

# 過渡現象の理解度向上を目的とした教材開発とその効果の検証

久保田 絢香\* 藤本 竜也\*\*

## The Visualization Tool Developed for Improving the Understanding of Transient Phenomena and Validation of its Effectiveness.

KUBOTA Ayaka\*, FUJIMOTO Tatsuya\*\*

The purpose of this study was to improve the understanding of transient phenomena by holding a workshop. The workshop uses the visualization tool we have developed, which can check the temporal variation of voltage and the voltage at each measurement time by using a tablet device. In the workshop, it was confirmed that the students' motivation and understanding were improved. However, we found there were some problems such as the content of the workshop and the way to use of the visualization tool.

*Key Words:* Transient Phenomena, Visualization Tool, Tablet Device

### 1. 緒 言

過渡現象とは、ある定常状態から次の定常状態へ至る間に生じる時間的な変化を伴う現象のことを指し、電気回路においては、エネルギー蓄積素子であるコンデンサやコイルが回路に接続されている場合に発生する。このような回路では、電圧や電流の急変によって回路が別の状態へ移行しようとしても、エネルギー蓄積素子のエネルギー増減のために回路に応じた時間を必要とする。

筆頭著者は現在、過渡現象に関する実習に携わっている。過渡現象は、時間変化の解析に微積分の要素が含まれるなど他分野との関わりもあり、非常に重要な電気の基礎概念の一つである。そこで、学生のさらなる理解度向上を図るため、既存の実習に追加する形で試行実習を行い、その効果について検証を行った。学生の興味を惹きやすいタブレット端末により過渡現象の電圧変化の様子や時間ごとの電圧値などを可視化した教材を開発し、実習はこれを用いて時定数や電圧に関する簡単な計算を行う構成で実施した。

本稿では、開発教材の概要及び教材を用いた実習に関する考察を報告する。

### 2. 開発した教材

#### 2. 1 開発した教材の処理の流れ

図1に開発した教材の処理の流れを示す。

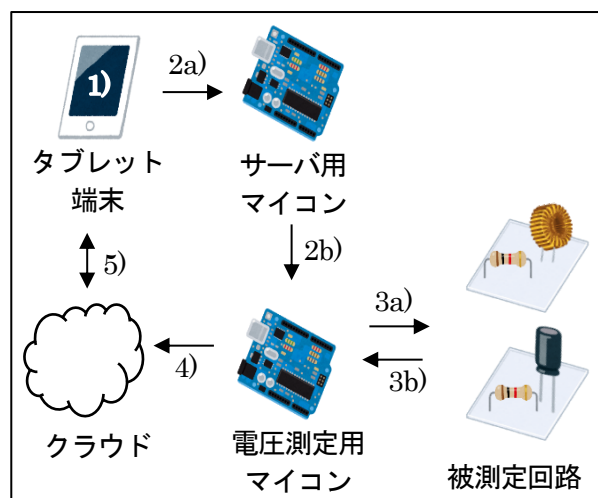


図1 開発した教材

- 1) タブレット端末上のユーザインターフェースで、被測定回路の電圧計測開始を指示する。
- 2) サーバ用マイコンは、タブレット端末から送られた測定開始の指示を受け取り (2a)、電圧測定用マイコンに測定を指示する (2b)。
- 3) 電圧測定用マイコンは、サーバ用マイコンからの指示を受け、接続された被測定回路 (RC 回路または RL 回路) に電圧を印加する (3a)。その後、過渡現象が収まるまで一定の時間間隔で対象素子に加わる電圧を自動計測する (3b)。

原稿受付 令和3年9月17日

\*技術部

\*\*徳山工業高等専門学校 教育研究支援センター

- 4) 計測完了後、電圧測定用マイコンは計測した電圧値を計測 ID・被測定回路の種類 (RC または RL)・測定開始からの相対時刻とともにクラウド上に保存する。
- 5) タブレット端末はクラウド上に保存された計測データを取得してグラフ化を行い、測定結果として画面上に表示する。

