

$\Delta\Sigma$ 変調を用いた電源クロック 周波数拡散技術の研究

小林研究室 学部4年

11306004

荒船拓也



OUTLINE

- 研究背景
- スペクトル拡散クロック発生器
- 検討したアルゴリズム
- シミュレーションによる検証
- まとめ

OUTLINE

- **研究背景**
- スペクトル拡散クロック発生器
- 検討したアルゴリズム
- シミュレーションによる検証
- まとめ

研究背景

スマホ



パソコン



クロックを使用

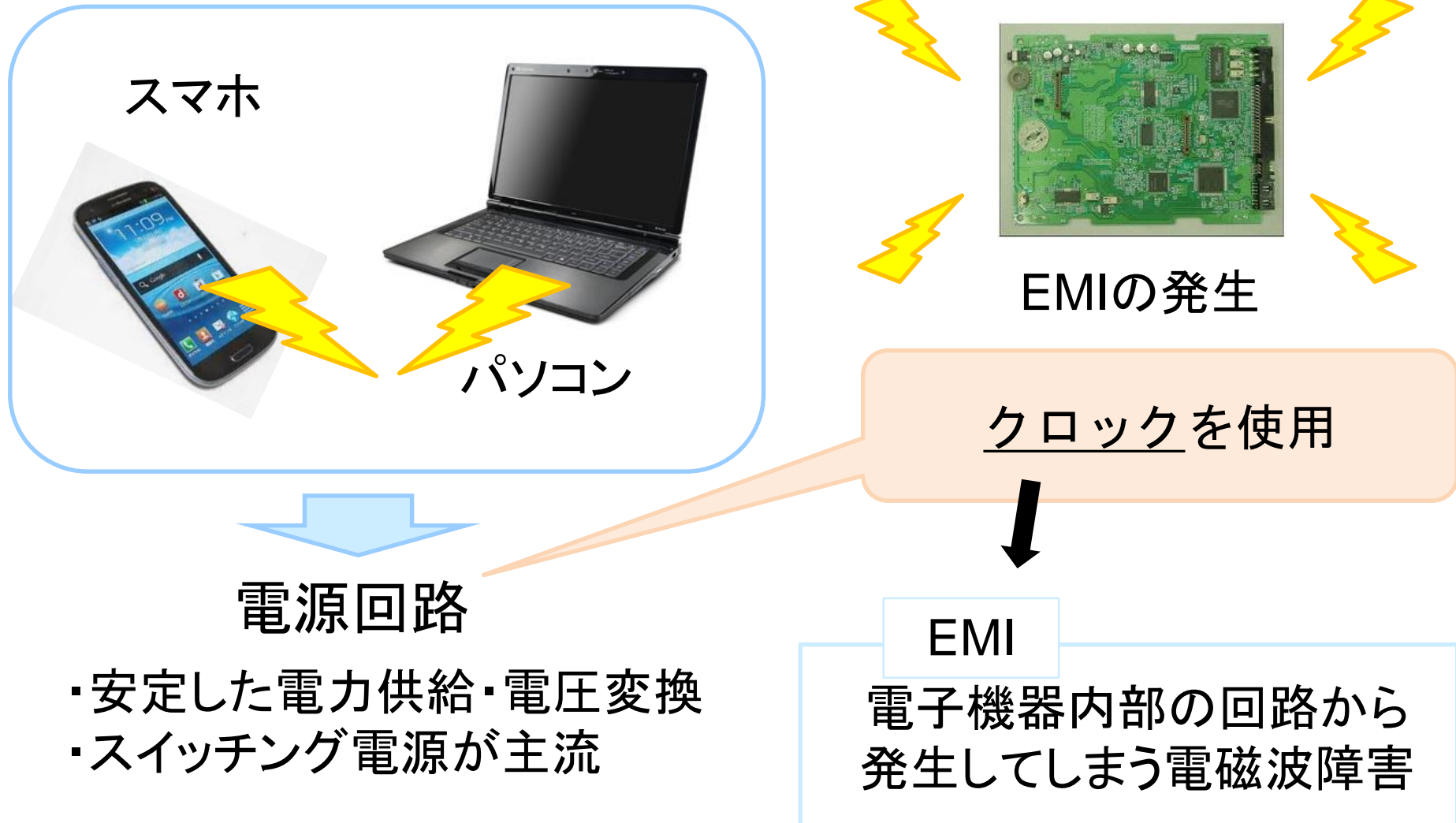
電源回路

- ・安定した電力供給・電圧変換
- ・スイッチング電源が主流

EMI

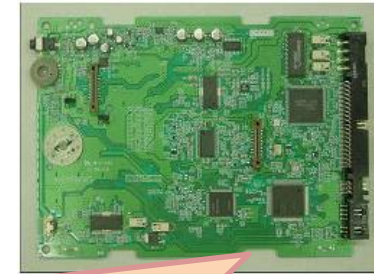
電子機器内部の回路から発生してしまう電磁波障害

研究背景



研究背景

スマホ



の発生

各国でEMIの制限

を使用

電源回路

- ・安定した電力供給・電圧換
- ・スイッチング電源が主流

EMI

電子機器内部の回路から発生してしまう電磁波障害

研究背景

クロック

一定の周波数なので
特定の周波数に**パワーが集中**

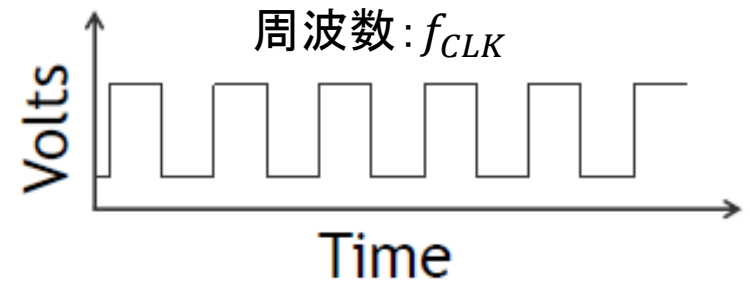


ピークが発生

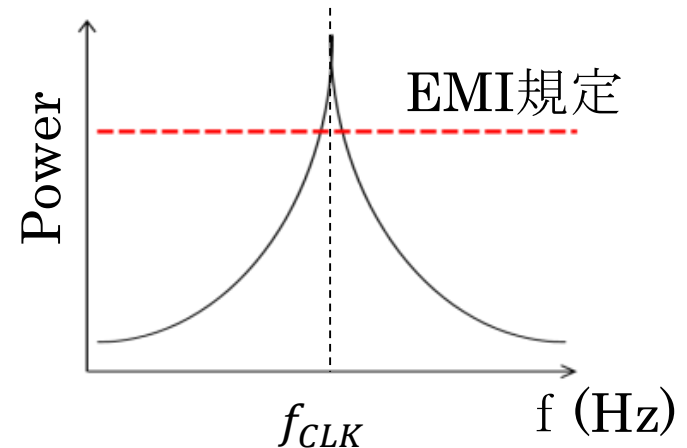
規定を超えると製品販売不可



最大ピークを小さくすることが重要



FFT

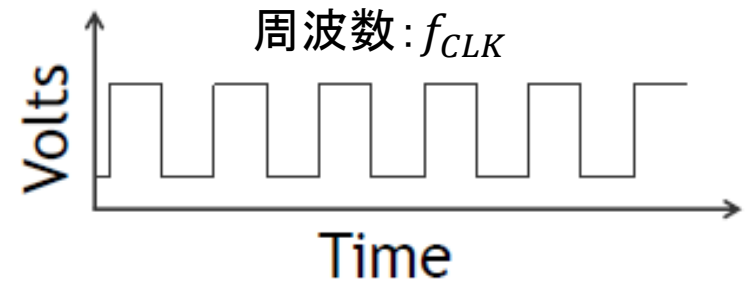


クロックのスペクトル例

