (株)豊田中央研究所

\*\*\*京都大学

Kitami Institute of Technology

Toyota Central R&D Labs. Inc.

Kyoto University

## まえがき

光通信容量の増大にともない、全光学信号処理と光回路の小型化への要求が高まっている。光導波路の小型化にはフォトニック結晶導波路やHIC光導波路を用いることが有望であるが、より小型の回路を実現するためには、導波路構造の最適化が必要となる。ここでは、90度曲がり導波路を例に取り、トポロジー最適化による導波路構造の最適化を行っている。なお、光導波路の伝搬特性解析には入出力導波路をPMLで置き換えた有限要素法(FEM)を用いている。

## 2 トポロジー最適化



トポロジー最適化では，初期状態として考えた構造に対する光伝搬解析の結果から，FEM解析の各要素の屈折率が微小変化したときの透過率の変化を感度として用い，逐次線形計画法により最適な屈折率分布を推測し，この過程を繰り返すことで最適な構造を探索する [1]. 最終的に得られる構造は初期状態との相関が低いいため，通常では予測しづらいような構造の探索も可能である. ここでは，導波路に対する知識はないものとして，初期状態として最適化領域内で一定の屈折率をもつ状態を採用している.



### 3 数値計算例

トポロジー最適化の適用例として、90度曲がり導波路を考える。図1に示すような解析領域を考え、コアの屈折率を1.45、クラッドの屈折率を1.0、導波路幅を  $w = 0.7\mu\text{m}$ 、動作波長を  $1.55\mu\text{m}$  とする。最適化のための領域は  $d = 1.5\mu\text{m}$ 、 $W = 4\mu\text{m}$  とする。まず、単純に円弧を用いて90度曲がりを作成したときの光の伝搬の様子を図2に示す。このときの規格化透過率は0.37であった。図3に、トポロジー最適化を用いて求めた屈折率分布と光の伝搬の様子を示す。このときの規格化透過率は0.58であり、単純に曲がりを作成した場合からの改善が見られる。得られた屈折率分布は、曲がり部において、内側を通る光を減速し、外側を通る光を加速することで一定の波面を保つようにし、曲がりきれない放射波を、曲がりの外側に向かうグレーティング構造により抑圧しているものと考えられる。

## 4 むすび

光導波路曲がりにトポロジー最適化を適用しその有効性を確認した。

## 参考文献

- [1] G.Kiziltas et al., IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 51, pp.2732-2743, Oct. 2003.

