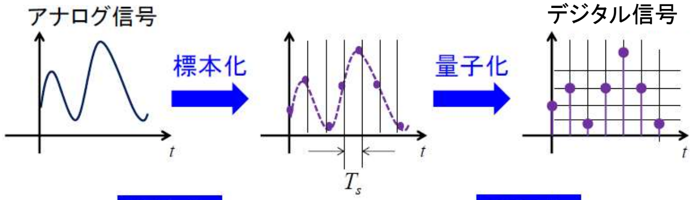
第3回
サウンドメディア論
および演習　講義編

前回の復習

アナログ信号を計算機に取り込むための処理



標本化
- 連続な時間を離散化（とびとびの時間へ）
- 一定の間隔で分割
- 標本化定理

量子化
- 連続な振幅値を離散化（とびとびの振幅値へ）
- 一定の間隔値で分割
- 量子化誤差

2

今日やること

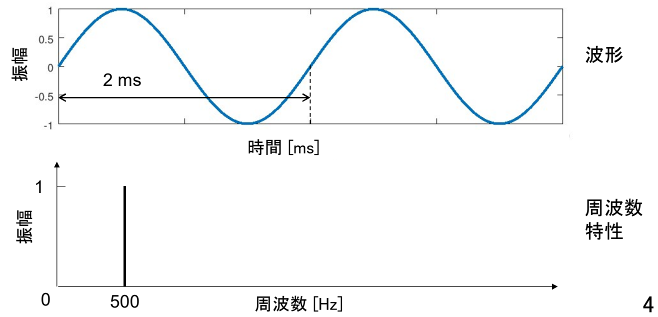
- 波の周波数解析（少し）
- 波の重ね合わせ
  - ノコギリ波
  - 矩形波
  - 三角波
  - 白色雑音
- PSG音源

3

周波数特性

横軸を周波数、縦軸を振幅として波形に含まれる正弦波の配合比率をグラフにしたもの

例：振幅1，周波数500Hzの正弦波

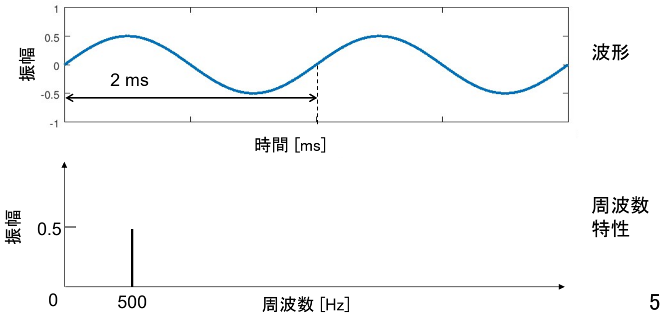


4

周波数特性

横軸を周波数、縦軸を振幅として波形に含まれる正弦波の配合比率をグラフにしたもの

例：振幅0.5，周波数500Hzの正弦波

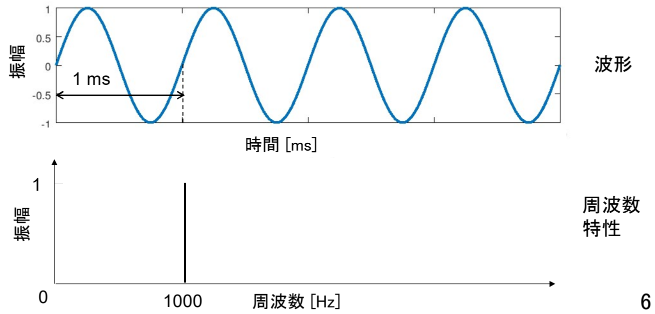


5

周波数特性

横軸を周波数、縦軸を振幅として波形に含まれる正弦波の配合比率をグラフにしたもの

例：振幅1，周波数1000Hzの正弦波



6

周波数特性

- 正弦波の音は「純音」と呼ばれる
  たった1つの周波数成分を含まない「純粋」な音だから
- 人間の聴覚は波形を周波数特性に変換している
  - 周波数特性の観点から音を聞いている
  - 人間の「聞こえ」を理解するには、波形だけでなく周波数特性も重要なポイント

7

正弦波の重ね合わせ（1/3）

我々が日ごろ耳にする音は、ほとんどの場合が複数の周波数成分を含む

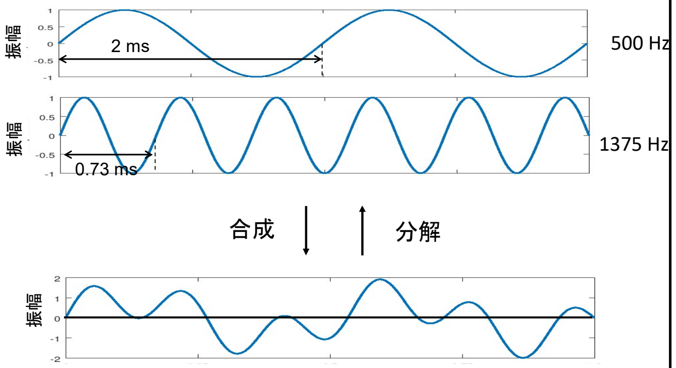
⇒複数の正弦波の重ね合わせ

⇒波形は複雑に変化（次のスライドで例）

8

正弦波の重ね合わせ(2/3)

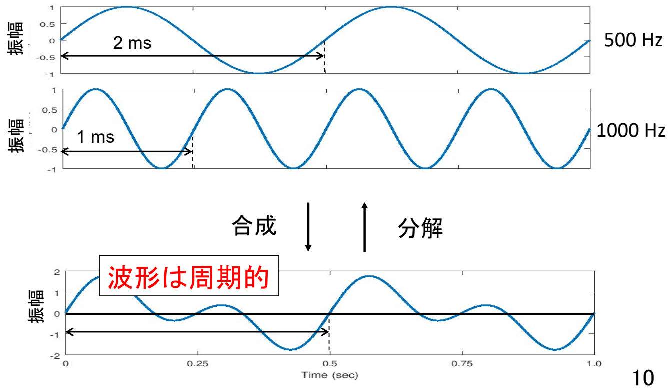
• 例　波形が整数倍の関係に**なっていない**場合



9

正弦波の重ね合わせ(2/3)

• 例　波形が整数倍の関係になっている場合



10

正弦波の重ね合わせ(2/3)