研究背景

クロック

一定の周波数なので
特定の周波数に**パワーが集中**

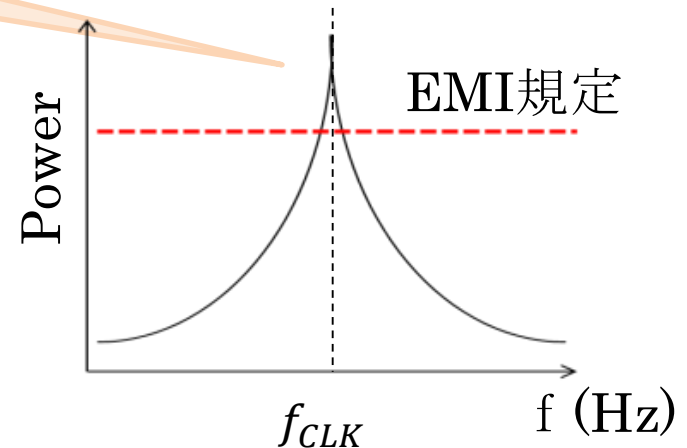


ピークが発生



FFT

規定を超えると製品販売不可



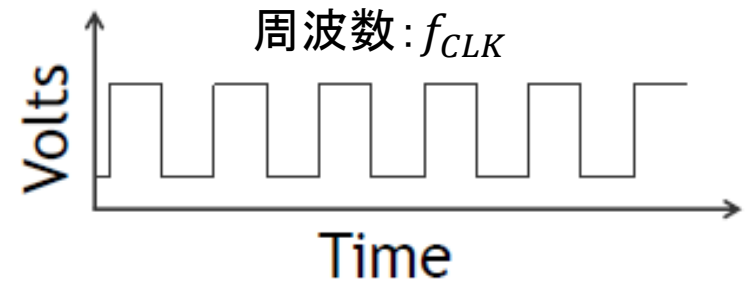
最大ピークを小さくすることが重要

クロックのスペクトル例

研究背景

クロック

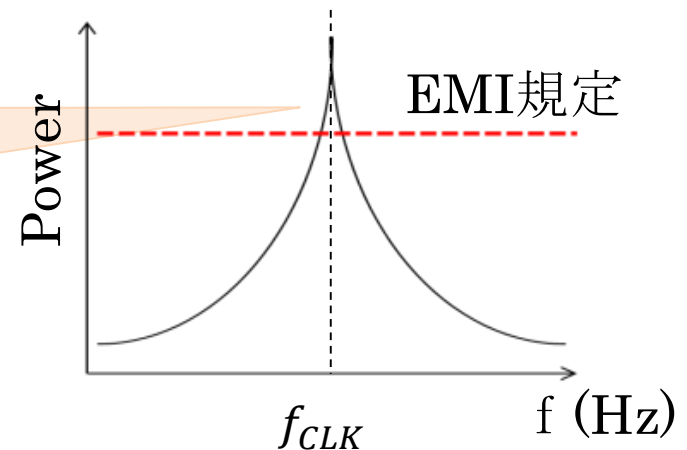
一定の周波数なので
特定の周波数に**パワーが集中**



ピークが発生



規定を超えると製品販売不可



最大ピークを小さくすることが重要

クロックのスペクトル例

研究背景

クロック

一定の周波数なので
特定の周波数に**パワーが集中**

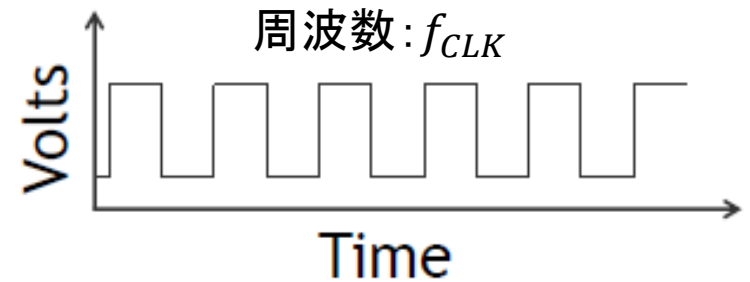


ピークが発生

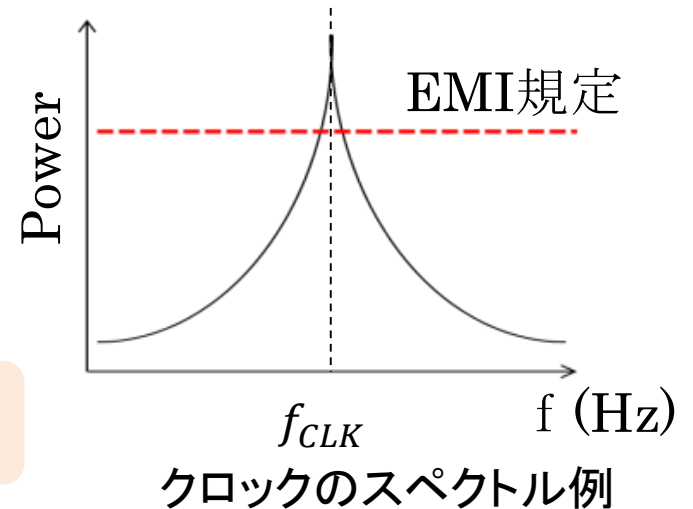
規定を超えると製品販売不可



最大ピークを小さくすることが重要



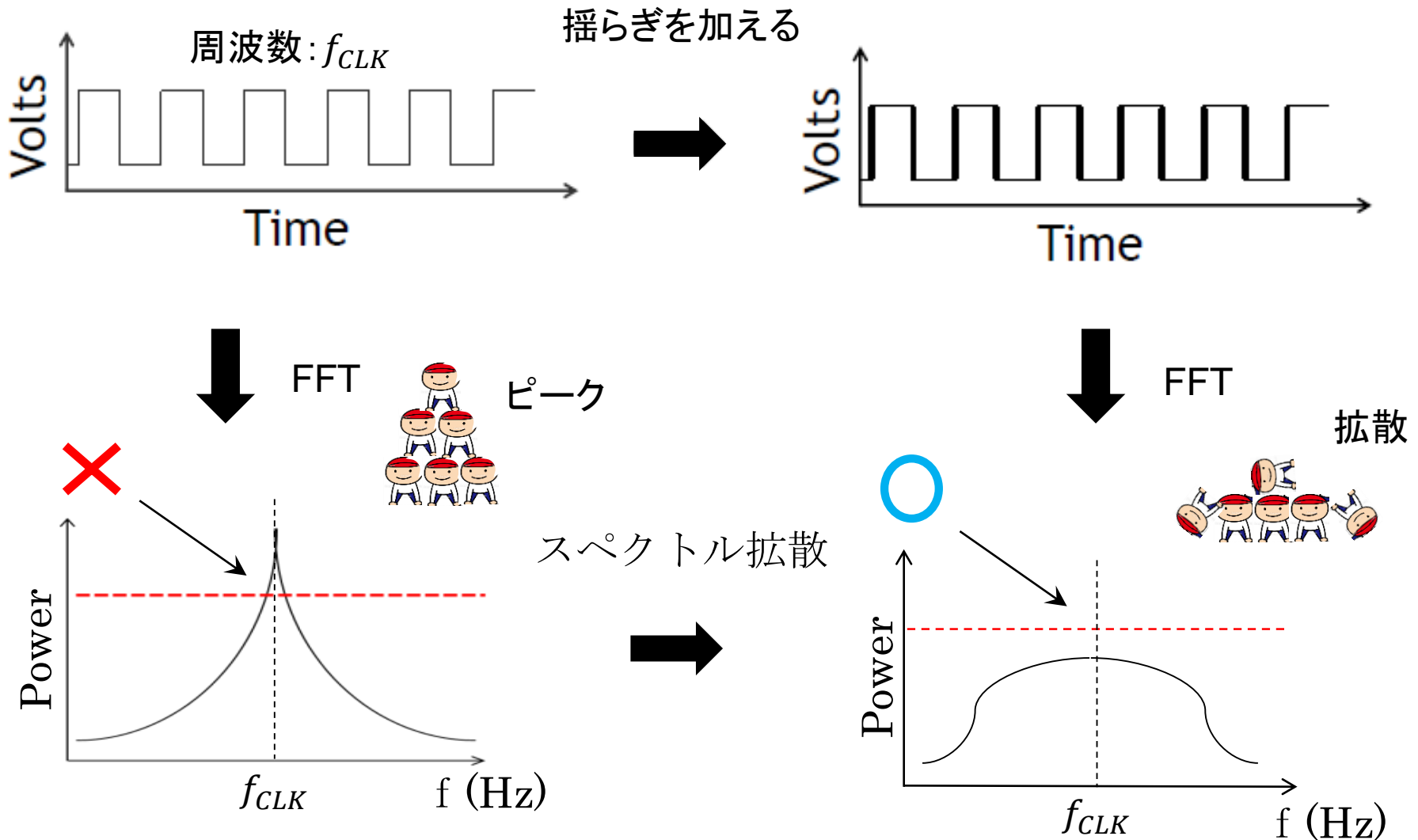
FFT



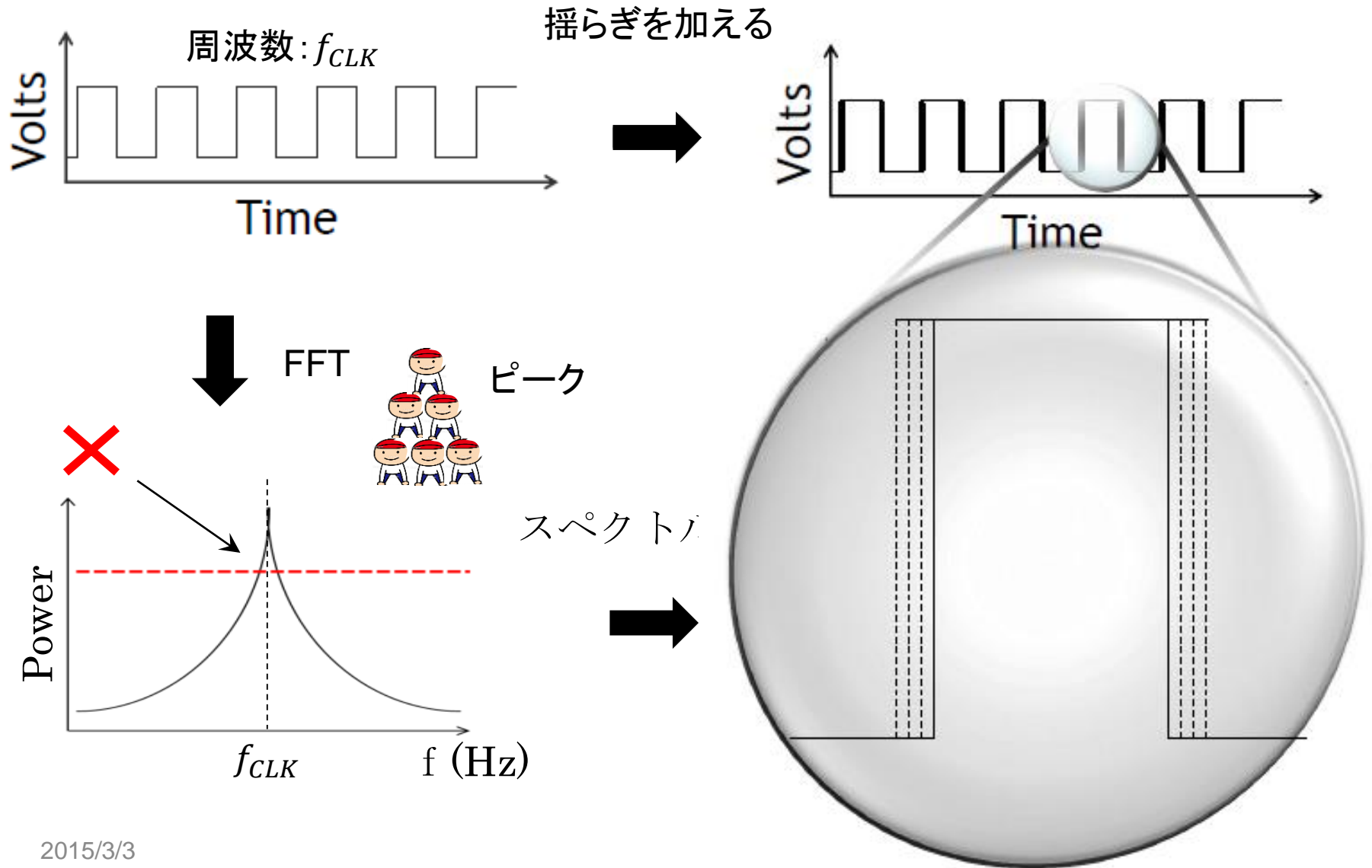
OUTLINE

- 研究背景
- **スペクトル拡散クロック発生器**
- 検討したアルゴリズム
- シミュレーションによる検証
- まとめ

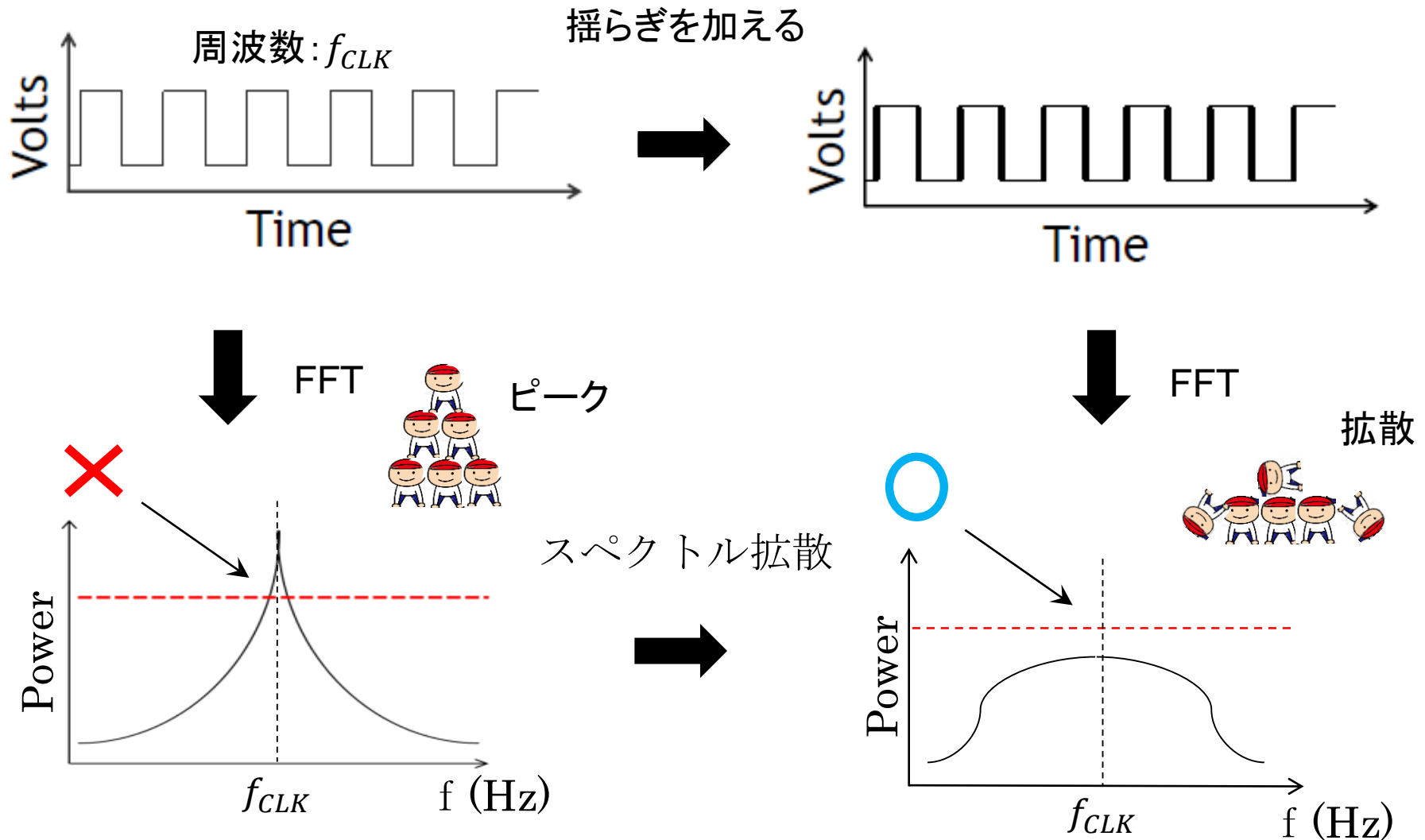
一般的なスペクトル拡散技術