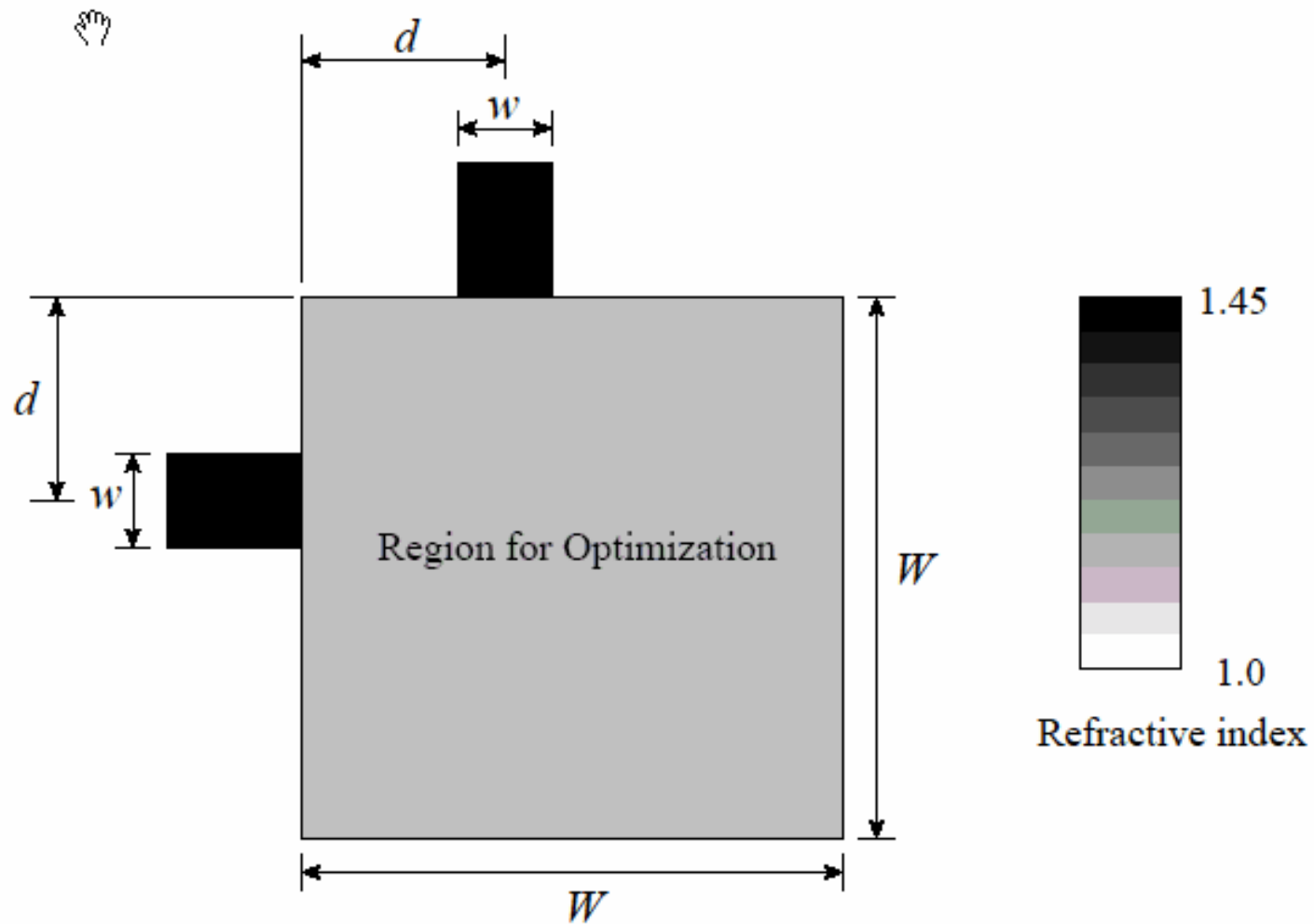


図 1 最適化前の 90 度曲がり導波路

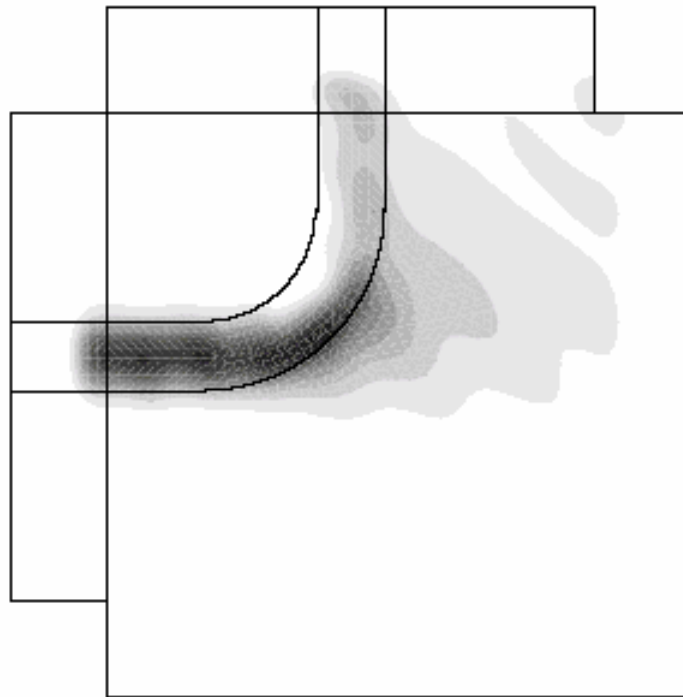
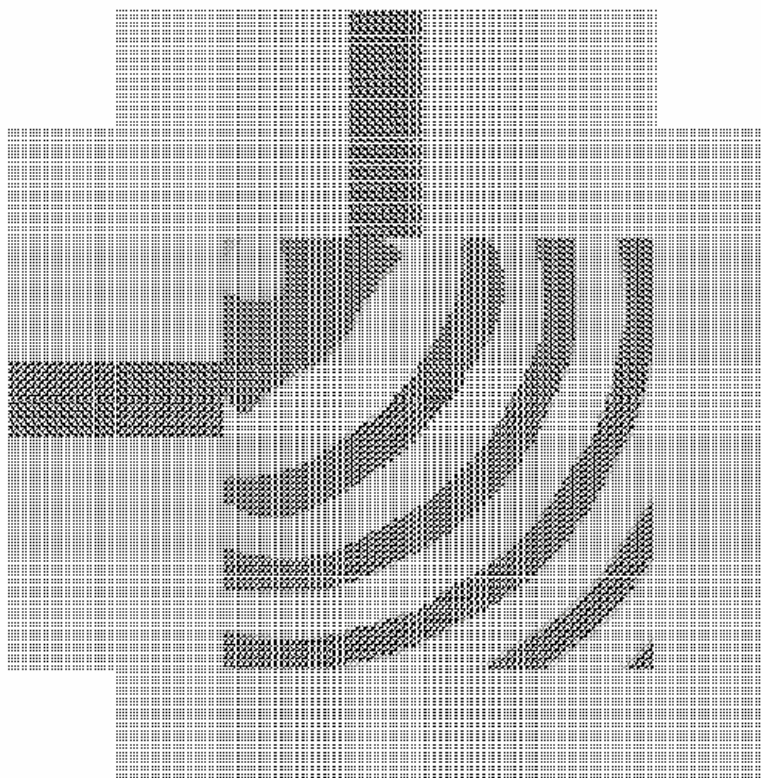
