

うなるプリント

—第4版—

2014 年 7 月 19 日

このプリントの題名にある「うなる」の主語は、君たちではありません。このプリントです！

振動・波動論などの講義で「うなり」が出てきたけれど、実感がわかずうなっていたあなた！ このプリントが代わりにうなってくれます。

このプリント（≠シケプリ）では一切数式を用いていません。前代未『聞』かもしれない「音声付」プリントとなりました！

暇だったので¹、何気なくグラフ作成ソフトウェア「**GRAPES**」を眺めていたところ²、この付属の sample の中になんと！「音のうなりと単振動の合成」っていうのがあるではないか！というわけで、ちょっと遊びがてらいじってみまして、その副産物がこれです。

関数のグラフばかり見てもあまり実感がわからない「うなり」も、実際に音で聴いてみると、「百“見”は一“聴”にしかず」(?)で、なんかよく分かるかもしれません。

ただし、ずっと聴いていると耳の中でいつまでも何かがうなっているような気分になってきますのでご注意ください。

興味のある方は GRAPES をダウンロードして、パラメタを動かして2つの波の合成を楽しんで(?)ください。

(お知らせ) UTaisaku-Web に同時公開の

「化学・理系の便利な情報満載」

も合わせてよろしくお願いします。

¹ 「うなるプリント」(初版)制作時のことです。今は忙しいよ！

² GRAPES は <http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~tomodak/grapes/> から無料でダウンロードできるフリーソフトウェアです。

～ プリントの内容について～

前半：様々な振動数の差の2つの音の波形をまず青と赤で示しました。次にその2つの合成によってできる音の波形を黒で示しています。4つ目の図として青、赤、黒の3つの波形を同じ平面に乗せたグラフも示しました。横軸は時間[s]です。右端が0.1sになっています。

後半：音声付きの部分です。前半部分で示した波形を、横軸の右端が0.5sのところまで延長して図示しています。図の横にあるスピーカマークのボタンをクリックすると、短い音声は3種類流れます。1つ目は青の波形の音、2つ目は赤の波形の音、3つ目は黒の波形の音です。うなりの周期が、2つの振動数の差が0に近づいていくにつれて長くなっていくのがよく分かるはずです。波形の図がつぶれていますが、包絡線の形が大まかに見えるのではないかと思います。

※ボタンをクリックしたとき、「セキュリティの問題上、～」などと出てきたら、「今回は許可する」を選べば大丈夫だと思います。

注：このプリントは印刷せずに、PCの画面上で、PDFファイル閲覧ソフト（Adobe Reader など）で「見開きページ表示」とかで見たほうが読みやすいと思います。

～ 更新情報 ～

2011 年 11 月 23 日	「うなるプリント」（初版）	公開
2012 年 4 月 17 日	「うなるプリント 第2版」	公開
2014 年 6 月 18 日	「うなるプリント 第3版」	公開
2014 年 7 月 19 日 (New!)	「うなるプリント 第4版」	公開

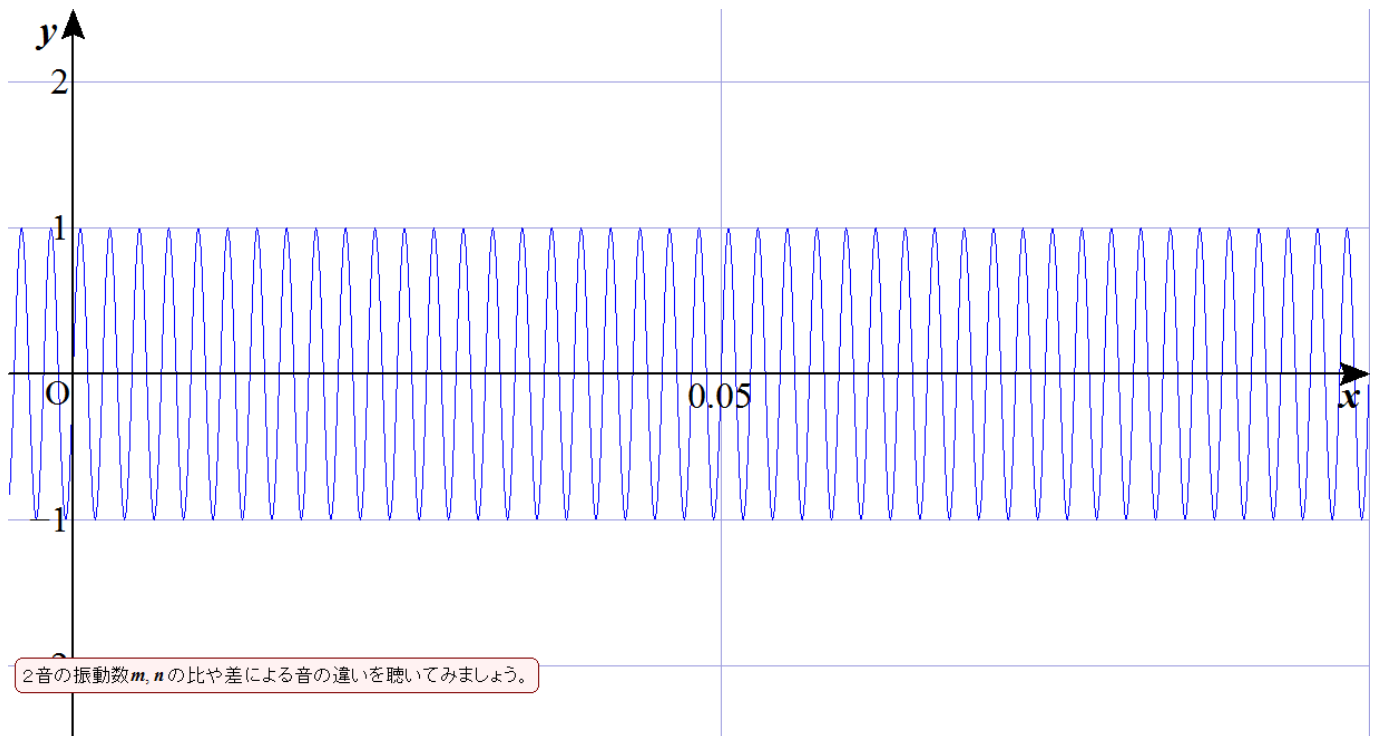
- 初版 → 第2版 更新内容
 - － 一部の人に好評 (?) だった初版（Word で制作）を、ファイル軽量化と画像美化を目的に \LaTeX 化
 - － 基礎実験「基礎物理学実験 6」に関する内容を追加
- 第2版 → 第3版 更新内容
 - － UTaisaku-Web 公開用に微修正
- 第3版 → 第4版 更新内容
 - － 総合科目 E「ナノマテリアル入門」に関する内容を追加

～このプリント「うなるプリント 第4版」の初出は、UTaisaku-Web³です。～

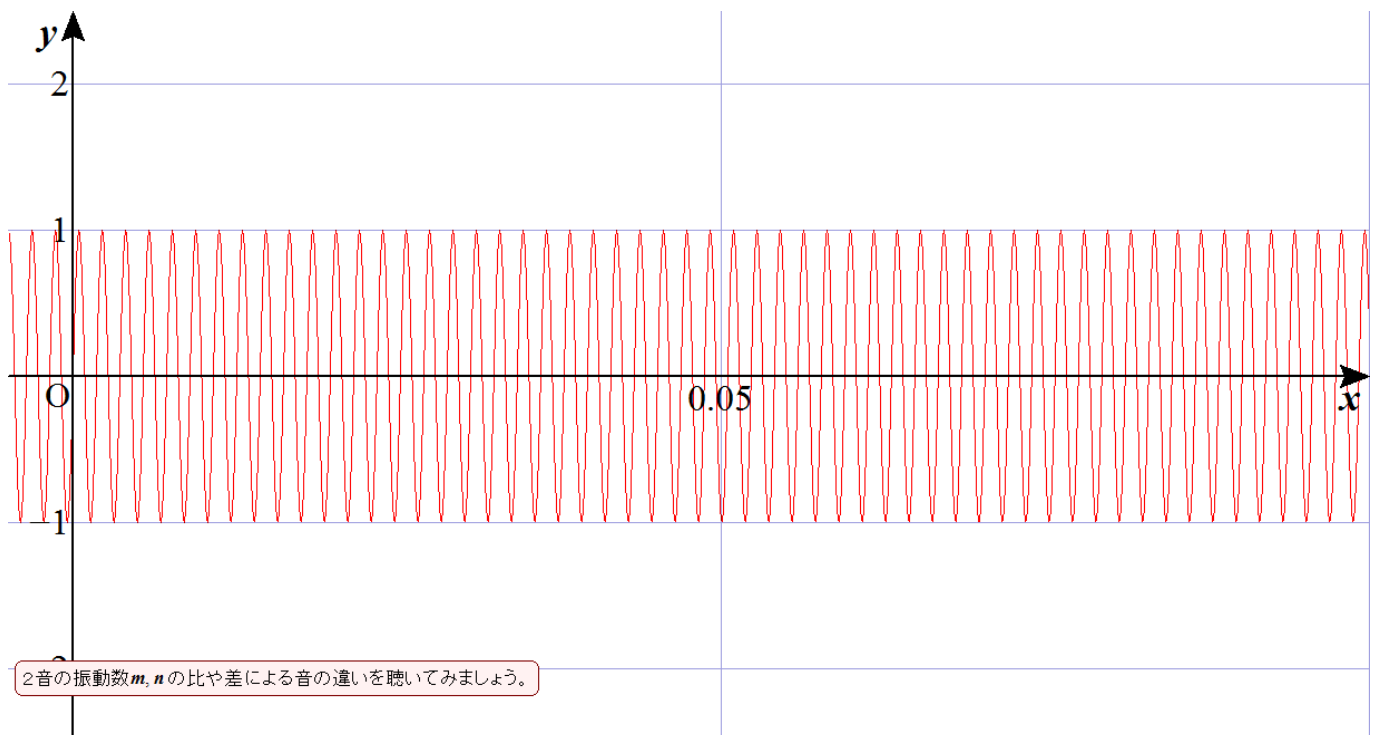
³東大シケブリ・過去問データベース UTaisaku-Web (<http://todai.info/>)

図 1: 長 3 度 (440Hz と 554.36526Hz : ラと♯ド)

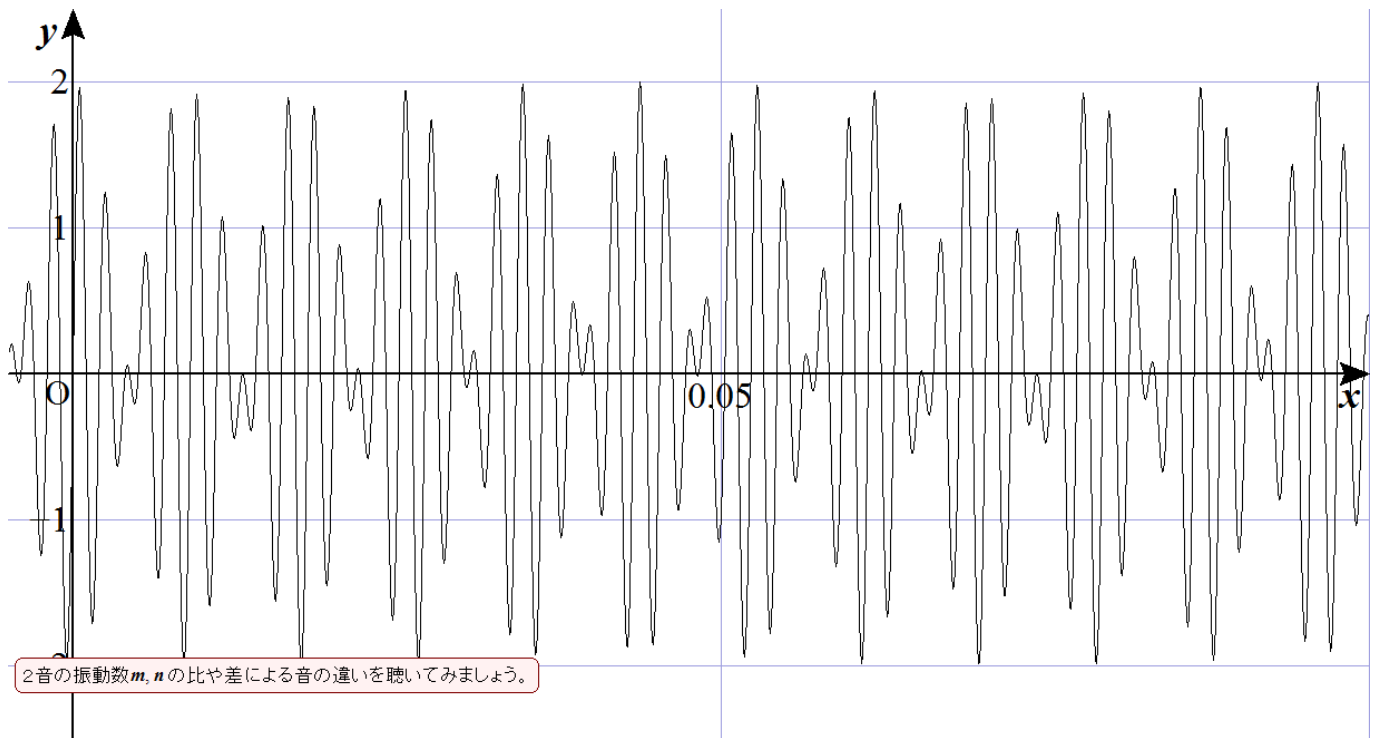
440Hz



554.36526Hz



合成波



3つの波

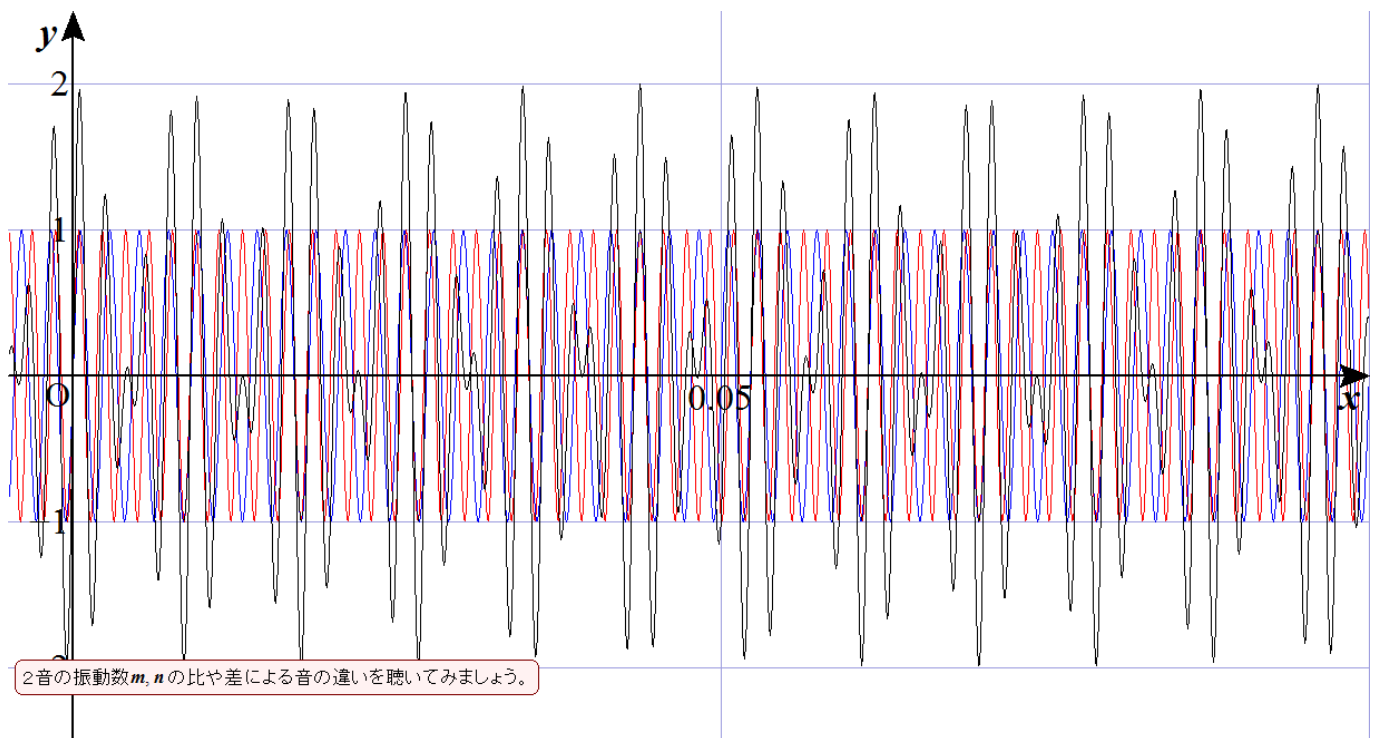
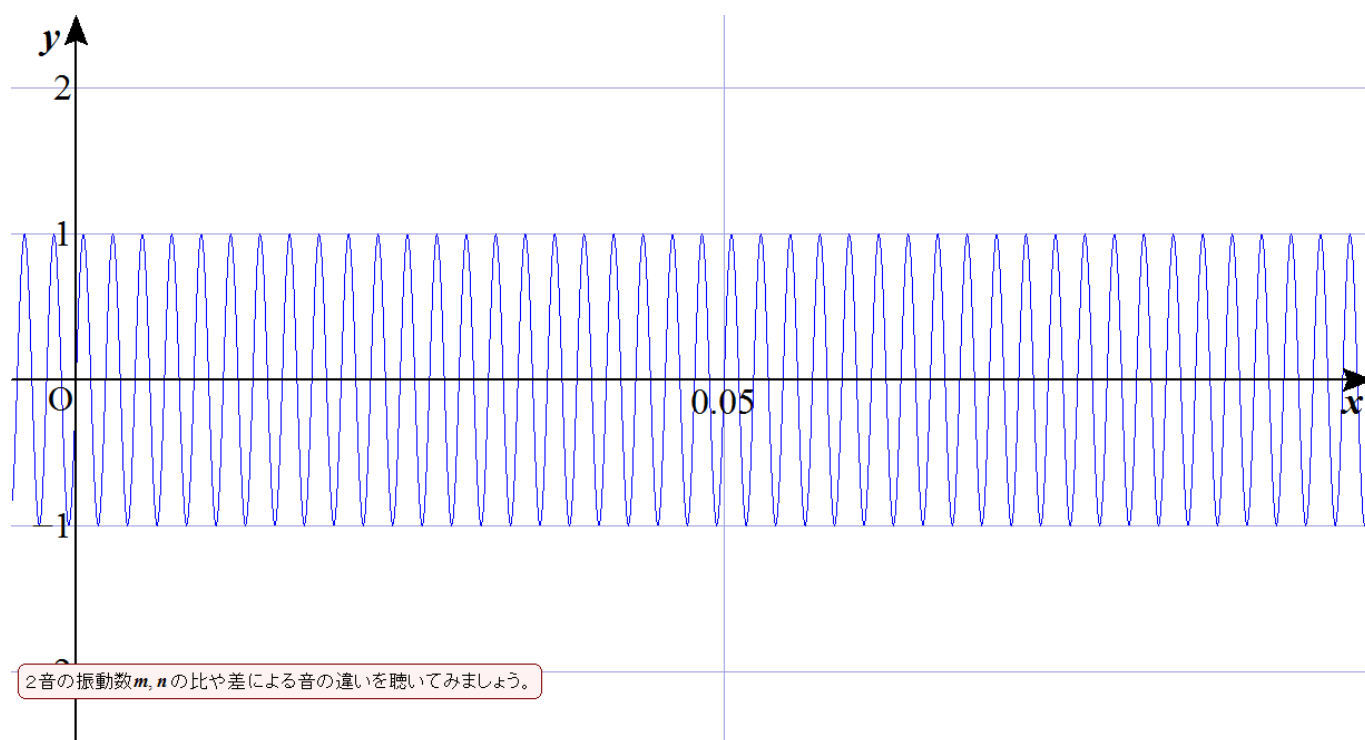
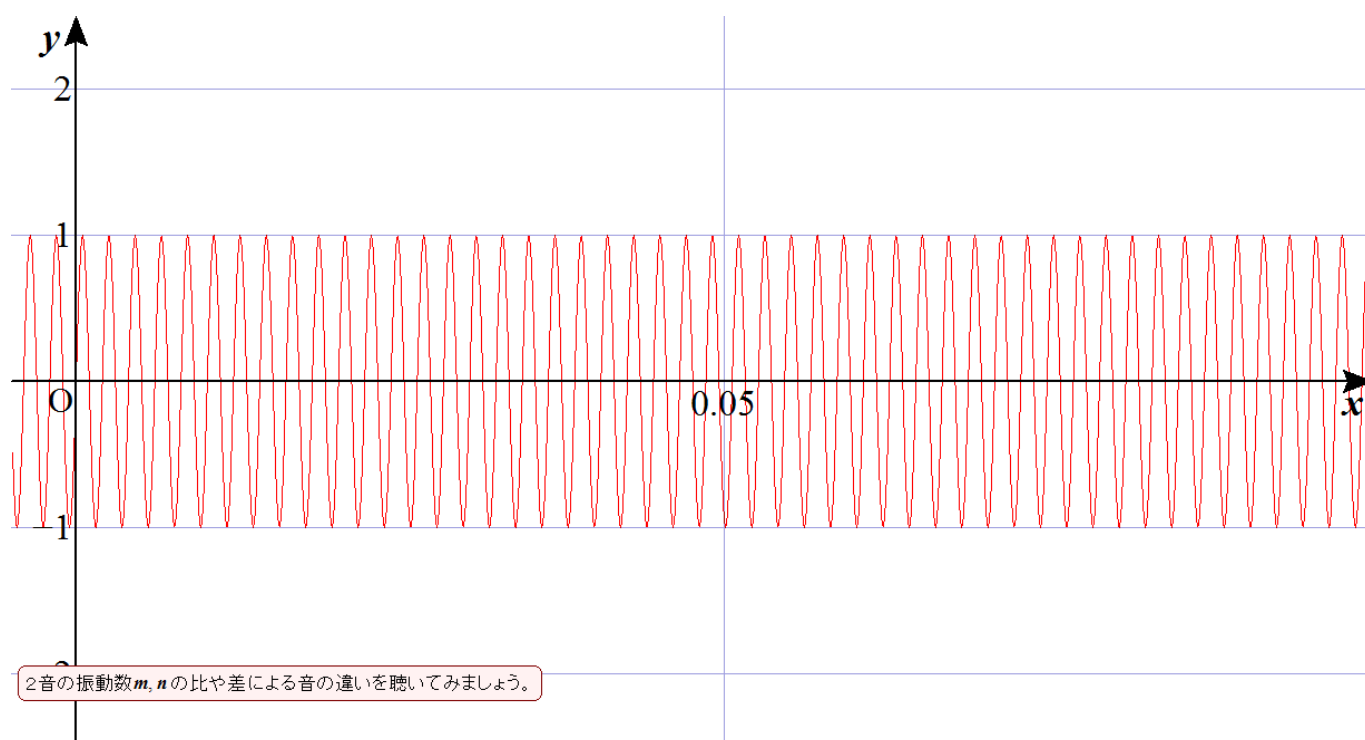


