

パルスシーケンス チャートの基礎

東海大学医学部付属病院 診療技術部
放射線技術科 梶原 直

本日の内容

- MR画像には欠かせない傾斜磁場コイルの役割を理解することを目的
- SE法のパルスシーケンスチャート
- 問題

MR装置はとてつもなく強力な磁石

静磁場

B0

- **空間的な磁場の変化**
X, Y, Zの3軸に傾斜磁場コイルが内蔵されている

傾斜磁場コイルの役割は？

プロトンに**周波数と位相**の
(変化)情報を与える事!



周波数とは 回転速度！

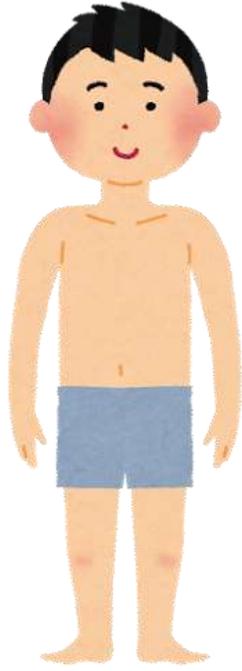
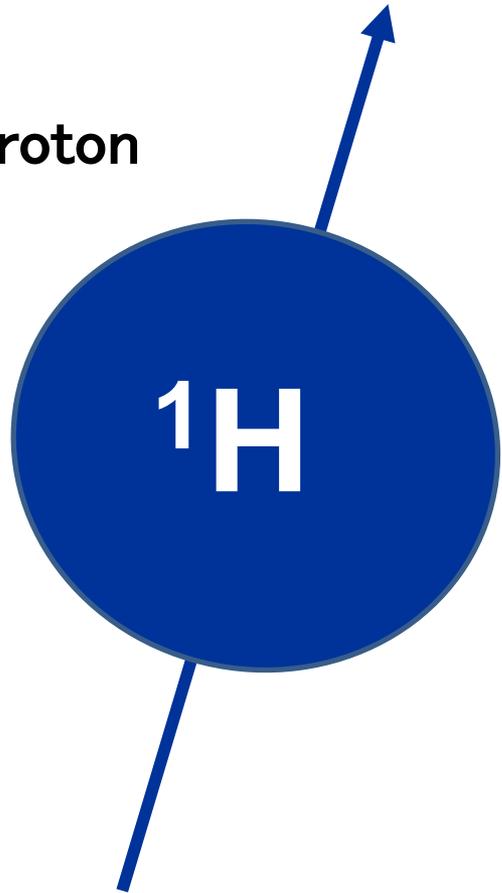
位相とは 波（回転）のズレ！