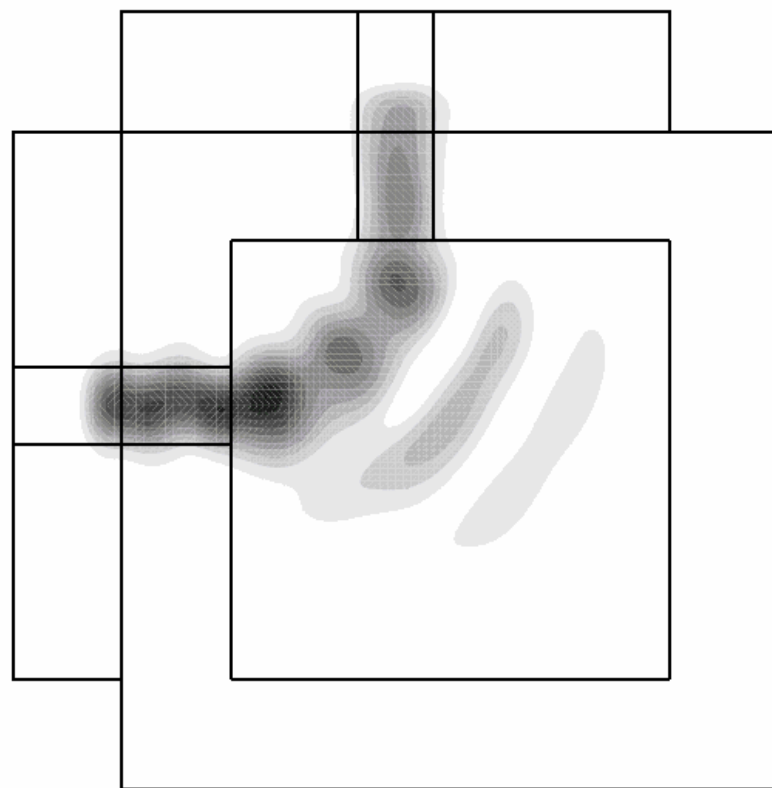


図 2 単純 90 度曲がり導波路の伝搬波形



(a) 屈折率分布



(b) 伝搬光の強度分布

図3 トポロジー最適化により得られた結果