図 2: 全音 (440Hz と 493.8833Hz : ラとシ)

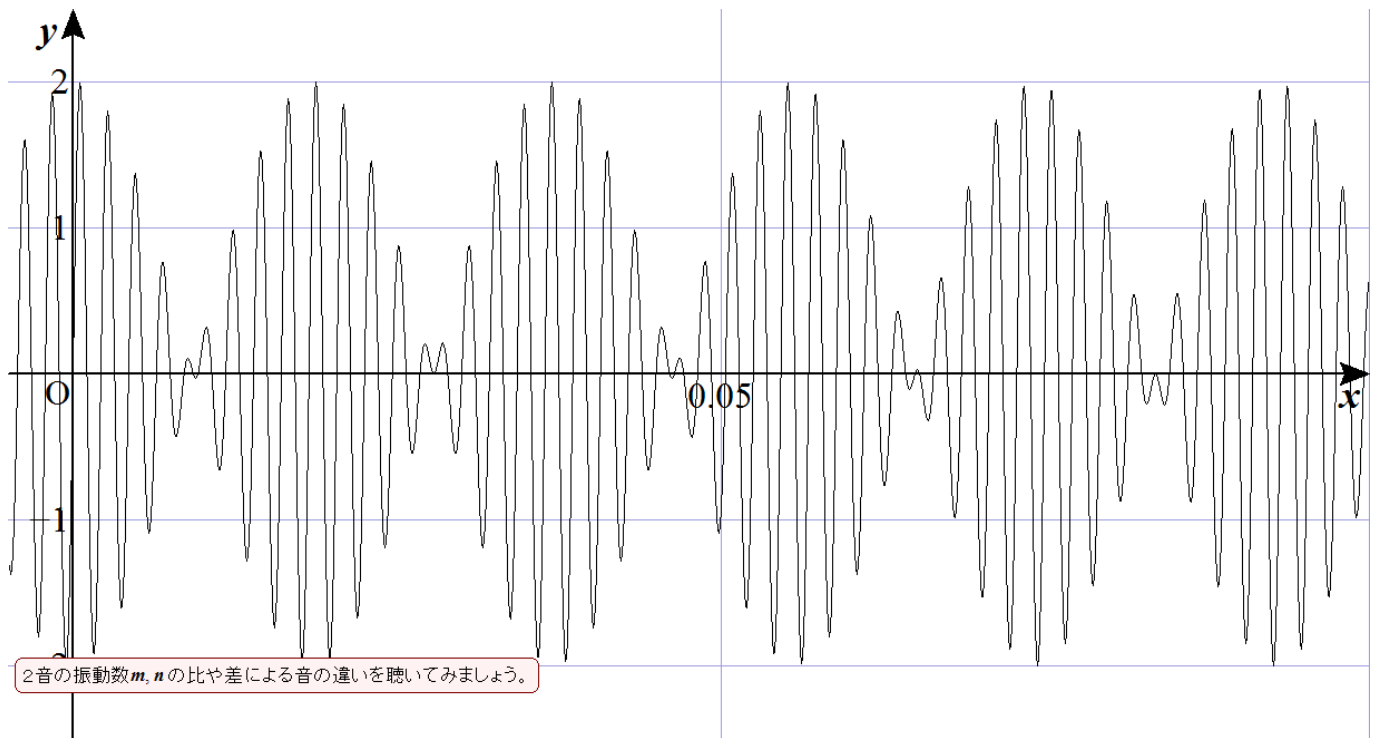
440Hz



493.8833Hz



合成波



3つの波

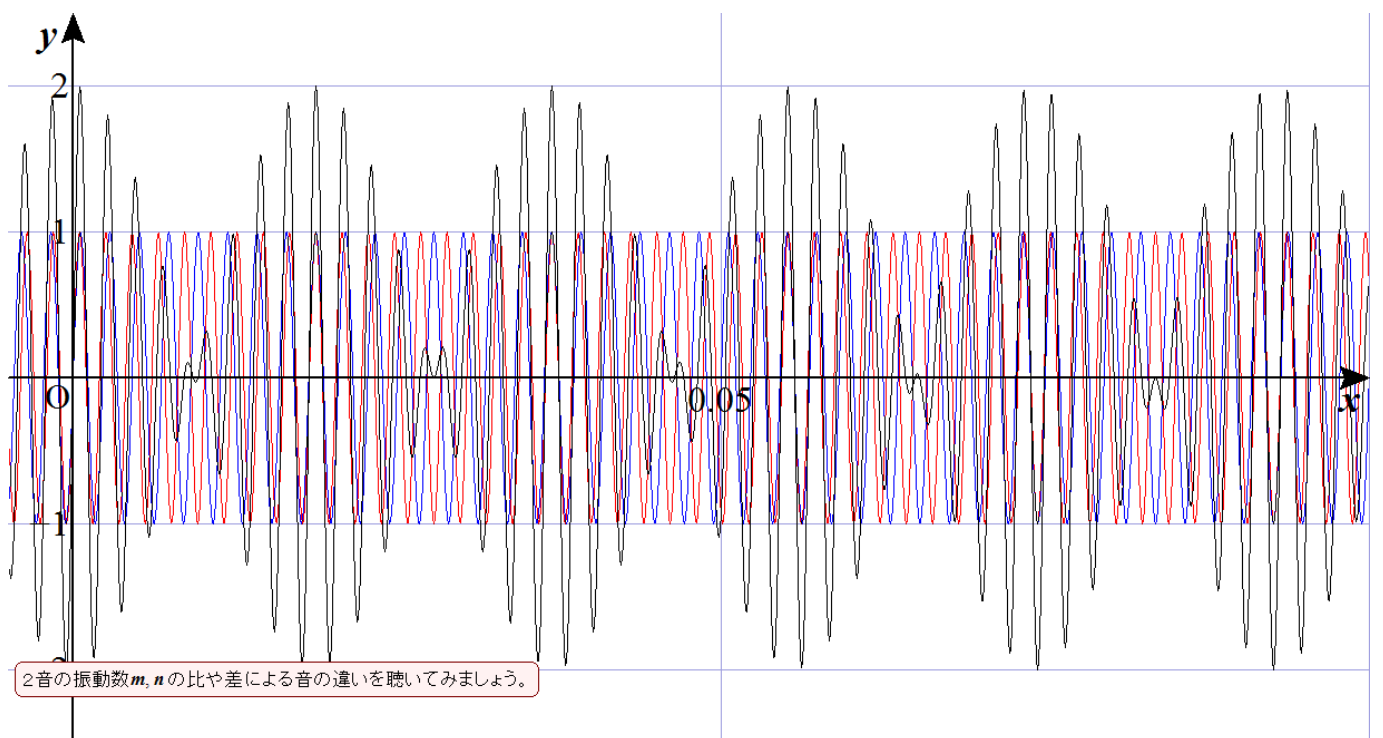
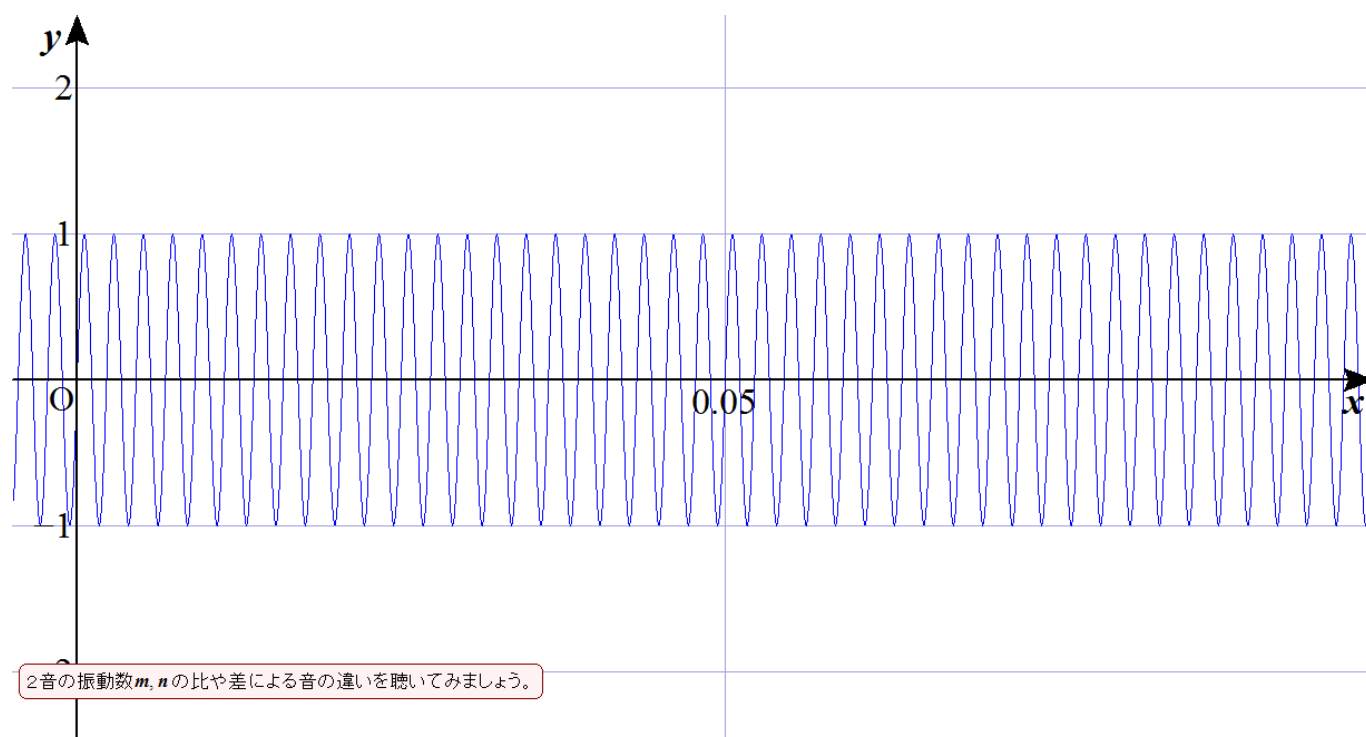
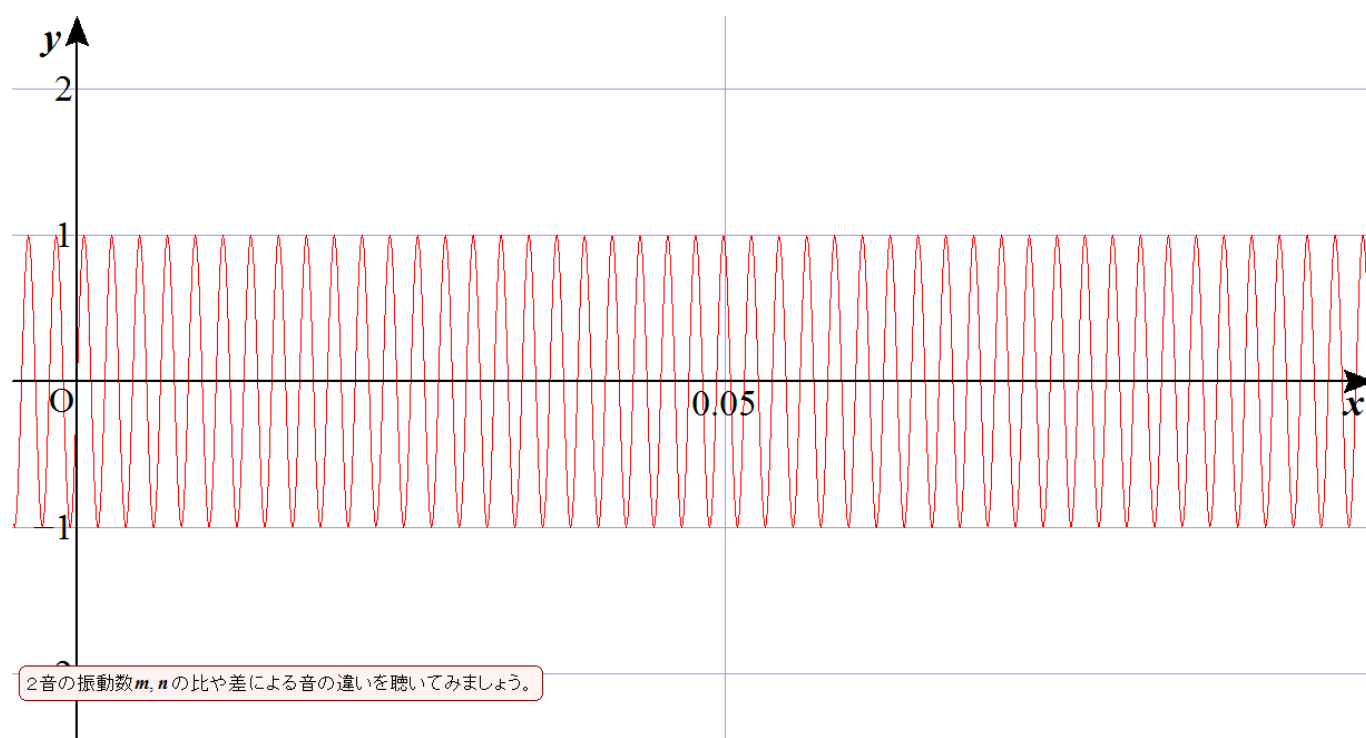


図 3: 半音 (440Hz と 466.16376Hz : ラと㇑シ)