●MRI信号？

MRIで観測してるもの

^1H Proton

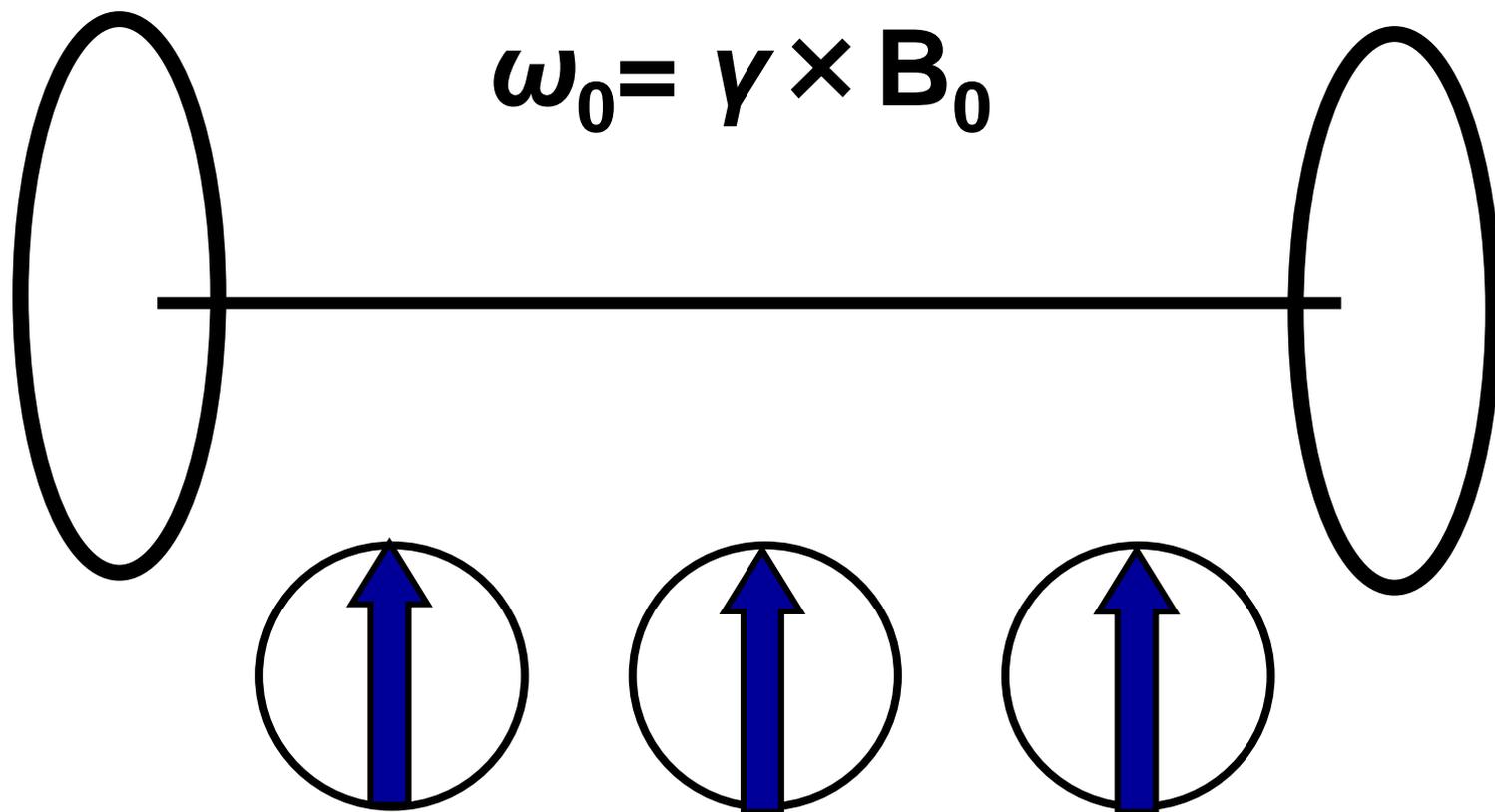


H_2O

CH_3

● Gradient

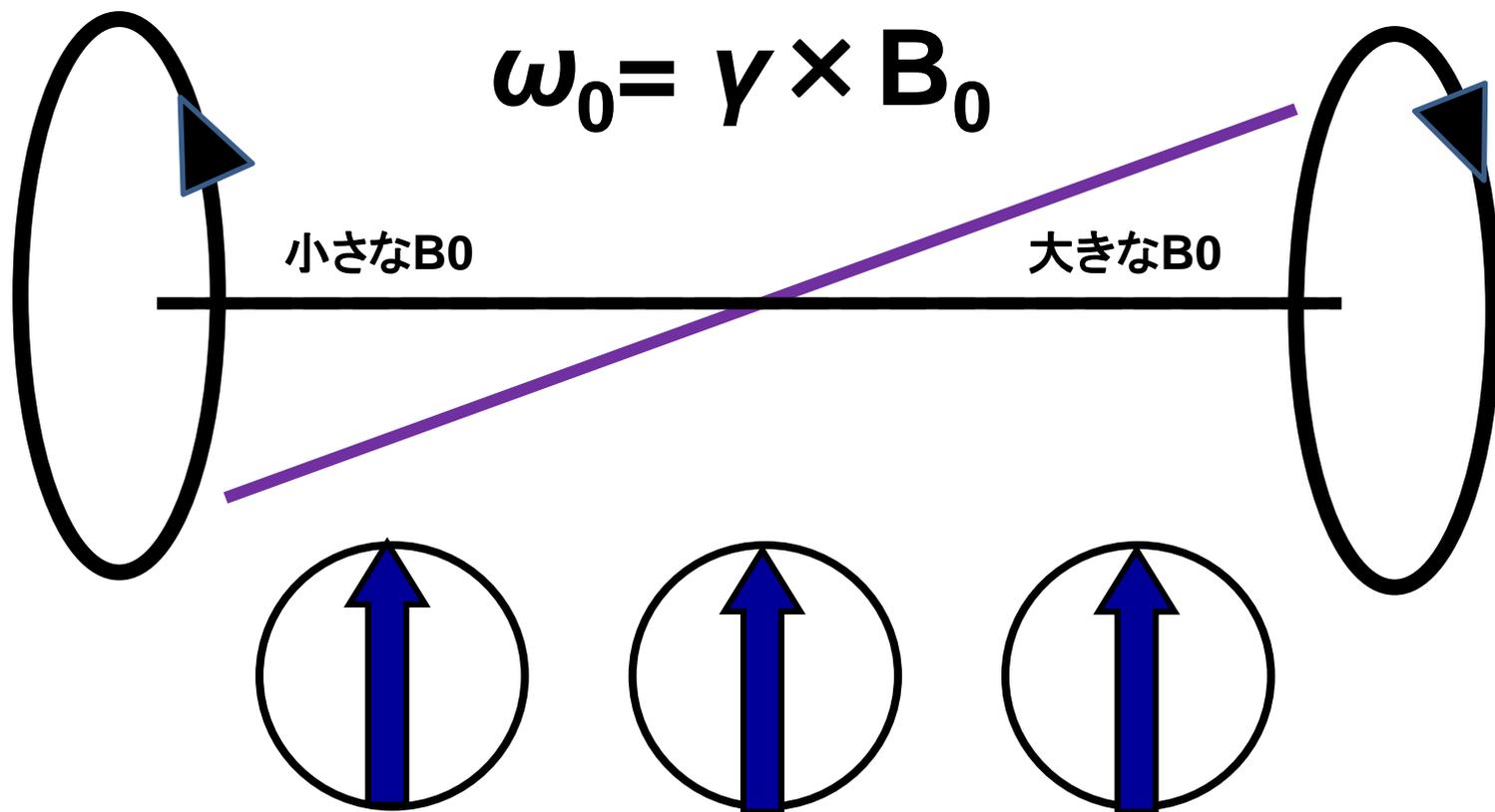
プロトンは静磁場環境下では
ラーモア周波数で回転している



各々の磁場は全て同じなので回転周波数は同じ

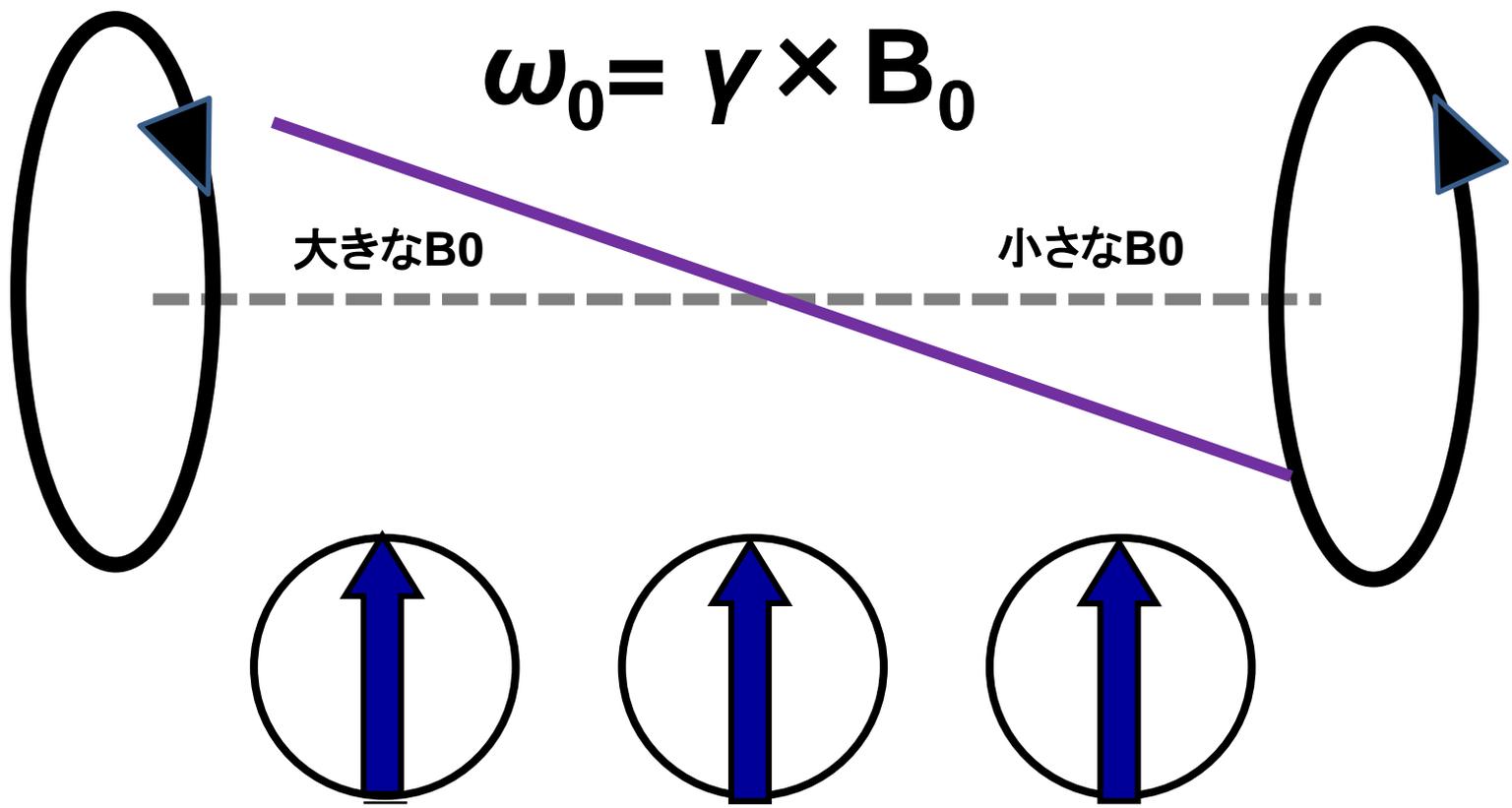
● Gradient