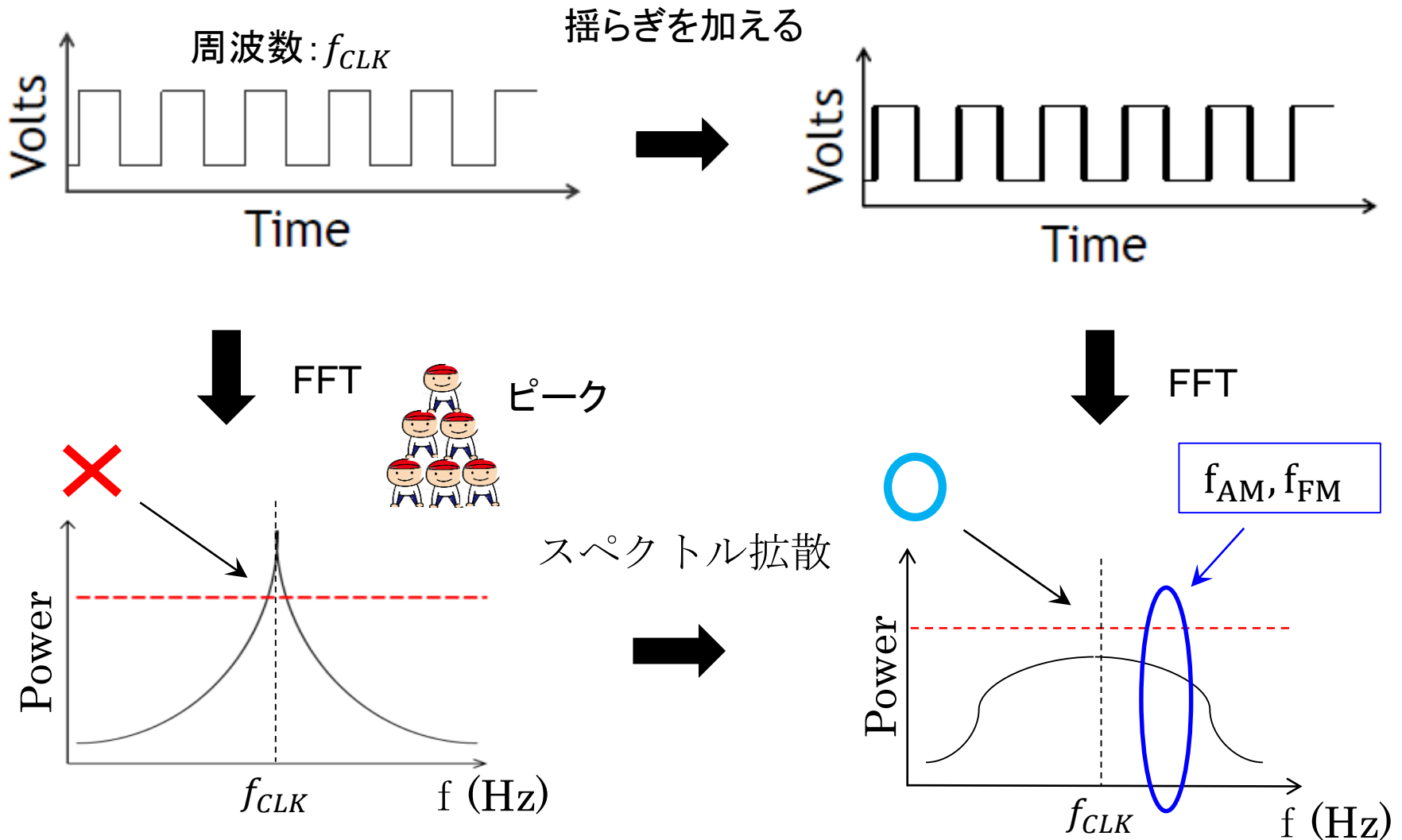
一般的なスペクトル拡散技術



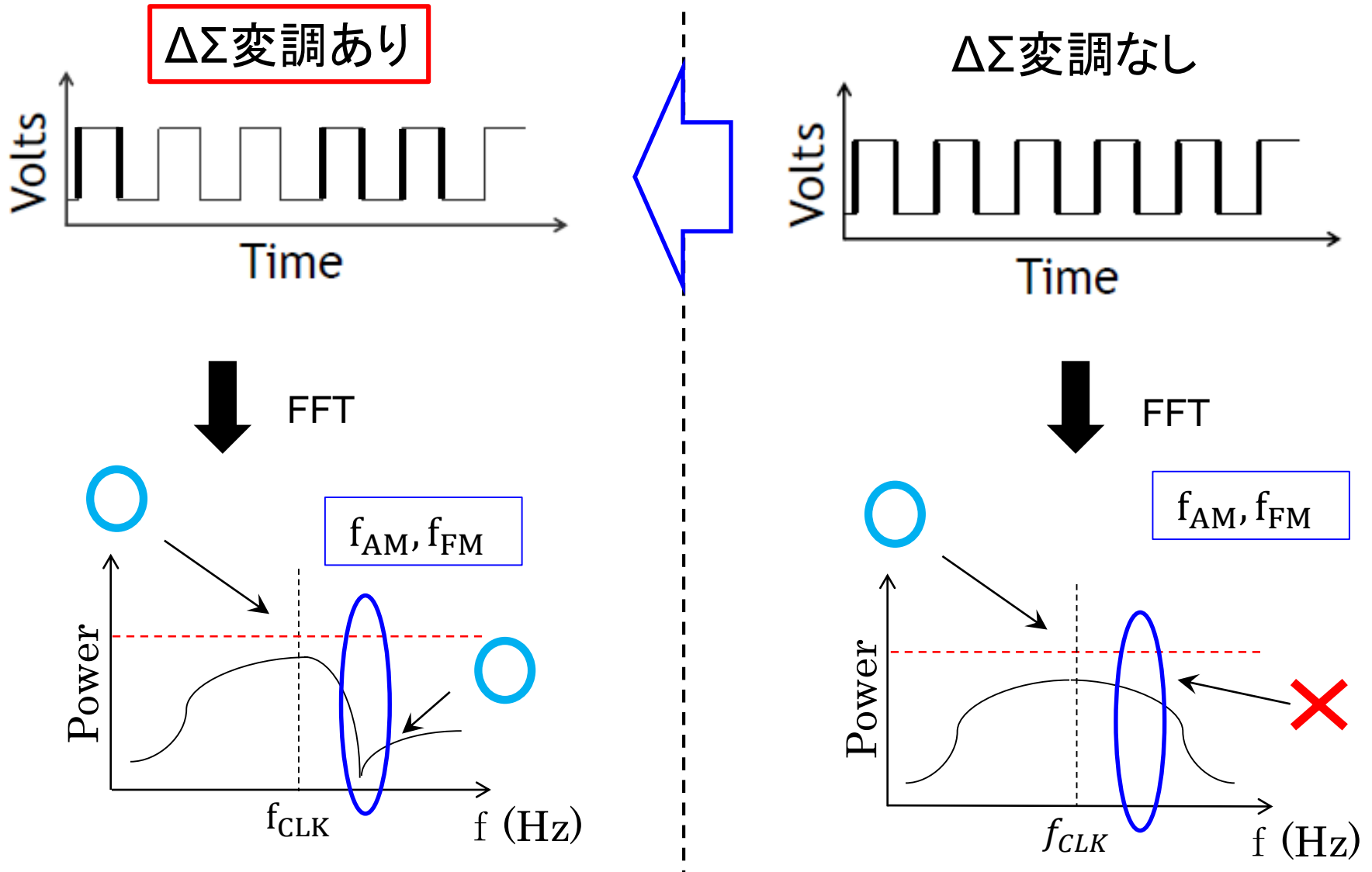
一般的なスペクトル拡散技術



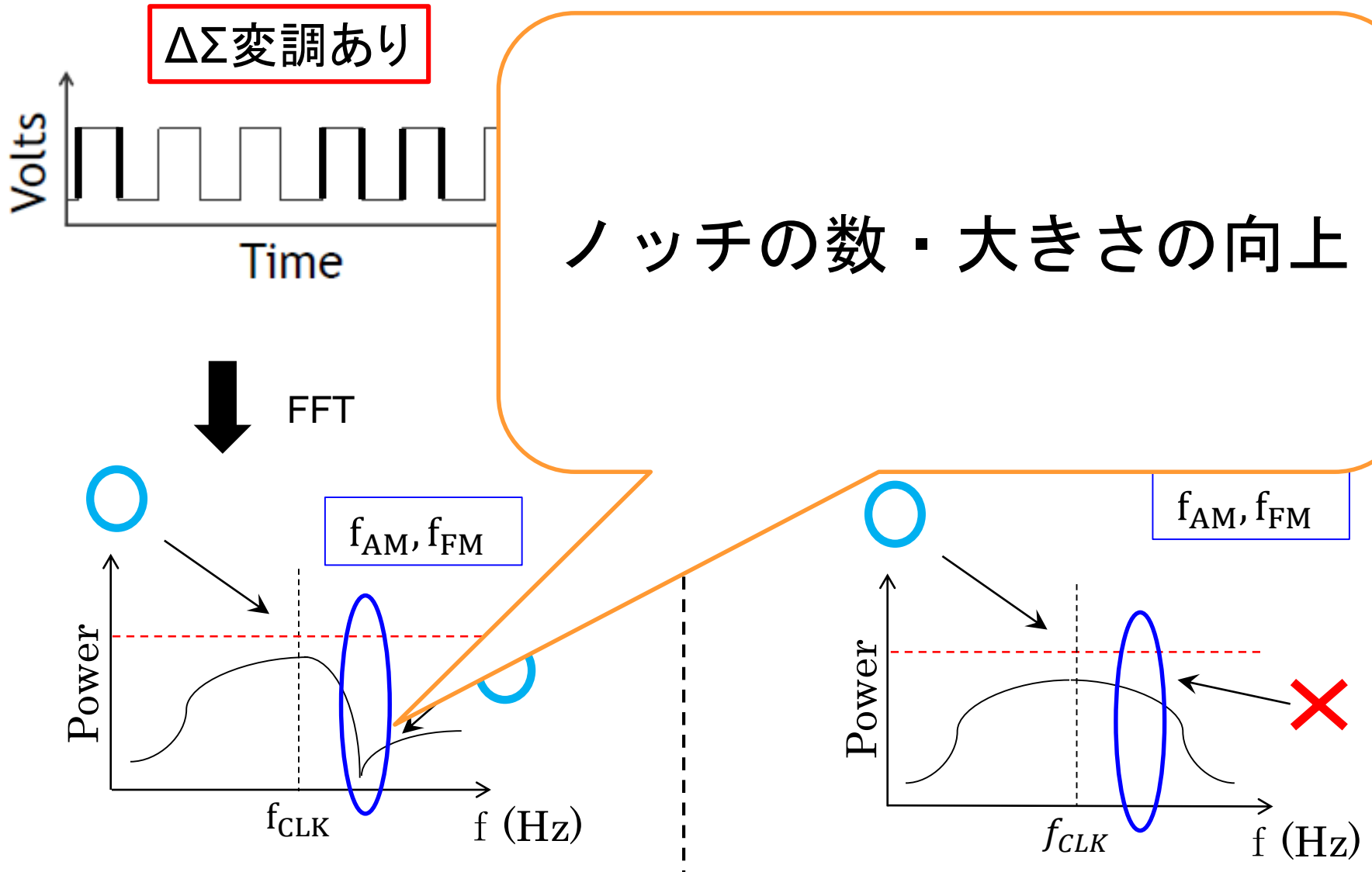
一般的なスペクトル拡散技術



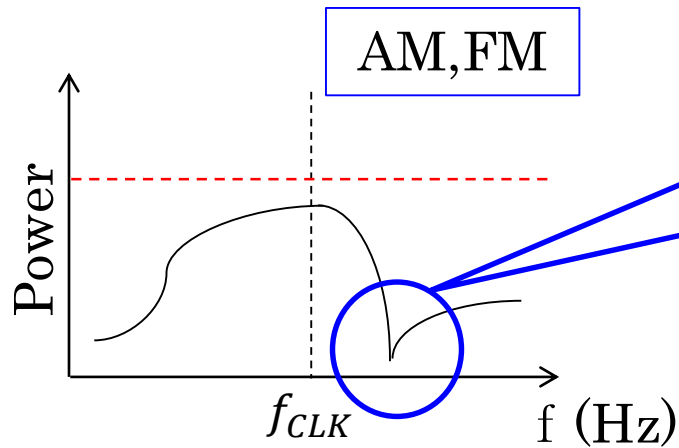
帯域選択スペクトル拡散技術



帯域選択スペクトル拡散技術

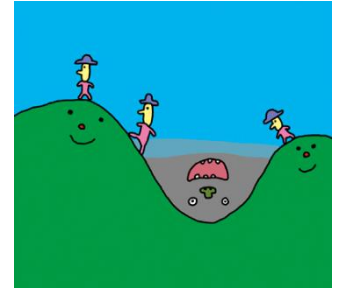


ノッチとは



ノッチ

周波数帯域での谷



必要な周波数帯域での
EMIを完全に除去

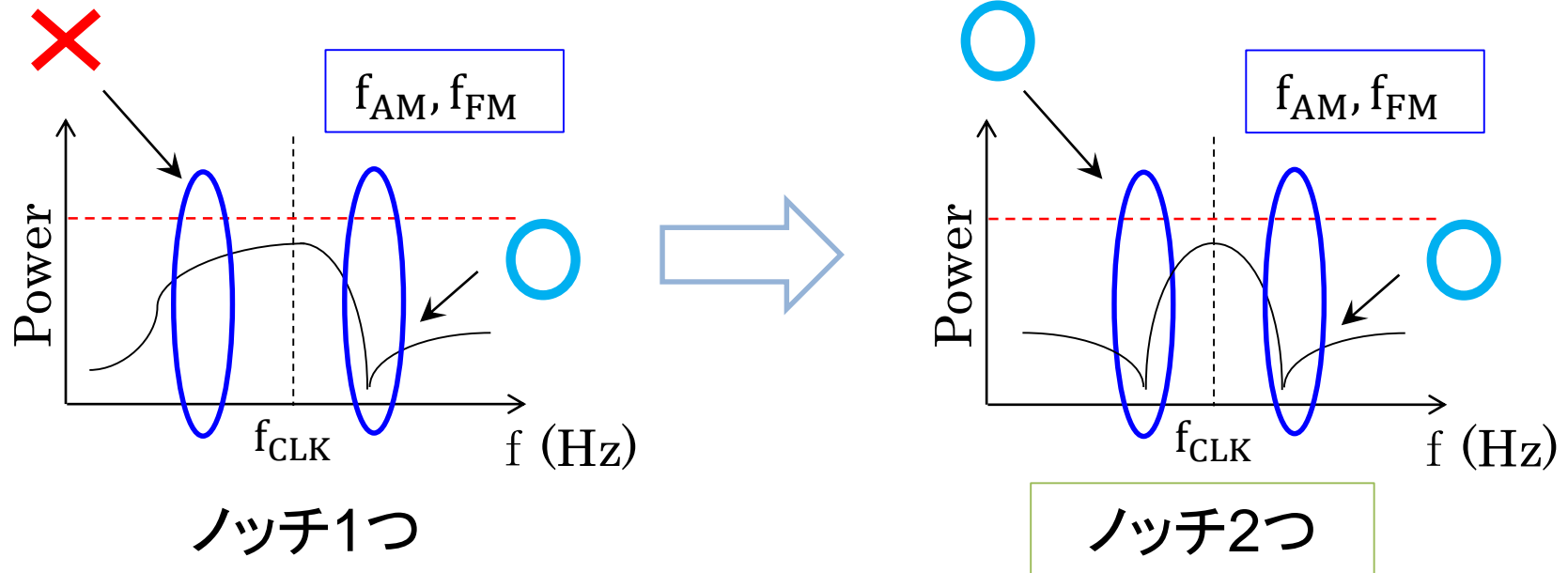
数が増えると...

大きくなると...

① 除去したい周波数帯域を
正確に複数狙うことが可能

② 除去したい周波数の
ばらつきに対応

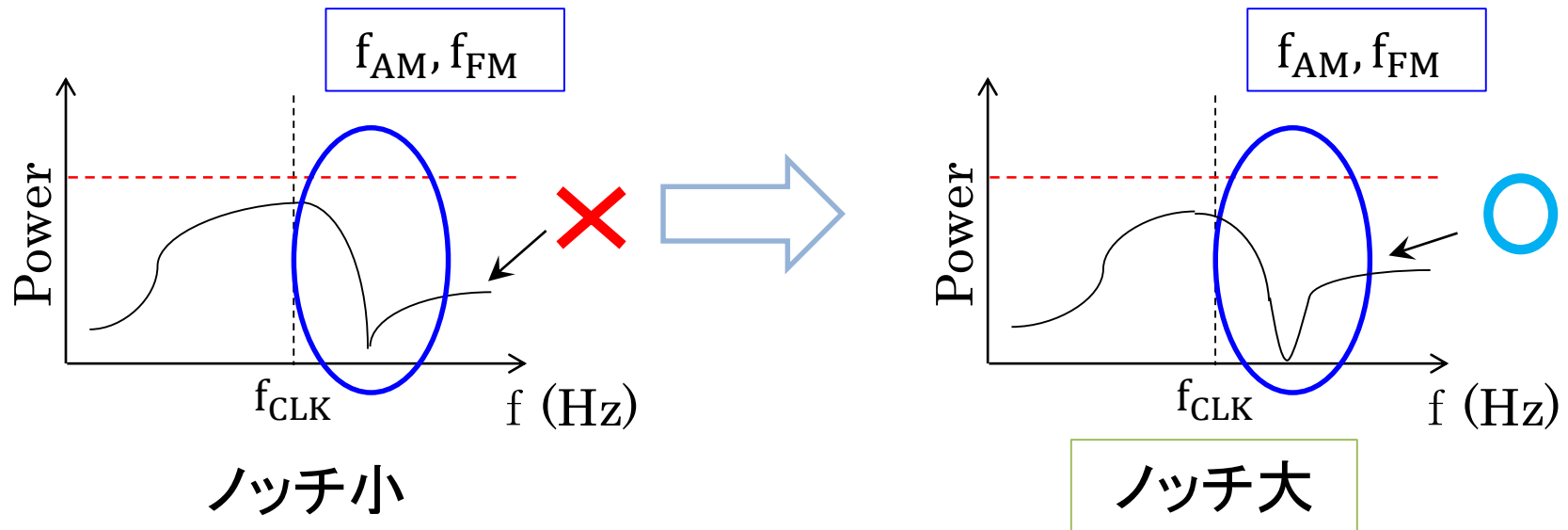
ノッチとは



① 除去したい周波数帯域を正確に複数狙うことが可能

② 除去したい周波数のばらつきに対応

ノッチとは



① 除去したい周波数帯域を
正確に複数狙うことが可能

② 除去したい周波数の
ばらつきに対応

OUTLINE

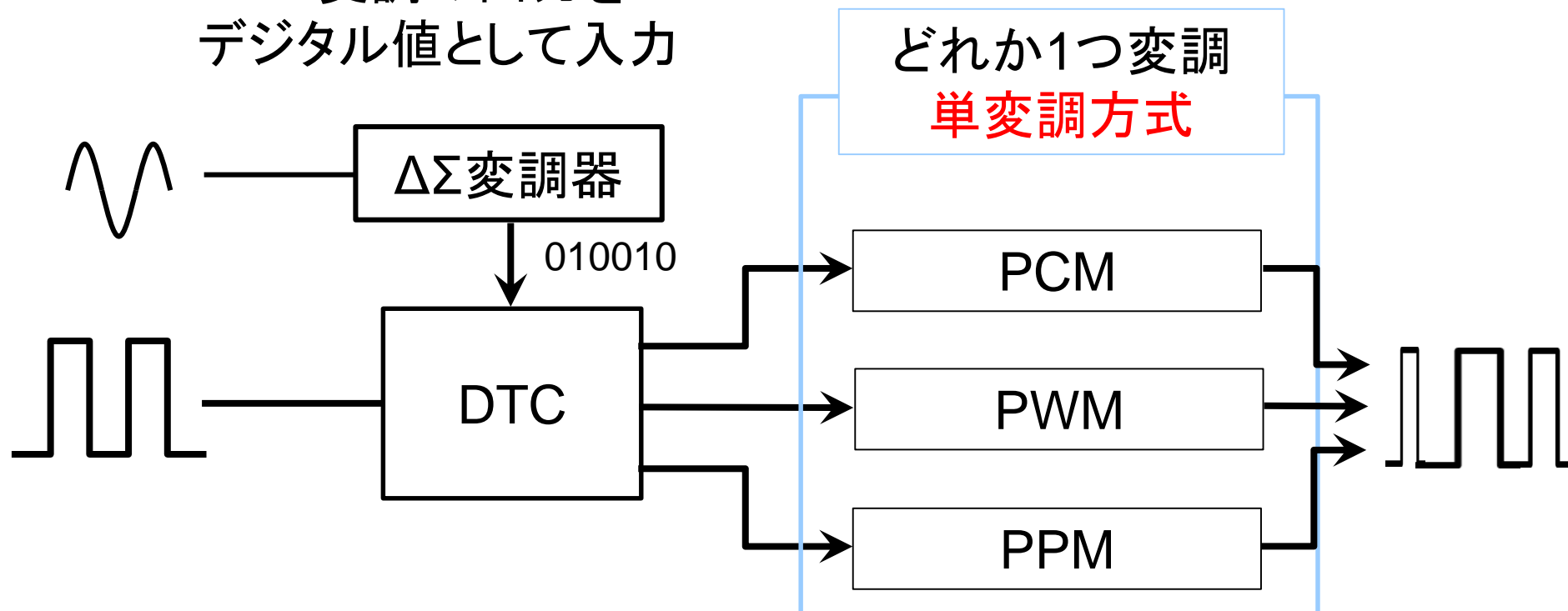
- 研究背景
- スペクトル拡散クロック発生器
- **検討したアルゴリズム**
- シミュレーションによる検証
- まとめ

従来手法

DTC(Digital to Time Converter)