• 例　波形が整数倍の関係になっている場合

⇒波形は**周期的**

• 波形の周期を「基本周期」、その逆数を「基本周波数」と呼ぶ

$$f_0 = \frac{1}{t_0}$$

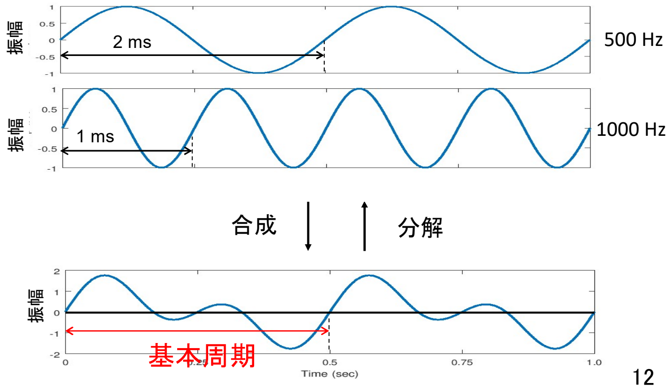
f_0 : 基本周波数

t_0 : 基本周期

11

正弦波の重ね合わせ(2/3)

• 波形が整数倍の関係になっている場合（再掲）



12

基本音と倍音

- 基本周波数の正弦波を「基本音」と呼ぶ
- 基本周波数の整数倍の正弦波を「倍音」と呼ぶ

$$h_i = i \times f_0 \quad (i \geq 2)$$

h_i : 倍音周波数　　f_0 : 基本周波数

13

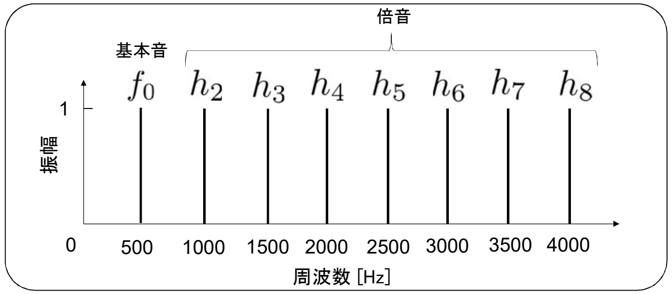
純音と複合音

- 正弦波の音
  ⇒「純音」
  ただ1つの周波数成分しか含まない「純粋」な音だから
- 複数の正弦波を重ね合わせた音
  ⇒「複合音」
  複数の周波数成分を含んでいるから
- 周波数特性が倍音構造を持つ音
  ⇒「周期的複合音」　＝0でない倍音の周波数を持つ

14

周期的複合音の周波数特性

$h_i = i \times f_0 \quad (i \geq 2)$　h_i : 倍音周波数　f_0 : 基本周波数



これから

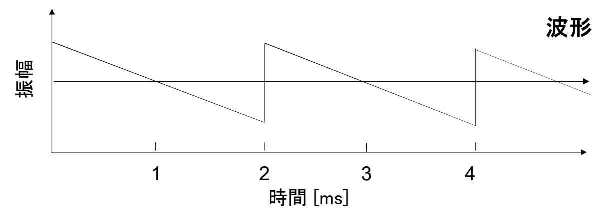
複合音として、以下の波形が表現可能ということを見ていくことに

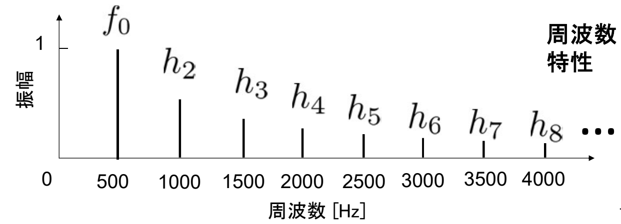
- ノコギリ波
- 矩形波
- 三角波

Q. なぜこの波形が例に挙げられるのか？
A. ファミコン音源の波形として有名だから

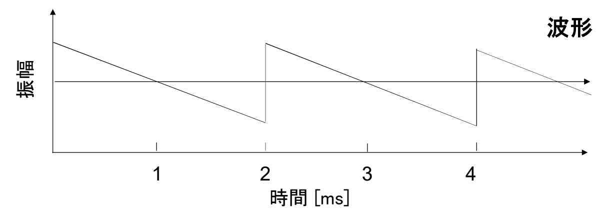
16

ノコギリ波





ノコギリ波



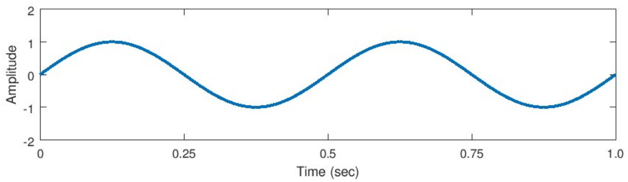
$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