傾斜磁場を印加すると位置によって B_0 が変化する



各々の回転周波数は異なる

極性をスイッチすると？

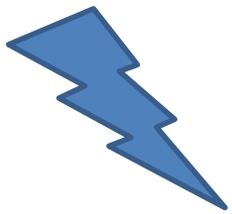


傾斜磁場によって周波数をコントロール！！

- Basic principle

MRI Magnetic Resonance Imaging

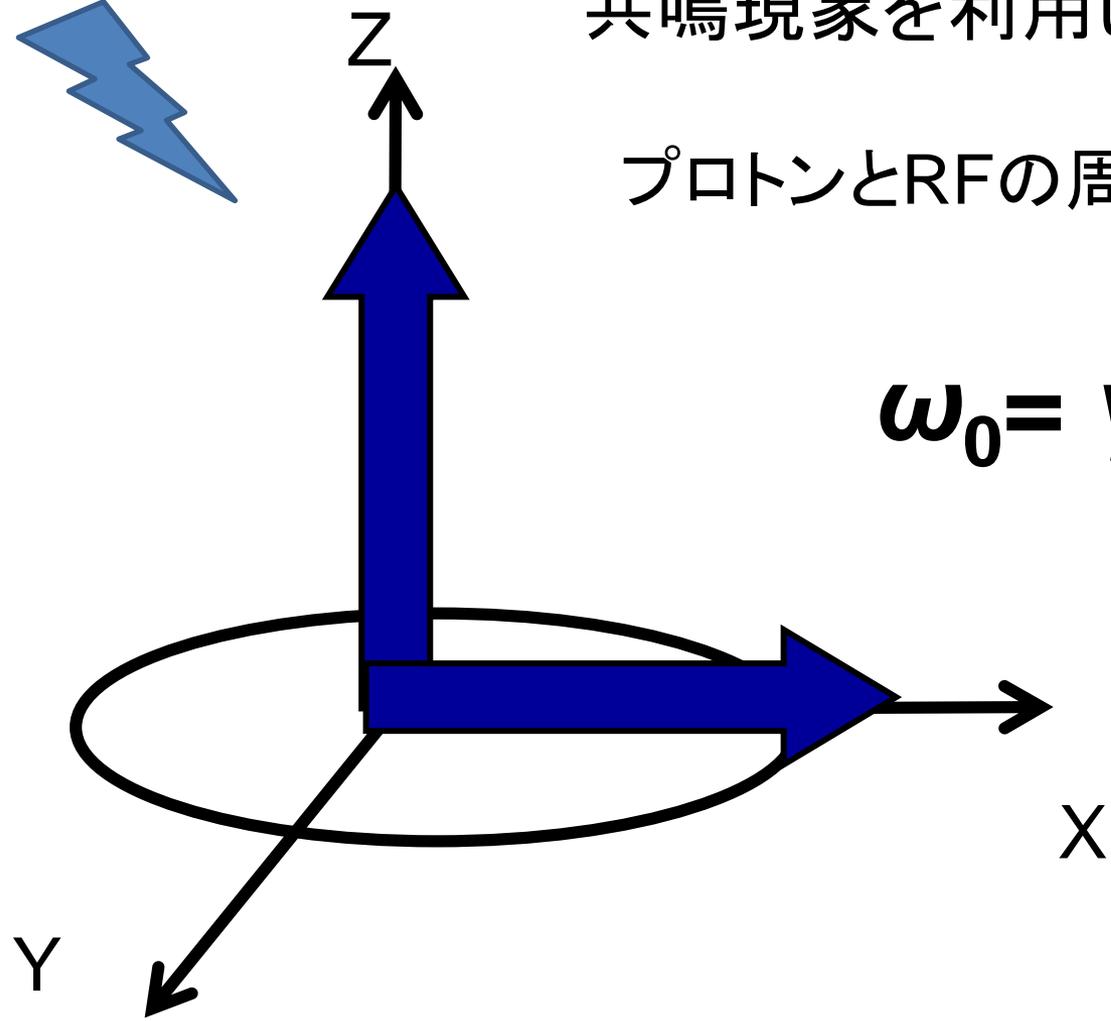
RF pulse



共鳴現象を利用した撮像法

プロトンとRFの周波数が一致