## 2. 2 開発した教材の各部

### 2. 2. 1 回路部

測定回路及び被測定回路はそれぞれ、ユニバーサル基板を用いて製作した。

測定回路の基板(図 2)には、電圧測定用マイコン及びサーバ用マイコン等を搭載した。各マイコンには ESP32 を用いた。電圧測定用マイコンでは、被測定回路の対象素子に加わる電圧を読み取って電圧値に換算し、クラウド上に保存する。サーバ用マイコンでは Web サーバを動作させ、タブレット端末のブラウザを利用して教材の操作インターフェースを提供する。併せて、計測開始の指示を Web サーバ経由で受け取り、電圧測定用マイコンに動作開始の

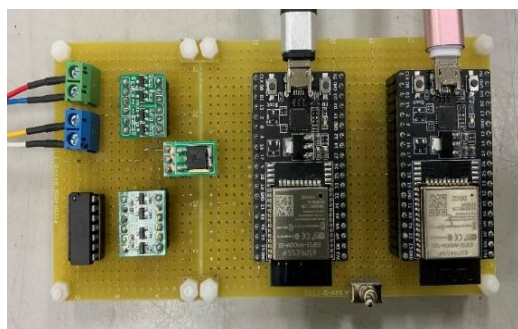


図 2 測定回路

指示を送る。

被測定回路としては、RC 回路(図 3)と RL 回路(図 4)の 2 種類を製作した。当初の計画では、被測定回路に関してはブレッドボード上に学習者自身が組み立てる予定であった。しかし、保護回路や計測関連の回路など、一次遅れ系を構成する要素以外の素子が多くなり、本来の目的である一次遅れ系に關す

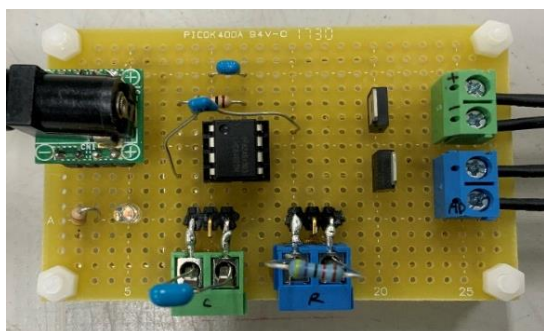


図 3 RC 回路

る知識習得に集中できないことが懸念された。そこで、今回は一次遅れ系を構成する素子以外の部分をあらかじめユニバーサル基板上に実装し、構成要素となる抵抗・コンデンサ・コイルに関しては、端子台を介して取り付け・取り外しが可能な構造とした。

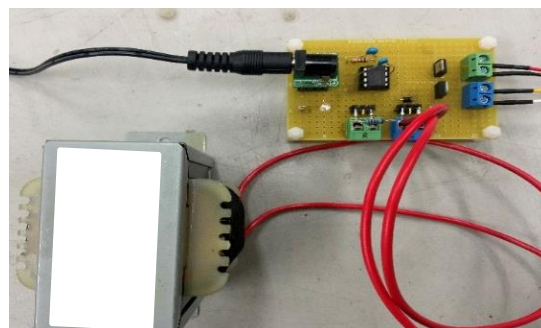


図 4 RL 回路

### 2. 2. 2 ユーザインターフェース部

電圧測定開始の指示や、クラウド上に保存した計測結果を確認するスマートデバイスとしてタブレット端末 (iPad) を用いた操作の様子を図 5 に示す。スマートデバイスを採用した理由は、学生はこれらを日常的に使用しており、操作に習熟していると考えたためである。本システムのユーザインターフェースは HTML で設計されており、タブレット端末と Web サーバ用マイコンを Wi-Fi で接続し、ブラウザから Web サーバ用マイコンにアクセスすることで表示される。このため、任意のタブレット端末やパソコンから実験を行うことが出来る。主な構成要素としては、(1) 計測開始ボタン、(2) 計測データを選択用リスト(図 6)、(3) 計測結果のグラフからなる。本システムでは計測結果はクラウド上に保存され、被測定回路の種類や回路定数などの計測条件を変えて計測するたびに新しいデータが蓄積される。選択用リストはこのデータを選択のために使用する。また、計測データを表として表示しただけでは変化の様子を掴みづらい。そこで、電圧の時間変化の様子をグラフ化することで、過渡現象の様子を容易に確認できるようにした。

