

LabVIEWで操作する計測器を用いた応用物理実験テーマの策定

—共振実験用VIの作成と線形フィッティング解析の実習—

New experimental theme using measurement setups operated by LabVIEW software
– Development of VI for resonance experiments and analysis by linear-fitting process –

磯上 慎二・小田 洋平・工藤 康紀・鈴木 三男

福島工業高等専門学校 一般教科物理科

Shinji Isogami, Yohei Kota, Koki Kudoh and Mitsuo Suzuki

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of General Education, Physics

(2015年9月17日受理)

The new experimental theme using the LabVIEW software was developed for a subject of Applied Physics II. The LabVIEW achieved remote controlling of a pulse generator of which frequency and amplitude were set on a personal computer, and linear-fitting analysis of the experimental data. Resonance experiments in a chord were demonstrated using the setups, and the eigen oscillation modes were observed for each tensions in the chord. The linear-density of the chord was estimated with the observed eigen frequency values. We thus conclude that our developed experimental theme can give students experiences of LabVIEW software.

Key words: LabVIEW, resonance oscillation, eigen frequency

1. はじめに

ナショナルインスツルメンツ (NI) 社が提供するソフトウェア、LabVIEWは、自動車、半導体、航空機、電子機器、化学薬品、通信、医療品といった多種多様な業界に普及し、そこでの研究、開発、製造、保守管理に利用されてきた。その中でも特徴的なのは、NASAにおいて、無人探査機から送られてくる装置データ（位置、温度、バッテリー残量など）の常時監視・解析と、その後の運用計画を立案することにも活用されていることである。このようにLabVIEWは既に分野を問わず広く普及している。

LabVIEWで作成するプログラムはバーチャルインスツルメンツ (VI) と呼ばれる。FortranやCのようなテキスト文によるプログラミングとは全く異なり、一目でコマンド動作がイメージできるアイコンで構成される。その結果、開発スピードが格段に速まると同時に、初心者が抱くプログラミングへの抵抗感が低減できるようになった。さらにサンプルVIのダウンロードとユーザー同士の情報共有がインターネット上で可能である。よって習熟の効率化という観点では、LabVIEWは他の言語と同等と考えられる。

以上、種々の産業界への普及とユーザー親和性を鑑み

ると、LabVIEWを用いた実験や応用システムの構築と操作を実習する機会を設定することは、開発現場にいち早く順応できる人材育成の観点から重要な取り組みである。しかしながら、福島高専内では先行事例がなかった。そこで我々は、応用物理実験テーマ「LabVIEWを用いた電気計測実験」を開発し²⁾、2013年からLabVIEW教育を実践し続けてきた。その中で、実験指針書に記載されたマニュアルに従いVI作成、測定データ自動サンプリング、テキストファイル作成まで一連の実習を行った。後の調査結果より、98%の学生はLabVIEWの実験に興味をもって取り組んだことが判った³⁾。この結果を受けて今回は、発展テーマとして弦の共鳴振動実験に必要なファンクションジェネレーターのリモート操作とデータフィッティング解析に関する実習を開発したので報告する。

2. 両側固定端における弦の固有振動の原理

線密度 ρ [kg/m]で長さ l [m]の弦に張力 S [N]が加えられているとき、形成される定常波の波長 λ [m]は、両端が固定端であるから、 m を自然数として、

$$\lambda_m = \frac{2l}{m}, \quad (式1)$$

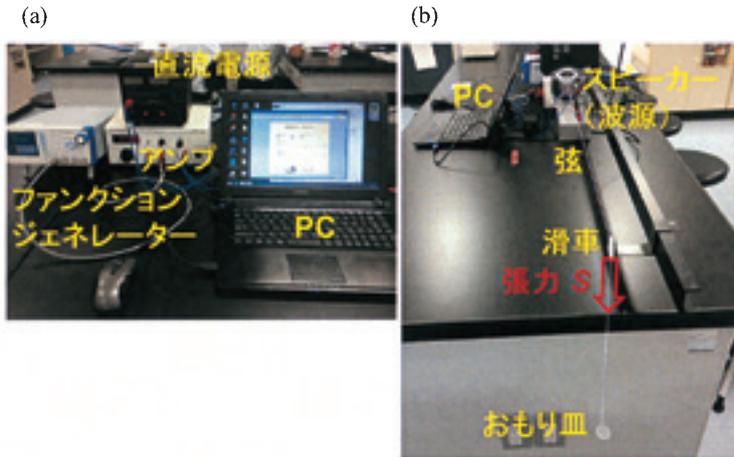


Fig. 1 (a) 共鳴振動実験装置系の配置, 名称とそれらをリモート操作するPC周辺を示す外観写真. (b) 共鳴振動する弦の配置を示す外観写真.