$$\omega_0 = \gamma \times B_0$$

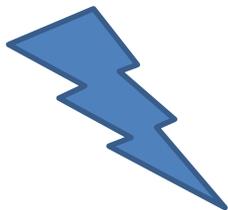


● Gradient

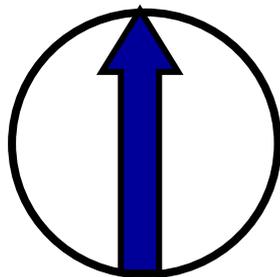
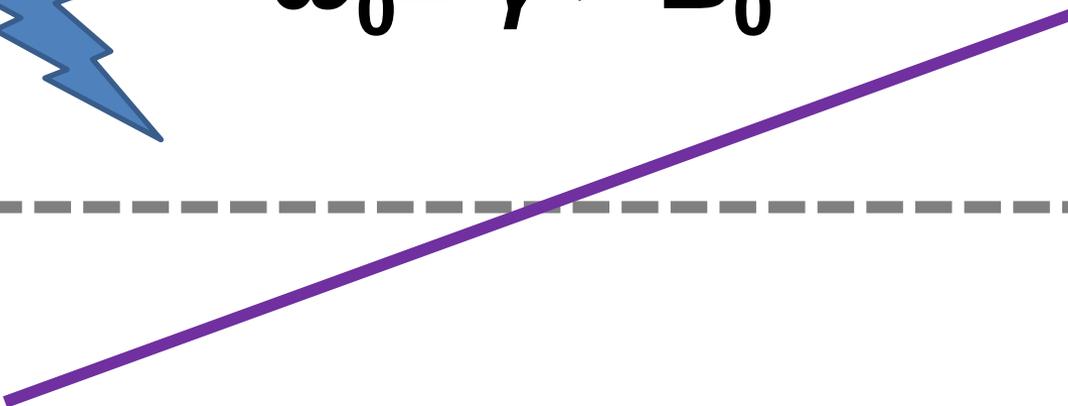
傾斜磁場によって各位置のプロトンの周波数は異なっている

RF pulse

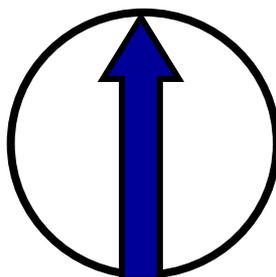