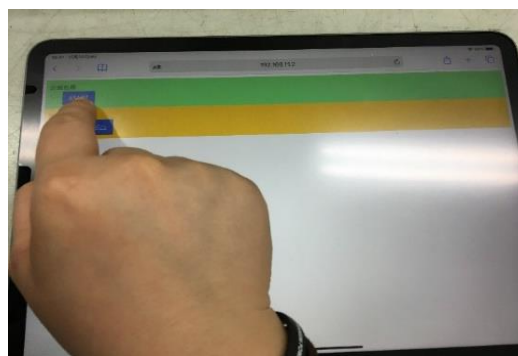


図 5 タブレット端末での操作の様子



図6 計測データの選択インターフェース

### 2. 3 教材を用いた測定

一例として、抵抗  $47\text{k}\Omega$ ・コンデンサ  $10\mu\text{F}$  の組み合わせの RC 回路における計測結果を可視化したグラフを図7に示す。このグラフは、グラフ上のプロット点に触れると時間と電圧を表示する仕組みになっている。先述の計測条件では、時定数(印加電圧の約 63.2%になるまでの時間)の理論値は  $0.47\text{s}$  となる。この開発教材では  $5\text{V}$  の電圧を印加するため、この時の電圧の理論値は  $3.16\text{V}$  となる。測定結果のグラフ上では相対時刻  $0.47\text{s}$  における電圧値は  $3.12\text{V}$  であり、多少の誤差がみられた。誤差要因としては計測誤差のほか、各素子の誤差(許容誤差は抵抗が $\pm 1\%$ 、コンデンサが $\pm 10\%$ )が想定される。このとき、時定数の範囲は  $0.419\text{s}$  から  $0.522\text{s}$  となり、電圧が  $3.16\text{V}$  となるときの相対時刻は  $0.48\text{s}$  であるから、素子の誤差の範囲内と考えられる。

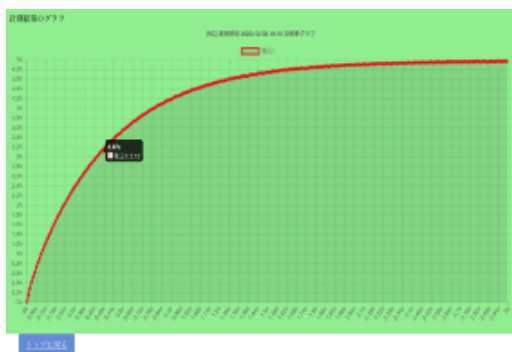


図7 電圧変化のグラフ

## 3. 開発した教材を用いた実習

学習状況調査を依頼した本校機械システム系 3 年の学生 4 名を対象に、開発した実習教材を用いた実習を以下の手順で行った。

### ①過渡現象について知る

過渡現象に関して説明する。

### ②過渡現象を発生させる要因であるエネルギー蓄電素子について知る

コイルやコンデンサが過渡現象の要因になることを説明する。

### ③過渡状態における波形をオシロスコープで観測する

オシロスコープにより、過渡状態における電圧波形を観測させる。今回の開発教材では、学生の興味を惹くことを重視してスマートデバイスを採用しており、画面内の操作で完結する。また、スマートデバイスと被測定回路は有線接続されていないため、実際の回路を計測していると認識しづらいことが懸念される。そこで、はじめにオシロスコープを使って実際に計測を行い意識させることで、この問題解決を図る。

### ④過渡現象に関する計算を行う

RC 回路を一例にして、コンデンサに加わる理論電圧の式をたて、時定数やそのときの理論電圧について計算を行わせる。

### ⑤開発教材を用いて時定数とグラフの相関を確認する

開発教材のグラフから、時定数が小さい場合は過渡状態が短くなり、時定数が大きい場合は過渡状態が長くなることを確認させる。

### ⑥基本素子の許容誤差を知り計算する

理論値と測定結果にずれがあることを確認させ、その要因として素子の誤差が考えられることを説明する。素子の誤差範囲を考慮すると、時定数の想定範囲内に収まることを確認させる。

### ⑦一次遅れ系から他の単元へのつながりを知る

今回扱った一次遅れ系は、その後学習する制御に大きくつながっていく分野である。そこで、実習の最後に一次遅れ系から制御へのつながりについて、口頭で簡単な説明を行った。