デジタル値に応じてクロックの時間成分(周期・幅・位相)を変調

$\Delta\Sigma$ 変調の出力を
デジタル値として入力

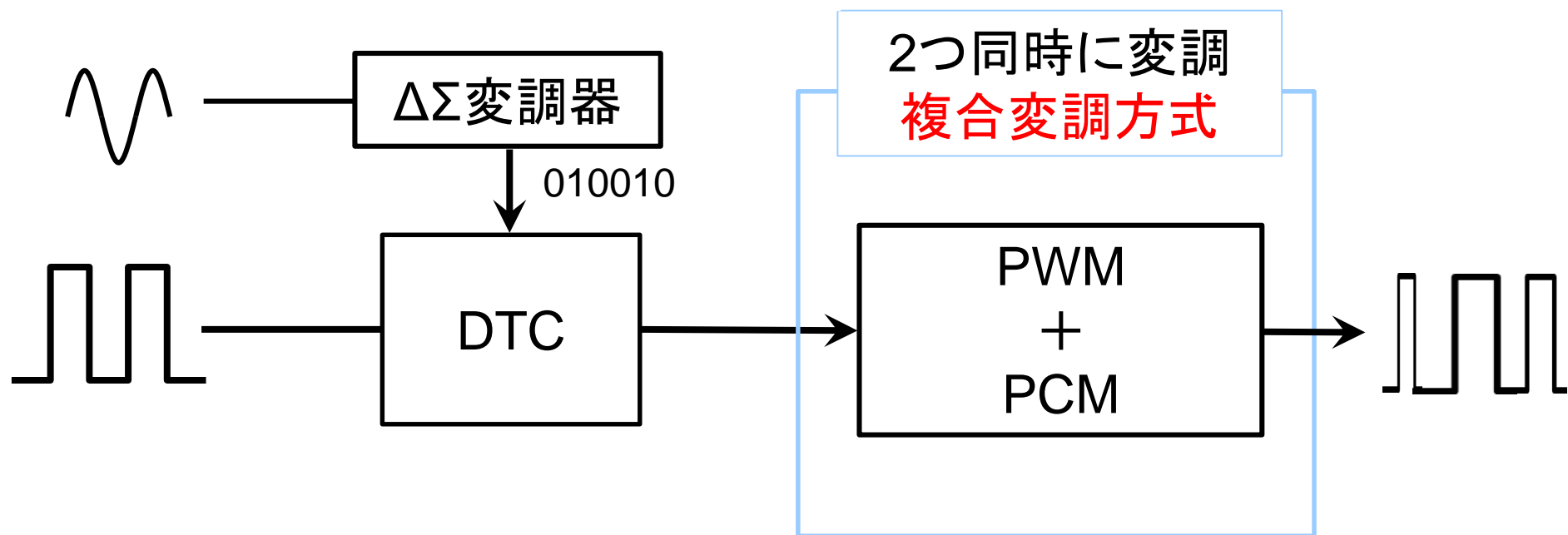


提案手法

DTC(Digital to Time Converter)

デジタル値に応じてクロックの時間成分(周期・幅・位相)を変調

$\Delta\Sigma$ 変調の出力を
デジタル値として入力



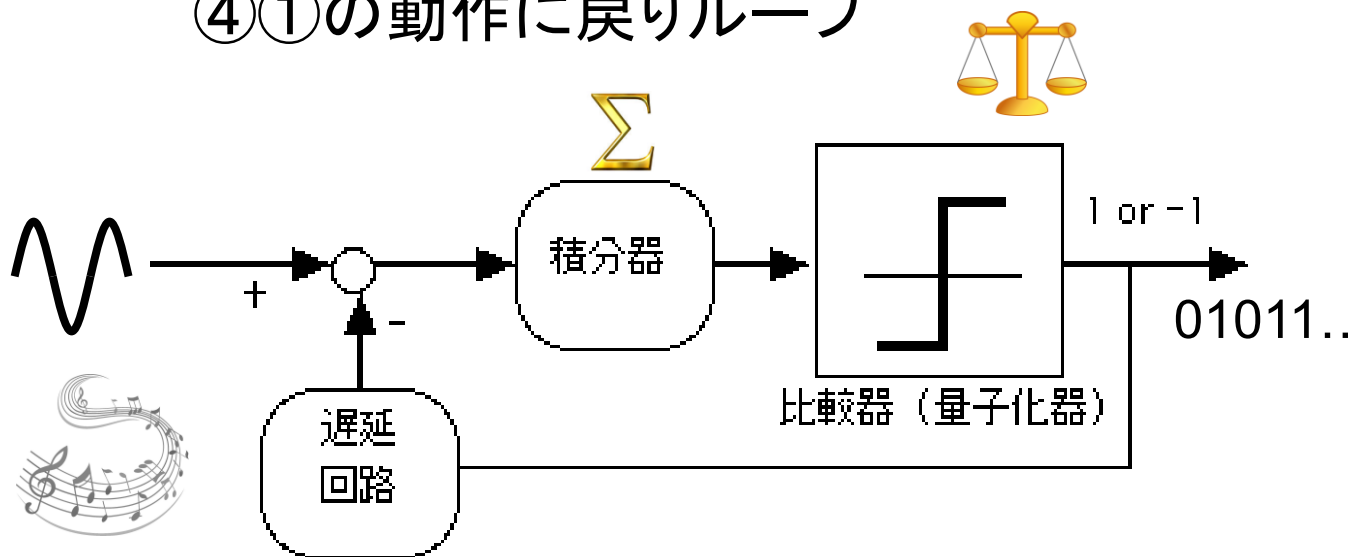
$\Delta\Sigma$ 変調とは

アナログ信号を1ビットに変換する手法

- ① 入力値を比較器で判定し出力
- ② 出力をフィードバックして入力へ
- ③ 積分器で累積加算
- ④ ①の動作に戻りループ

メリット

- ・回路規模が小
- ・1bitで正確に変換
- ・ノイズシェーピング



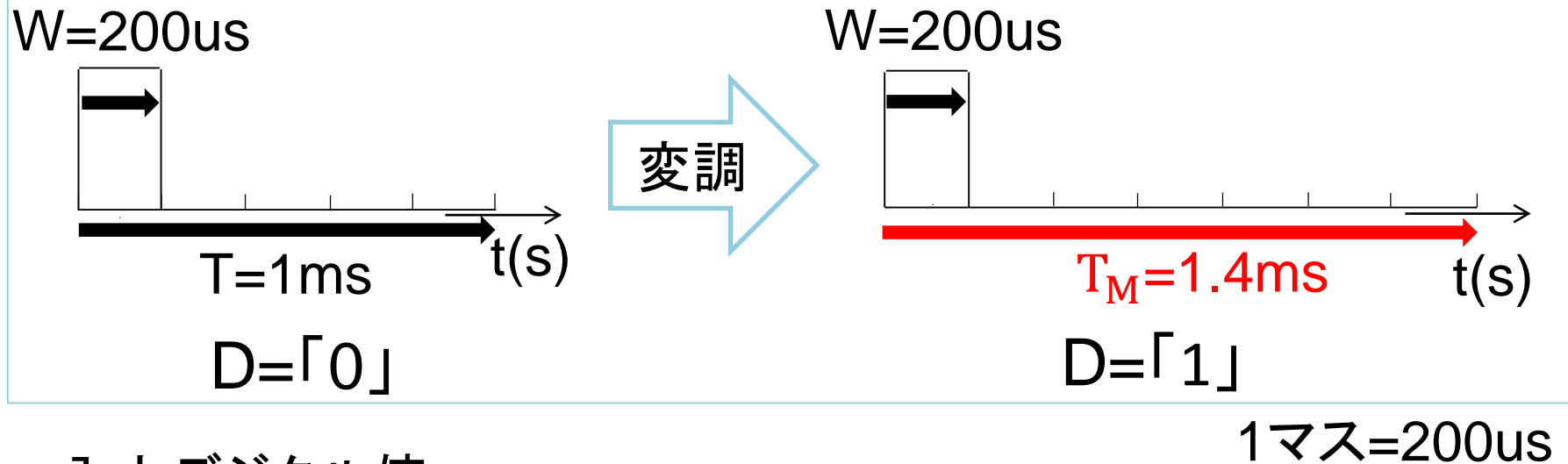
Δ = 微分

Σ = 積分

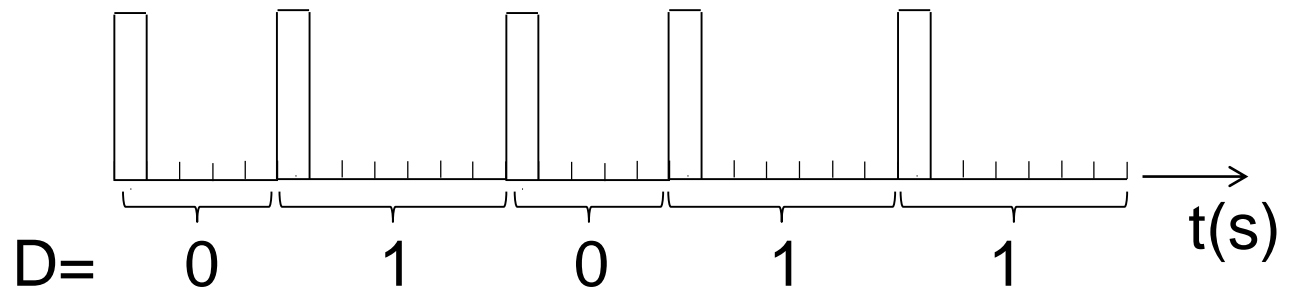
$\Delta\Sigma$ 変調器回路

PCM方式 (単変調)

Pulse Cycle Modulation (パルス周期変調)



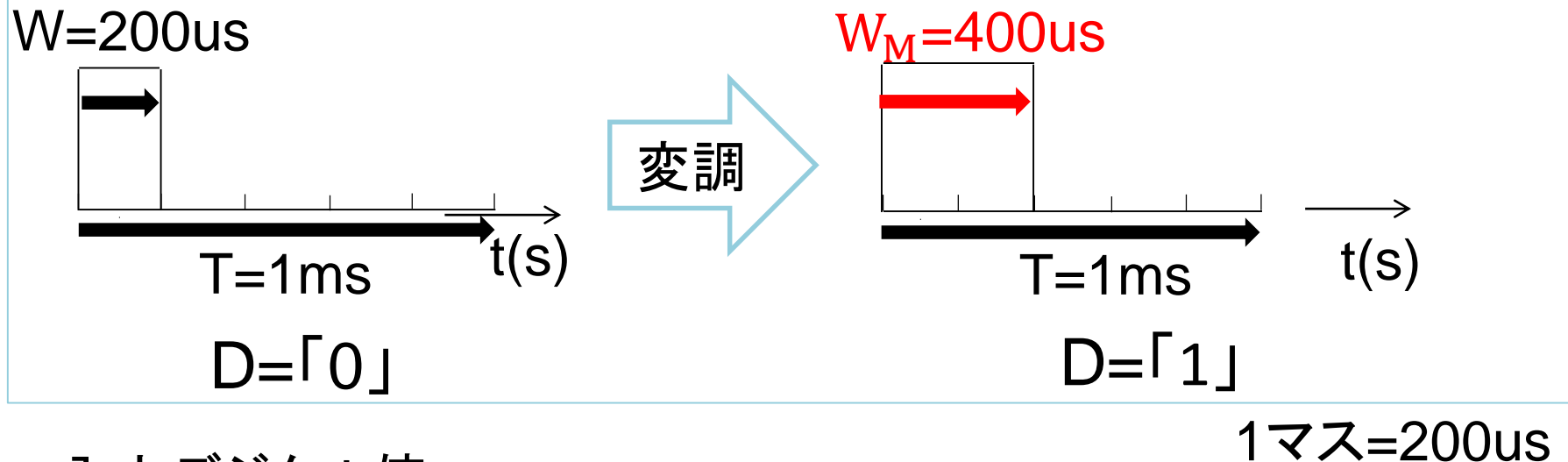
入力デジタル値
 $D=01011$



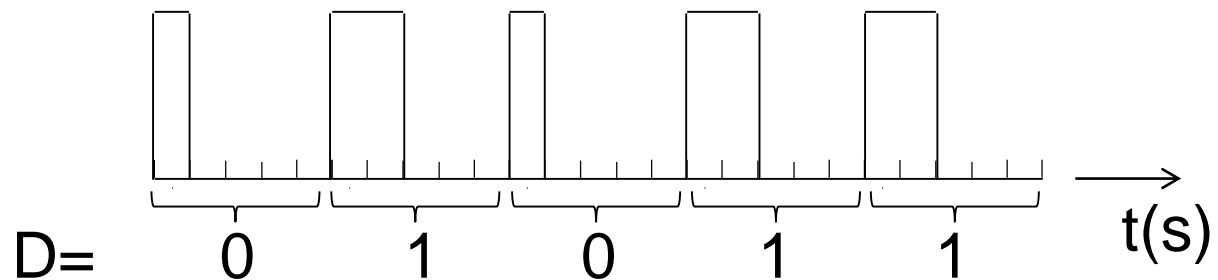
PCM方式の変調波形

PWM方式 (単変調)

Pulse Width Modulation (パルス幅変調)



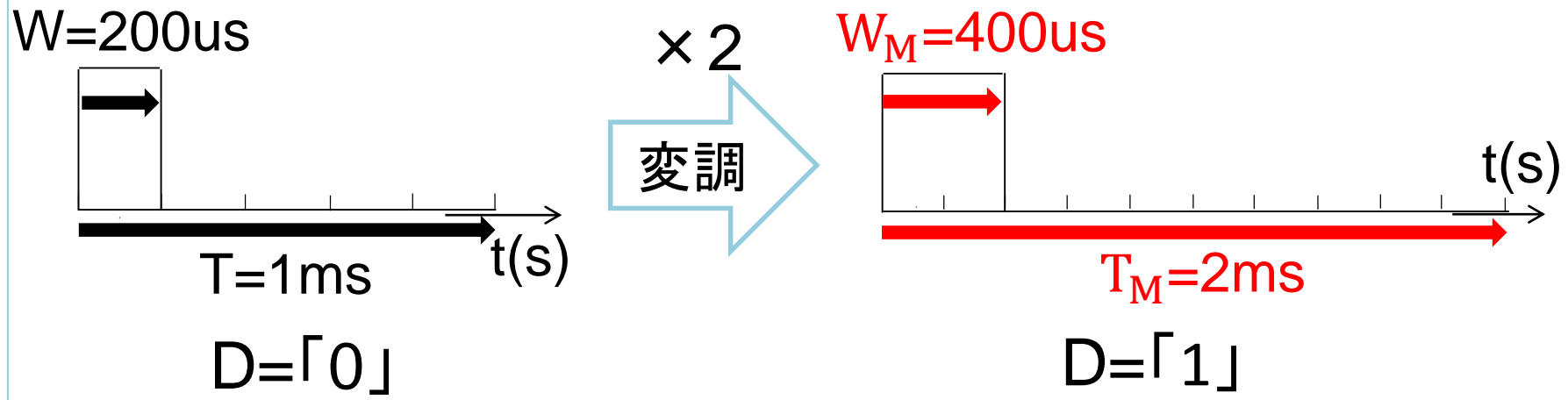
入力デジタル値
 $D=01011$



PWM方式の変調波形

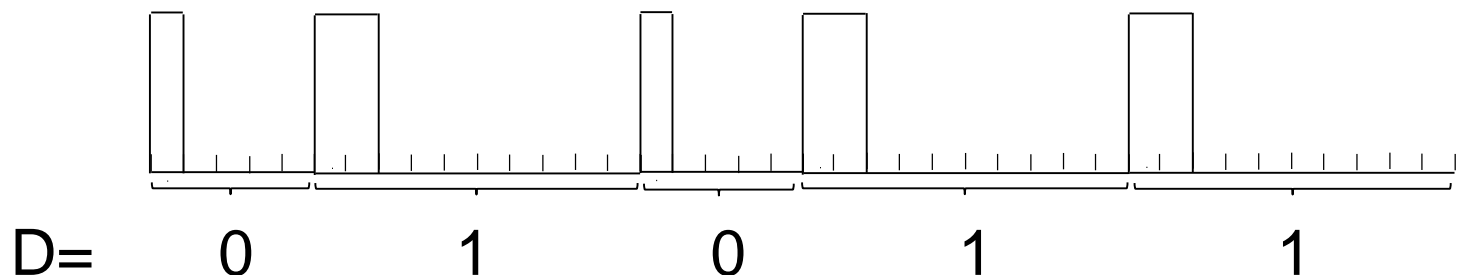
ASM方式 (複合変調)