66MHz



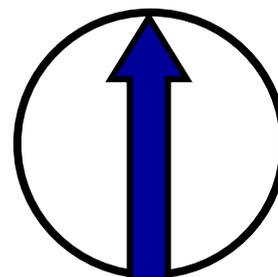
$$\omega_0 = \gamma \times B_0$$



62 MHz



64 MHz

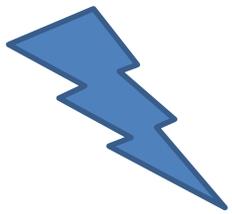


66 MHz

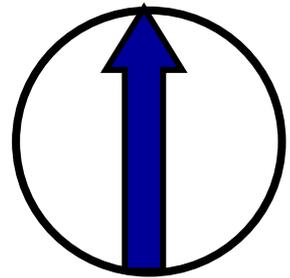
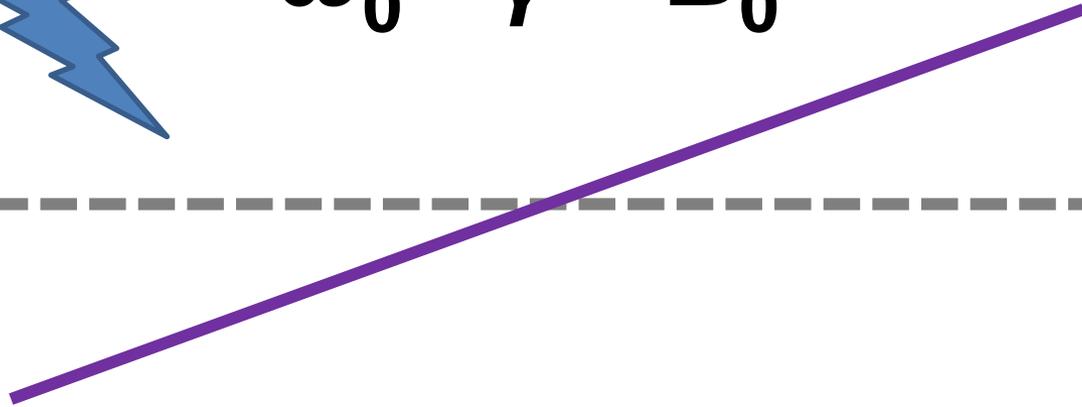
他の位置は共鳴しない