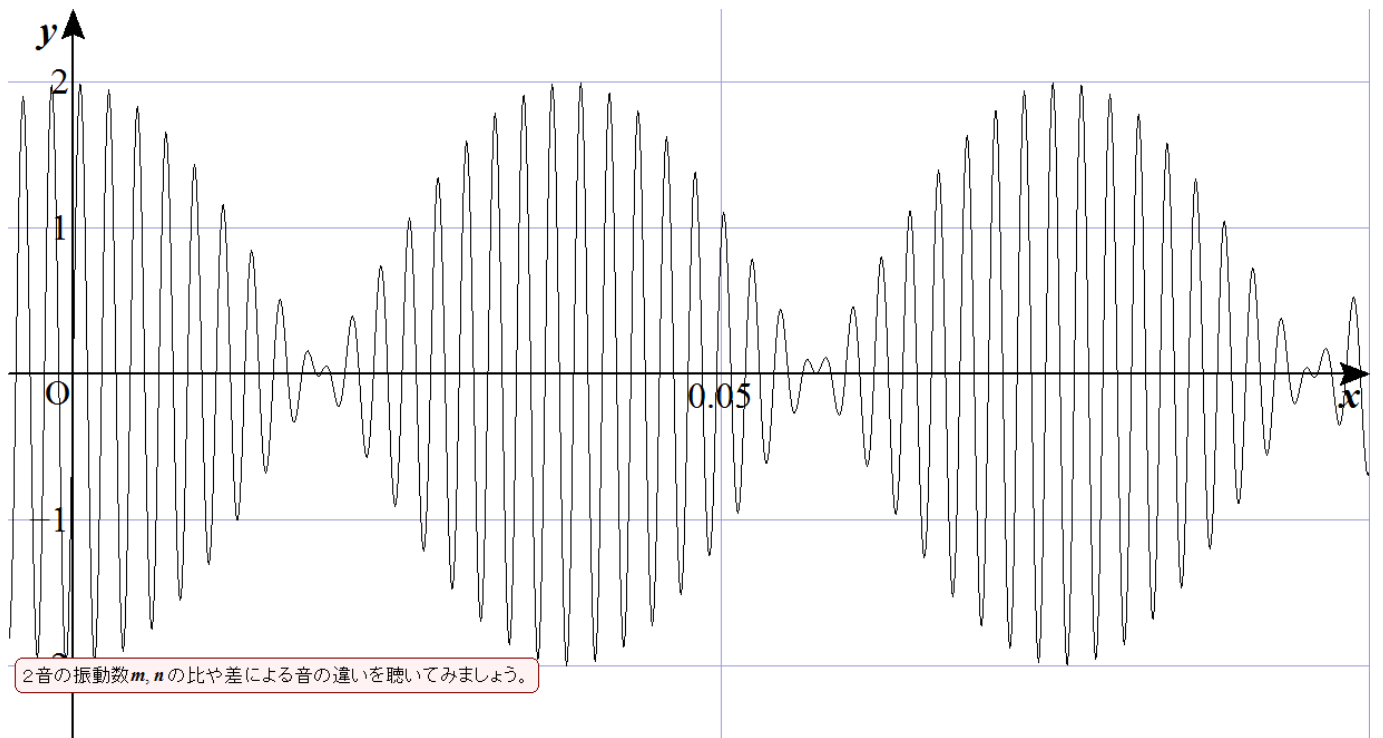
440Hz



466.16376Hz



合成波



3つの波

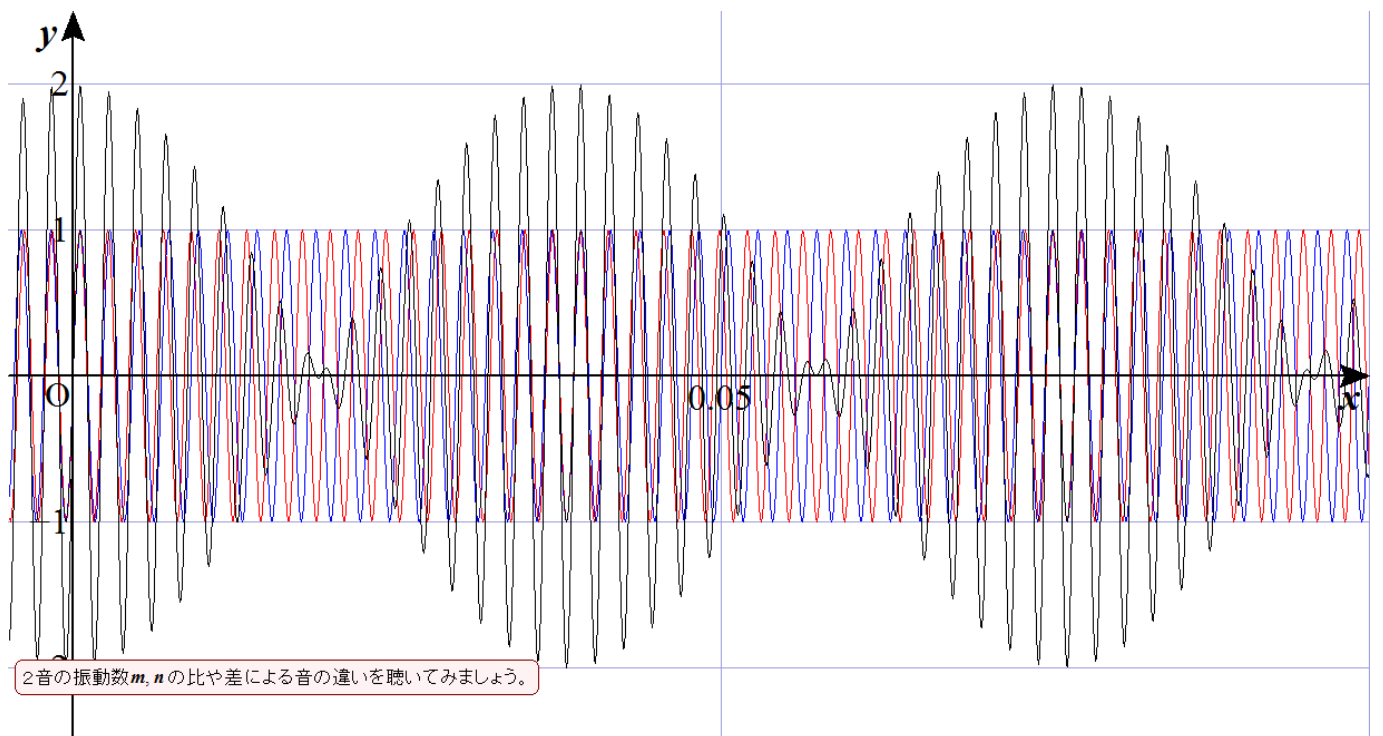
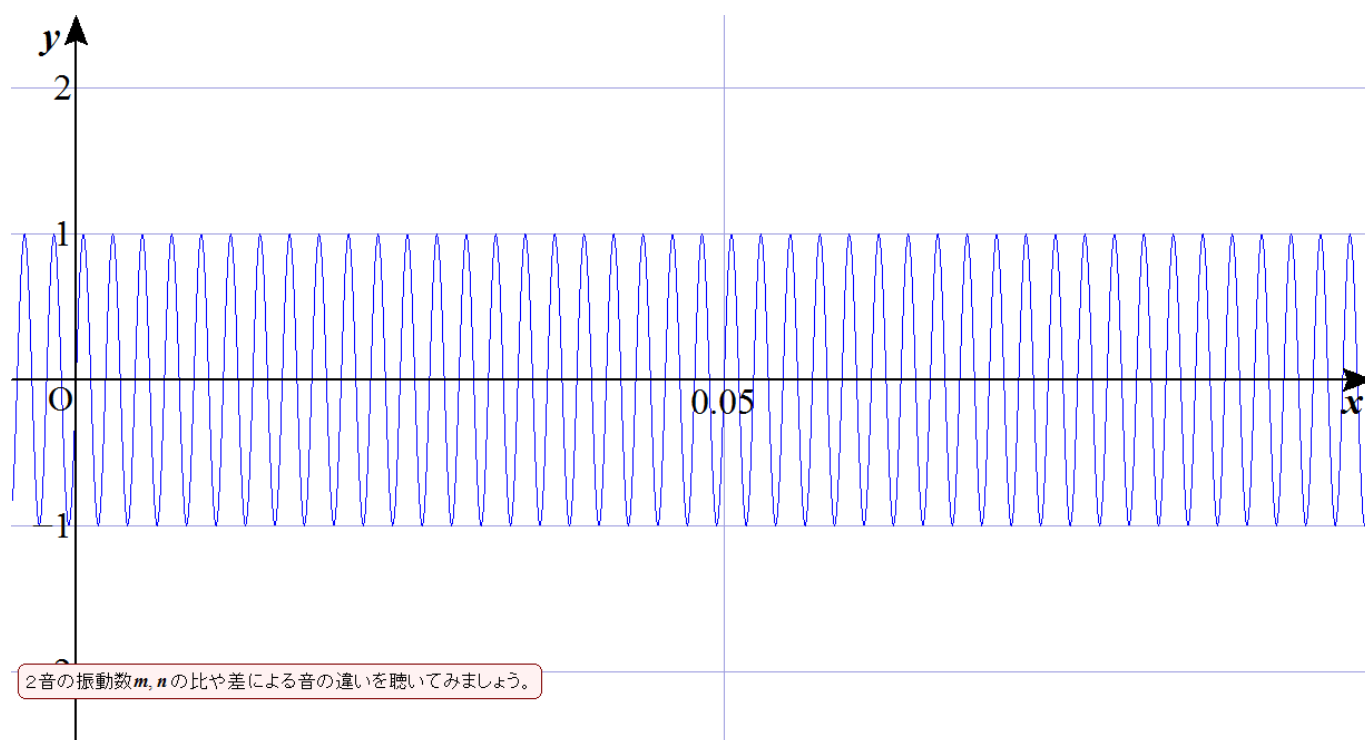
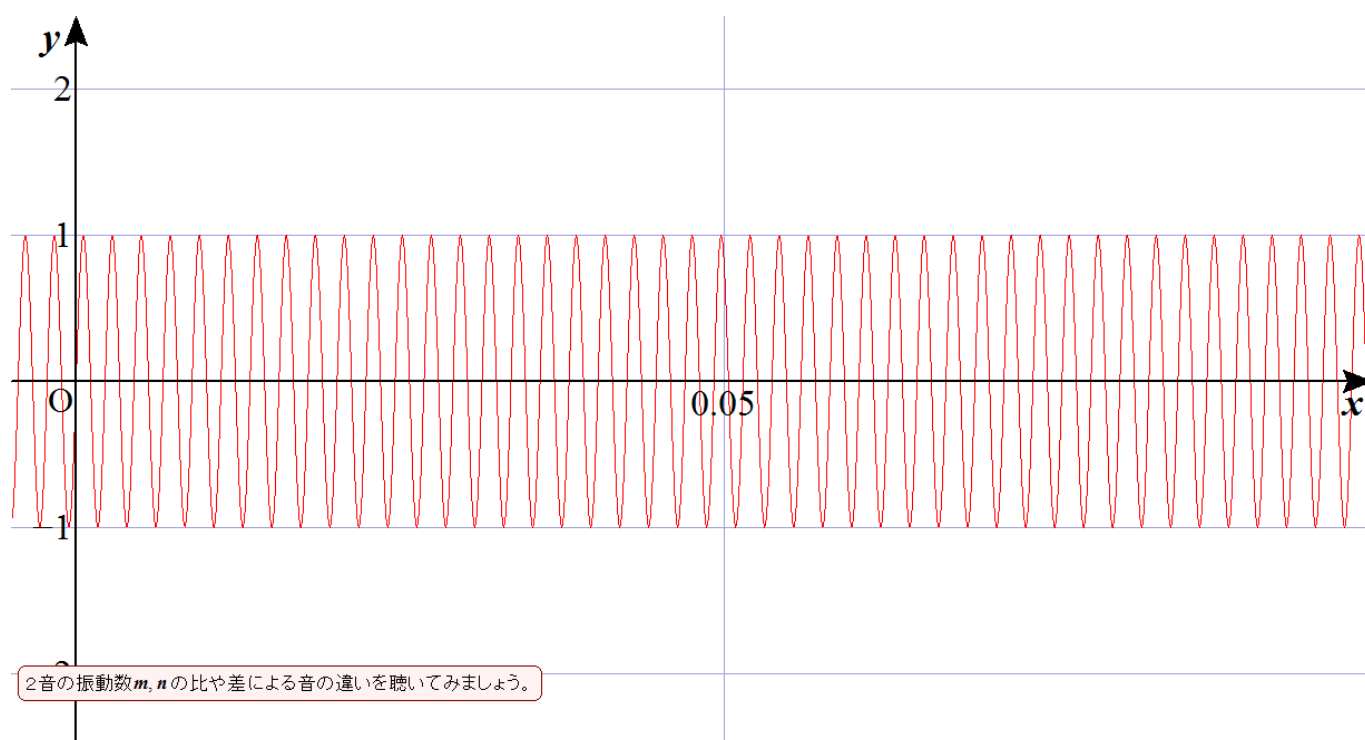


図 4: 7Hz の差 (440Hz と 447Hz)

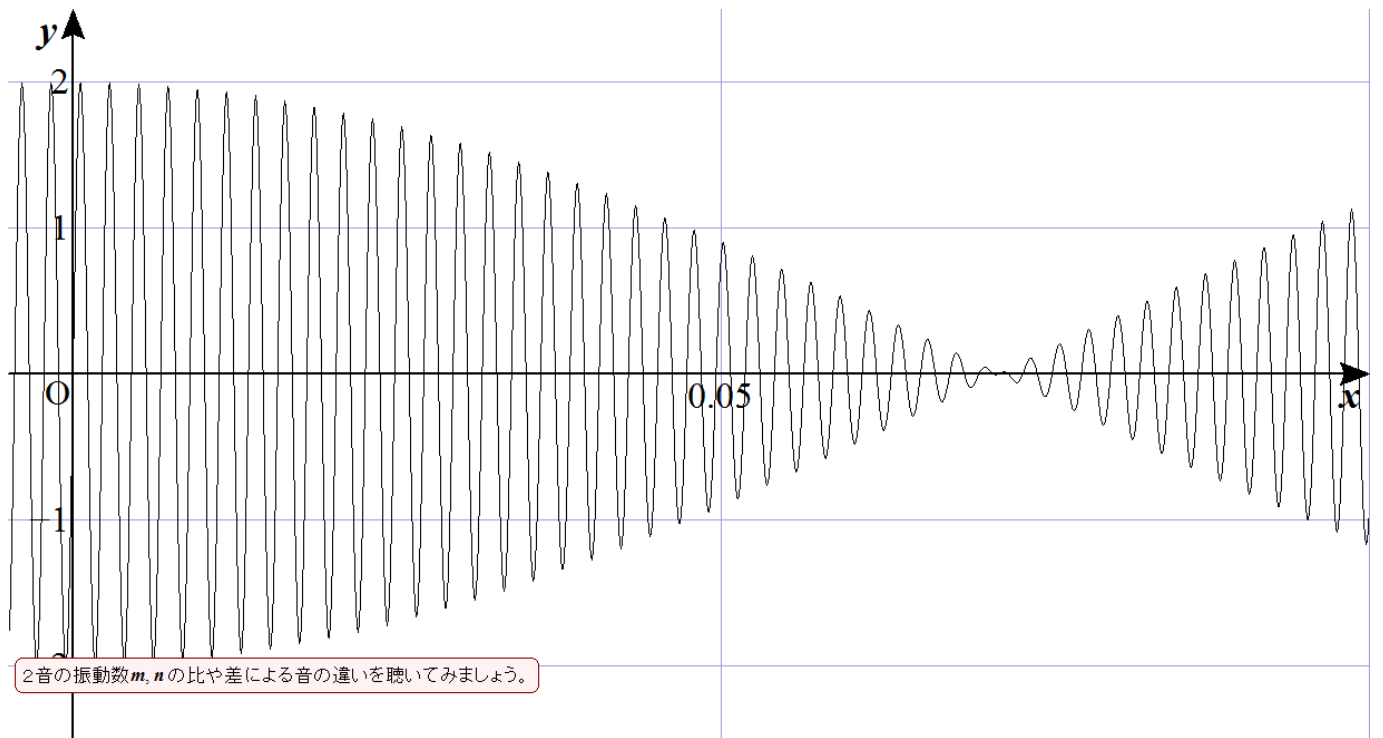
440Hz



447Hz



合成波



3つの波

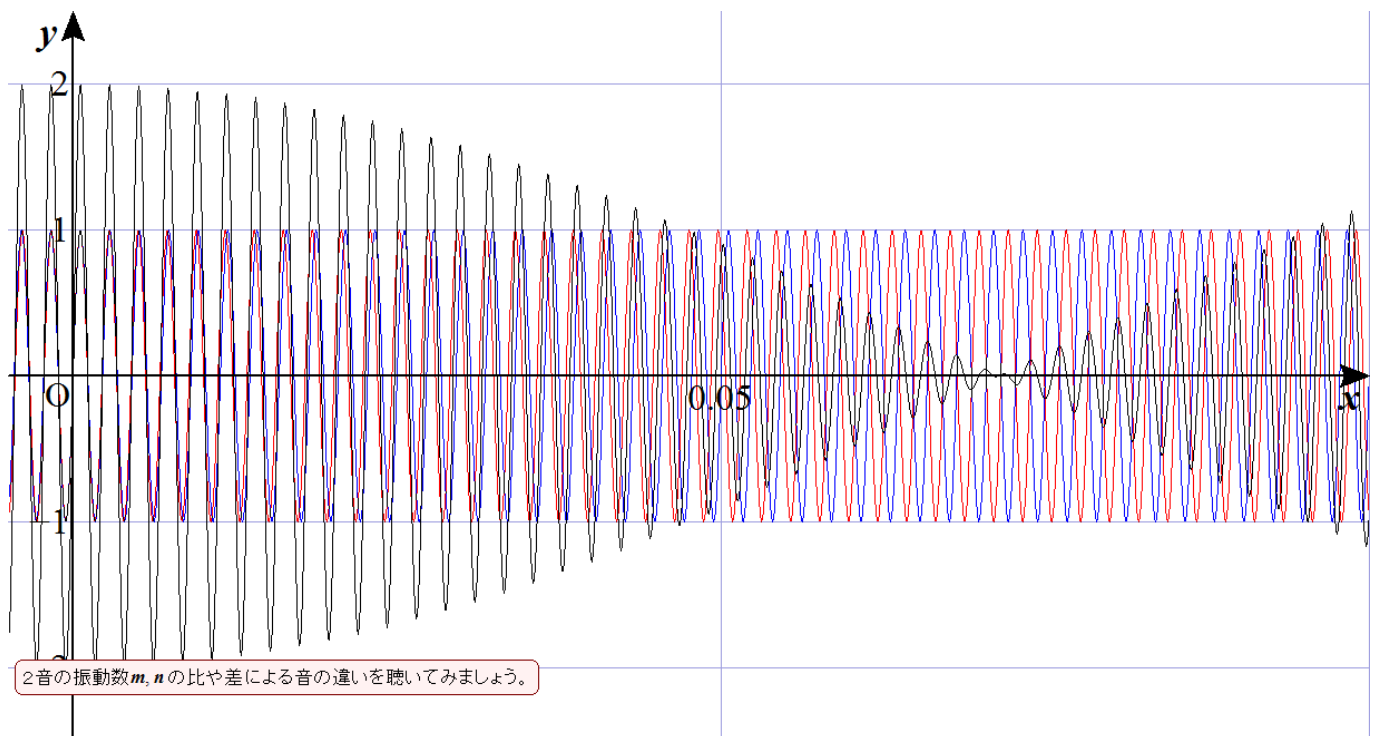
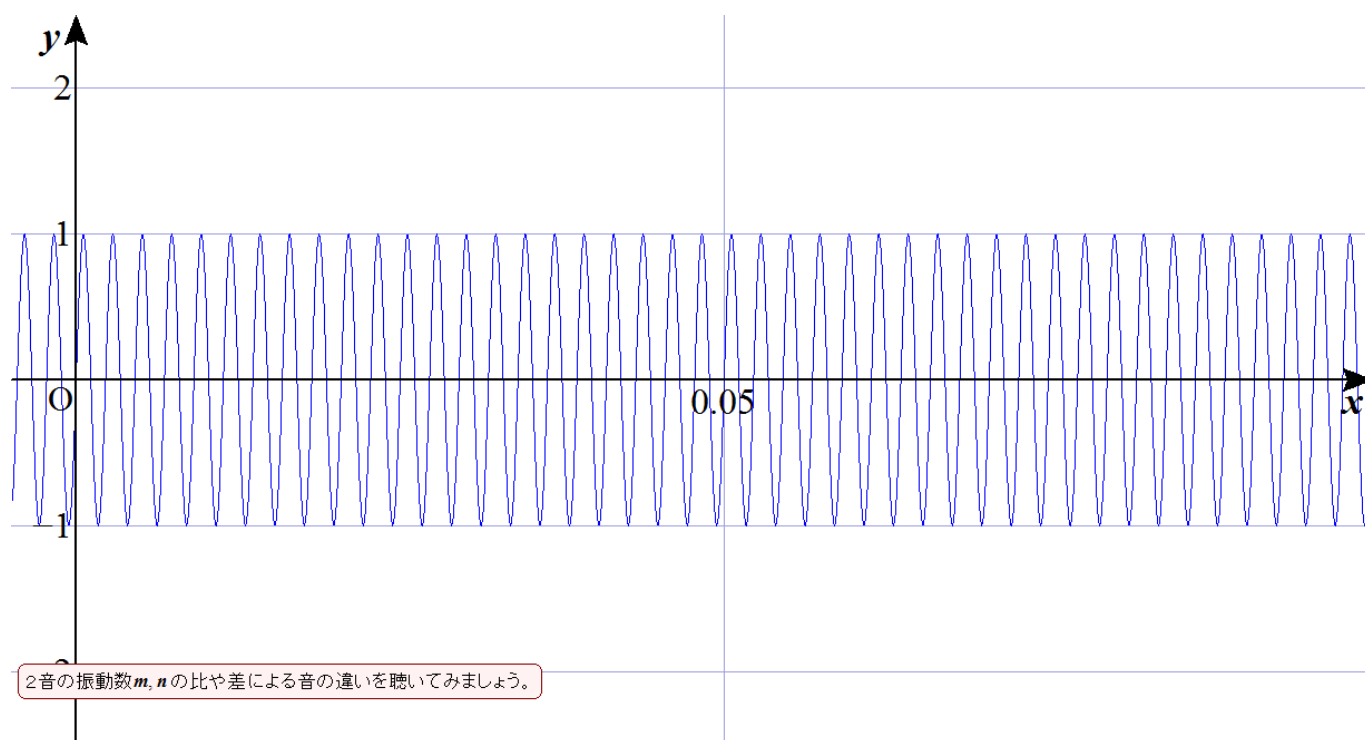
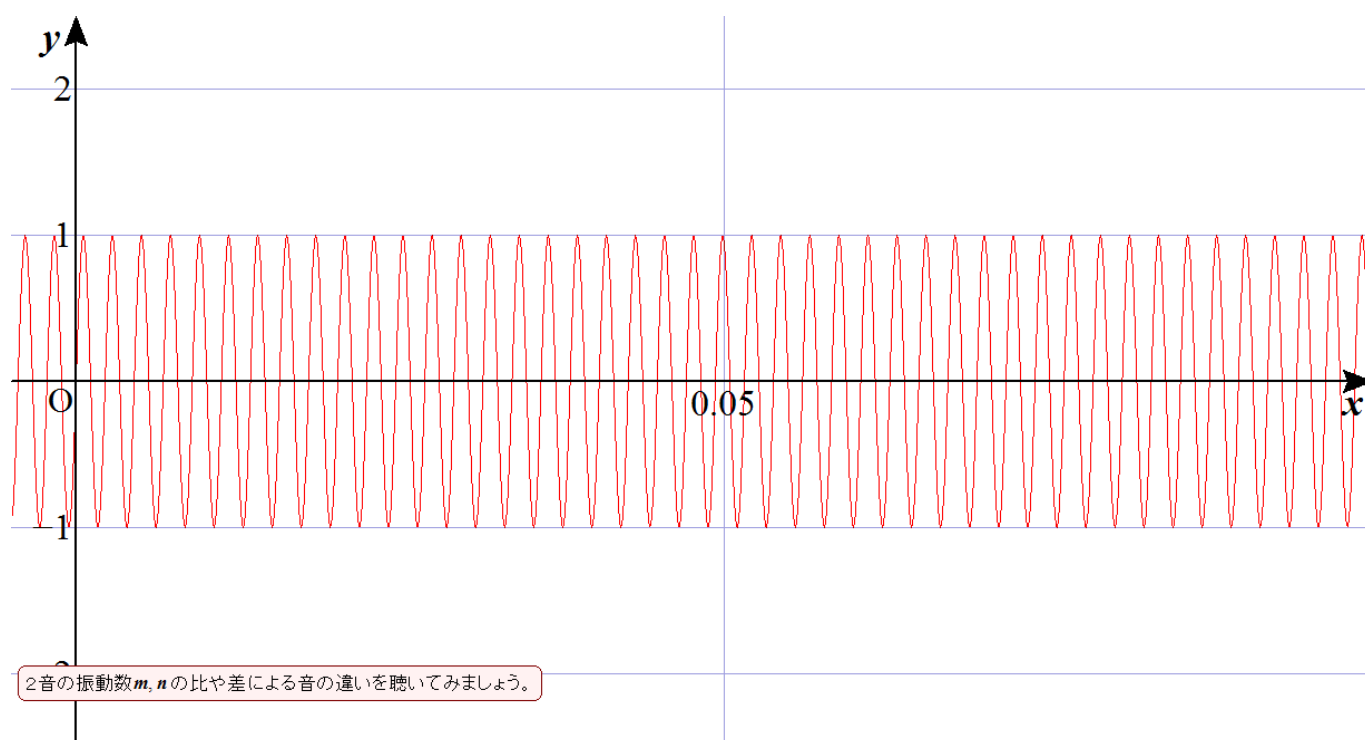


図 5: 6Hz の差 (440Hz と 446Hz)