f_s：サンプリング周波数

…ほんとに？

ノコギリ波

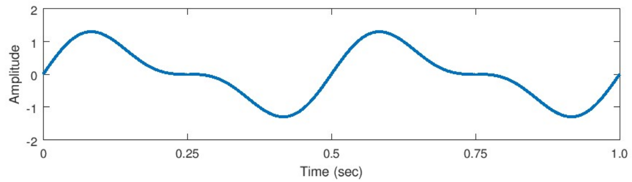
- 第1項のみ



$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

ノコギリ波

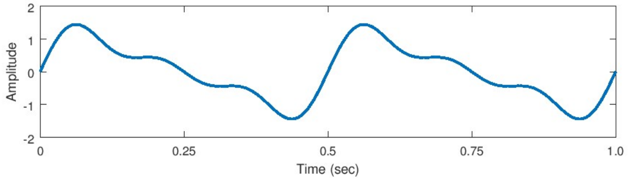
- 第2項までの和



$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

ノコギリ波

- 第3項までの和

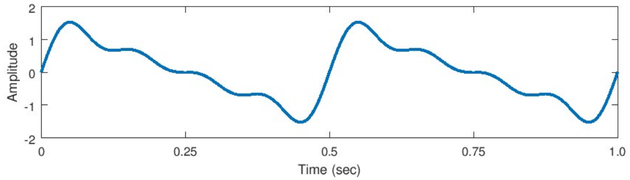


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

21

ノコギリ波

- 第4項までの和

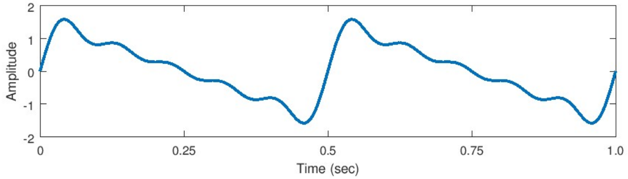


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

22

ノコギリ波

- 第5項までの和

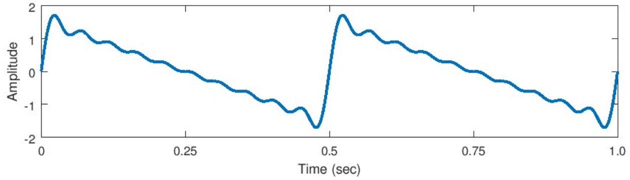


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

23

ノコギリ波

- 第10項までの和

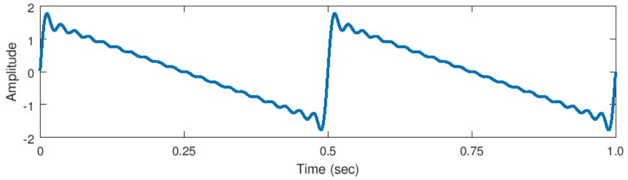


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

24

ノコギリ波

- 第20項までの和

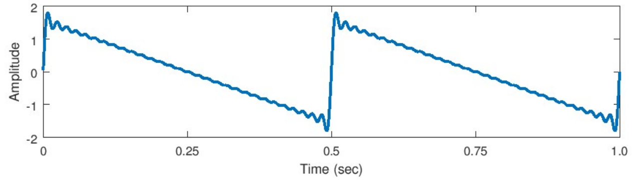


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

25

ノコギリ波

- 第30項までの和

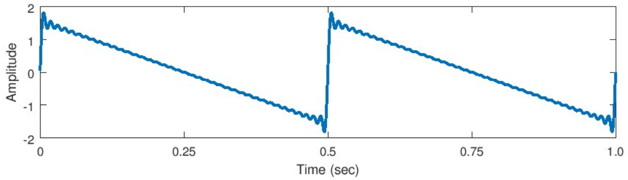


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

26

ノコギリ波

- 第40項までの和

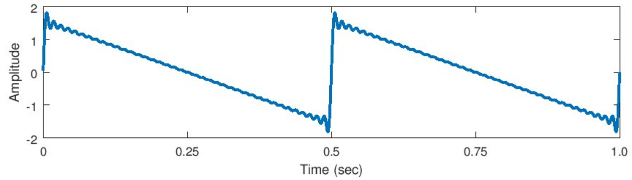


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

27

ノコギリ波

- 第50項までの和

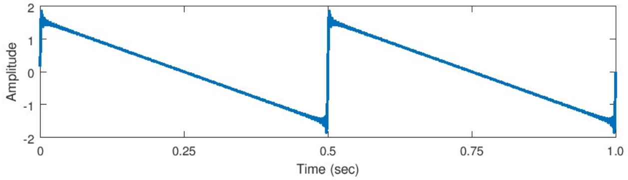


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

28

ノコギリ波

- 第100項までの和

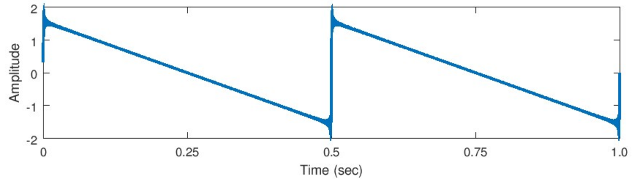


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

29

ノコギリ波

- 第200項までの和

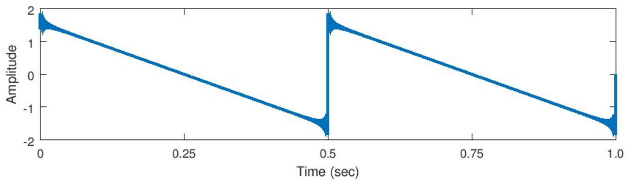


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

30

ノコギリ波

- 第1000項までの和

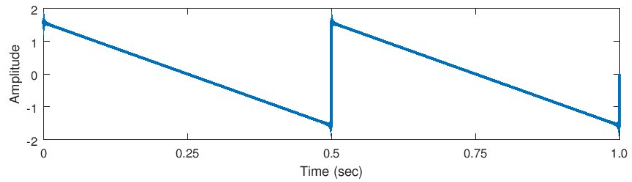


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

31

ノコギリ波

- 第10000項までの和

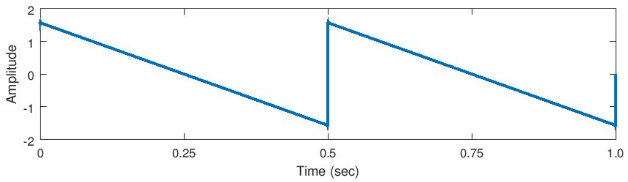


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

32

ノコギリ波

- 第50000項までの和



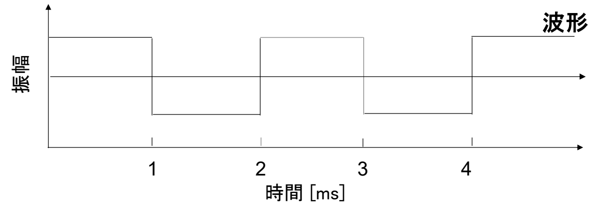
$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{2}\sin\left(\frac{2\pi h_2 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \dots$$

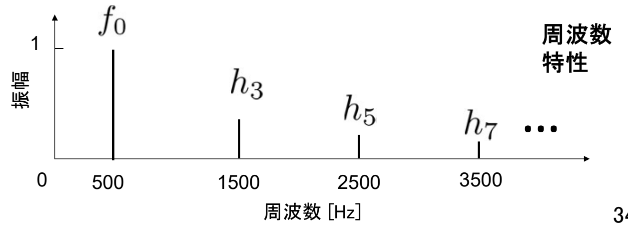
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

…どうやらほんとらしい

33

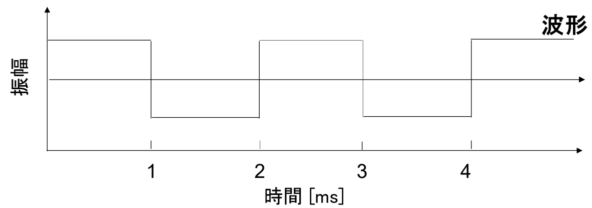
矩形波





34

矩形波



$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \dots$$

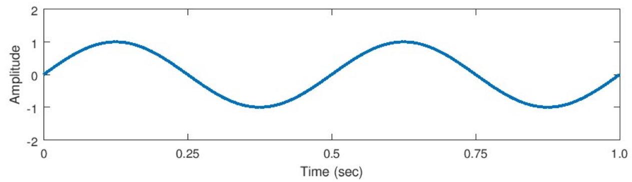
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