また、実習において疑問が生じた場合、随時説明を行った。実習の様子を図8に示す。

実習終了後は、開発教材を用いたことによる意識変化を調査するため、アンケートを行った。



図8 実習の様子



## 4. アンケート結果と考察

実習後に行ったアンケート結果の概要を以下に示す。

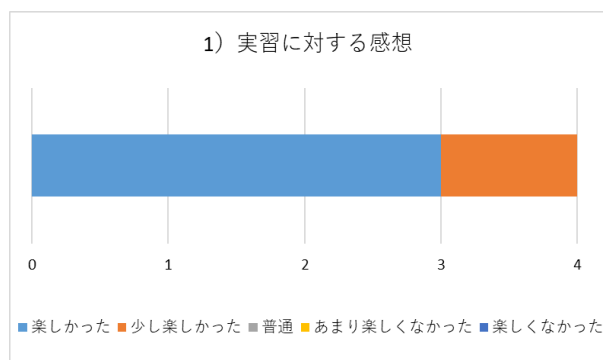


図9 アンケート結果1

まず、実習に関する感想(図9)では、全員から肯定的な意見が得られた。「配線がごちゃごちゃしてなくて、見たときに受け入れやすい」という意見があり、回路部を基板化したことが学生の学習にとって有益であったと考えられる。また、「タブレット端末を使うこと自体は、そんなに珍しいことではないので、操作方法もわかりやすかった」との意見もあり、当初の目論見通り、開発教材の操作デバイスとしてタブレット端末を採用したことは大変効果的であったといえる。

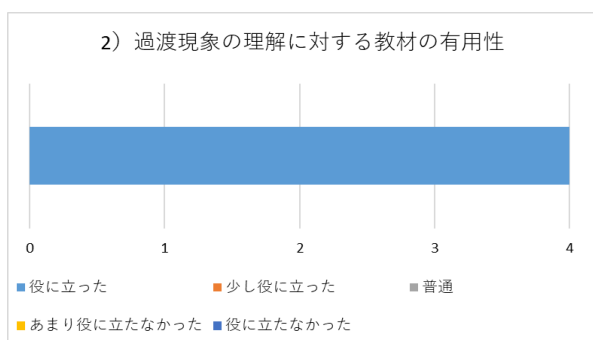


図10 アンケート結果2

次に、過渡現象の理解に対する開発教材の有用性(図10)では、全員が役に立ったと回答しており、「グラフのプロットから時間と電圧を気軽に読み取れること」を理解の手助けに効果的であったと回答していた。また、「グラフが同じような画面で表示されるので違いが分かりやすい」など、レイアウトに関する肯定的な意見がみられた。以上から、開発教材が過渡現象の理解に一定の効果があることが分かった。

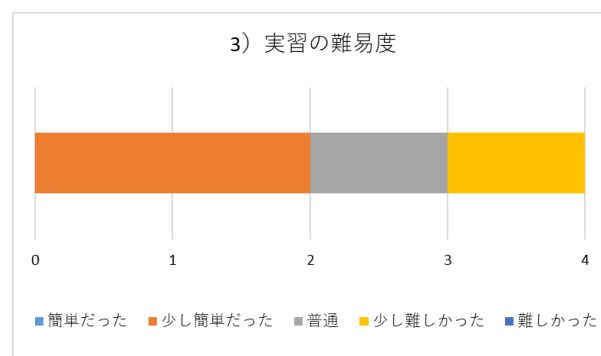


図11 アンケート結果3

難易度の感じ方は学生によって異なっていた(図11)。また、一番難しかった項目として、3人が「計算」を挙げていた。残り1名は日ごろから数学に意欲的に取り組んでいる学生であったため、個人の数学に関する興味・意欲が実習に対する難易度と大きく関連していることが分かった。一次遅れ系の学習では数学の知識は必須であるが、負荷を減らすための工夫が必要であるといえる。

この他、「自分でグラフを作成する手間が省ける」や「簡単な手順で実験値を取れる」という手軽さに関して言及する意見が多かった。通常の実習では、自分で計測を行ってグラフ用紙にプロットしグラフを完成させる必要があり、地道で大変な作業であるが実習の醍醐味でもある。本教材ではこの部分の労力を省いて理解度向上を重視しているため、実習教材よりは学習補助教材として活用するほうが適切であるといえる。

また、制御に対する意識ができたかという問いでは、3人が「持てた」もしくは「少し持てた」と回答していた一方、1人は「持てなかった」と回答していた。全員に効果があるわけではなかったので改善が必要である。