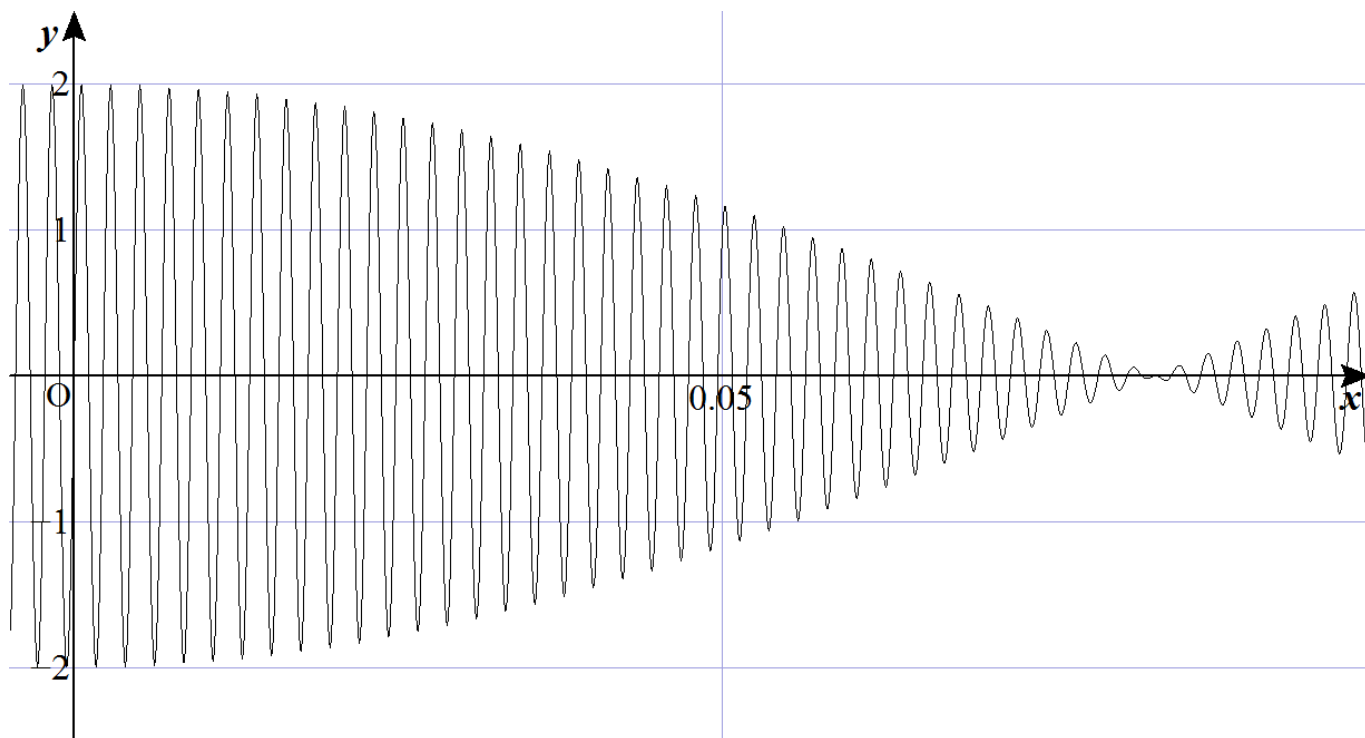
440Hz



446Hz



合成波



3つの波

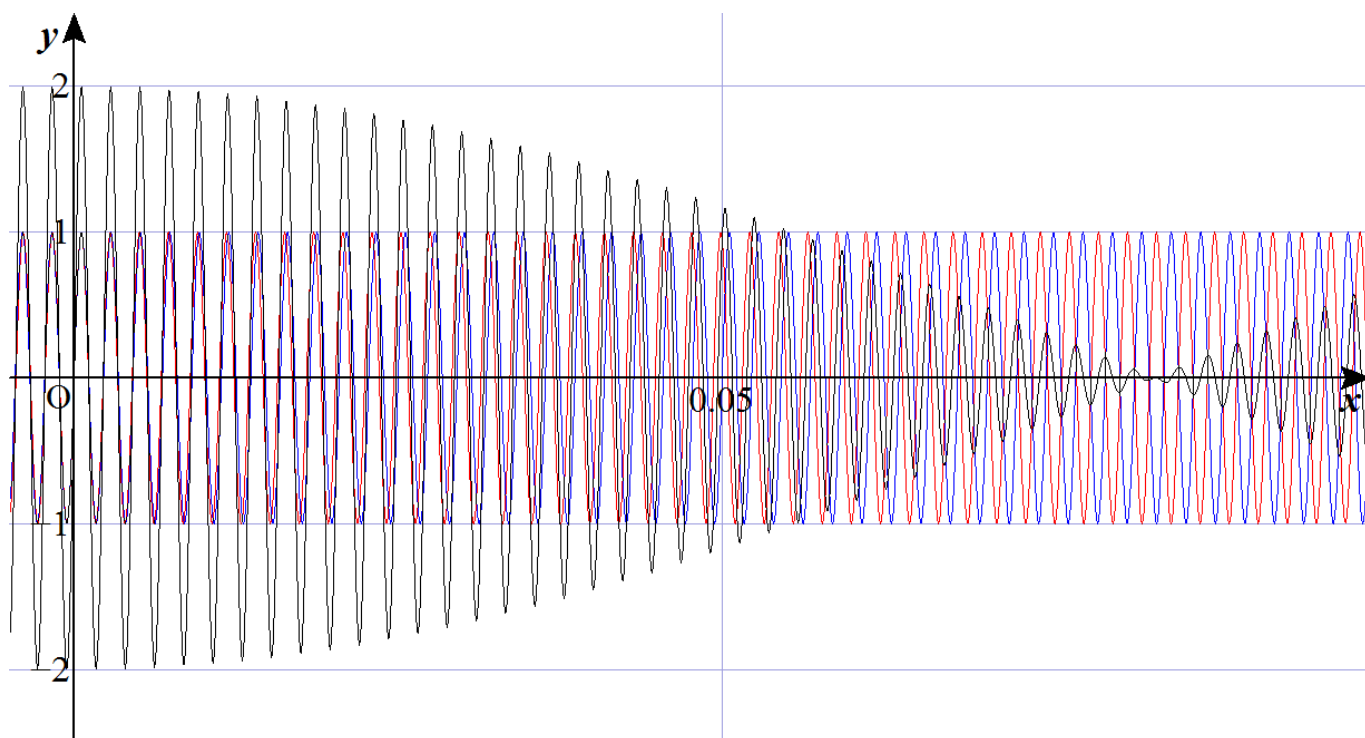
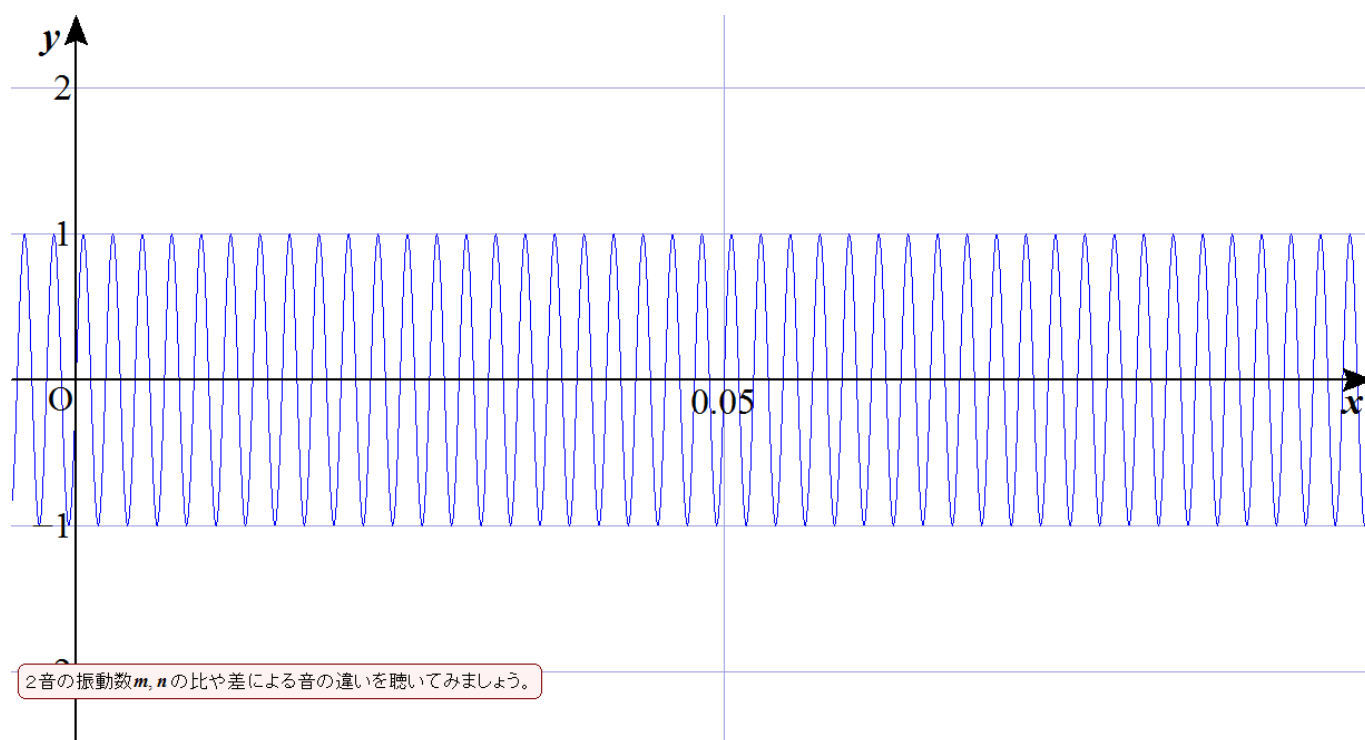
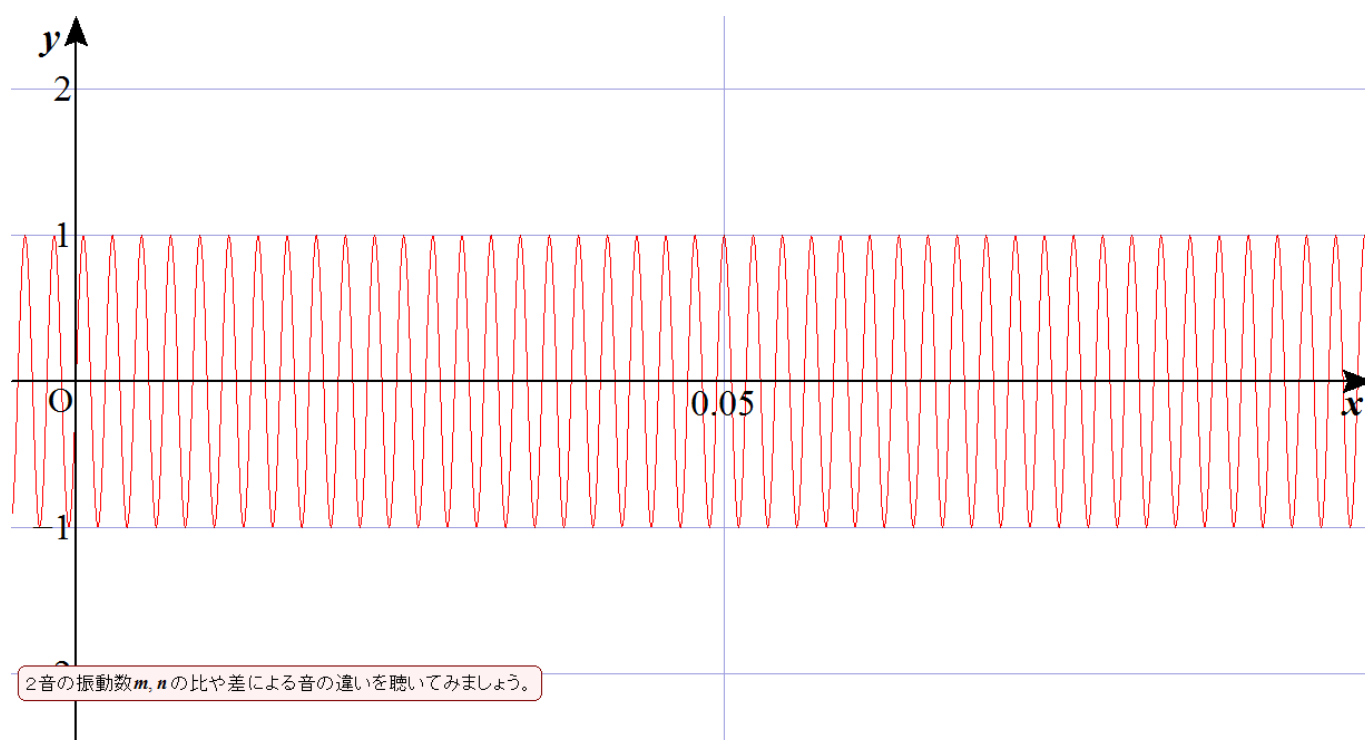


図 6: 5Hz の差 (440Hz と 445Hz)