Asynchronous Modulation (非同期変調)



1マス=200us

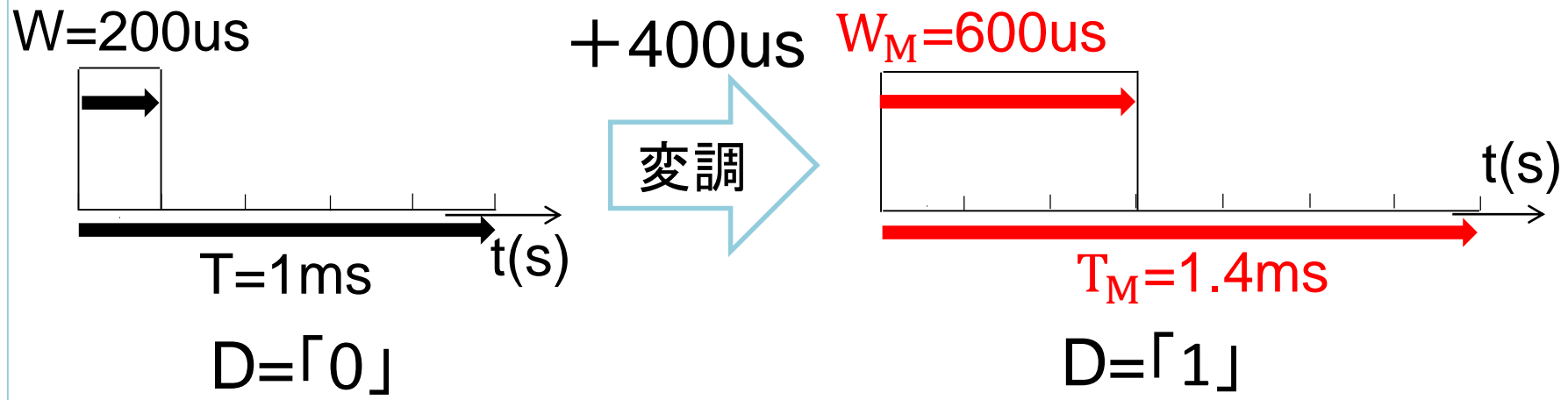
入力デジタル値
 $D=01011$



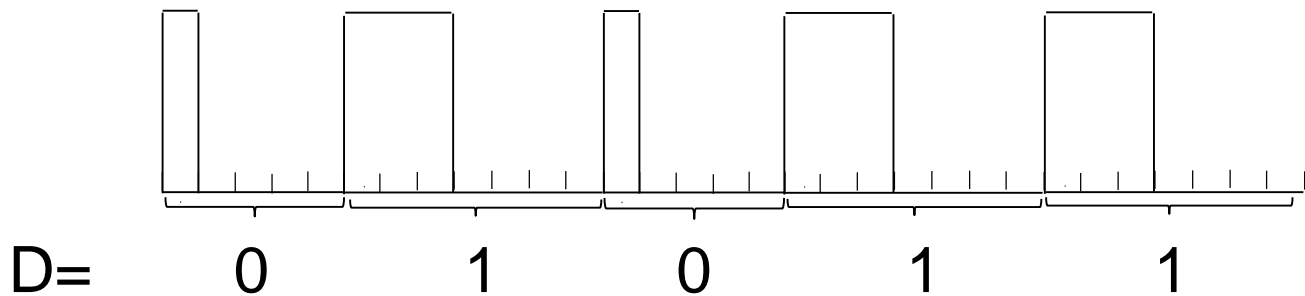
ASM方式の変調波形

DPM方式 (複合変調)

Double Plus Modulation (ダブル加算変調)



入力デジタル値
 $D=01011$



DPM方式の変調波形

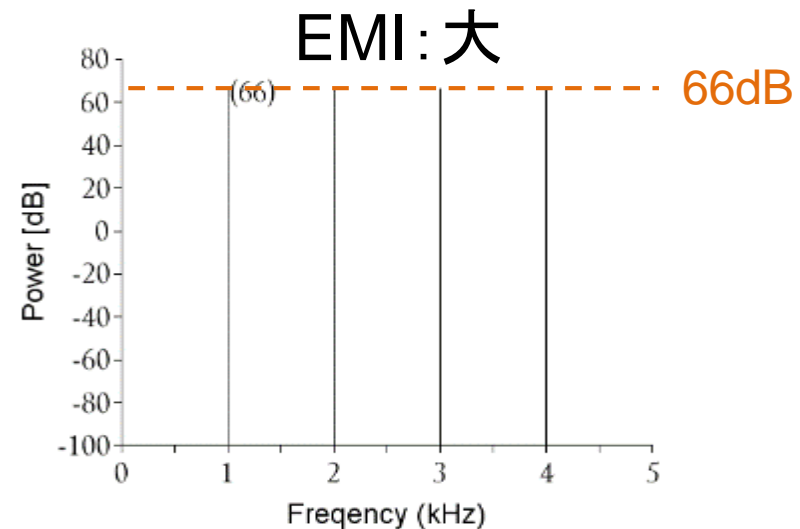
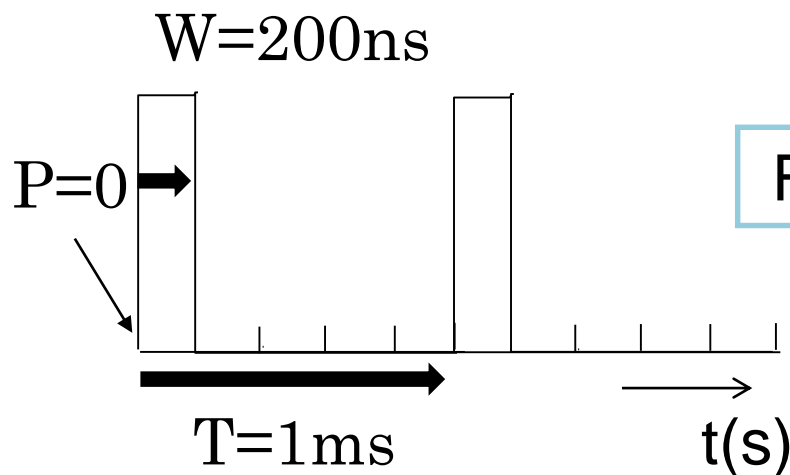
OUTLINE

- 研究背景
- スペクトル拡散クロック発生器
- 検討したアルゴリズム
- シミュレーションによる検証
- まとめ

シミュレーション

1マス=200us

Scilab

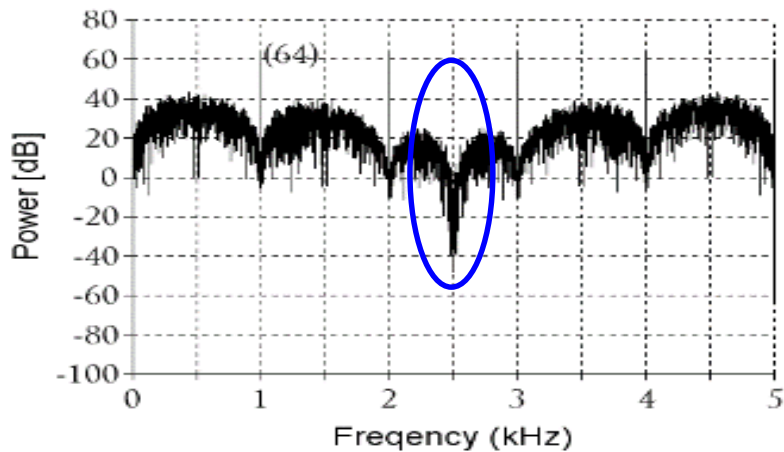


シミュレーション観点

- ・無変調時での66dBより低減されているか
- ・単変調方式よりノッチの数・大きさがどのようになったか

単変調方式のスペクトラム

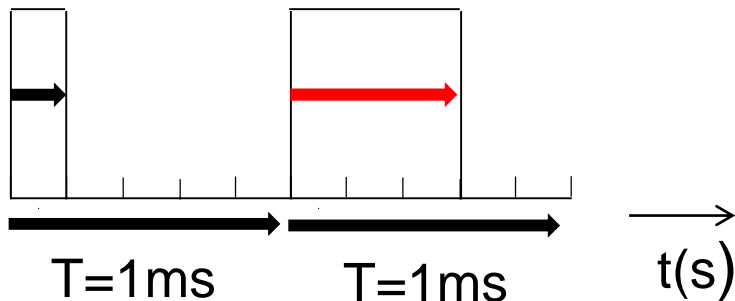
PWM方式



D=「0」

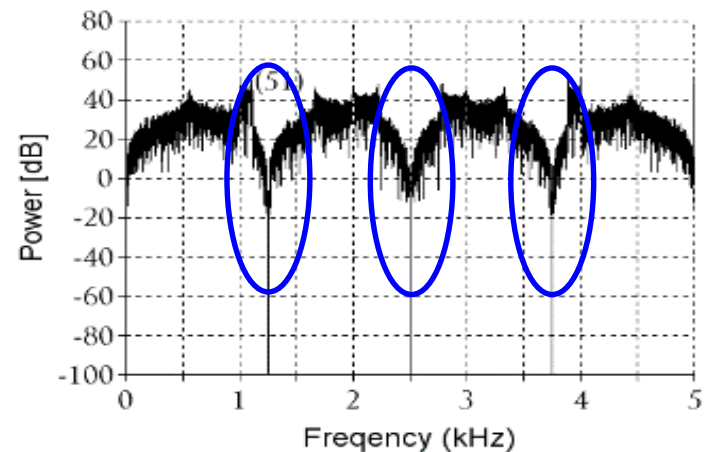
D=「1」

W=200us

 $W_M=600\mu s$ 

ノッチの数: 1つ

PCM方式

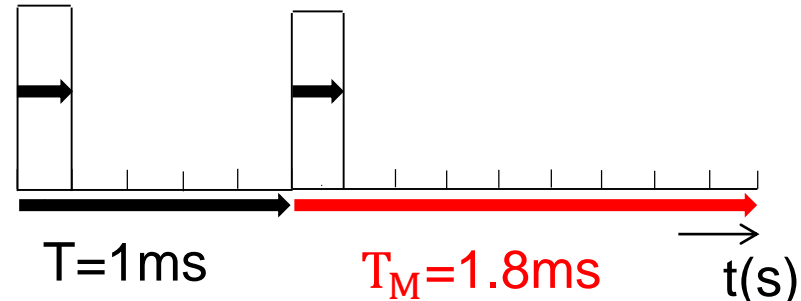


D=「0」

D=「1」

W=200us

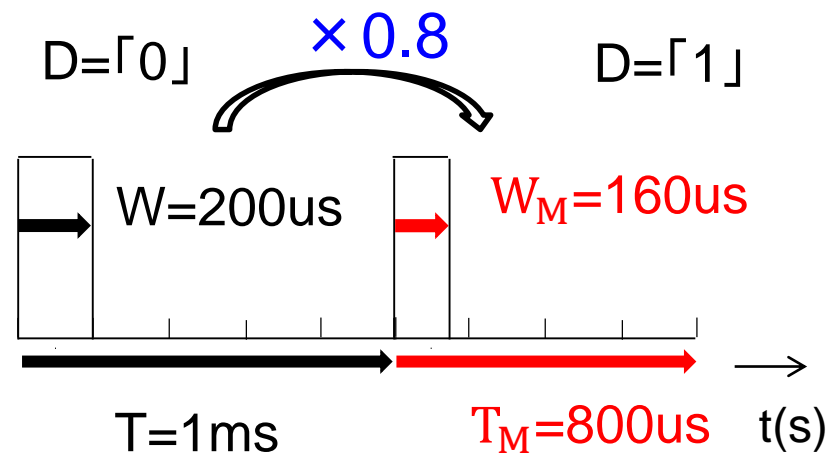
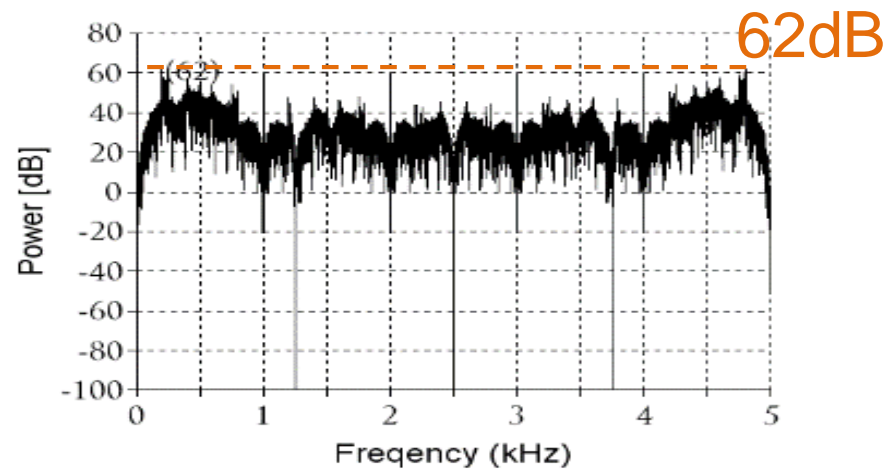
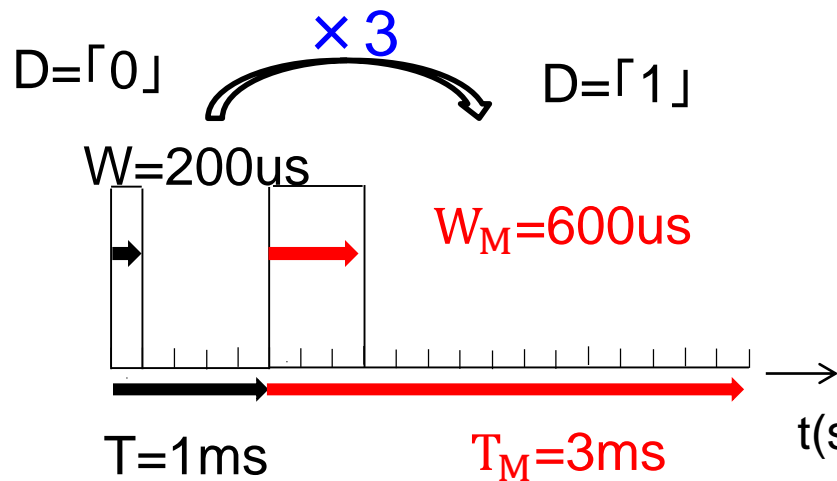
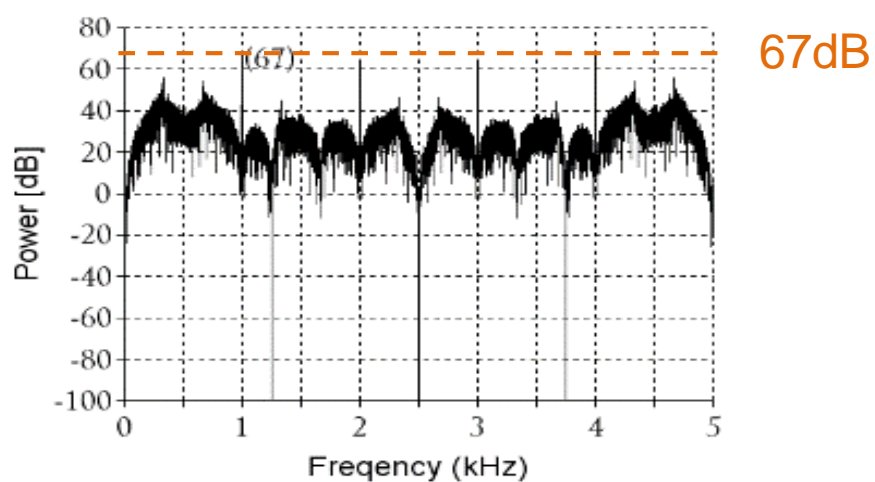
W=200us