## 5. 実習から見た課題

実習及び学生からのフィードバックを通じて見えてきた、開発教材の問題点とその改善について述べる。

開発教材の回路部は、ユニバーサル基板を用いて予め製作したものを使用した。ブレッドボードに組み立てる場合と比べて、実習中のトラブルが生じにくいというメリットはあったものの、配線数がそれなりに多いため配線作業に時間がかかり、数を用意するのが難しい点が判明した。そこで、プリント基板の設計を行い、部品のハンダ付けのみで製作できるように変更を行った。なお、基板の設計にはフリーソフトの「KiCad」を使用した。

測定回路は、縦100mm×横100mmの大きさと製作

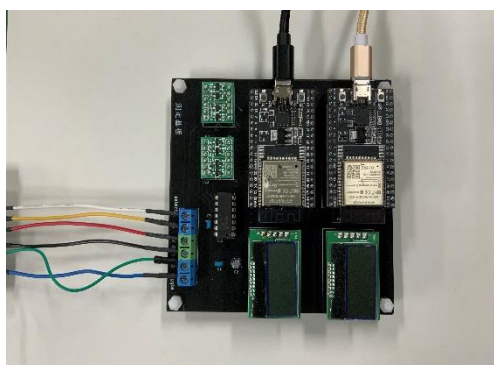


図 12 改良した測定回路

した(図 12)。ユニバーサル基板で製作したとき、サーバ用マイコン及び電圧測定用マイコンが Wi-Fi に接続されているか確認する手段がなく、非常に不便であった。そこで、小型の液晶モジュールを搭載し、それぞれ Wi-Fi の接続状況を表示するように改良した。被測定回路は、縦 47mm×横 55mm で製作した。ユニバーサル基板の時は単体で完結することを重視し、素子も基板上の端子台に固定する方式としていた。しかし、素子をうまく固定することが難しいことがわかったため、素子の配線に関してのみブレッドボードを併用する設計に変更した。設計当初にブレッドボードを排除した目的は、学習の本質に必要な部分が多くこれらを考慮するのが学生への負担となると考えたためであり、必要な部分をブ

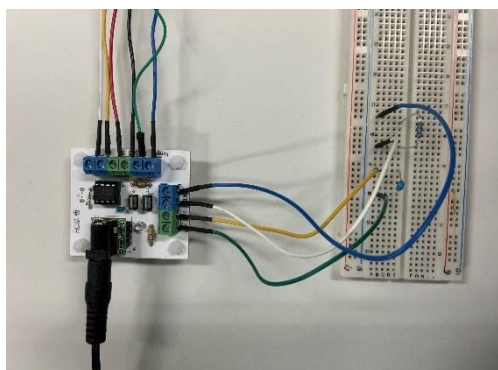


図 13 改良した RC 回路

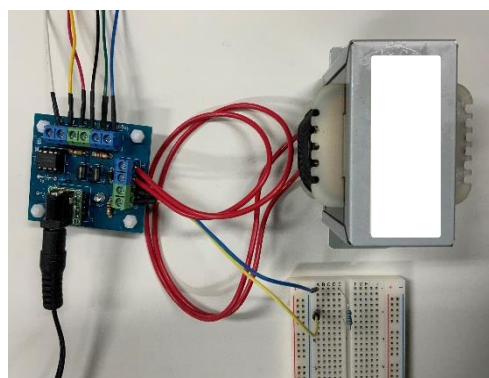


図 14 改良した RL 回路

レッドボード上で実装させることは学生の学習を阻害することがなく、非常に有効であると予想できる。

## 6. 結 言

今回開発した教材では、学生は楽しんで実習に取り組み、また理解の役に立つことが分かった。しかし、実習構成や実習教材としての在り方など様々な問題点も見えてきた。今後は、可能な限り問題改善を行い、より良いものにしていきたい。

## 謝 辞

本研究は JSPS 科学研究費補助金(奨励研究 20H00850)を受けて行ったものであり、ここに謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 佐藤和也, 平本和彦, 平田研二: 初めての制御工学, 講談社(2018)21-23, 31-33.
- 2) 大島輝夫, 山崎靖夫, 高橋寛[監修]: 絵ときでわかる自動制御, オーム社(2007)44-49, 65-67.
- 3) 高橋寛, 増田英二他 4 名: わかりやすい電気基礎, コロナ社(2002)281-292.