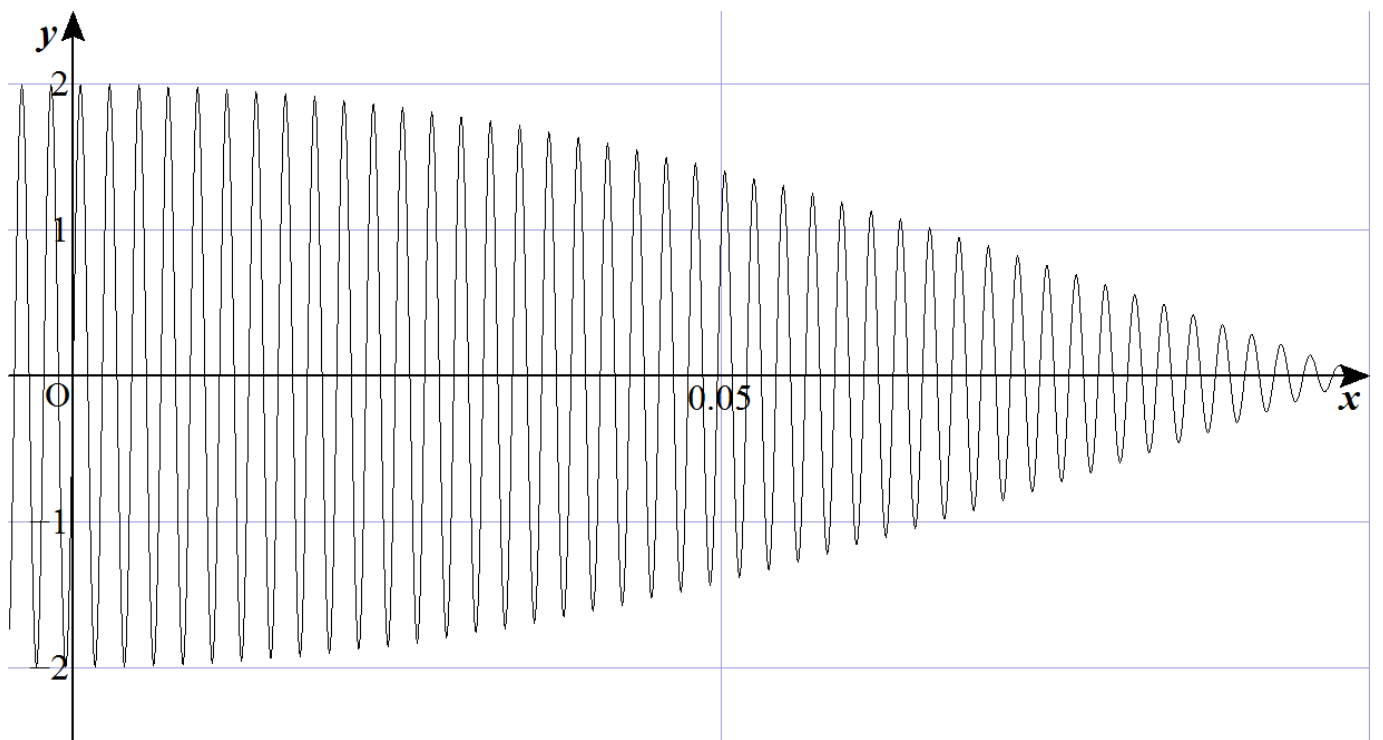
440Hz



445Hz



合成波



3つの波

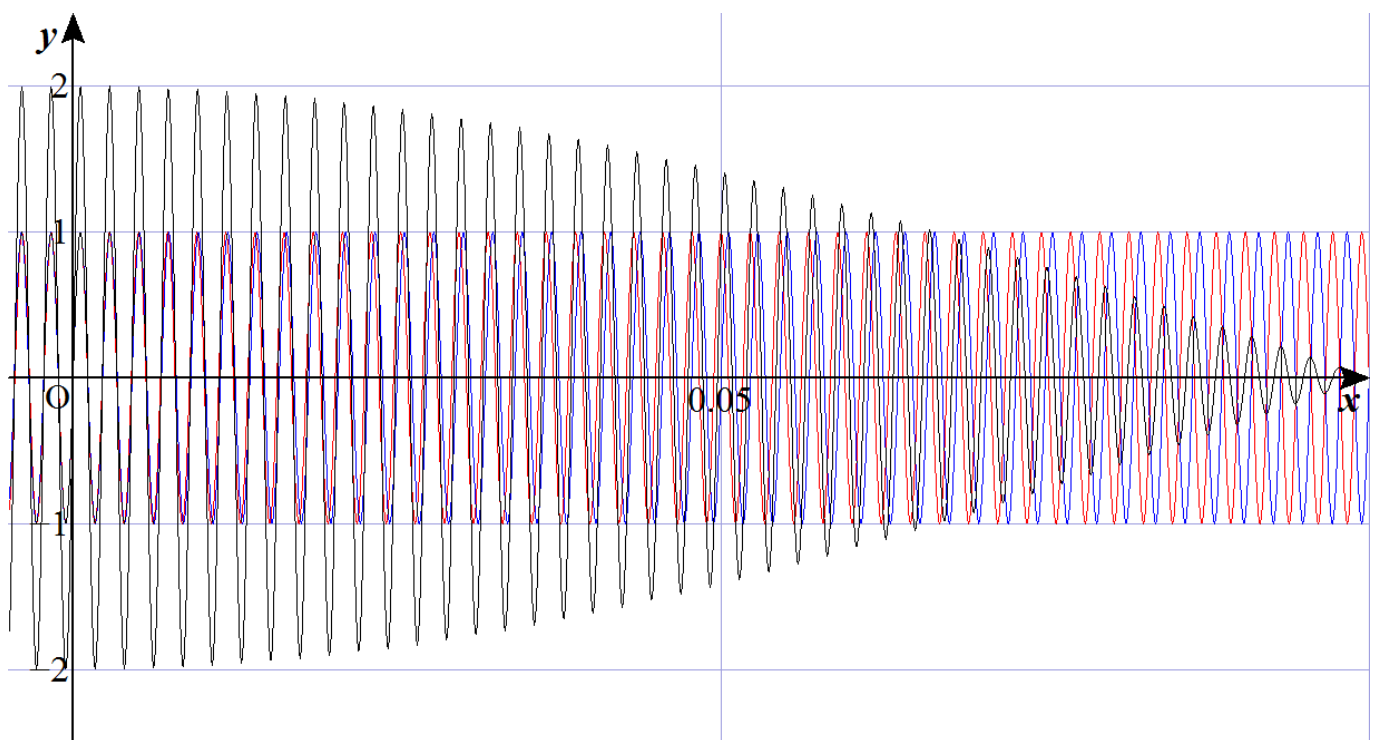
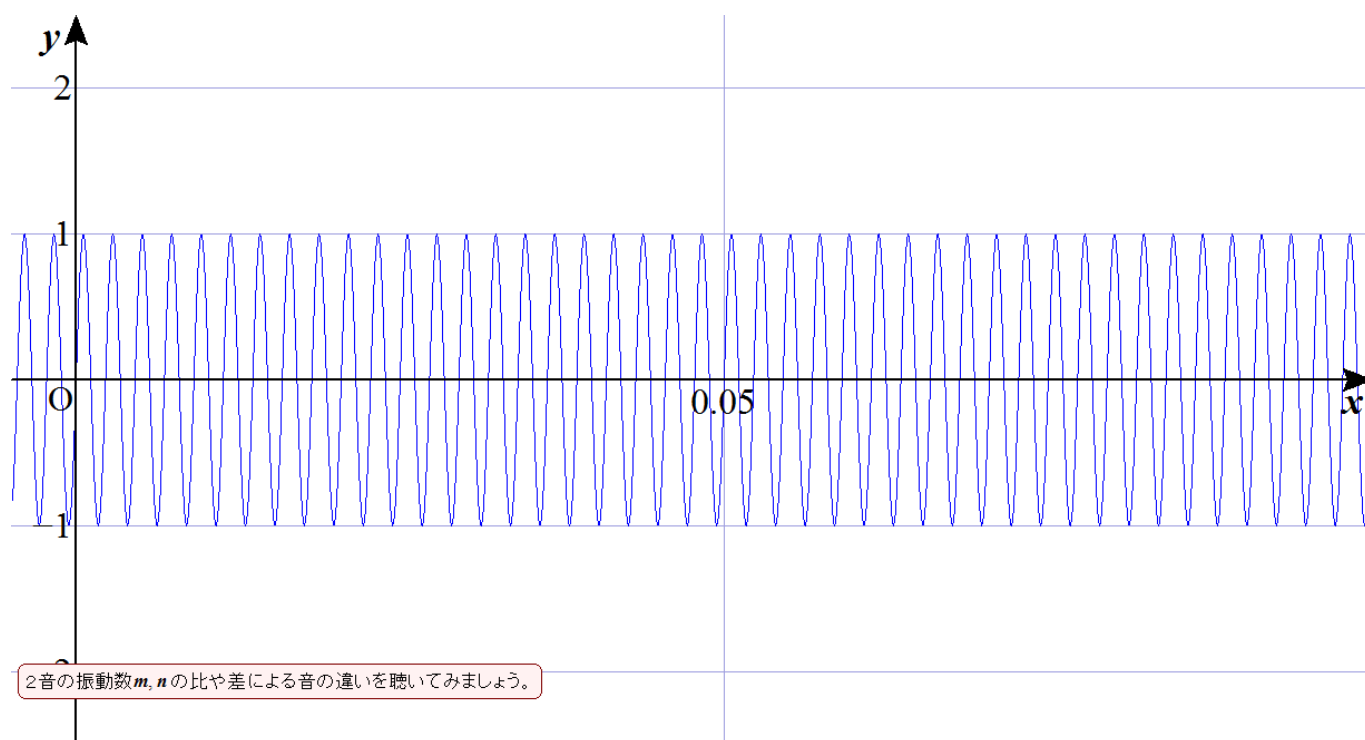
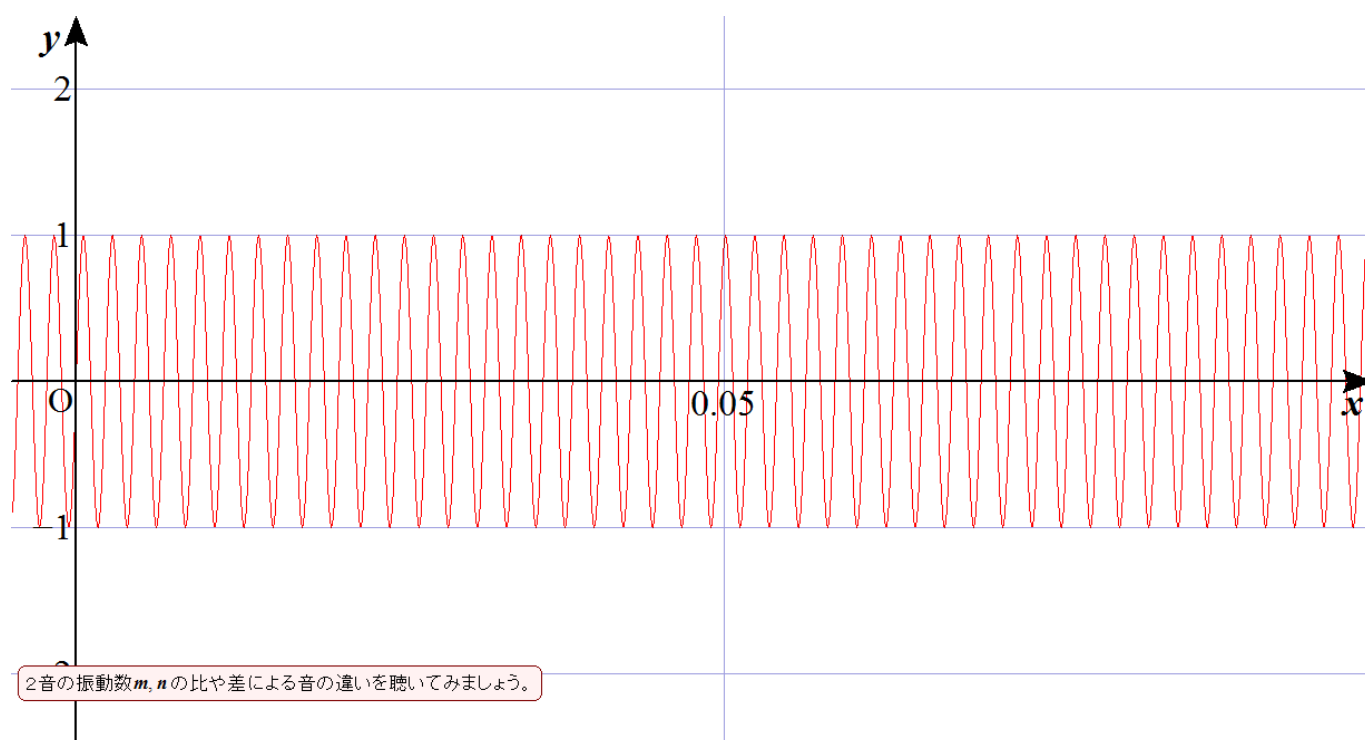


図 7: 4Hz の差 (440Hz と 444Hz)

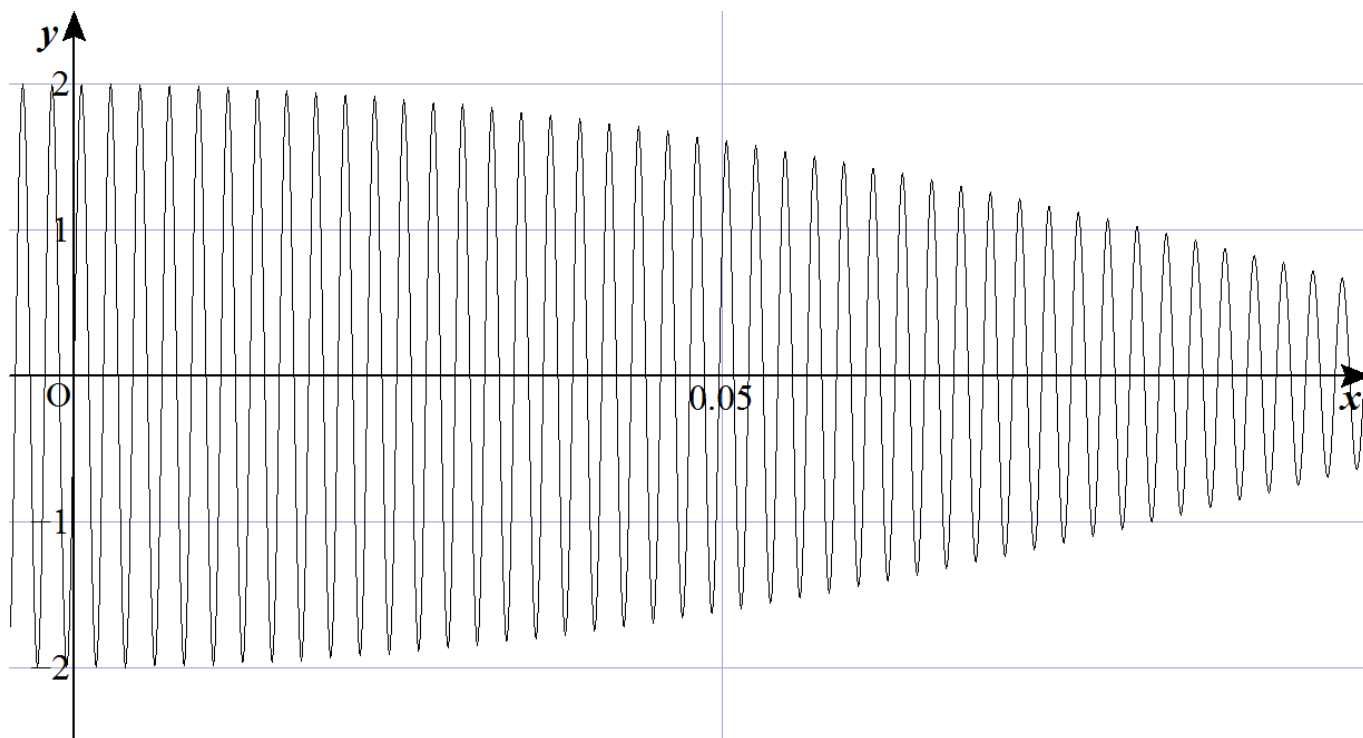
440Hz



444Hz



合成波



3つの波

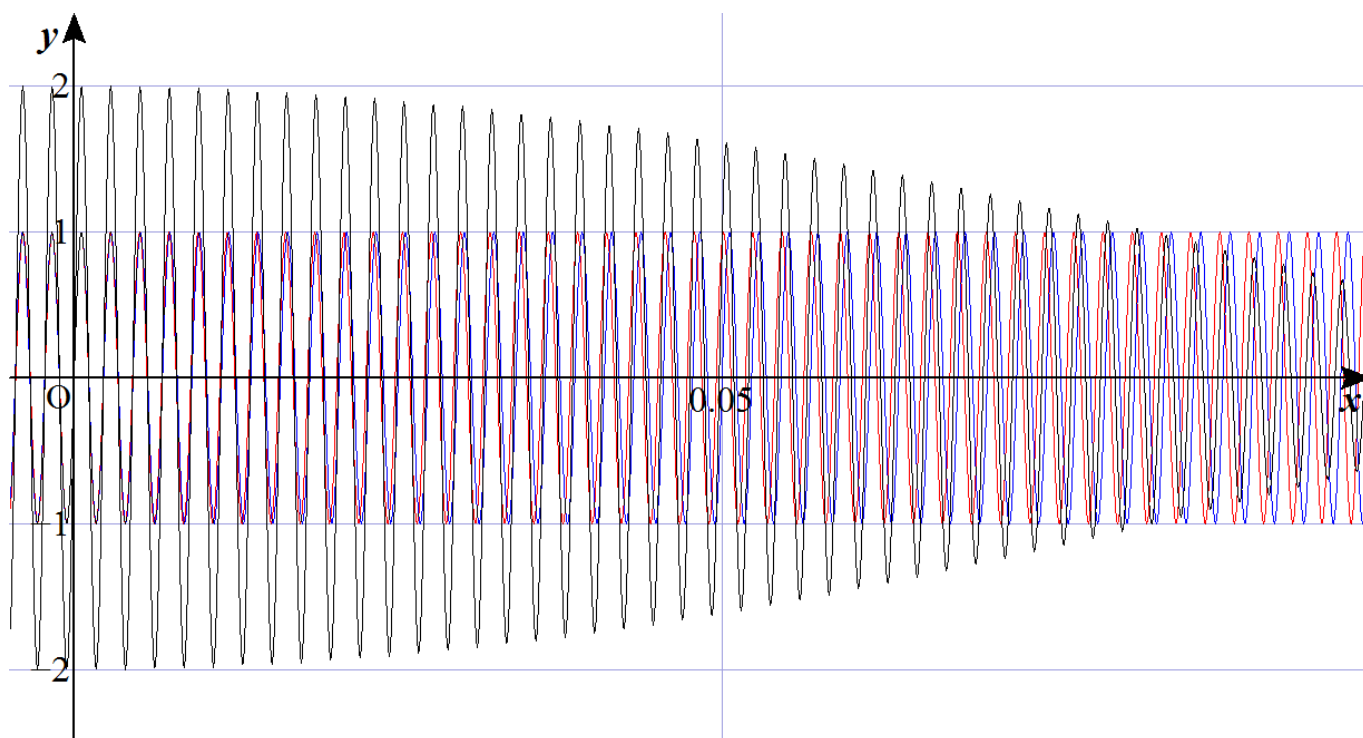
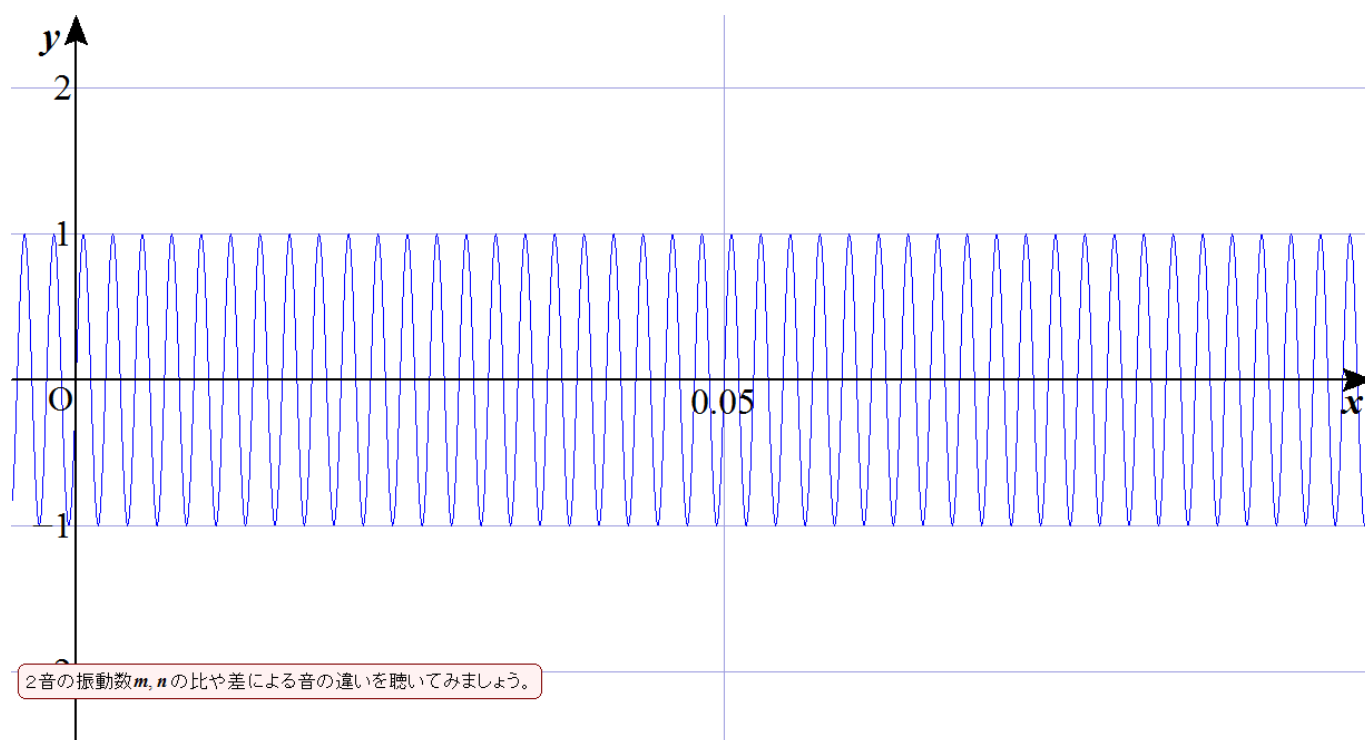
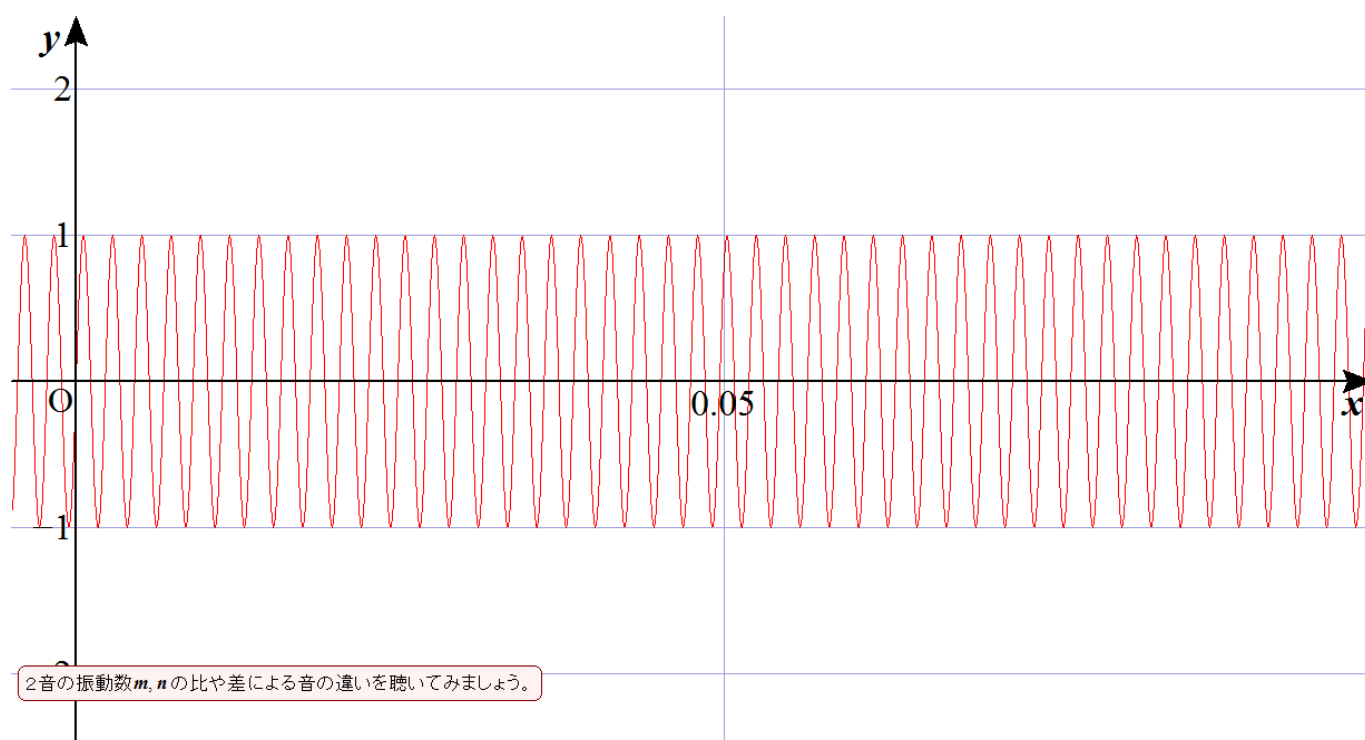


図 8: 3Hz の差 (440Hz と 443Hz)

