

# 2.1節

質問	回答
PLLって何のために使うの？	リファレンス信号と同じ周波数・位相の信号を生成するため。 周波数合成、クロック生成、データ同期などに使われる。
リファレンス信号があるなら、それをそのまま使えばよくない？	リファレンス信号の周波数は低く、目的の周波数（数GHzなど）に合わせられない。PLLで柔軟な周波数合成が必要。
PLLはスカラー倍する機能があるの？	直接はないが、分周器( $\div N$ )を使って結果的に $f_{out} = N \times f_{ref}$ になるようにしている。
小数倍はどうやって作るの？	分数型PLL（Fractional-N PLL） で分周比を平均的に小数にできるようにしている。
位相検出器って何？どうやって動作するの？	PDは入力と出力の位相差を検出し、チャージポンプで電圧に変換する。
なんでPDの伝達関数は $K_{PD}$ っていう定数なの？	ロック状態ではPD出力は位相差に比例するので、線形モデルで $K_{PD} \times \Delta\phi$ と表せる。
$v_{nLF}$ はなんでその位置にあるの？	ループフィルタのノイズはVCOの制御電圧に直接乗るから。
ノイズの記号が $\phi$ とか $i$ とか $v$ で違うのはなぜ？	物理量の違い。 $\phi$ は位相、 $i$ は電流、 $v$ は電圧のノイズを表している。
水晶ってどうして周波数が出せるの？	圧電効果によって特定周波数で共振し、 その振動を電気信号に変換して出力している。
周波数を合わせる回路なのに、 なんで“位相”同期回路って名前なの？	周波数一致は位相差が一定＝位相を一致させる制御をしているから。
リングオシレータって周波数変わらないんじゃないの？	遅延は電圧や電流で変化するので、 リングオシレータもVCOとして使える。
インバータの遅延って一定じゃないの？	電源電圧やバイアス条件によって変化するので、可変遅延になる。
水晶の正弦波とVCOの出力って同じじゃないよね？	波形は違っても、タイミング（ゼロクロスやエッジ） が一致してれば“同期”している。
矩形波ってむしろデジタル機器には都合いいの？	その通り。0/1判定が明確で、クロックエッジが扱いやすく、 ノイズにも強い。
極は実部が負なら安定ってのしか知らないけど、 それでいいの？	それは基本。 でもPLLのような制御系では位相マージンも含めて設計する必要がある。
ゼロ点ってなんのためにあるの？	ポールによる位相遅れを打ち消して、ループの安定性（位相マージン） を保つため。

# 2.2節

## ？ 1. 分周比を周期的に変えるだけで、なぜ非整数分周になるの？

- 瞬間的には整数分周だけど、「分周比の平均値」が目標の非整数に近づくように制御されているから。
- PLL全体が“平均”で一致するように働くので、出力も平均で非整数倍になる。

## ? 2. 分周比パターンが周期的だと、なぜスペクトル（スパーク）が立つの？

- 周期的な変動は、周波数ドメインではトーン（spur）になる。
- つまり、「変動そのものが信号」として見なされるため。

## ? 3. スパークを消すためにランダム化するなら、どうやって“ランダム”を作るの？

- 実際は擬似乱数（PRNG）を使う。
- 熱雑音などの真性ランダムは難しいので、通常はデジタルで生成する。

## ? 4. DSMって何？ADCみたいな逐次比較で操作するの？

- DSMは**連続値（小数）を整数系列に変換**する装置。
- 入力値と過去の出力との差を内部で保持しながら、出力平均が入力に近づくように制御している。

## ? 5. DSMの分周比ってVCOと連動してるの？バラバラにして大丈夫？

- 連動してないでOK。VCOはPDからの制御電圧により“自動で”周波数を合わせている。
- DSMが分周比を切り替えても、PLL全体でループが保たれる。

## ? 6. DSMのクロックを速くすると、なぜノイズが高域に寄るの？

- DSMはノイズシェーピング特性を持っていて、**ノイズを高周波に追いやる構造**。
- その“有効帯域”がDSMのクロック周波数に比例するため。

## ? 7. スパークが低周波に出るなら、HPFで消せばいいんじゃない？

- 一理あるけど、PLL出力の大事な信号も低域にあるから、HPFでは**必要な成分まで消してしまう**可能性あり。
- また、スパークがPLLループ内部で発生する場合、出力段のHPFでは除去できない。

## ? 8. ノイズの折り返し（folding）ってなに？なぜ非線形だと起きるの？

- 非線形な回路は**入力信号間で周波数の合成**を起こす（ミキサと同じ原理）。
- これにより、**高域ノイズが低域に折り返されて**スパークとして現れることがある。

## ? 9. FIRフィルタってなに？聞いたことない。

- 入力信号の「時間的にずらしたコピー」を重み付きで加算して、特定の成分だけ通すフィルタ。
- PLLでは、**ずれたノイズだけを打ち消して、共通の信号成分は通す**ことができる。

## ? 10. 白色ノイズとFIRの関係って？

- 白色ノイズは自己相関がゼロなので、FIRのような“平均処理”でうまくキャンセルできる。
- 一方、信号成分は全ての遅延経路で共通なので、打ち消されない。