RF pulse

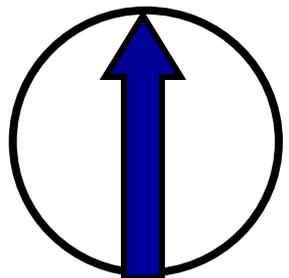
64MHz



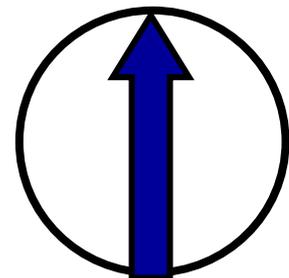
$$\omega_0 = \gamma \times B_0$$



62 MHz

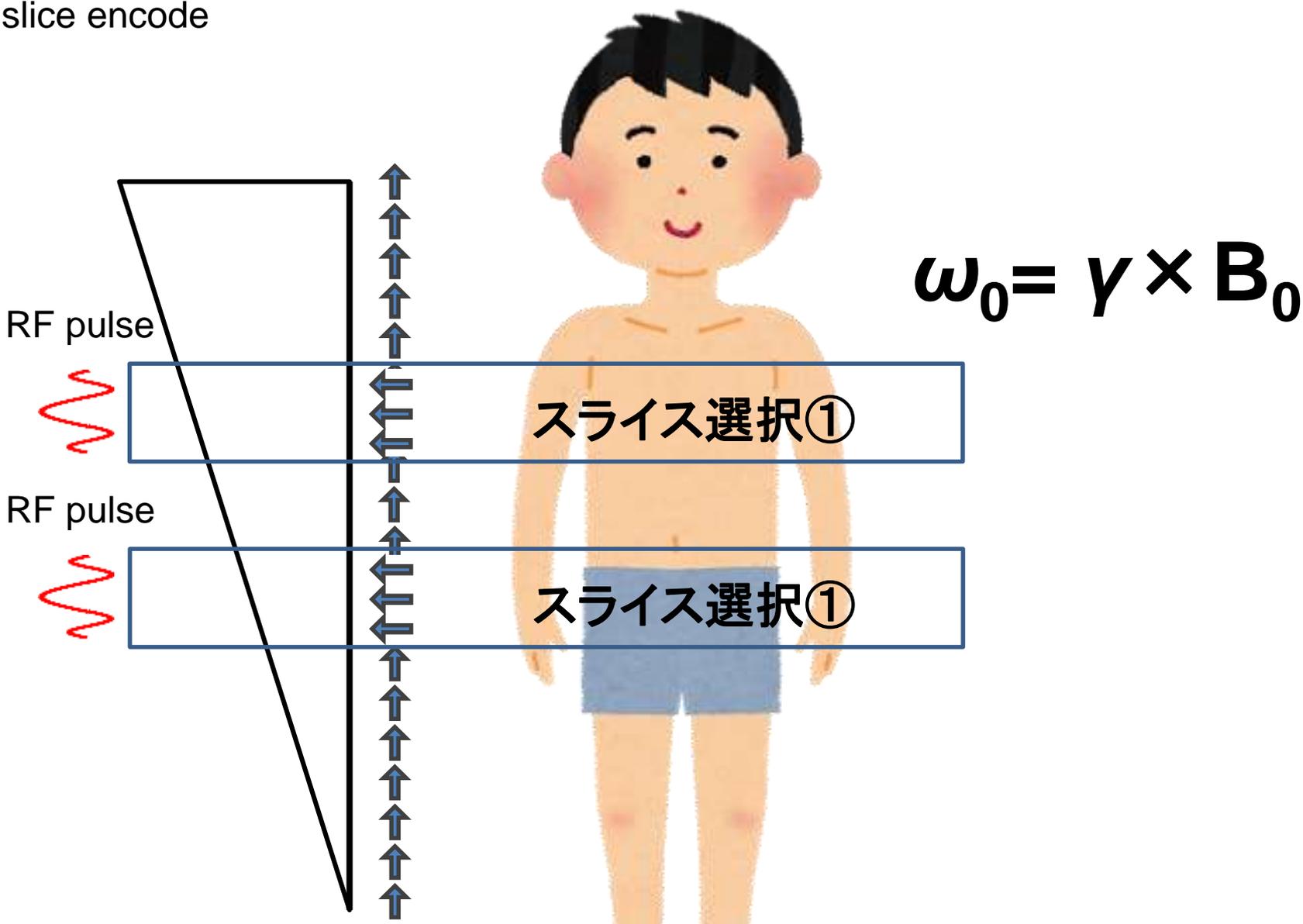