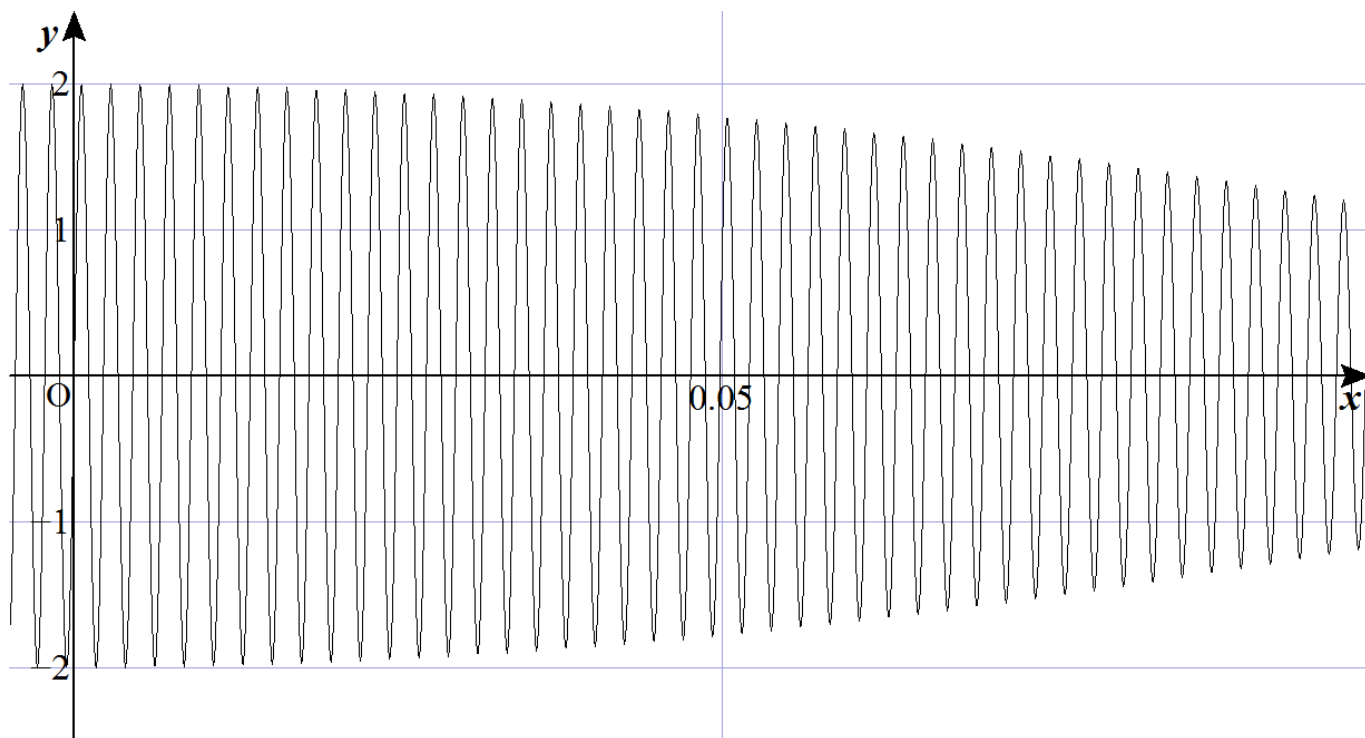
440Hz



443Hz



合成波



3つの波

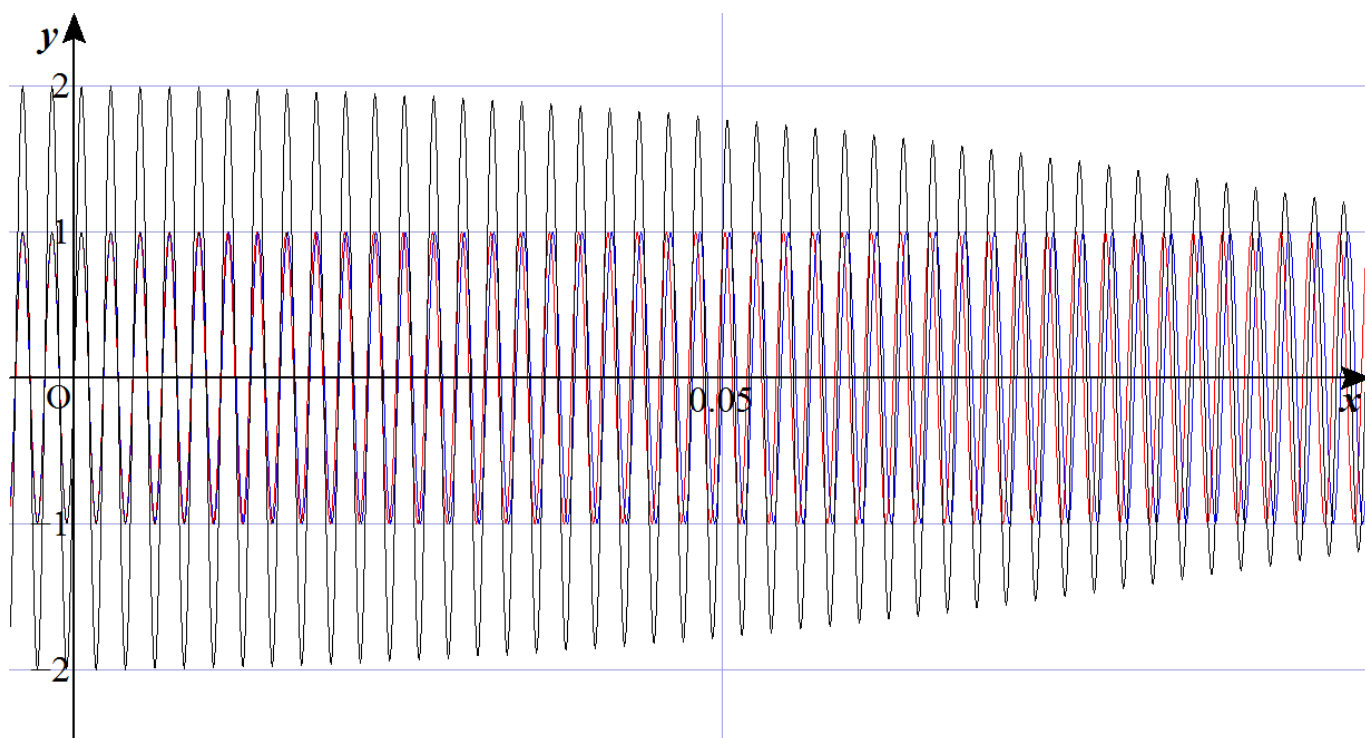
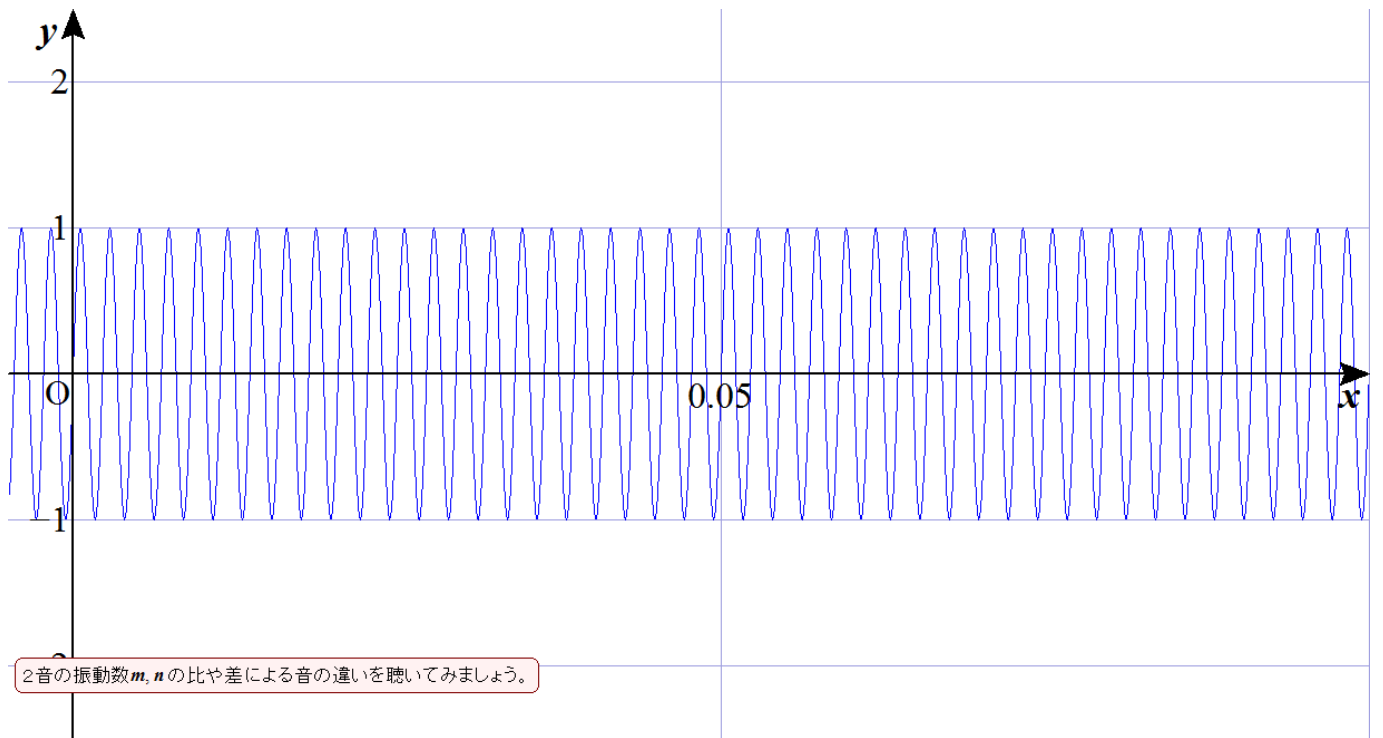
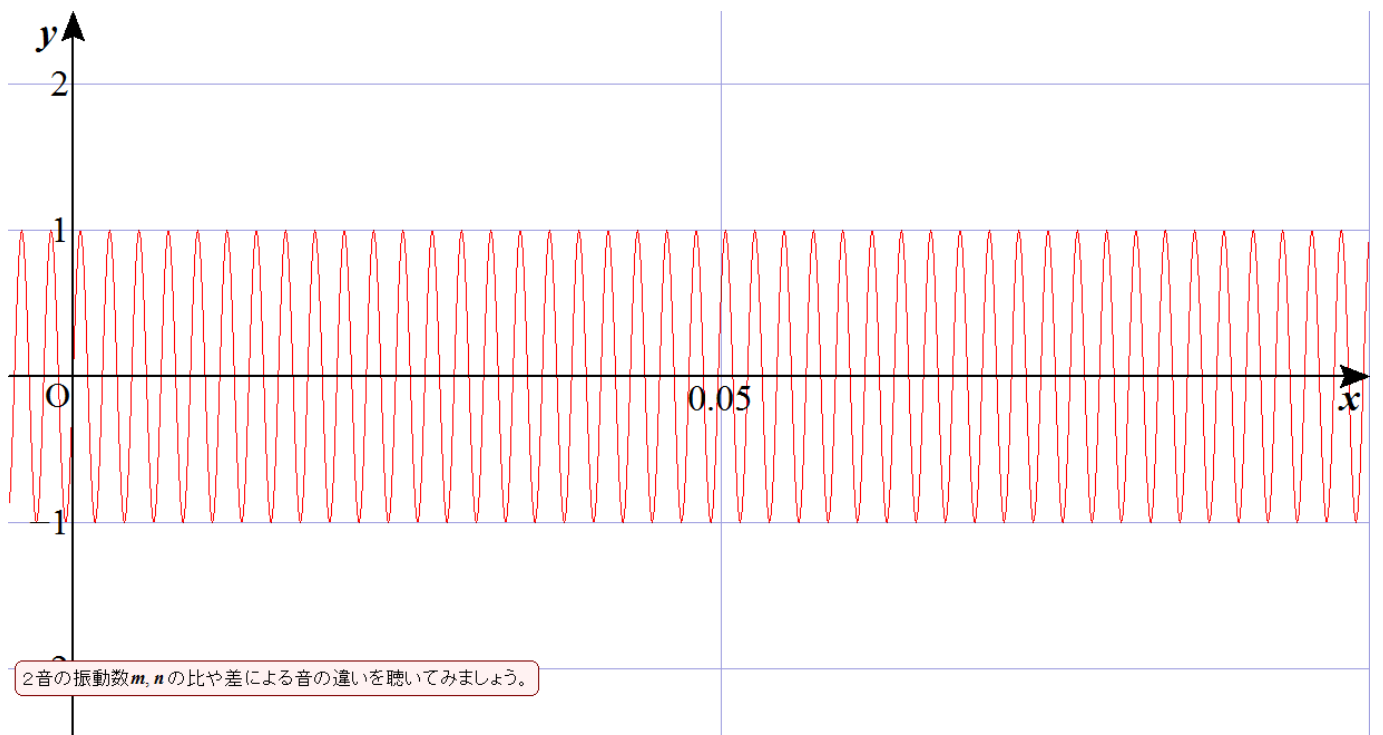


図 9: 2Hz の差 (440Hz と 442Hz)

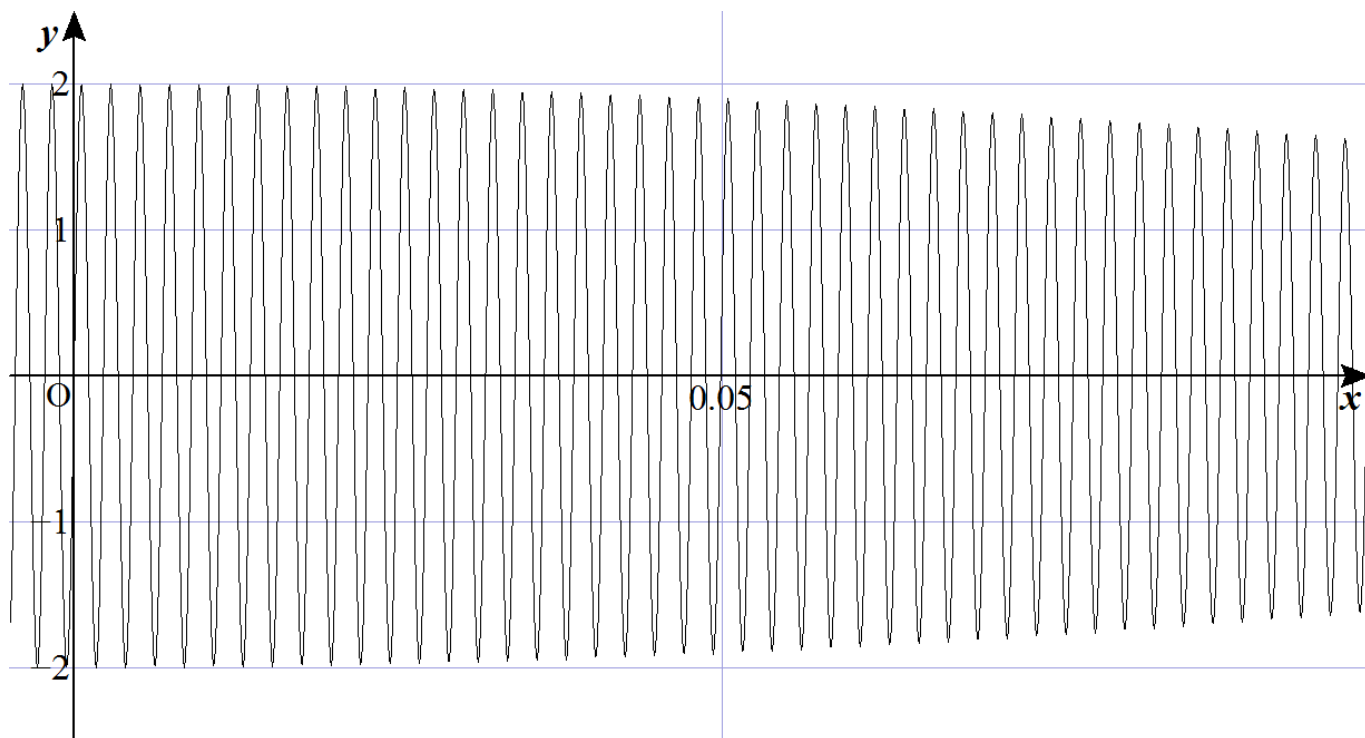
440Hz



442Hz



合成波



3つの波

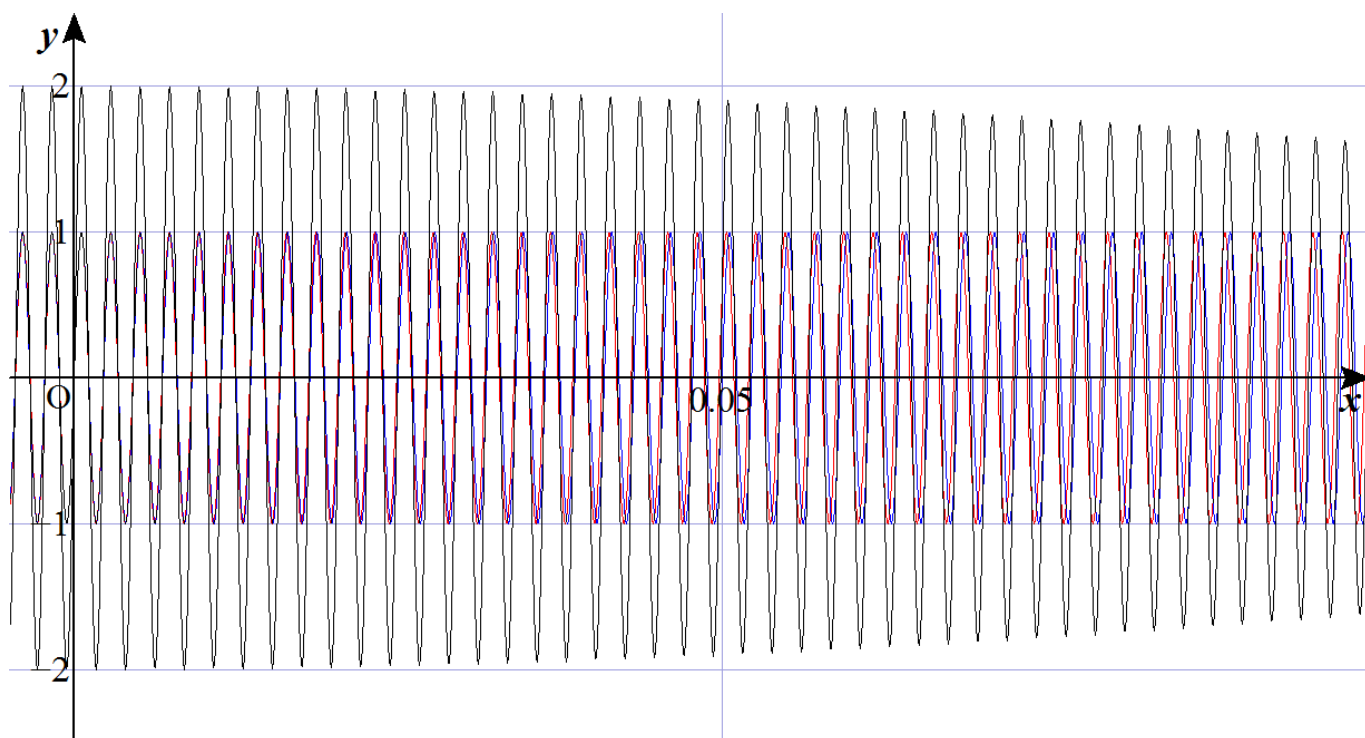
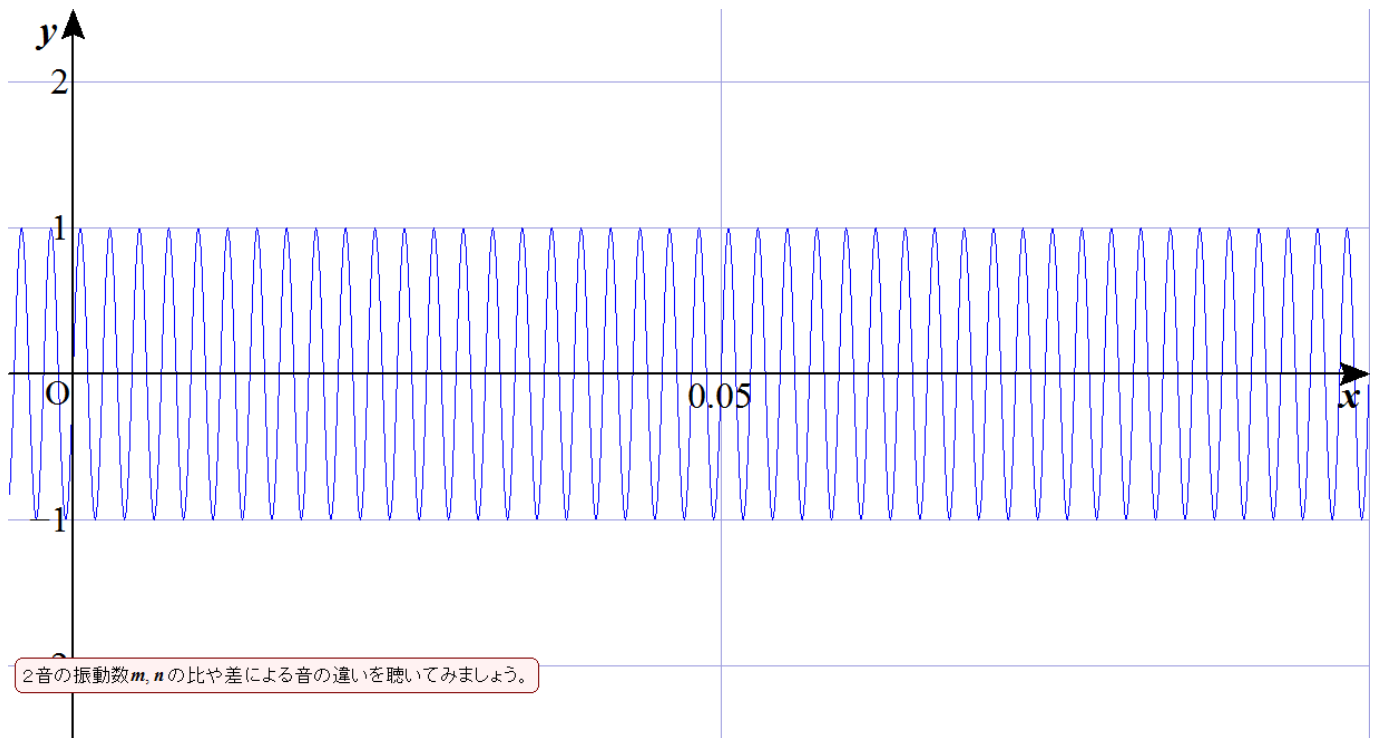
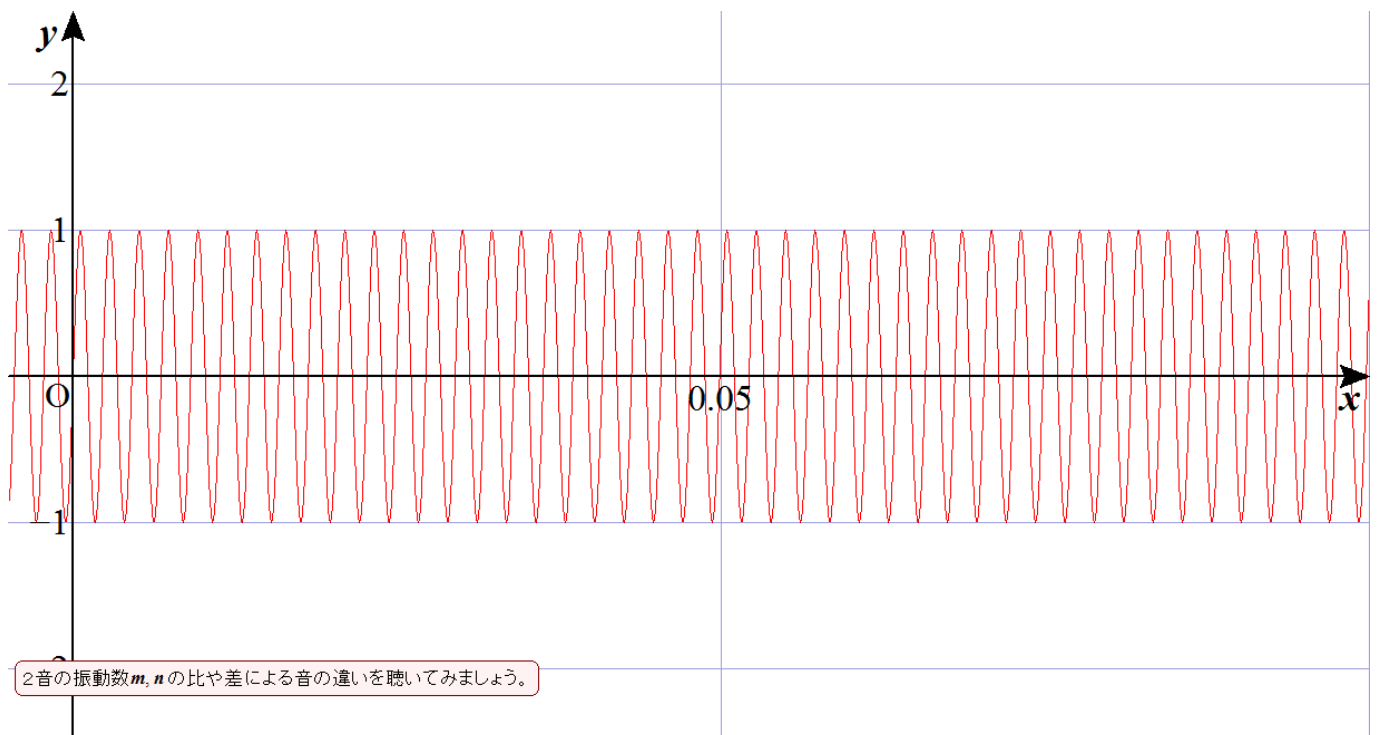