ノッチの数: 3つ

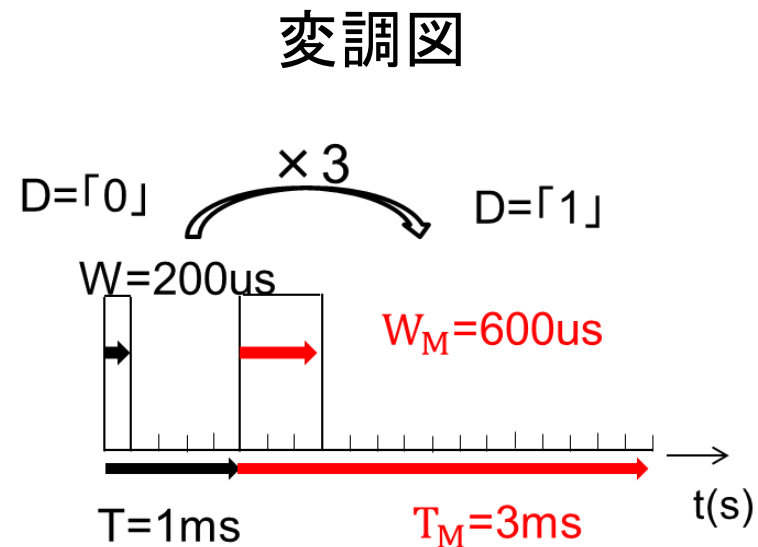
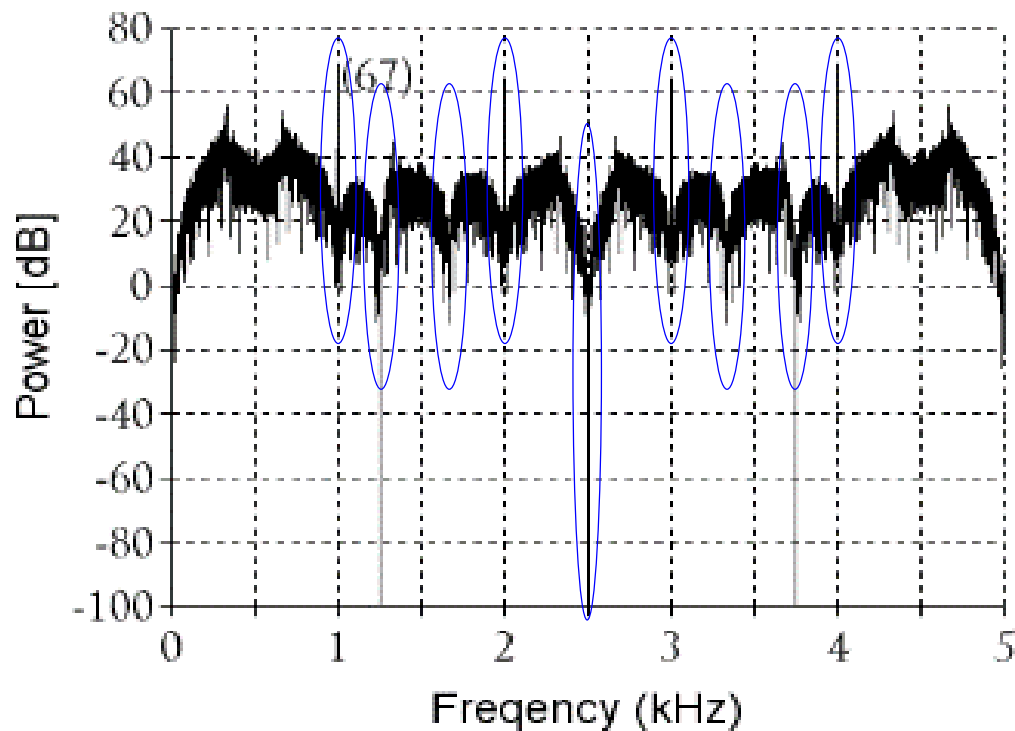
ASM方式のスペクトラム

ASM(Asynchronous Modulation) 方式



小数倍でピーク低減

ノッチ数



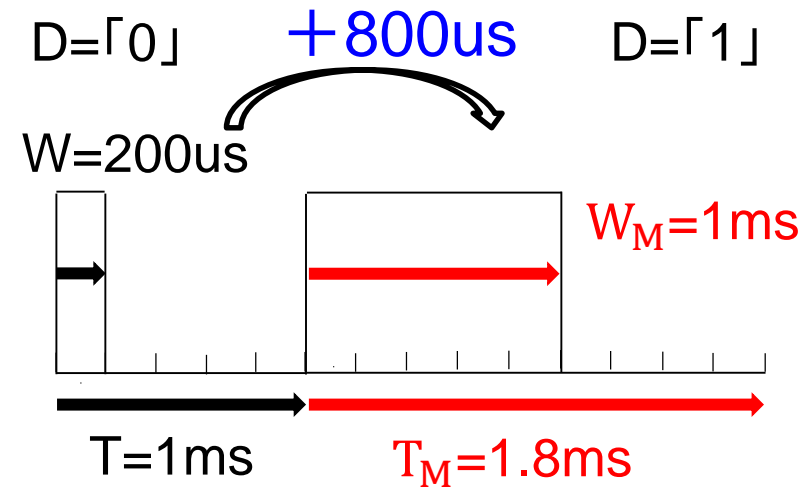
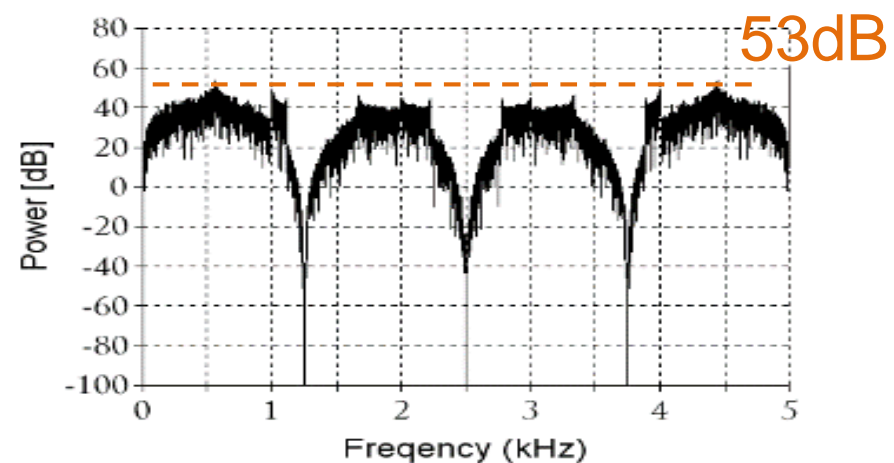
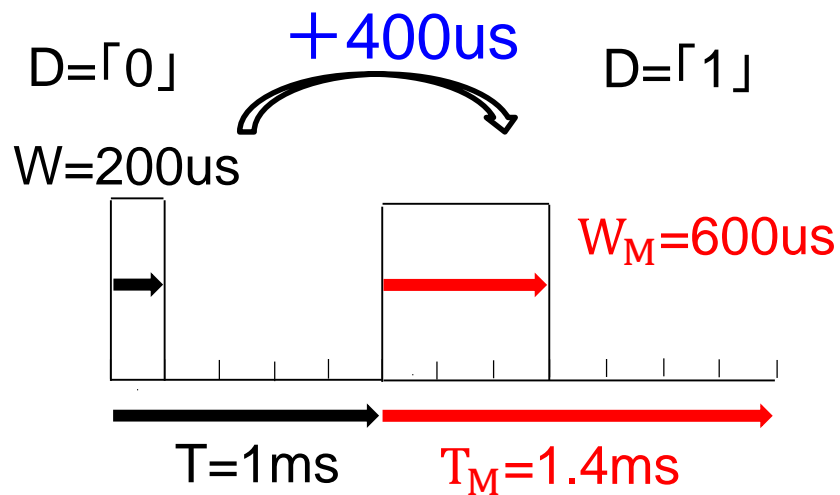
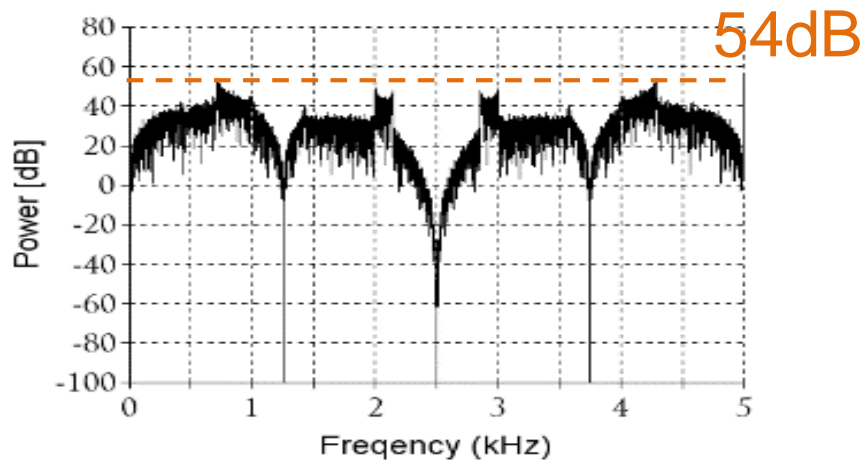
全部で9つのノッチ発生



ノッチの数: 多

DPM方式のスペクトラム

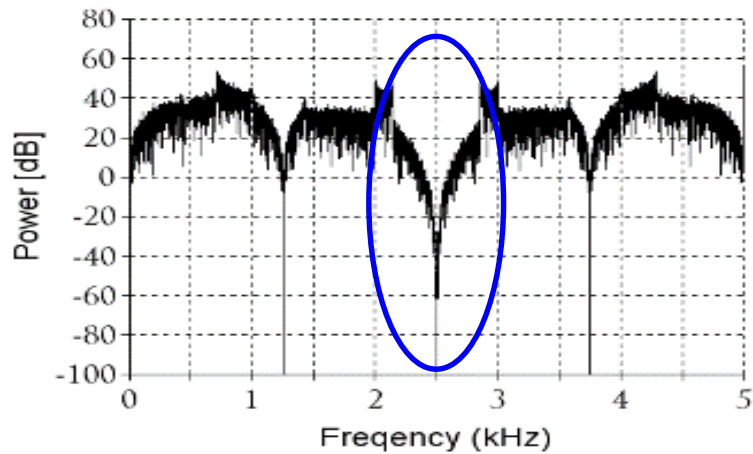
DPM(Double Plus Modulation) 方式



ピークを大幅に低減

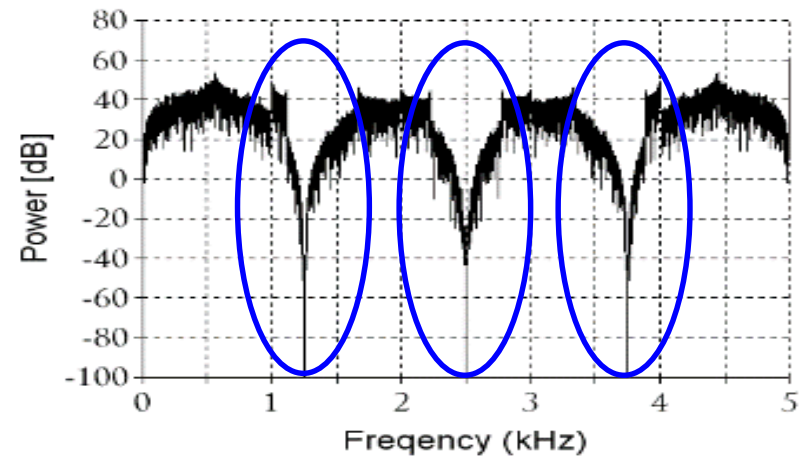
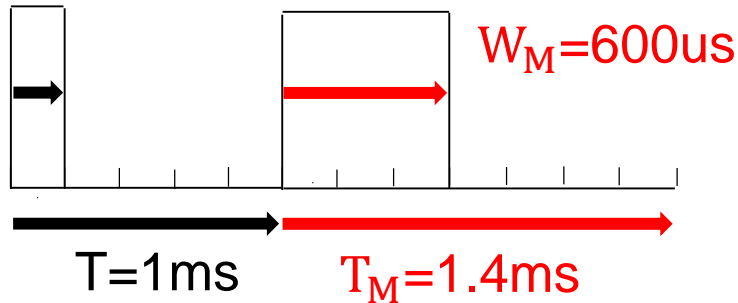
ノッチの大きさ

DPM(Double Plus Modulation) 方式



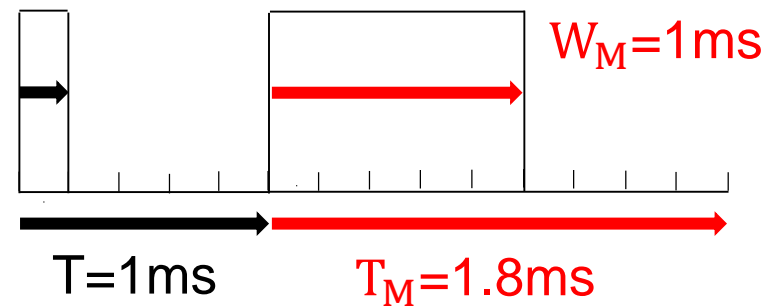
D=「0」 +400us D=「1」

W=200us



D=「0」 +800us D=「1」

W=200us



ノッチの大きさ: 大

ノッチの発生式

①周期・幅に依存

$$f_{\text{notch}} \cong K\{5\text{kHz} \times 200\mu\text{s}/((T - W))\}$$

$$K = 0, 1, 2, 3, \dots, \\ \dots, (T - W)/200\mu\text{s} - 2, (T - W)/200\mu\text{s} - 1$$

②幅に依存

$$f_{\text{notch}} \cong K\{5\text{kHz} \times 200\mu\text{s}/((W_M - W))\}$$

$$K = 0, 1, 2, 3, \dots, \\ \dots, (W_M - W)/200\mu\text{s} - 2, (W_M - W)/200\mu\text{s} - 1$$