奇数です

35

矩形波

- 第1項のみ



$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \dots$$

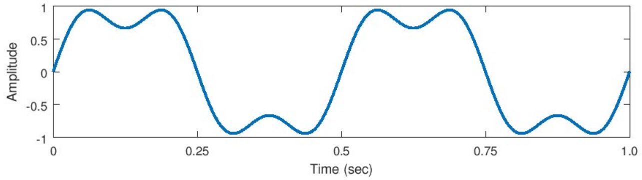
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

奇数です

36

矩形波

- 第1項のみ



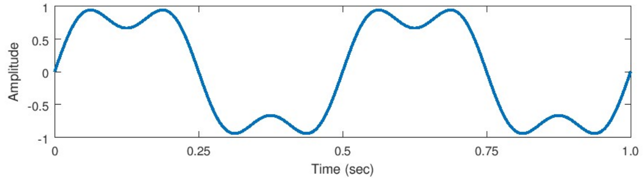
$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

奇数です

37

矩形波

- 第2項までの和



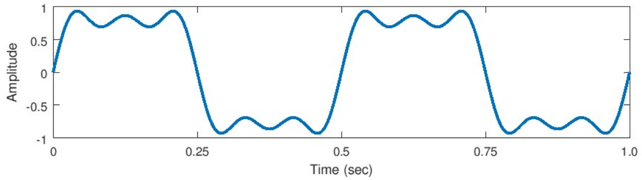
$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

奇数です

38

矩形波

- 第3項までの和



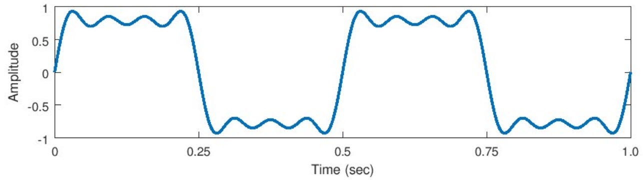
$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

奇数です

39

矩形波

- 第4項までの和



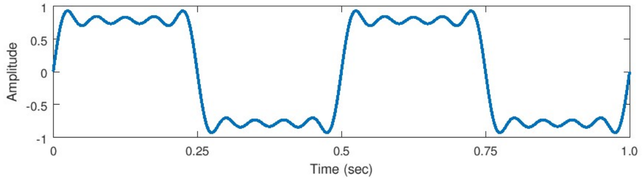
$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

奇数です

40

矩形波

- 第5項までの和



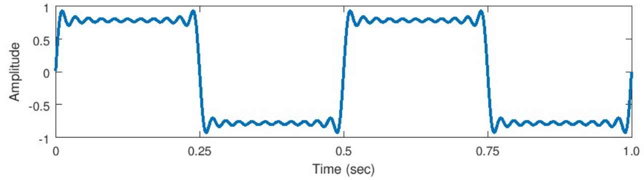
$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

奇数です

41

矩形波

- 第10項までの和



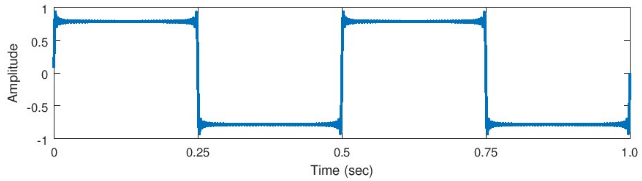
$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

奇数です

42

矩形波

- 第50項までの和



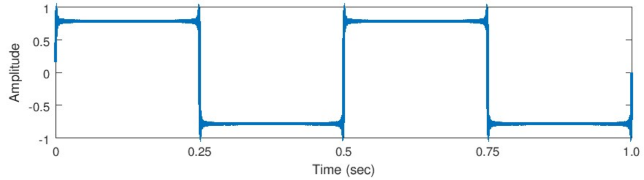
$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

奇数です

43

矩形波

- 第100項までの和



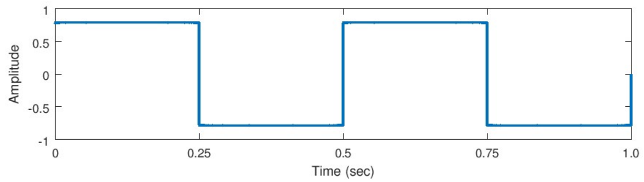
$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

奇数です

44

矩形波

- 第10000項までの和

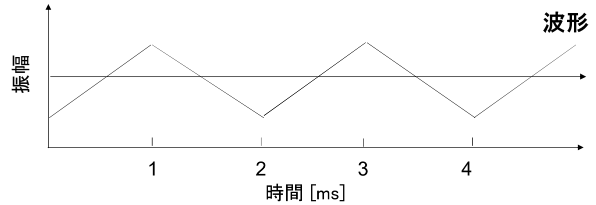


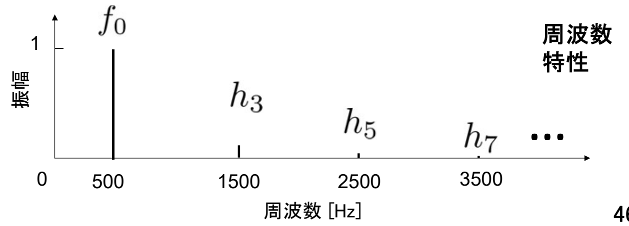
$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \ldots$$
$$\ldots + \frac{1}{i}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \ldots$$

奇数です

45

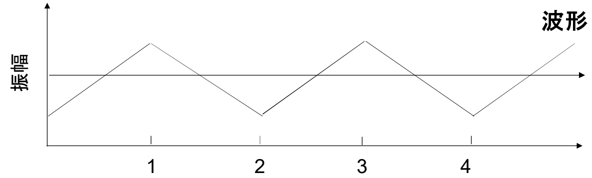
三角波





46

三角波

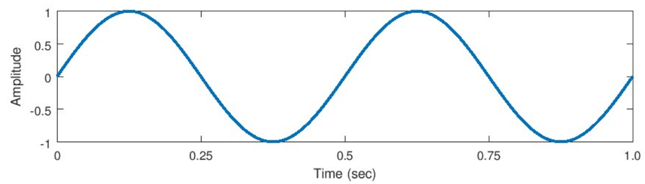


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) - \frac{1}{3^2}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5^2}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) - \ldots$$
$$\ldots + \sin\left(\frac{\pi i}{2}\right)\frac{1}{i^2}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \ldots$$