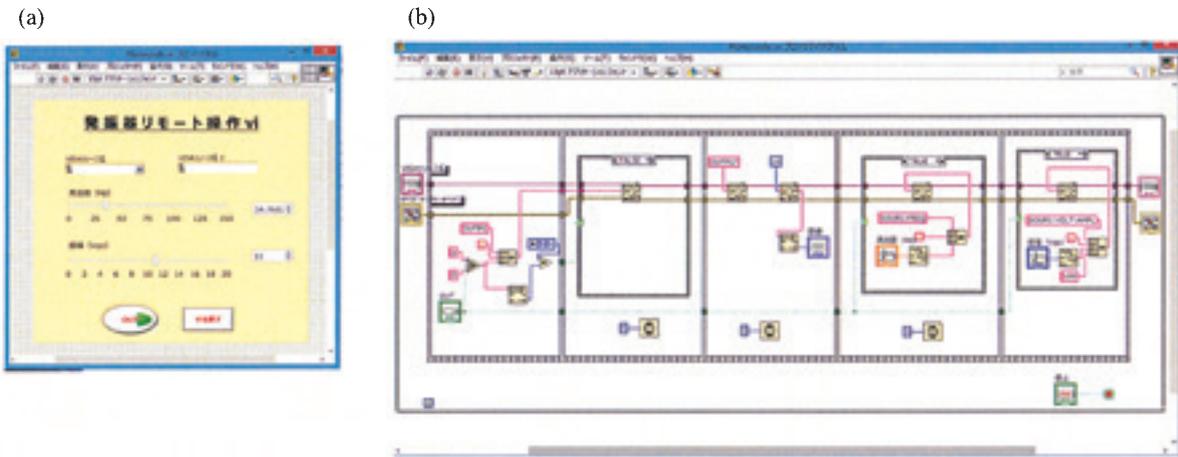


Fig. 2 (a) ファンクションジェネレーターをリモート操作するために作成したVIのフロントパネル. (b) 対応するVIのブロックダイアグラム.

で与えられる. 特に $m=1, 2, 3 \dots$ のときの定常波に対する振動をそれぞれ, 基本振動, 2倍振動, 3倍振動 ... と呼ぶ. このように自然数倍の振動をまとめて固有振動, 対応する振動数を固有振動数という. また弦を伝わる音速を V [m/s]とすると, m 倍振動の固有振動数 f_m [Hz]は,

$$f_m = \frac{V}{\lambda_m} = \frac{V}{2l} \times m, \quad (式2)$$

で与えられる. ここで線密度 ρ と V には,

$$V = \sqrt{\frac{S}{\rho}}, \quad (式3)$$

の関係がある⁴⁾.

3. 実験装置の構築

3.1 装置系の構成

共鳴振動実験装置はFig. 1に示されるように, ファンクションジェネレーター (型式: WF1974), アンプ,

直流電源, 振動弦, スピーカーで構成されている. サイン信号波形をアンプで増幅し, スピーカーの振動を弦に伝える基本的な仕組みである. 設定値に関しては, サイン信号波形の V_{pp} (振幅の2倍) を0~20 V, 周波数 f を0~150 Hz, スピーカーへのバイアス直流電圧を6 V, おもり (分銅) 質量 m を $0 \sim 2 \times 10^{-3}$ kgとした. また弦は一般的な木綿製裁縫糸を用い, 長さ (スピーカー接点から滑車まで) を1070 mmとした. 定常波の波形は, 基本振動, 2倍, 3倍振動を目視で決定した. 弦に加える張力 S は分銅の質量で変化させた. またファンクションジェネレーターには外部制御用のGPIO信号ポートが設置され, LabVIEWソフトウェアとPCによる外部操作が可能である.