③周期の比に依存

$$f_{\text{notch}} \cong K\{5\text{kHz}/((T_M/T))\}$$

$$K = 0, 1, 2, 3, \dots, (T_M/T) - 2, (T_M/T) - 1$$

④周期の最大公約数に依存

$$f_{\text{notch}} \cong K\{5\text{kHz} \times 200\mu\text{s}/T\}$$

$$K = 0, 1, 2, 3, \dots, \\ \dots, T/200\mu\text{s} - 2, T/200\mu\text{s} - 1$$

PWM方式=1つの式に依存



単変調方式では1つの式のみ

DPM方式=2つの式に依存

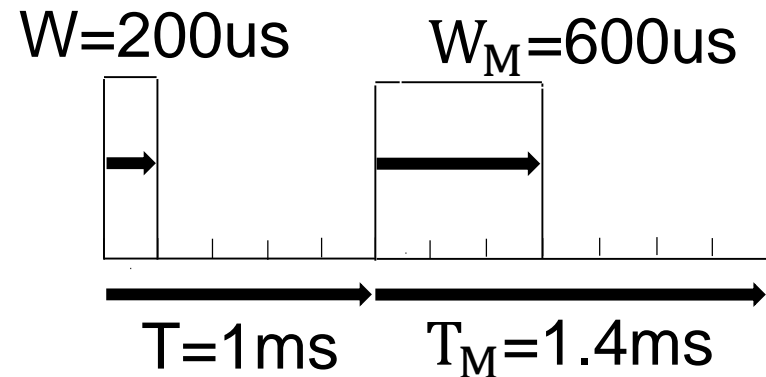
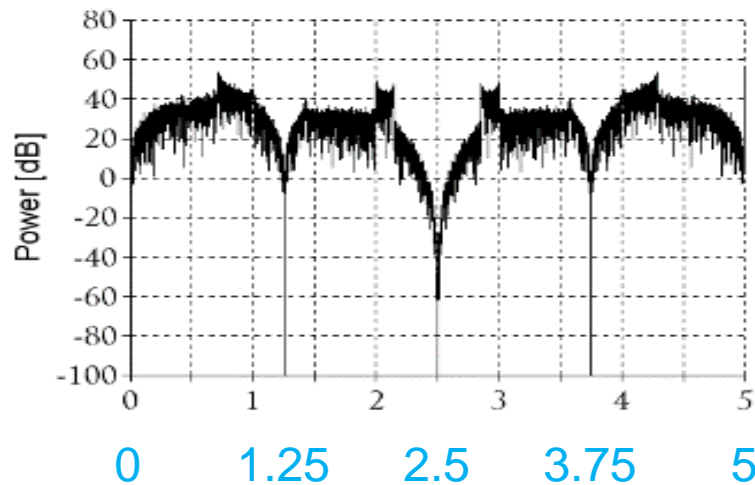


複合変調方式では
複数の式

ASM方式=4つの式に依存



式の適合性



$W=600\mu\text{s}, T=1.4\text{ms}$
を式に代入

①周期・幅に依存

$$f_{\text{notch}} \cong K \{ 5\text{kHz} \times 200\mu\text{s} / ((T - W)) \}$$

$$K = 0, 1, 2, 3, \dots,$$

$$\dots, (T - W)/200\mu\text{s} - 1, (T - W)/200\mu\text{s}$$

$$\begin{aligned} f_{\text{notch}} &\cong K \{ 5\text{kHz} \times 200\mu\text{s} / ((1.4\text{ms} - 600\mu\text{s})) \} \\ &\cong K \{ (5\text{kHz} \times 200\mu\text{s}) / 800\mu\text{s} \} \\ &\cong K \times 5\text{kHz} / 4 \quad [K = 0, 1, 2, 3, 4] \\ &\cong K \times 1.25\text{kHz} \end{aligned}$$

$$\cong 0, 1.25, 2.5, 3.75, 5 \text{ [kHz]}$$

完全に一致

OUTLINE

- 研究背景
- スペクトル拡散クロック発生器
- 検討したアルゴリズム
- シミュレーションによる検証
- **まとめ**

まとめ

各方式	EMI低減	ノッチの大きさ	ノッチの数
PCM方式	◎		
PWM方式	○		
PPM方式	○		
ASM方式	○		◎
DPM方式	◎	◎	○



EMI低減: 良
 ノッチの数: 多
 ノッチの大きさ: 広



今後の課題・目標

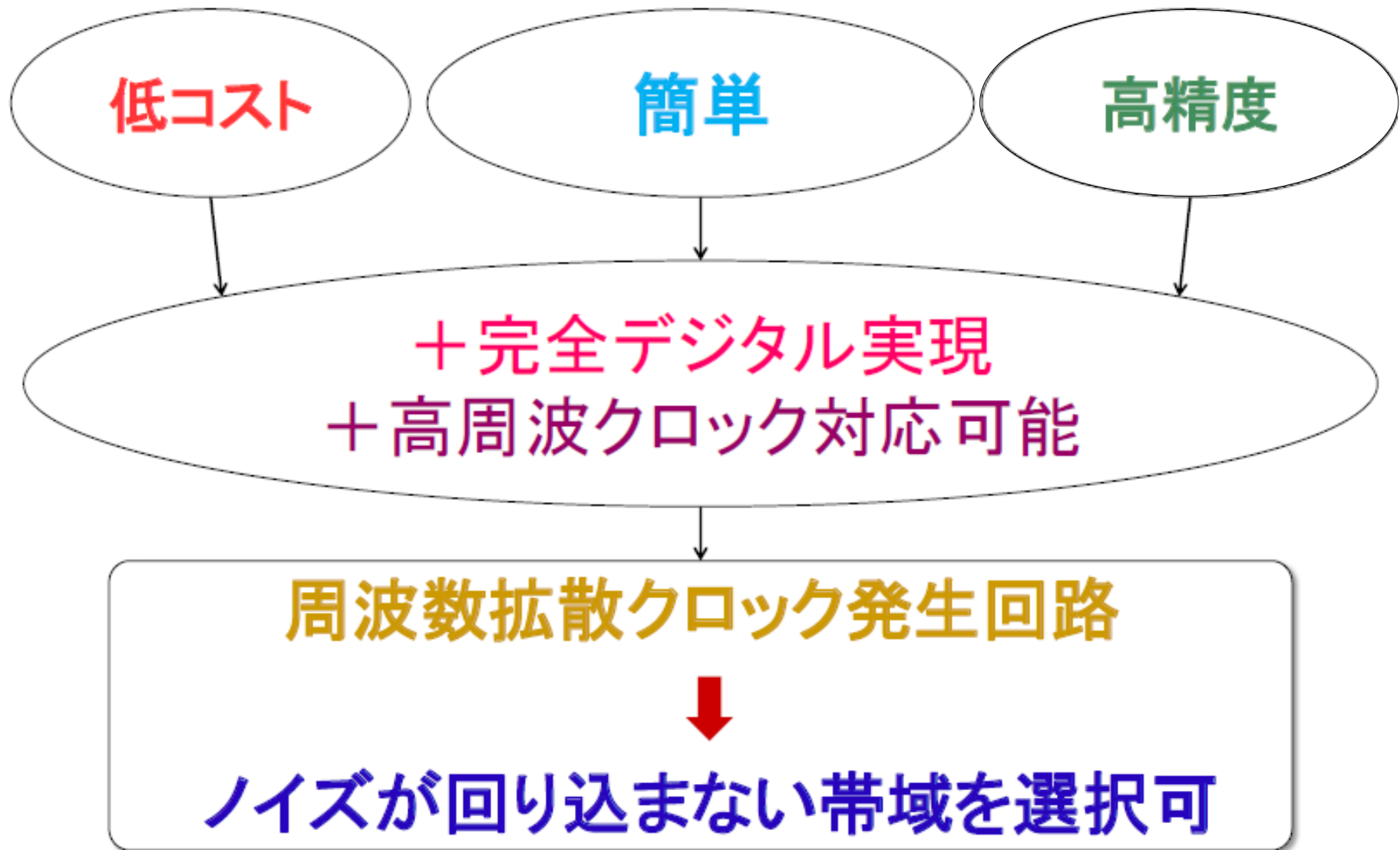
<課題>

- 2次 $\Delta\Sigma$ 変調器への展開
- 周期の増大と減少する変調の全体周期の調整手法

<目標>

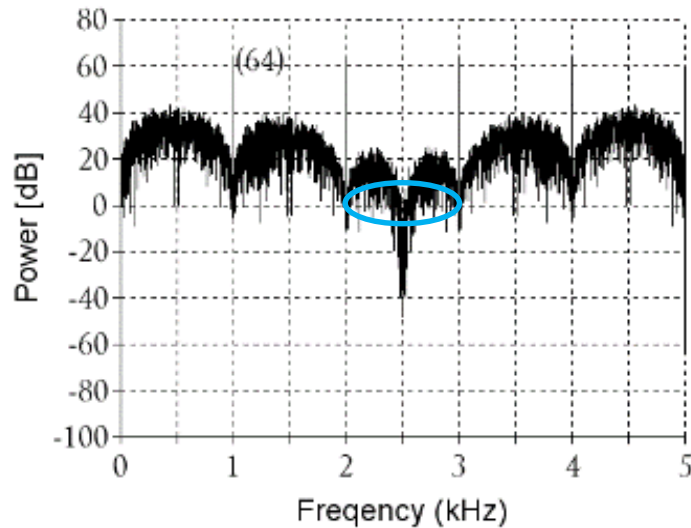
- スイッチング電源への応用
- 回路への実装

最後に



付録1 ノッチの広さ

ノッチの広さ

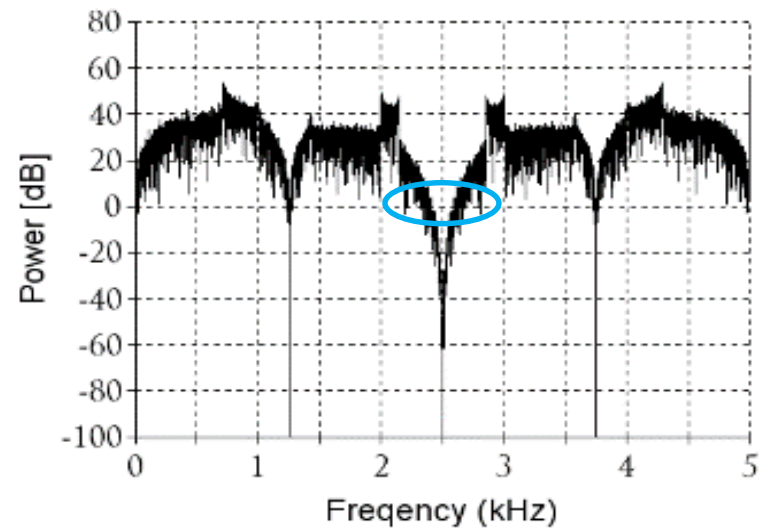


PWM方式

20Hz



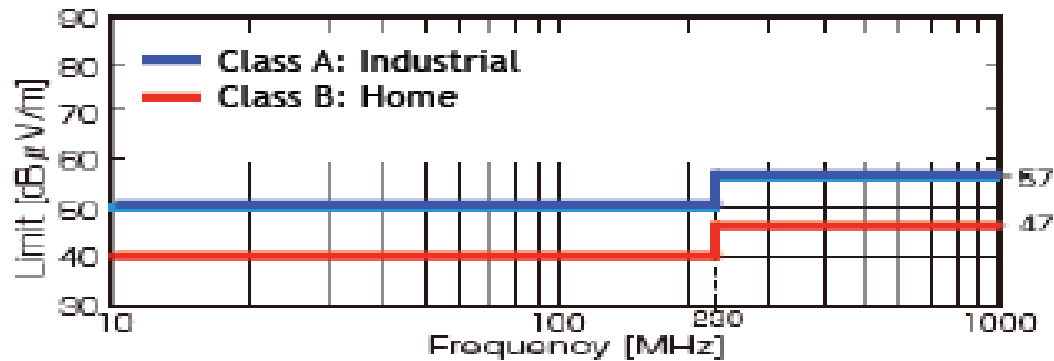
10倍以上



DPM方式

250Hz

付録2 規定



CISPR (国際無線障害特別委員会) 22の情報技術装置のエミッション規制(ノイズ規制)を示す。青と赤の線はそれぞれ商業・軽工業で使用する場合(industrial)、家庭で使用する場合(home)のEMIの上限を示している。

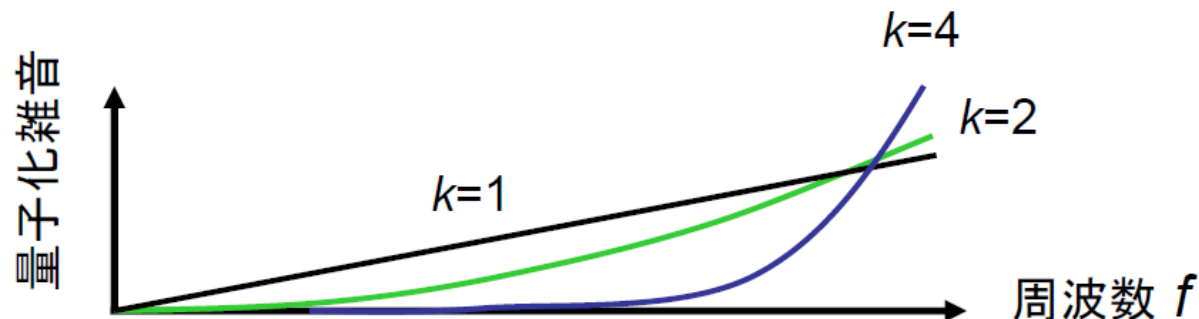
付録3 $\Delta\Sigma$ 変調の次数

伝達関数の次数を上げると

(ノイズシェーピング)

$$V_{out}(z) = z^{-k}V_{in}(z) + \underbrace{(1 - z^{-1})^k}_{\text{ノイズシェーピング}} N(z)$$

$\omega T \ll 1$ では雑音抑制効果大



付録4 $\Delta\Sigma$ 変調の動作

アナログ信号を1ビットに変換する手法

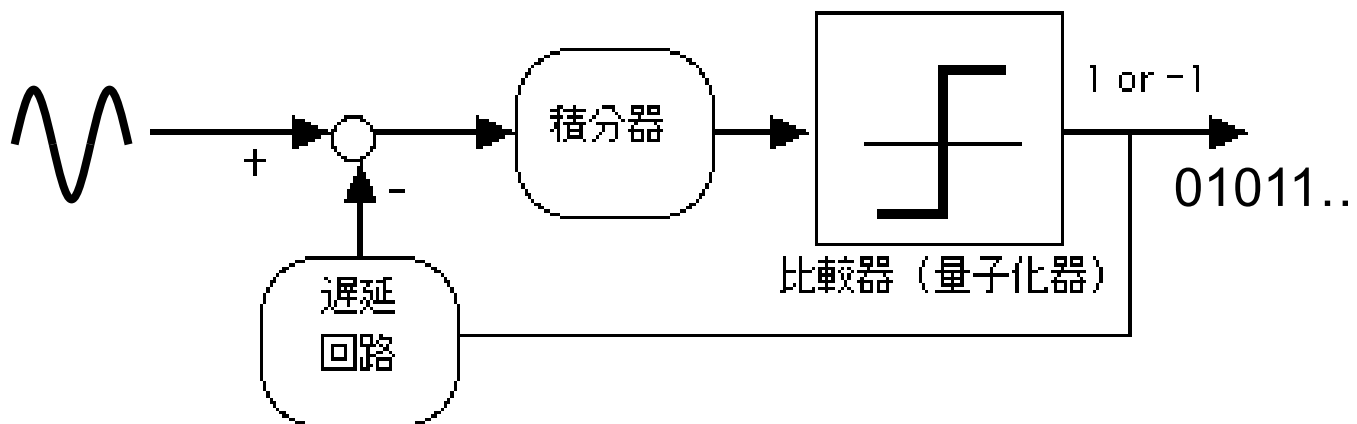
- ① 入力値を比較器で判定し出力
- ② 出力をフィードバックして入力へ
- ③ 積分器で累積加算
- ④ ①の動作に戻りループ