47

三角波

- 第1項のみ

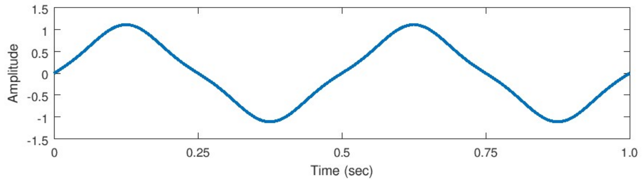


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) - \frac{1}{3^2}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5^2}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) - \ldots$$
$$\ldots + \sin\left(\frac{\pi i}{2}\right)\frac{1}{i^2}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \ldots$$

48

三角波

- 第2項までの和

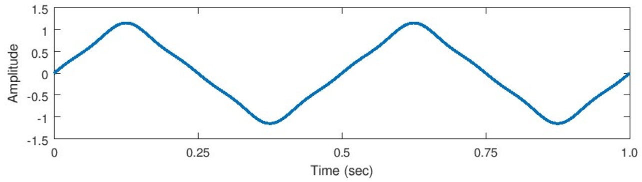


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) - \frac{1}{3^2}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5^2}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) - \dots$$
$$\dots + \sin\left(\frac{\pi i}{2}\right)\frac{1}{i^2}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

49

三角波

- 第3項までの和

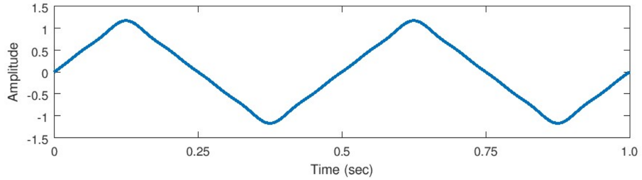


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) - \frac{1}{3^2}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5^2}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) - \dots$$
$$\dots + \sin\left(\frac{\pi i}{2}\right)\frac{1}{i^2}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

50

三角波

- 第4項までの和

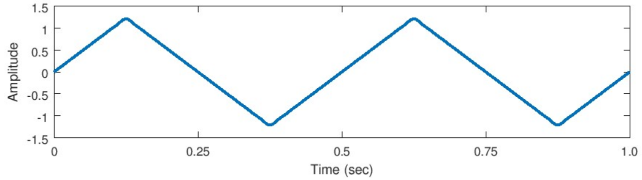


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) - \frac{1}{3^2}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5^2}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) - \dots$$
$$\dots + \sin\left(\frac{\pi i}{2}\right)\frac{1}{i^2}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

51

三角波

- 第10項までの和

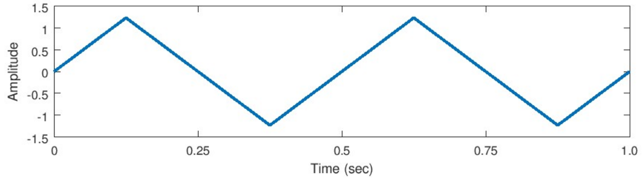


$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) - \frac{1}{3^2}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5^2}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) - \dots$$
$$\dots + \sin\left(\frac{\pi i}{2}\right)\frac{1}{i^2}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

52

三角波

- 第50項までの和



$$s(n) = \sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) - \frac{1}{3^2}\sin\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5^2}\sin\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) - \dots$$
$$\dots + \sin\left(\frac{\pi i}{2}\right)\frac{1}{i^2}\sin\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

53

位相

- 正弦波は振幅と周波数だけでなく、位相も考慮
  ⇒重ね合わせのバリエーションが増える

$$s(n) = a\sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s} + \theta\right) \quad (0 \le n \le N-1)$$

位相

- 特に位相がπ／2 のとき

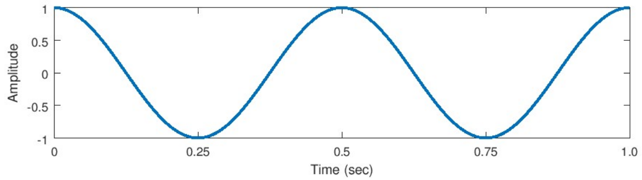
$$s(n) = a\sin\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s} + \frac{\pi}{2}\right)$$
$$= a\cos\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) \quad (0 \le n \le N-1)$$

54

余弦波だけで重ね合わせ

矩形波と倍音の配合比率は同じにしてみる

- 第1項のみ



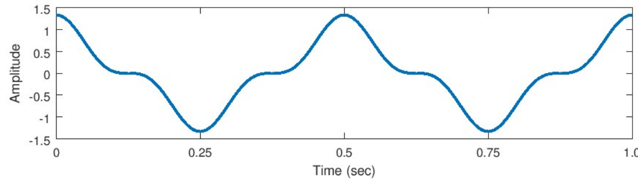
$$s(n) = \cos\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\cos\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\cos\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\cos\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

55

余弦波だけで重ね合わせ

矩形波と倍音の配合比率は同じにしてみる

- 第2項までの和



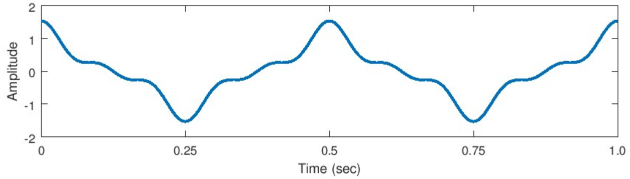
$$s(n) = \cos\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\cos\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\cos\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \dots$$
$$\dots + \frac{1}{i}\cos\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \dots$$

56

余弦波だけで重ね合わせ

矩形波と倍音の配合比率は同じにしてみる

- 第3項までの和



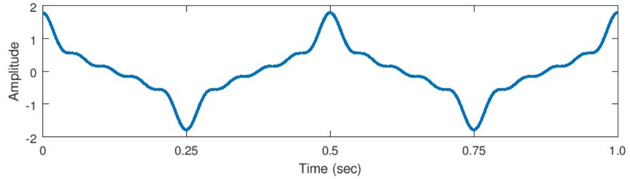
$$s(n) = \cos\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\cos\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\cos\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \ldots$$
$$\ldots + \frac{1}{i}\cos\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \ldots$$