3.2 ファンクションジェネレーター外部操作VIの作成

Fig.2(a)は筆者が作成した実際のVIの操作パネル (フロントパネルと呼ぶ) を示す. 従来はファンクション

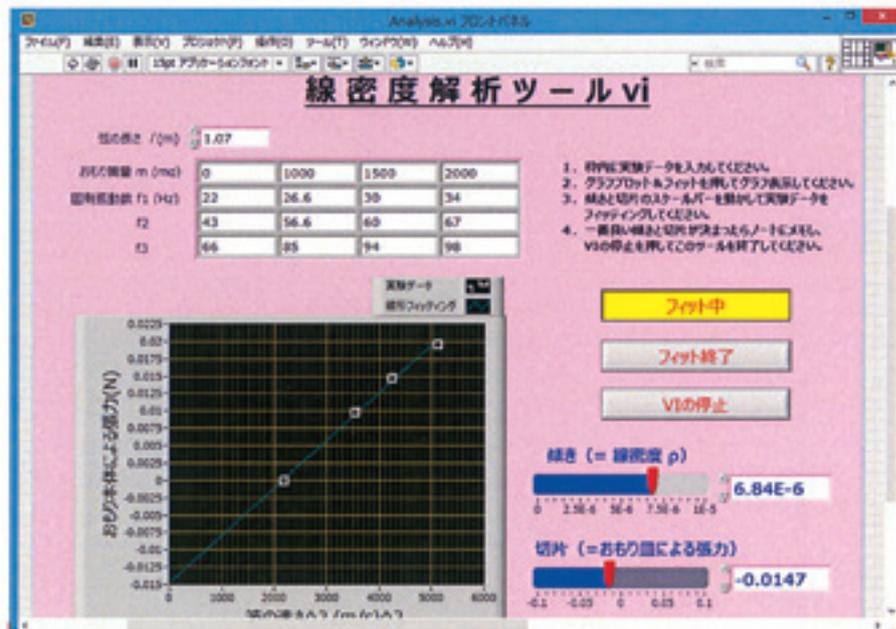


Fig. 3 実験データから線密度を算出するために作成した解析用VIのフロントパネル。

ジェネレーター本体の操作ボタンを押しながらマニュアル操作で実験を行っていたが、この場合逐一、設定値画面を経由する必要があるため煩雑であった。さらに実験装置の配置の都合で、ファンクションジェネレーターは弦と離れた位置に置かれており、必然的に実験者の視線と腕の動きが大きい点も、限られたスペースで高精度なデータ取得するのに好ましい状況ではなかった。今回構築した系では対照的に、Fig 2(a)に示すようなフロントパネル上のスケールバーをマウスで動かすだけで周波数と振幅を独立に、かつリアルタイムで調節可能とした。このことで実験者の視線が弦に注がれた状態とし、固有振動を見つけやすくした。

Fig. 2(b)は対応するVIの中身を示す。他のプログラムではちょうどソースプログラムに対応するものである。アイコンが配線されているだけであり、初心者でも動作をイメージしやすいものと推察される。図中には示されていないが、メニューバー内の電球アイコンをONにしてデバッグモード化すると、値の受け渡しがリアルタイムで可視化され、容易にVIの間違いに気づく。「VIを終了」ボタンが押されるまで、5つに区切られた枠が繰り返される仕組みである（whileループに相当）が、1ループあたりの演算速度はPC性能に依存し、ほぼ他のプログラムと同じである。学生実験では実際に同じVIを作成してもらうため、細かい手順のマニュアルを別途準備している。

3.3 データフィッティングVIの作成

線密度 ρ は(式3)で示されるように、 V^2 に対する S の傾きとして与えられる。ここで V は f の関数であるから(式2)、実験で得た f_m から V を算出している。今回はいくつかの S に対して測定された V^2 をグラフ上にプロットして近似直線の傾きを求めた。これまでは、グラフ用紙を配布して手書きをさせていたが、VIでもプロットや近似直線による解析が可能である。これを実習するためFig. 3に示す解析用VIを実際に作成した。弦の長さ、おもりの質量、固有振動数 f_1, f_2, f_3 を入力すると、グラフにプロットが現れる。その後、フィッティングボタンで現れた近似直線の傾きと切片をマウスで調節し、プロットをフィッティングする。リアルタイムで近似直線が更新され、ベストフィット条件を見出しやすいように工夫した。ここで、傾きは線密度そのもの、切片はおもり皿の質量（おもり本体の質量 $m = 0$ ）に対応する。本VIを用いると手計算より格段に早く、得られたデータの妥当性をチェックできる。結果として再実験必要性の判断が瞬時にできるため、授業全体の効率化が期待される。しかし、算出過程の学習のため、手計算による検算も学生のレポートとして課す予定である。