64 MHz



66 MHz

● slice encode



特定の位置のプロトンの範囲のみを共鳴

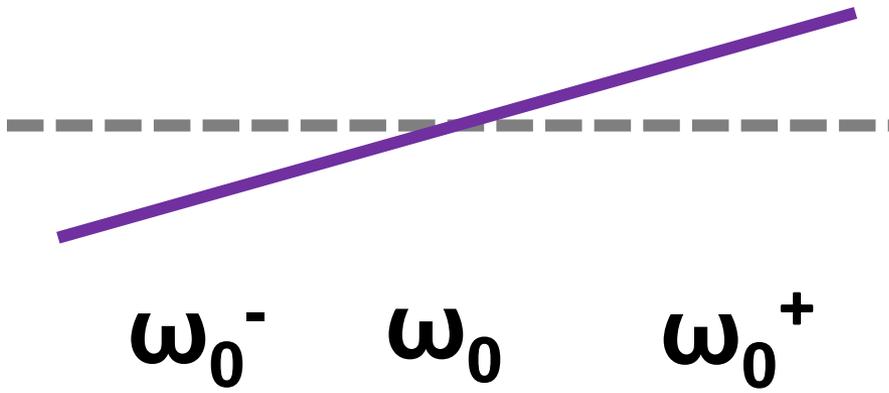
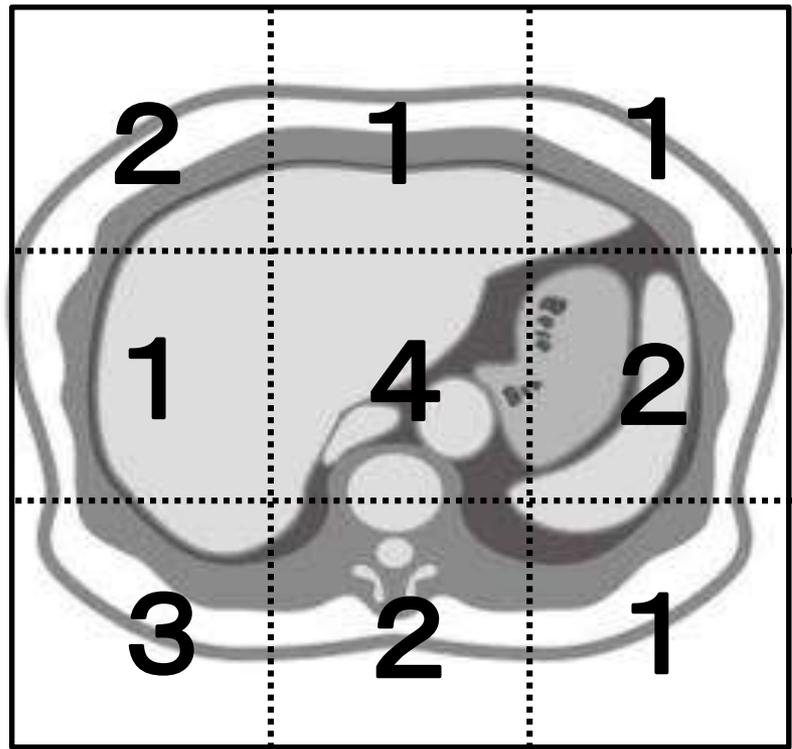
● Read out encode