57

余弦波だけで重ね合わせ

矩形波と倍音の配合比率は同じにしてみる

- 第4項までの和



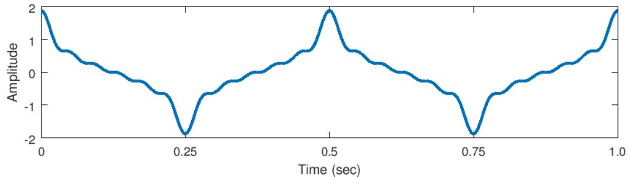
$$s(n) = \cos\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\cos\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\cos\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \ldots$$
$$\ldots + \frac{1}{i}\cos\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \ldots$$

58

余弦波だけで重ね合わせ

矩形波と倍音の配合比率は同じにしてみる

- 第5項までの和



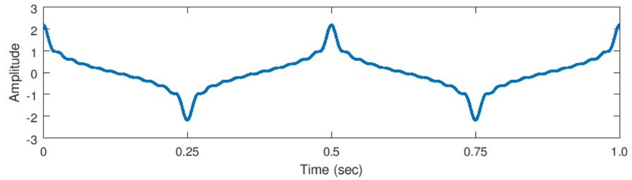
$$s(n) = \cos\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\cos\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\cos\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \ldots$$
$$\ldots + \frac{1}{i}\cos\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \ldots$$

59

余弦波だけで重ね合わせ

矩形波と倍音の配合比率は同じにしてみる

- 第10項までの和



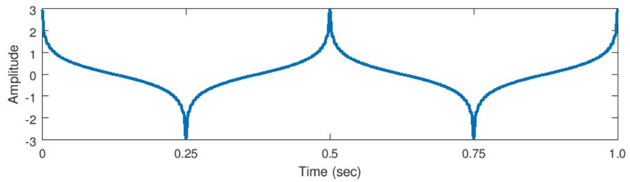
$$s(n) = \cos\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\cos\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\cos\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \ldots$$
$$\ldots + \frac{1}{i}\cos\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \ldots$$

60

余弦波だけで重ね合わせ

矩形波と倍音の配合比率は同じにしてみる

- 第50項までの和



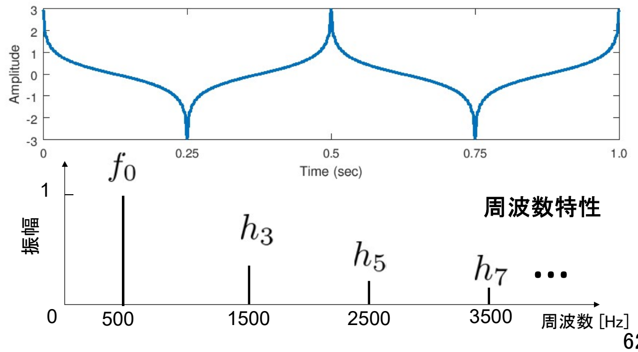
$$s(n) = \cos\left(\frac{2\pi f_0 n}{f_s}\right) + \frac{1}{3}\cos\left(\frac{2\pi h_3 n}{f_s}\right) + \frac{1}{5}\cos\left(\frac{2\pi h_5 n}{f_s}\right) + \ldots$$
$$\ldots + \frac{1}{i}\cos\left(\frac{2\pi h_i n}{f_s}\right) + \ldots$$

61

余弦波だけで重ね合わせ

矩形波と倍音の配合比率は同じにしてみる

- 第50項までの和



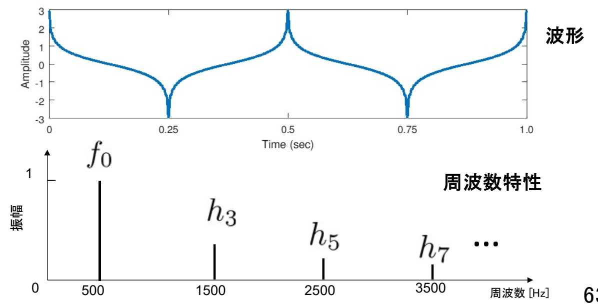
62

余弦波だけで重ね合わせ

矩形波と倍音の混合比率は同じにしてみる

⇒波形は大きく変化、しかし周波数特性は同じ

⇒音色は変化しない！（演習で確認）



63

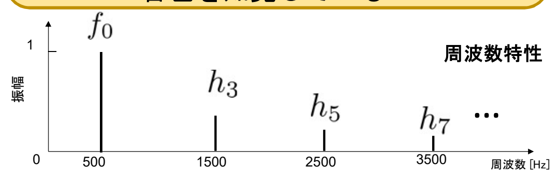
余弦波だけで重ね合わせ

矩形波と倍音の配合比率は同じにしてみる

⇒波形は大きく変化、しかし周波数特性は同じ

⇒音色は変化しない！（演習で確認）

人間の聴覚は波形そのものではなく、
波形を周波数特性に変換し、
倍音の配合比率を割り出すことで
音色を知覚している！



64

余弦波だけで重ね合わせ

矩形波と倍音の配合比率は同じにしてみる
⇒波形は大きく変化、しかし周波数特性は同じ
⇒音色は変化しない！（演習で確認）

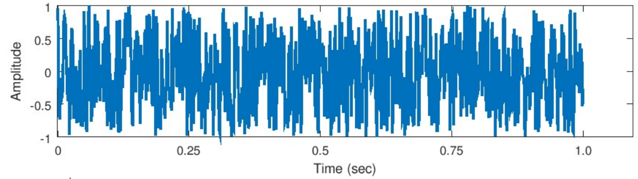
人間の聴覚は波形そのものではなく、
波形を周波数特性に変換し、
倍音の配合比率を割り出すことで
音色を知覚している！

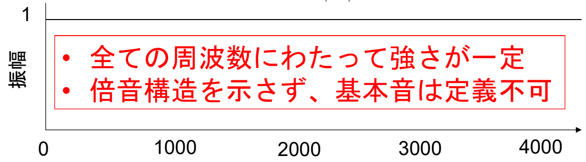
人間の音の「聞こえ」を理解するには、
波形だけでなく、周波数特性を観察する
ことが重要なポイント