メリット

- ・回路規模が小
- ・1bitで正確に変換
- ・ノイズシェーピング

Δ = 微分

Σ = 積分

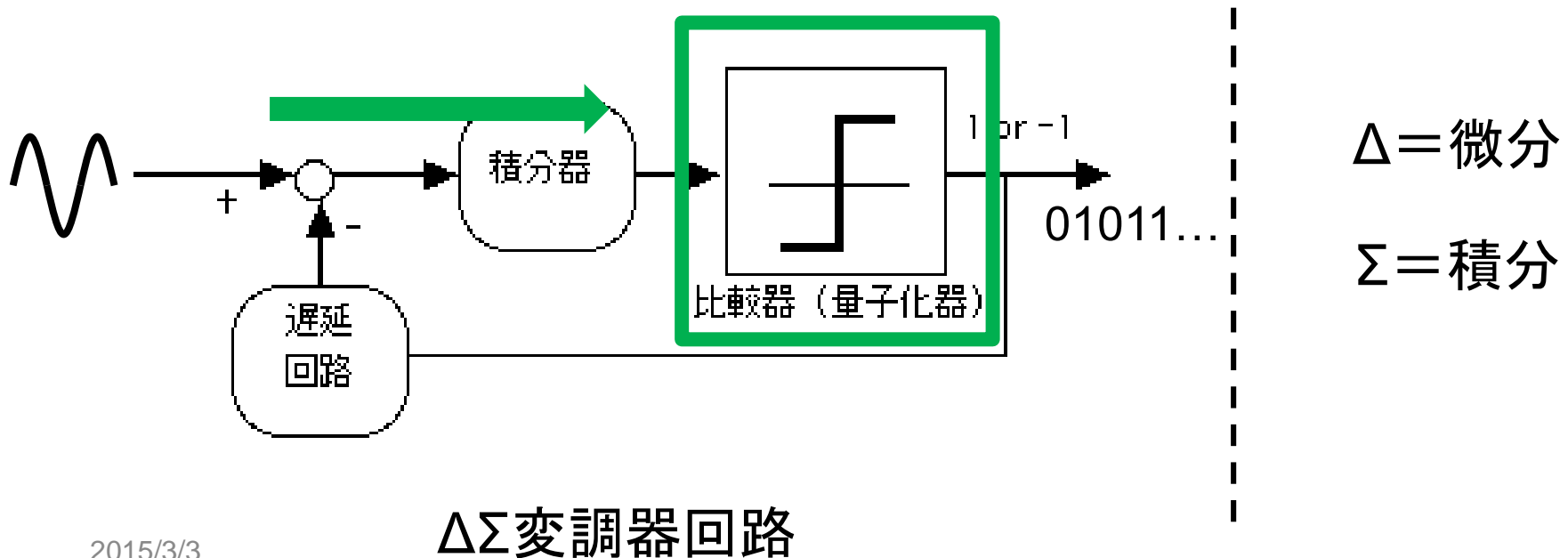


$\Delta\Sigma$ 変調器回路

$\Delta\Sigma$ 変調器の動作①

アナログ信号を1ビットに変換する手法

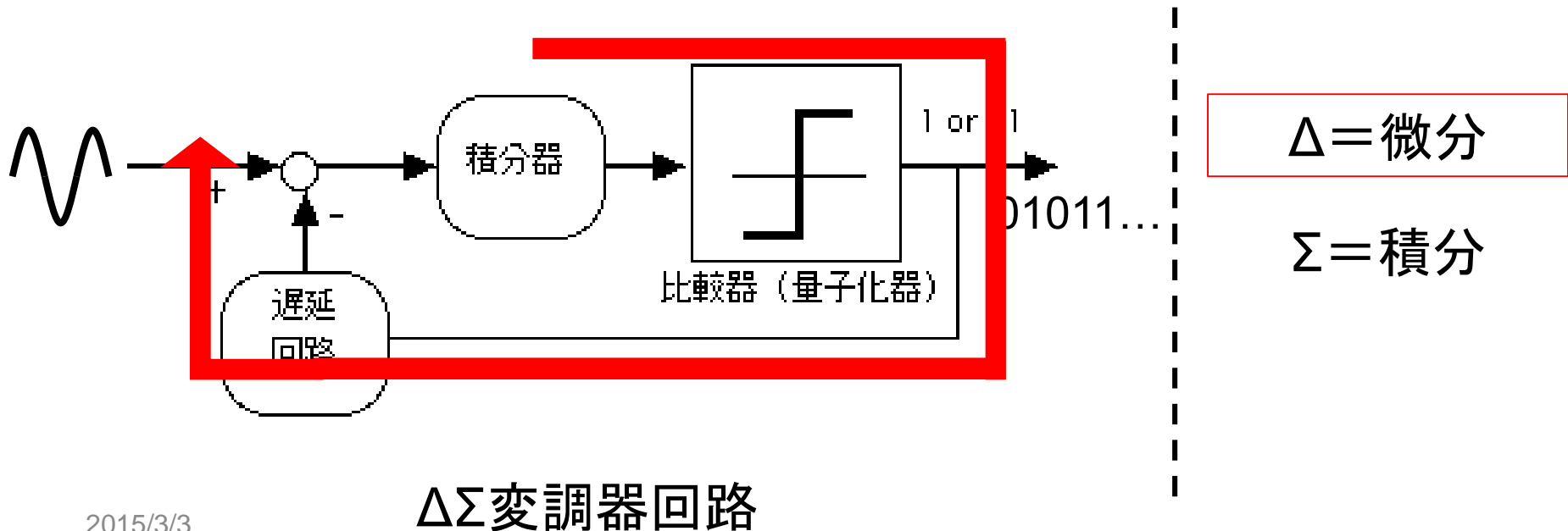
- ① 入力値を比較器で判定し出力
- ② 出力をフィードバックして入力へ
- ③ 積分器で累積加算
- ④ ①の動作に戻りループ



$\Delta\Sigma$ 変調器の動作②

アナログ信号を1ビットに変換する手法

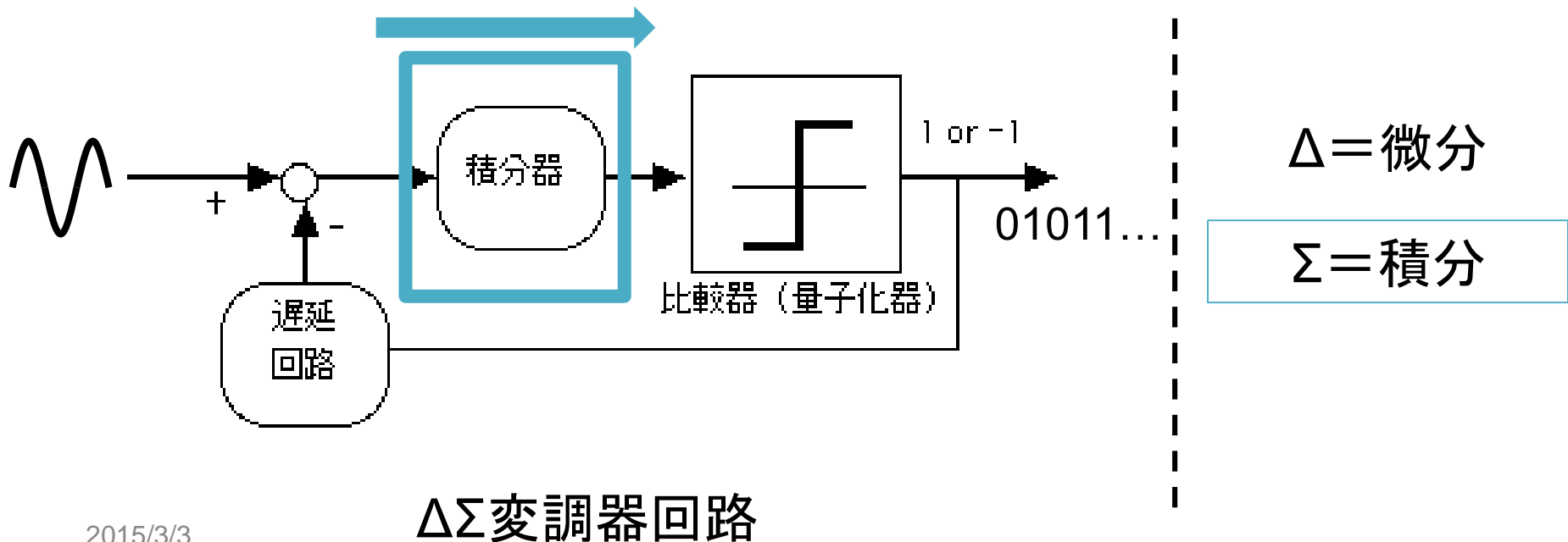
- ① 入力値を比較器で判定し出力
- ② 出力をフィードバックして入力へ
- ③ 積分器で累積加算
- ④ ①の動作に戻りループ



$\Delta\Sigma$ 変調器の動作③

アナログ信号を1ビットに変換する手法

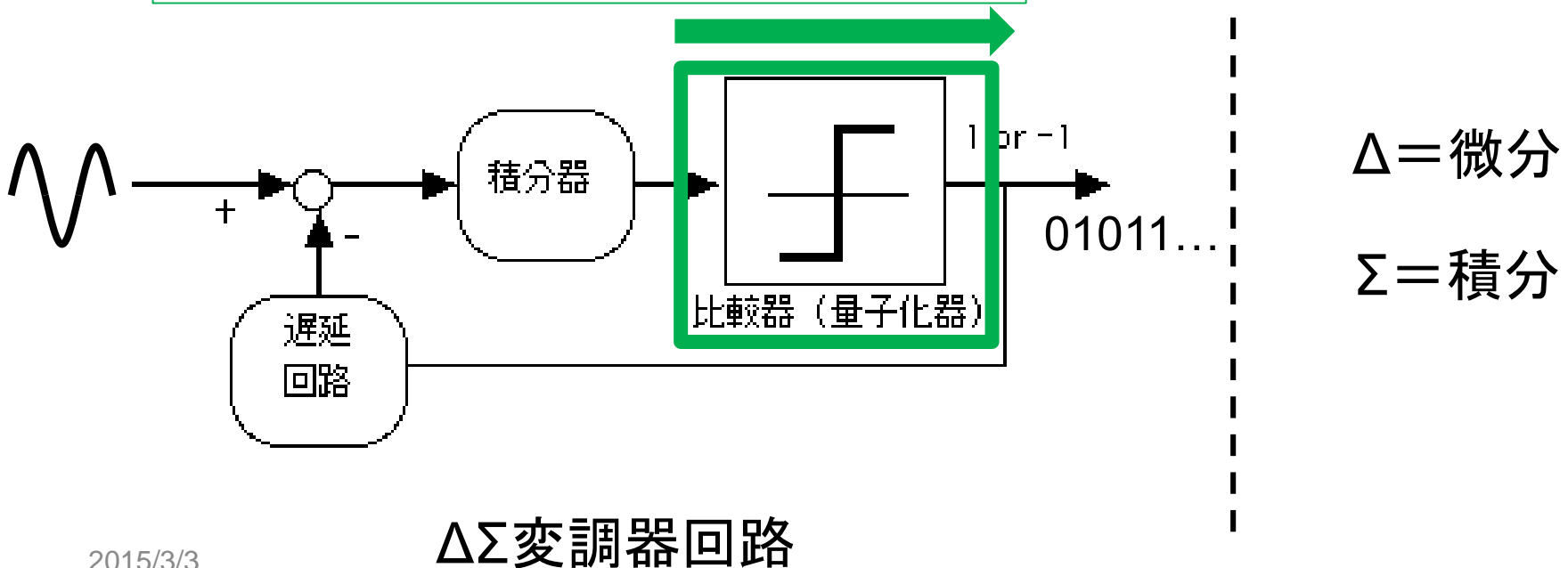
- ① 入力値を比較器で判定し出力
- ② 出力をフィードバックして入力へ
- ③ 積分器で累積加算
- ④ ①の動作に戻りループ



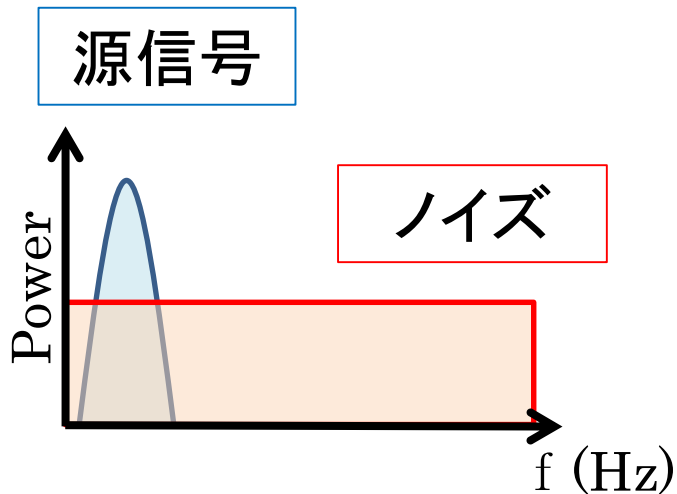
$\Delta\Sigma$ 変調器の動作④

アナログ信号を1ビットに変換する手法

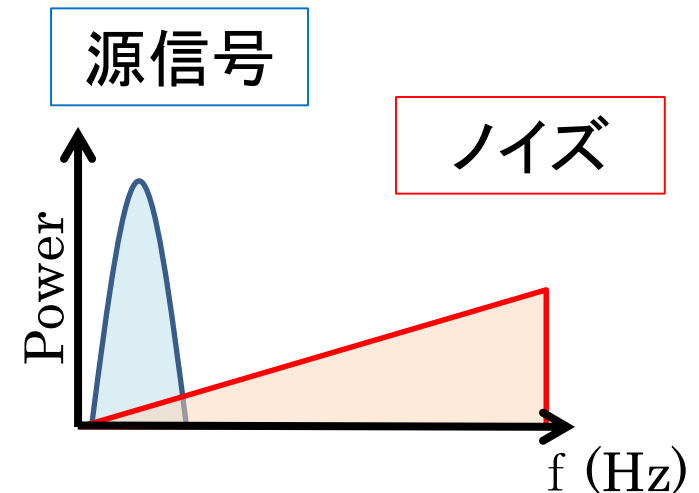
- ① 入力値を比較器で判定し出力
- ② 出力をフィードバックして入力へ
- ③ 積分器で累積加算
- ④ ①の動作に戻りループ



付録5 ノイズシェーピングとは



ノイズシェーピングなし



ノイズシェーピングあり

信号付近のノイズを高周波へ移動



LPFでノイズ成分をカット可能

質疑応答

質問1

実用的な周波数ではどのあたりの周波数を除去できるのですか？

回答

今回のシミュレーションでは5kHzまでしか行っていませんのでまだはっきりとはいえません。

質問2

必要な周波数を除去しても他の周波数には影響はないのですか？

回答

大きな影響はないと思います。今回は特に干渉が許されない周波数でのことなので、その周波数以外はEMIの規定が満たされていればほぼ問題ないと思います。

質問3

必要な周波数を2つ同時に除去するための新たな方式について何か考えはありますか？（小堀先生）

回答

まだ考えていません。まずは等間隔ではなく1つの周波数をピンポイントに狙える方式を考えていこうと思っています。