4. 実験結果

前述の2つのVIを用いた弦の線密度算出に関するデモンストレーションの結果を示す。表1はおもりの質量 m [kg]に対する基本振動、2倍、3倍の固有振動数の実験データをまとめたものである。まず基本振動数 f_1 と m の関係に着目すると、 m の増大に伴い単調増加しており、

表1 おもり質量に対する固有振動数 (実験値)

弦の長さ (m)	1.07				
おもり質量 ($\times 10^{-3}$ kg)	0	1.00	1.50	2.00	
固有振動数 (Hz)	f1	22.0	26.6	30.0	34.0
	f2	43.0	56.6	60.0	67.0
	f3	66.0	85.0	94.0	98.0

(式2) と (式3) で予想される結果と定性的に一致することを確かめた。次に $m = 1.00 \times 10^{-3}$ kgにおいて、固有振動数の変化に着目するとおおむね、 f_1 を基準として2倍振動は $f_2 = 2f_1$ 、3倍振動は $f_3 = 3f_1$ の関係を満たすことを確認した。以上より表1の実験結果は、共鳴振動理論の範疇での固有振動を観測していることを示唆する。

ツール上の解析では4つの m に対するプロットを直線近似し、その傾きから $\rho = 6.84 \times 10^{-6}$ kg/m が得られた。また $m = 0$ でおもり皿による張力は、縦軸の切片の絶対値から 1.47×10^{-2} N であることが判った。ここで弦の長さは $l = 1.07$ m を用いている。このようにおもり皿の質量が未知であっても、複数のデータから線密度が求められることを確かめた。

ツール上の解析を検算するため、例えば、 $m = 1.00 \times 10^{-3}$ kg の場合に対して手計算を行った。基本、2倍、3倍振動における V はそれぞれ $V_1 = 2lf_1 = 56.9$ m/s、 $V_2 = lf_2 = 60.6$ m/s、 $V_3 = (2/3)lf_3 = 60.6$ m/s で、それらの平均値は $V = 59.4$ m/s と計算される。個別に計量されたおもり皿だけの質量 1.33×10^{-3} kg を用いて、弦にかかる実効的な張力は $S = mg = (1.00 \times 10^{-3} + 1.33 \times 10^{-3}) \times 9.8 = 22.8 \times 10^{-3}$ N と計算される。よって (式3) より解析的に $\rho = 6.47 \times 10^{-6}$ kg/m と算出された。この結果は近似直線の傾きから求まる $\rho = 6.84 \times 10^{-6}$ kg/m と比較すると

6%程度の違いであった。この値は定量的におおむね一致と判断しているが、さらに精度を上げるためには、各おもりの質量に対する固有振動数を複数回測定した平均値を用いる必要があると推察している。以上の結果より、約4つ程度のプロットを用いたフィッティング解析手法は妥当であり、授業時間の制約を受ける学生実験として展開可能と考えられる。

5. まとめ

ファンクションジェネレーターをLabVIEWにて外部操作するVIを作成した。周波数と振幅を全てリアルタイムにPC上で制御できるようになった。その結果、固有振動を形成する条件の決定が効率化された。得られた固有振動数、弦の長さ、おもりの質量を入力するだけで、即座に線密度を計算し、データの妥当性が確認できるVIを作成した。リアルタイムで実験データを直線近似するため、高い精度での線密度の解析を可能とした。これらLabVIEWを学生実験で体験させることで、外部制御としての用途のみならず、実験データ解析にも有用である特徴を教育できると期待される。

参考文献

- 1) Robert H. Bishop : LabVIEWプログラミングガイド(アスキー、東京、2005)。
- 2) 福島高専一般教科物理科 応用物理実験指針書。
- 3) 磯上慎二、新井真人、鈴木三男、福島高専研究紀要、No. 54, P. 107 (2013)。
- 4) 柴田洋一、勝山智男、鈴木三男、長澤修一、加藤清考、青山歆生：熱・波動 (大日本図書、東京、2010)。