65

白色雑音

- あらゆる周波数の正弦波を、位相をランダムにして重ね合わせたもの





- 全ての周波数にわたって強さが一定
- 倍音構造を示さず、基本音は定義不可

66

ここまでのまとめ

- 波の周波数解析（少しだけ）
  ⇒波形に含まれる正弦波の配合比率のグラフ

- 波の重ね合わせ
  正弦波の重ね合わせで色々な波形を表現可能
  - ノコギリ波
  - 矩形波
  - 三角波
  - 白色雑音

67

ちなみに

- 実はノコギリ波に限らず、任意の周期関数は正弦波の和で計算可能 ⇒フーリエ級数展開

フーリエ級数 $x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \{a_n \cos(\omega_0 n t) + b_n \sin(\omega_0 n t)\}$

- 各周波数成分のパラメータから時間波形への変換

フーリエ係数

$$a_0 = \frac{1}{T_0}\int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} x(t)\,\mathrm{d}t$$

$$a_n = \frac{2}{T_0}\int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} x(t)\cos(\omega_0 n t)\,\mathrm{d}t$$

$$b_n = \frac{2}{T_0}\int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} x(t)\sin(\omega_0 n t)\,\mathrm{d}t$$

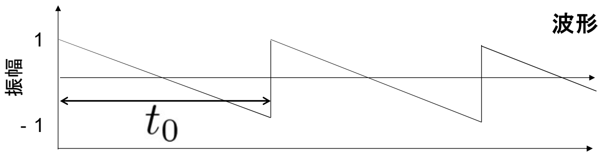
今日やること

- 波の周波数解析（少し）
- 波の重ね合わせ
  - ノコギリ波
  - 矩形波
  - 三角波
  - 白色雑音
- PSG音源（時間があれば？）

PSG音源

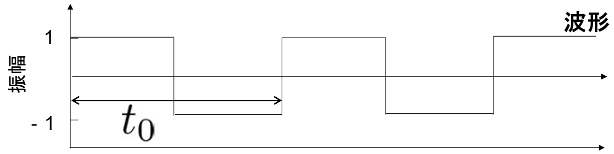
- Programmable Sound Generator
- ノコギリ波や矩形波などの単純な波形
  - 正弦波の重ね合わせでも計算可能だが、実用上は直線の組み合わせで高速に計算

ノコギリ波 再訪



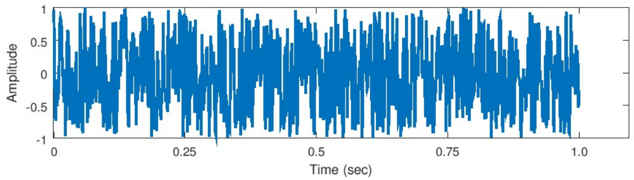
$$s(n) = 1 - \frac{2n}{t_0} \quad (0 \leq n < t_0)$$

矩形波 再訪



$$s(n) = \begin{cases} 1 & (0 \leq n < t_0/2) \\ -1 & (t_0/2 \leq n < t_0) \end{cases}$$

白色雑音 再訪

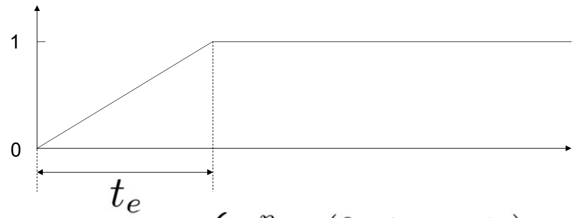


- コンピュータの乱数を使って高速に生成

74

時間エンベロープ

- 音の大きさの時間変化をコントロール
- 単調増加・単調減少が基本（PSG音源の場合）
  - 単調増加

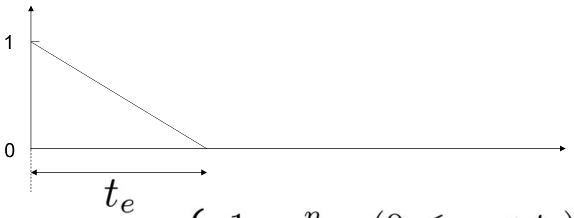


$$e(n) = \begin{cases} \frac{n}{t_e} & (0 \leq n < t_e) \\ 1 & (t_e \leq n) \end{cases}$$

75

時間エンベロープ

- 音の大きさの時間変化をコントロール
- 単調増加・単調減少が基本（PSG音源の場合）
  - 単調減少

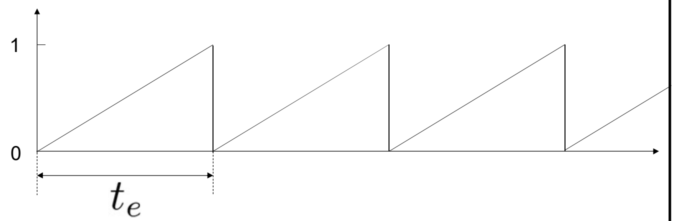


$$e(n) = \begin{cases} 1 - \frac{n}{t_e} & (0 \leq n < t_e) \\ 0 & (t_e \leq n) \end{cases}$$

76

時間エンベロープ

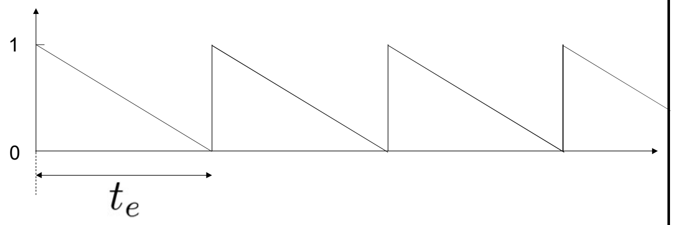
- 音の大きさの時間変化をコントロール
- 単調増加・単調減少が基本（PSG音源の場合）
  - 単調増加の繰り返し



77

時間エンベロープ

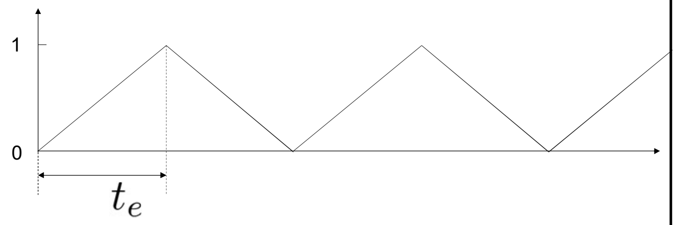
- 音の大きさの時間変化をコントロール
- 単調増加・単調減少が基本（PSG音源の場合）
  - 単調減少の繰り返し