図 10: 1Hz の差 (440Hz と 441Hz)

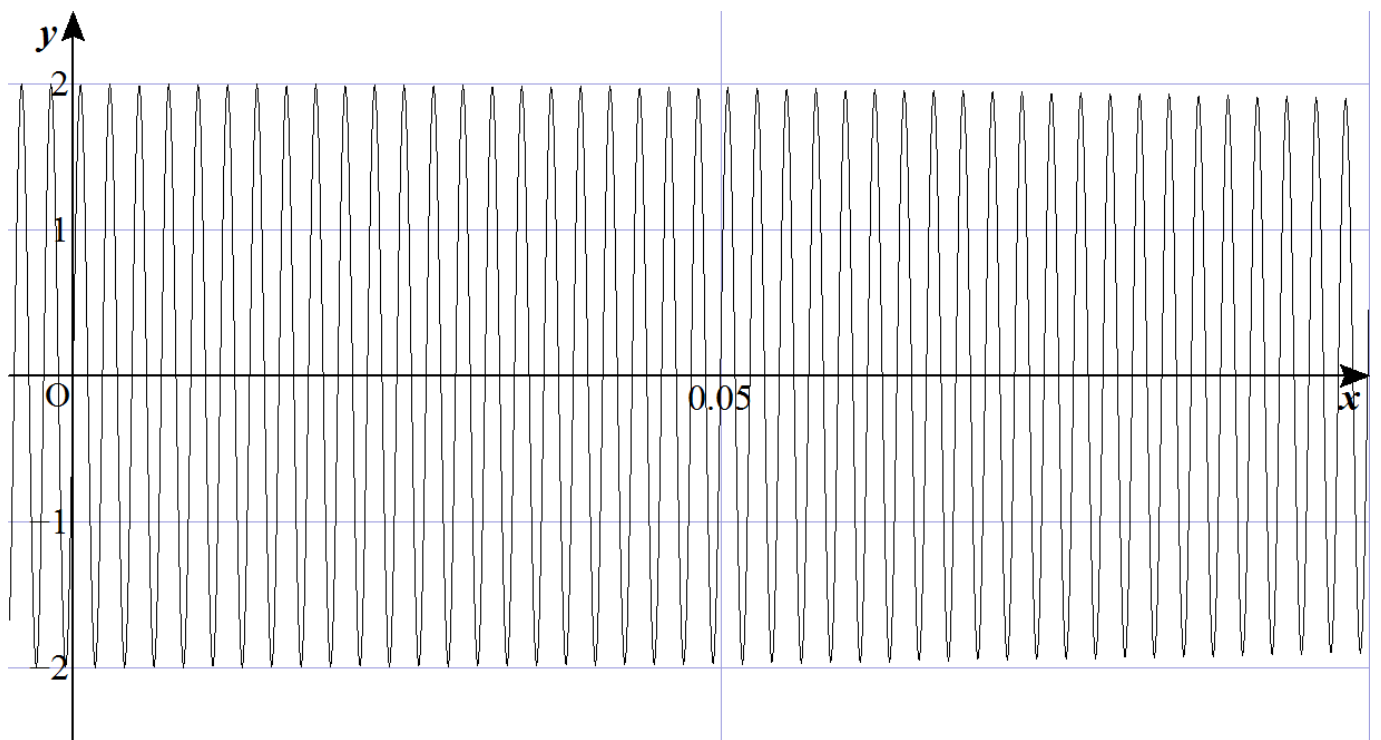
440Hz



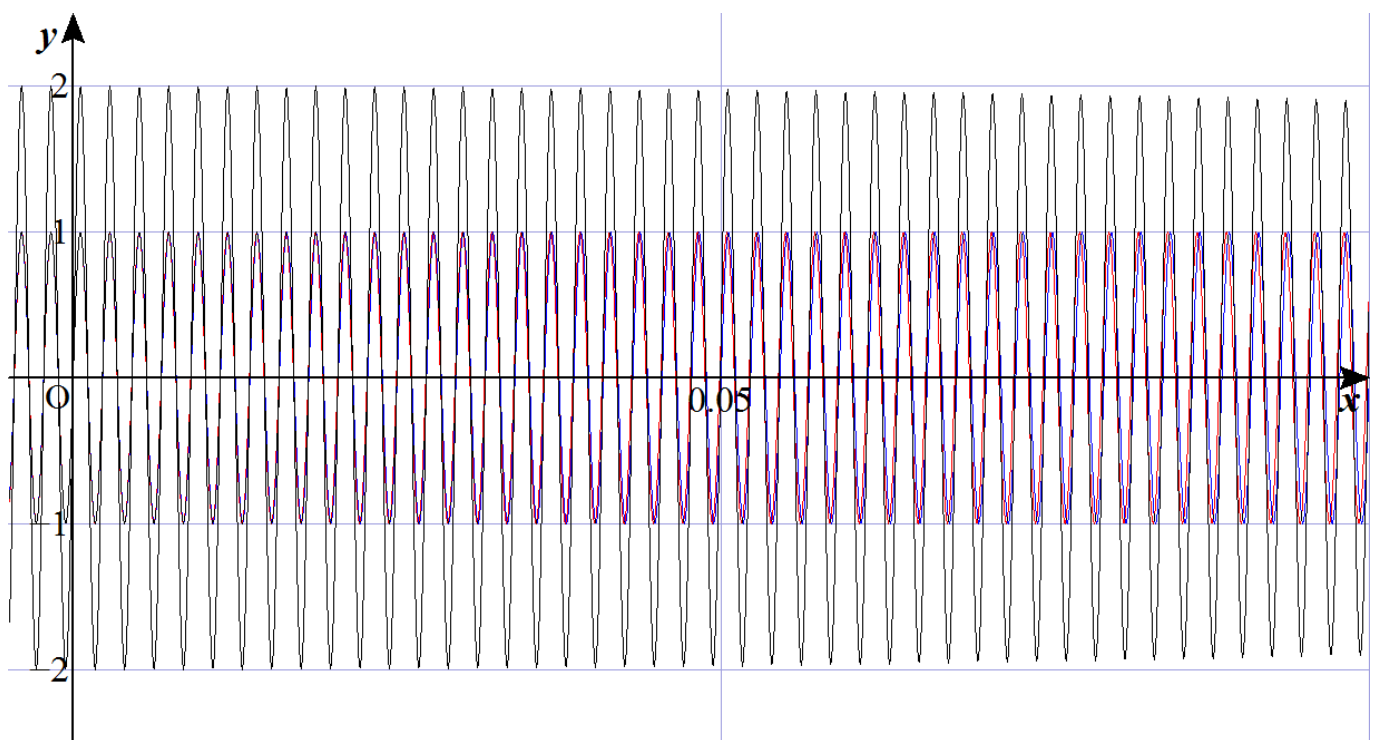
441Hz



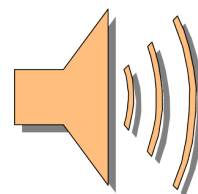
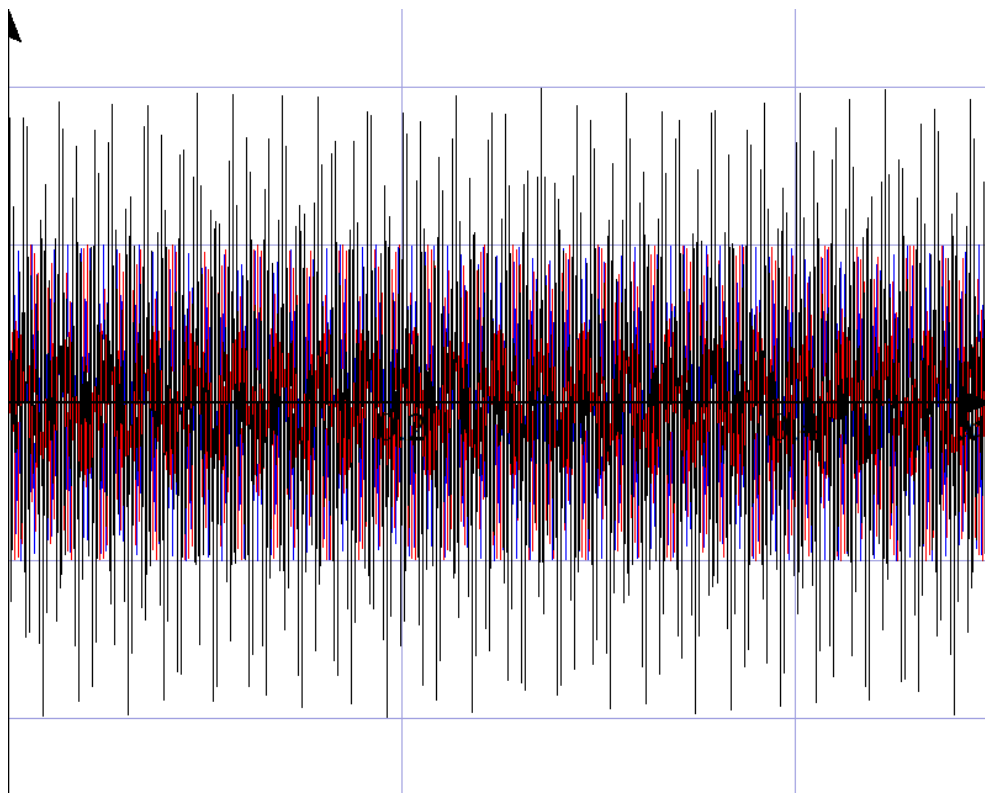
合成波



3つの波

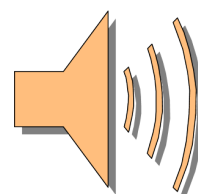
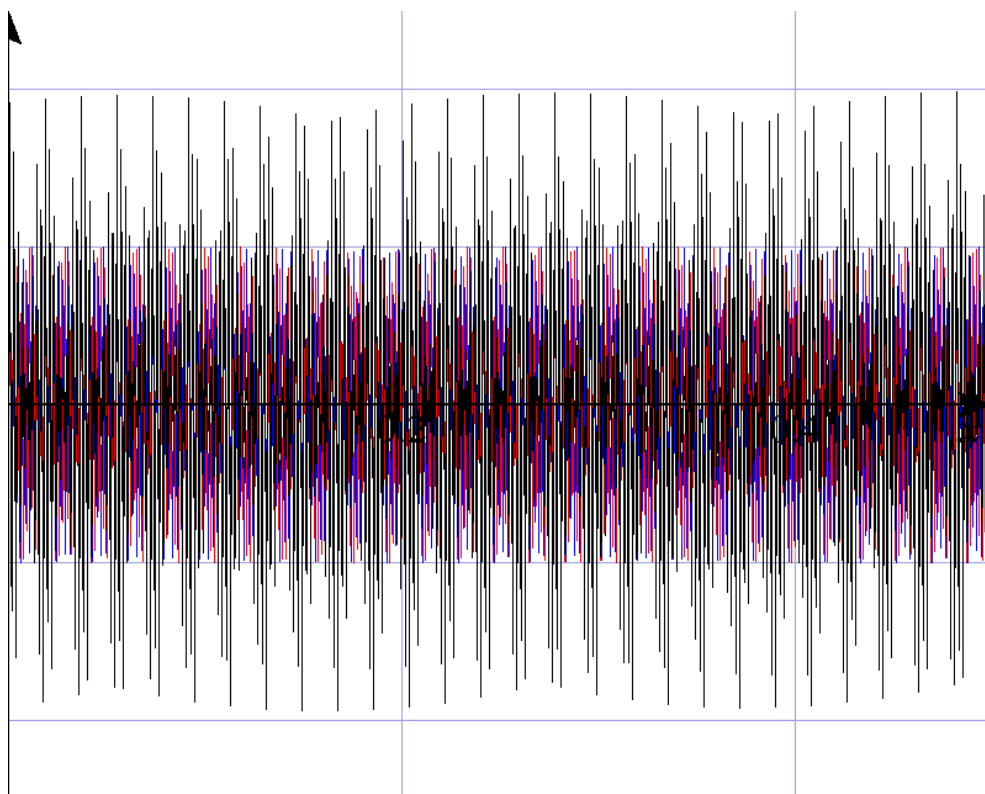


長3度



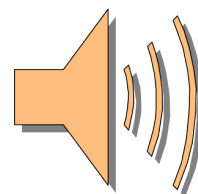
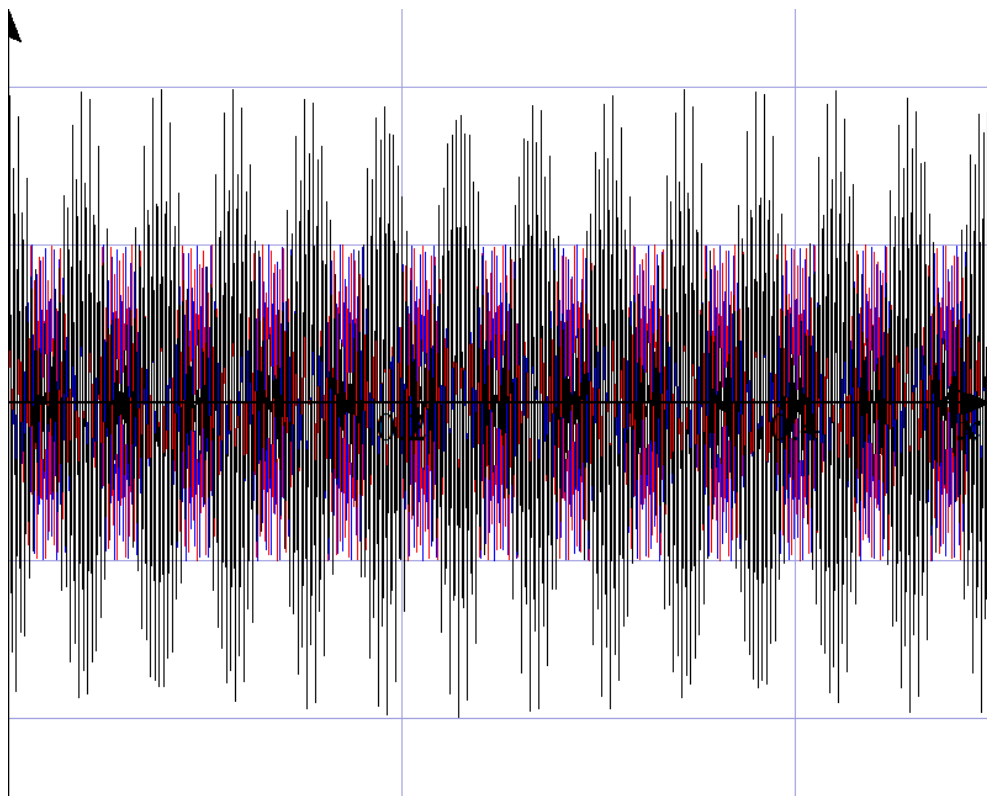
再生
一時停止/再生
停止

全音



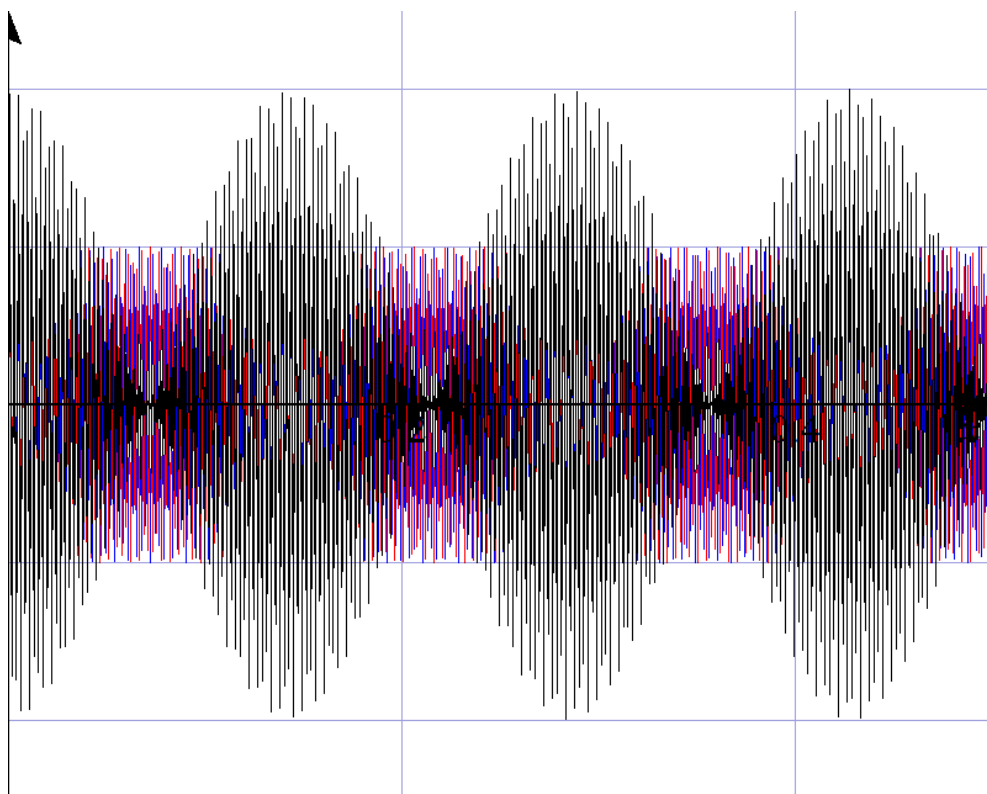
再生
一時停止/再生
停止

半音



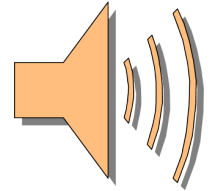
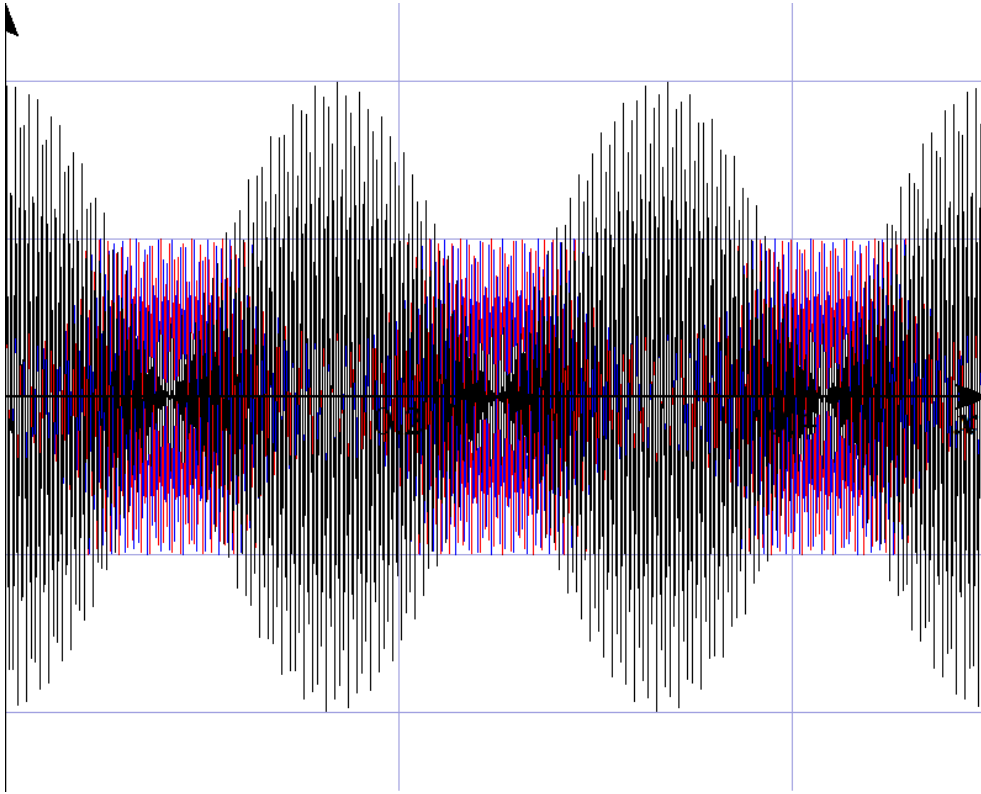
再生
一時停止/再生
停止