78

時間エンベロープ

- 音の大きさの時間変化をコントロール
- 単調増加・単調減少が基本（PSG音源の場合）
  - 単調増加と単調減少の繰り返し



⇒演習で音を確かめてみる

79

ゲームミュージック

- PSG音源を使ったゲームのBGMを演奏することが一般的だった時代　⇒　「ファミコン」が代表例
- 「スーパーマリオブラザーズ」
  - 明るい音色の矩形波がメロディーパート
  - おとなしい音色の三角波がベースパート
  - 短く切った白色雑音がパーカッション

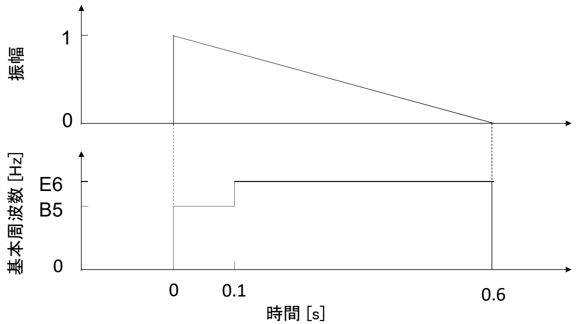
  ⇒演習で音を聞いてみる
- 「チップチューン」という音楽ジャンルも

80

効果音

今回は「コイン音」と「ジャンプ音」

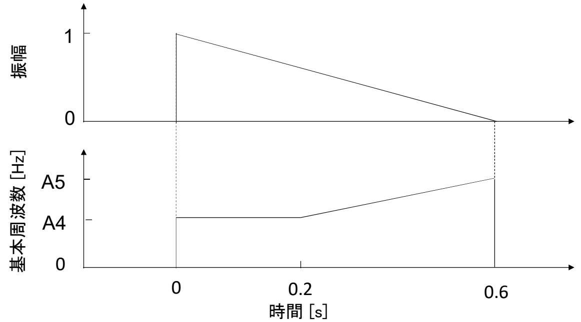
- コイン音の時間エンベロープ



81

効果音

今回は「コイン音」と「ジャンプ音」
- ジャンプ音の時間エンベロープ



82

まとめ

- 波の周波数解析（少しだけ）
  ⇒波形に含まれる正弦波の配合比率のグラフ
- 波の重ね合わせ
  - 正弦波の重ね合わせで色々な波形を表現可能
  - 人間は周波数特性に分解して音を聞いている
- PSG音源
  - ノコギリ波、矩形波、三角波、白色雑音
  - 時間エンベロープで音を加工

83

第3回
サウンドメディア論
および演習　演習編

練習（1/2）

- 20180420.zipをMoodleからダウンロードし、適当なフォルダ以下に解凍せよ
- 解凍後、ターミナルからそのフォルダに移動せよ
- そのフォルダに移動後、makeコマンドを実行せよ
  $ make
  ⇒コンパイル用のコマンドが動き、実行ファイルが作成される
- 作成された実行ファイルのうち、saw_wave, rect_wave, triangle_wave, white_noiseを実行することで，ノコギリ波、矩形波、三角波、白色雑音の音をそれぞれ確認せよ
  例　$ ./saw_wave　# 実行するとノコギリ波の音がすぐに流れる

85

練習(2/2)

- mario_bgmを実行することで、マリオブラザーズのbgmを確認せよ
  $ ./mario_bgm
- jump, coinを実行することで、ジャンプとコインの音をそれぞれ確認せよ(ジャンプの音はイマイチ？)
  $ ./jump
  $ ./coin

以降、プログラムのコンパイルは"make"コマンドを実行するだけでOK

- 必要なコマンドをあらかじめMakefileに書いておく
  ⇒毎回gccコマンドを手で打ち込まなくてもOK
- 大規模なプログラム開発ではMakefileは必須

86

演習課題1

- saw_wave_sin.c, rect_wave_sin.c, triangle_wave_sin.cはそれぞれ、ノコギリ波、矩形波、三角波を正弦波の重ね合わせ(和)により生成するプログラムである。
  1. 各プログラムの中身を確認せよ
  2. 変数num_sumは正弦波の和の数を表す. この値を修正し、先の演習で作成したsaw_wave.wavなどと同じに聞こえるようにしてみよ. 出力ファイルはsaw_wave_sin.wavなどである. num_sumの値に正解はなく, 個人の感覚で決めてよい.
  3. 19行目の基本周波数を学籍番号の上位4桁に設定し、それぞれの音を生成せよ(K12345なら1234).
- 提出ファイルはsaw_wave_sin.c, rect_wave_sin.c, triangle_wave_sin.cとそれらに対応する各WAVEファイルsaw_wave_sin.wav, rect_wave_sin.wav, triangle_wave_sin.wavである.

※「num_sumと基本周波数が修正されたCのファイル」と「WAVEファイル」

87

演習課題2

- white_noise_envelop.cは白色雑音に対して、「単調増加と単調減少を繰り返す」時間エンベロープを施すプログラムである。
  1. プログラムの中身を確認せよ.
  2. 25行目の変数teの値を修正(大きくしたり小さくしたり)して、「波の音」と「蒸気機関車」の音を作ってみよ.
  white_noise_ripple.wavとwhite_noise_steam.wavとして保存

88

おまけの演習(提出する必要はない)

- saw_wave_cos.c, rect_wave_cos.c, triangle_wave_cos.cはそれぞれ、ノコギリ波、矩形波、三角波を余弦波の重ね合わせ(和)により生成するプログラムである。
  1. プログラムを開き、確かにcosが使われていることを確認せよ
  2. saw_wave_sin.cなどで設定したnum_sum変数と基本周波数を参考に, saw_wave_cos.cを修正せよ
  3. プログラムをコンパイルし, 実行ファイルを動かすことで、音を作成せよ(saw_wave_cos.wavなど)
  4. 先の演習で作成したsaw_wave_sin.wavと聞き比べてみよ

89

提出方法

1. フォルダを作成
   フォルダ名は「学籍番号_0420」とする
   例：学籍番号がK123456ならば「K123456_0413」
2. 提出するファイルをその中に入れる
3. Finder上でフォルダをCtrl+左クリックし、圧縮ファイル（zip）を作成する
4. Moodleにアップロードして課題提出

90

連絡先

- 課題提出に関して何か不具合や問題点などありましたら、
  akira-tamamori@aitech.ac.jp
  までお願いします。

91