7Hz の差



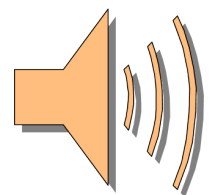
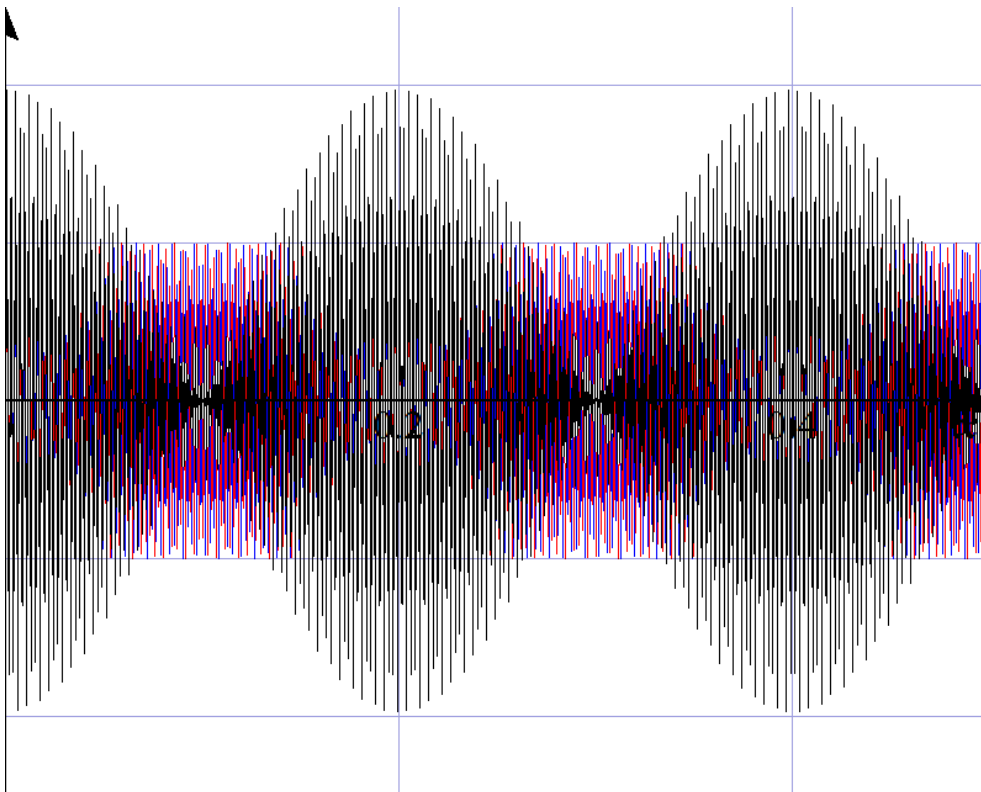
再生
一時停止/再生
停止

6Hz の差



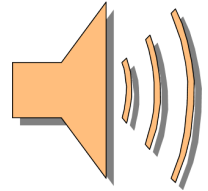
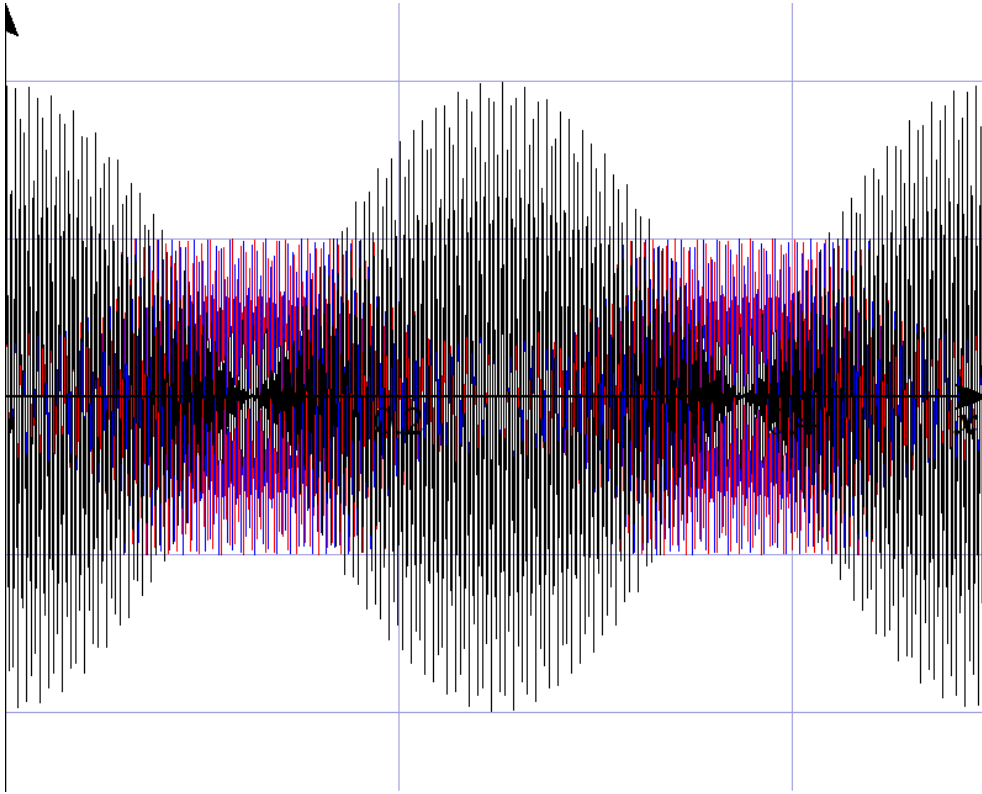
再生
一時停止/再生
停止

5Hz の差



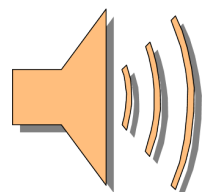
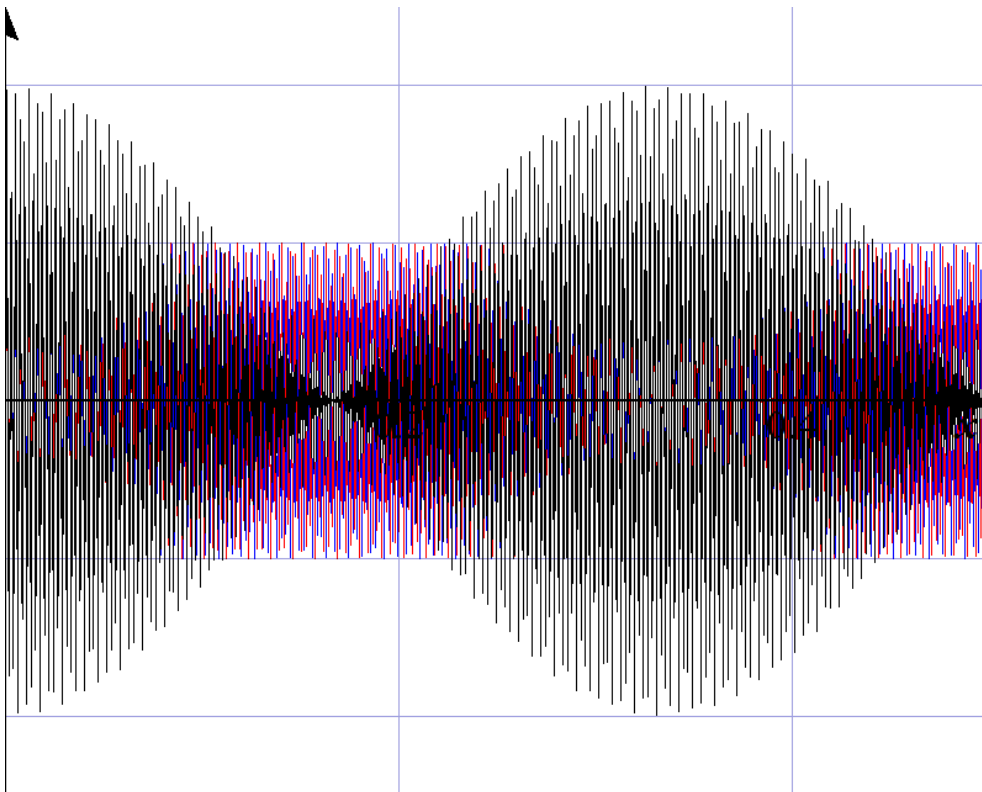
再生
一時停止/再生
停止

4Hz の差



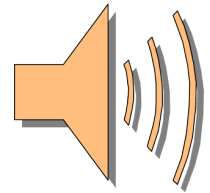
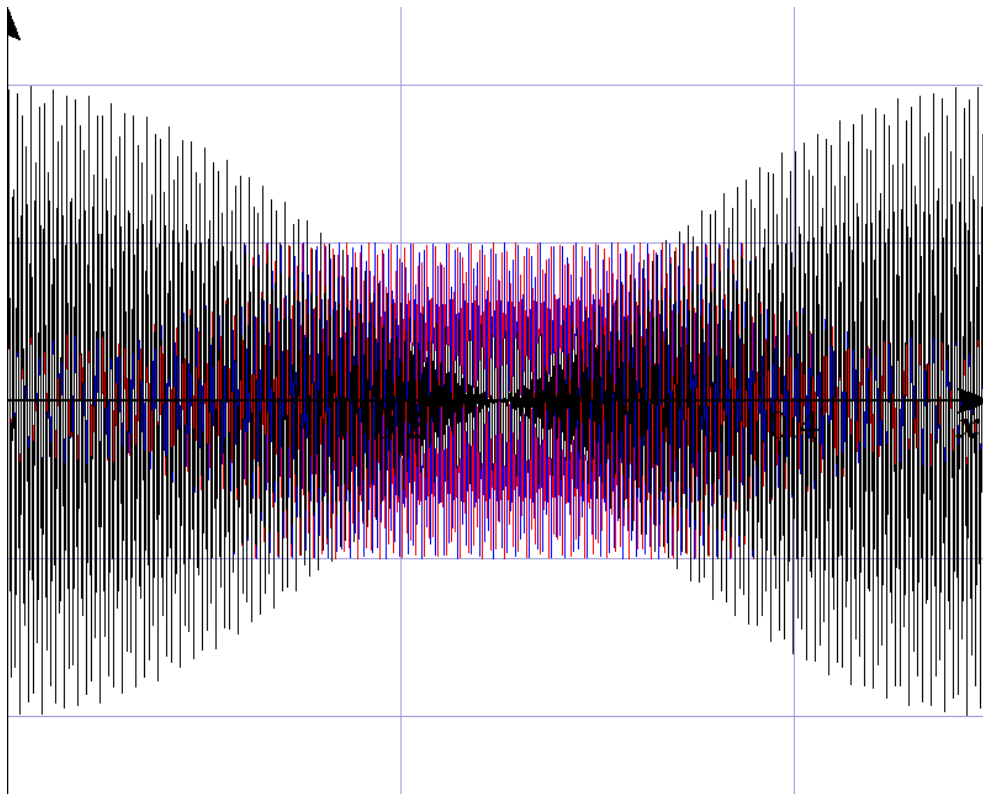
再生
一時停止/再生
停止

3Hz の差



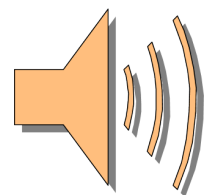
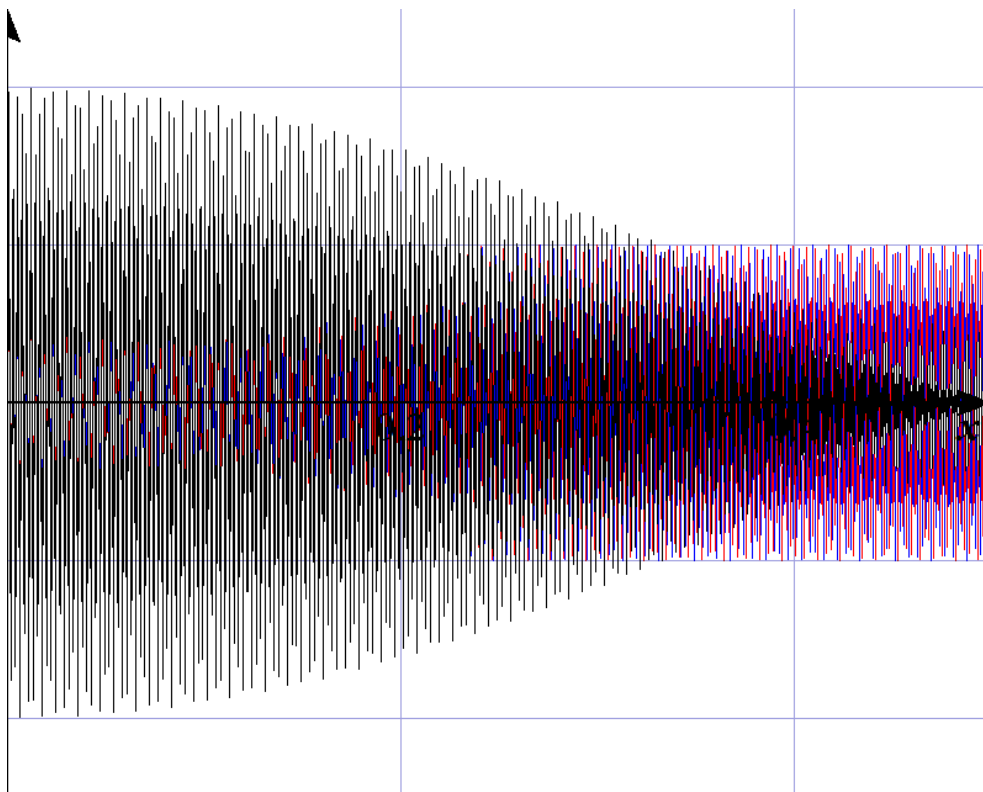
再生
一時停止/再生
停止

2Hz の差



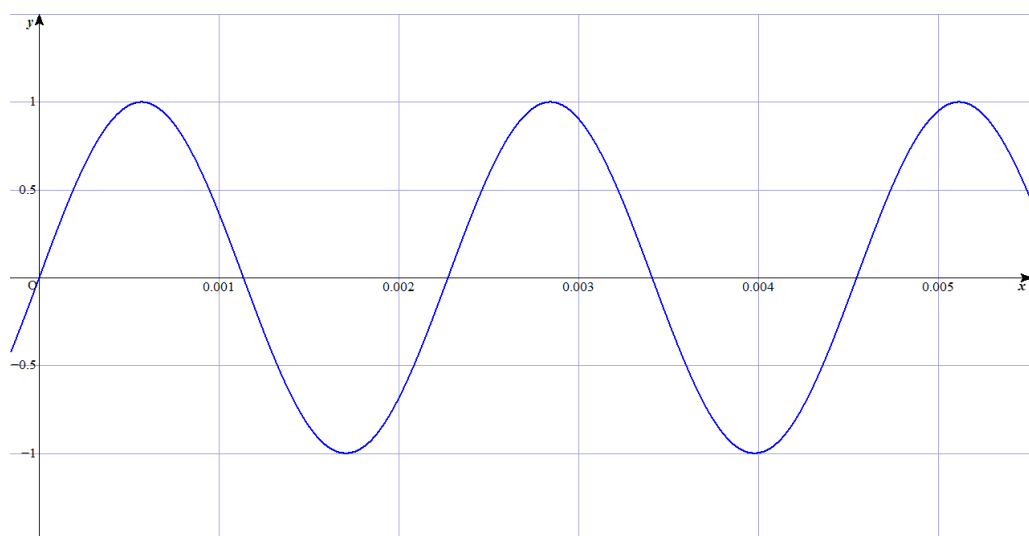
再生
一時停止/再生
停止

1Hz の差



再生
一時停止/再生
停止

440Hz 正弦波



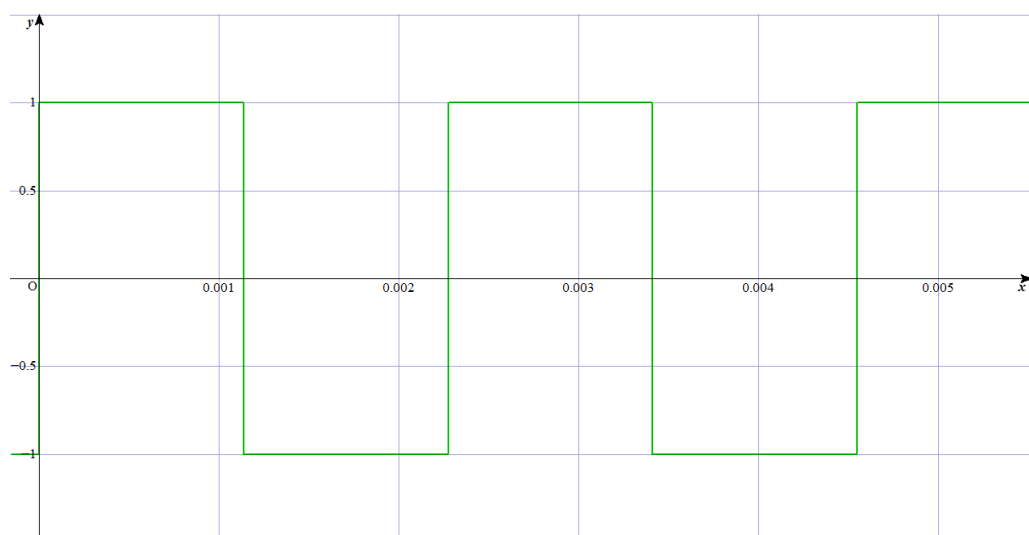
再生
一時停止/再生
停止

440Hz のこぎり波



再生
一時停止/再生
停止

440Hz 矩形波



再生
一時停止/再生
停止

付録2：総合科目 E 一般「ナノマテリアル入門」に関連して、波の分散について

注：以下の図では、数式で表される波形を見やすいように軸方向に拡大・縮小して表示しています。
また、時間スケールも調節しています。

[1] $+x$ 方向に進行する正弦波；

$$u(x, t) = 2 \sin(x - \pi t)$$

[2] 分散のない波動；

$$u(x, t) = \cos(0.95x - 0.95\pi t) + \cos(1.05x - 1.05\pi t)$$

[3] 分散のある波動（群速度分散なし）；

$$u(x, t) = \cos(0.95x - 0.975\pi t) + \cos(1.05x - 1.025\pi t)$$

[4] 群速度分散のある波動；

$$u(x, t) = \frac{1}{2} \{ \cos(0.95x - 0.95\pi t) + 2 \cos(x - \pi t) + \cos(1.05x - 1.025\pi t) \}$$

付録 3 : 総合科目 E 一般「ナノマテリアル入門」に関連して、フーリエ級数展開について

[1] ノコギリ波のフーリエ級数展開 ;

$$f(x) = x = \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^n \frac{(-1)^{k-1}}{k} \sin(k\pi x) \quad (-1 \leq x < 1) \quad (1)$$

[2] 三角波のフーリエ級数展開

$$g(x) = \begin{cases} 1 + 2x & (-1 \leq x < 0) \\ 1 - 2x & (0 \leq x < 1) \end{cases} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{k=1}^n \frac{1}{(2k-1)^2} \cos[(2k-1)\pi x] \quad (-1 \leq x < 1) \quad (2)$$

プリントは以上です。グラフの画質が悪いのは申し訳ないですが、シケプリでもないのに勘弁してください。あくまで「暇つぶしの副産物」です。

このプリントの作成はすべてフリーウェアによりなされました。フリーウェアの威力には計り知れないものがあります……

余裕があればぜひ GRAPES を使ってみてください。