$$6\cos(\omega_0^-t) \quad 7\cos(\omega_0 t) \quad 4\cos(\omega_0^+t)$$

MRIの画像再構成は
フーリエ変換

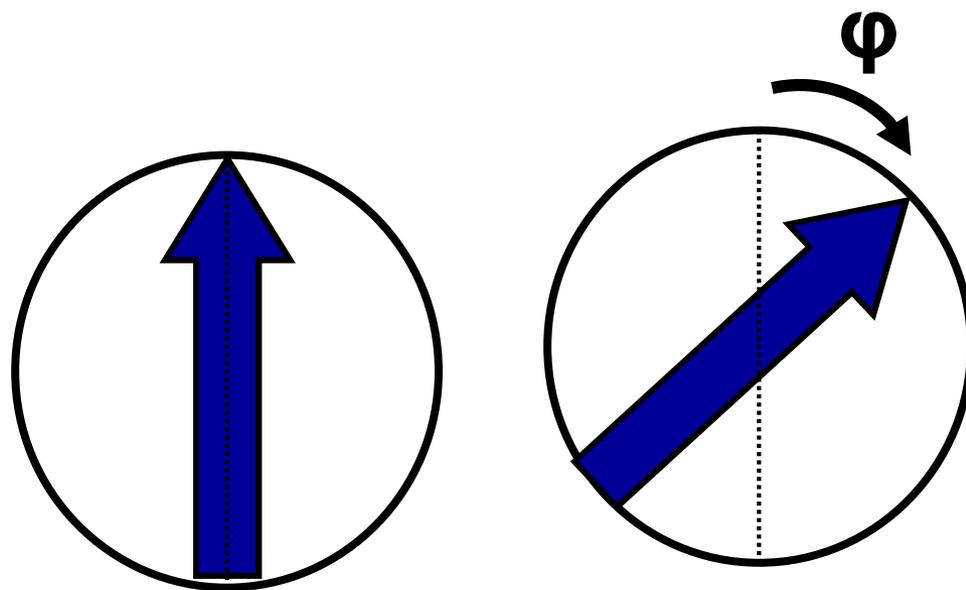
どんな合成波も分解可能

傾斜磁場によって周波数方向
のエンコード(符号化)が可能



では傾斜磁場を**数秒間**だけ印加すると？

位相が変化します



位相とは波のズレ \Rightarrow 移動量

移動量＝速さ×時間



移動量＝速さ×時間

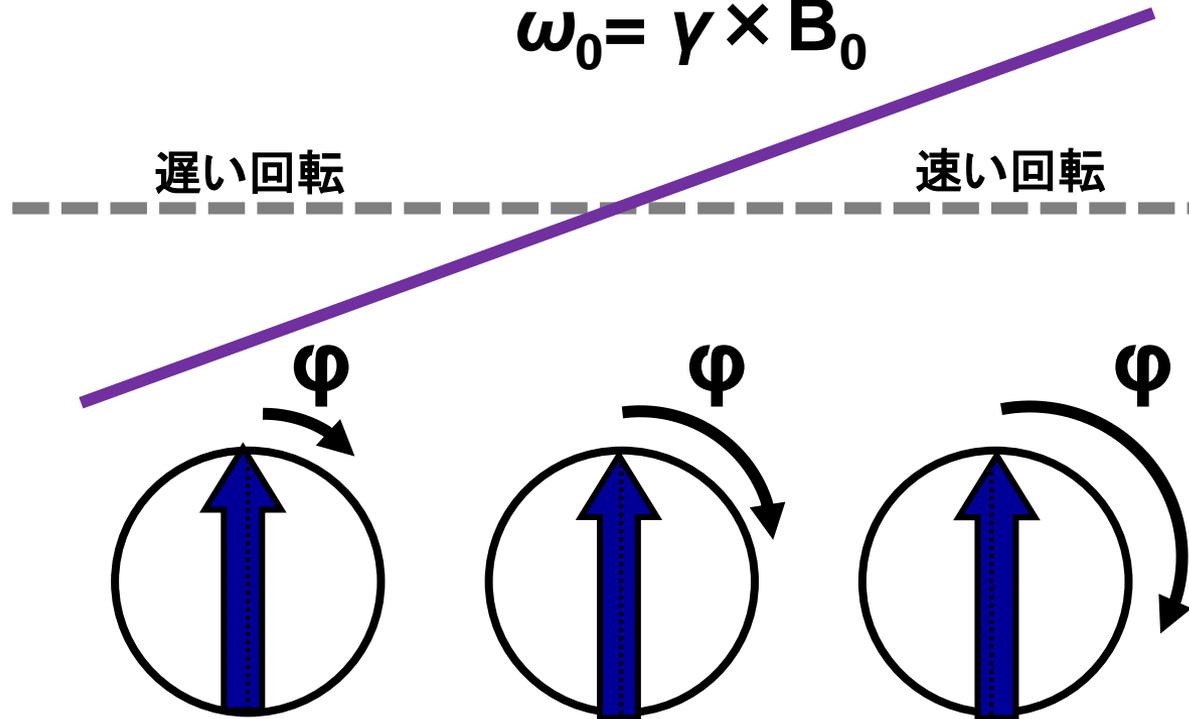
早いほうが移動距離は大きい



移動量 = 速度 × 時間

位相 = 角速度 × 時間

$$\omega_0 = \gamma \times B_0$$

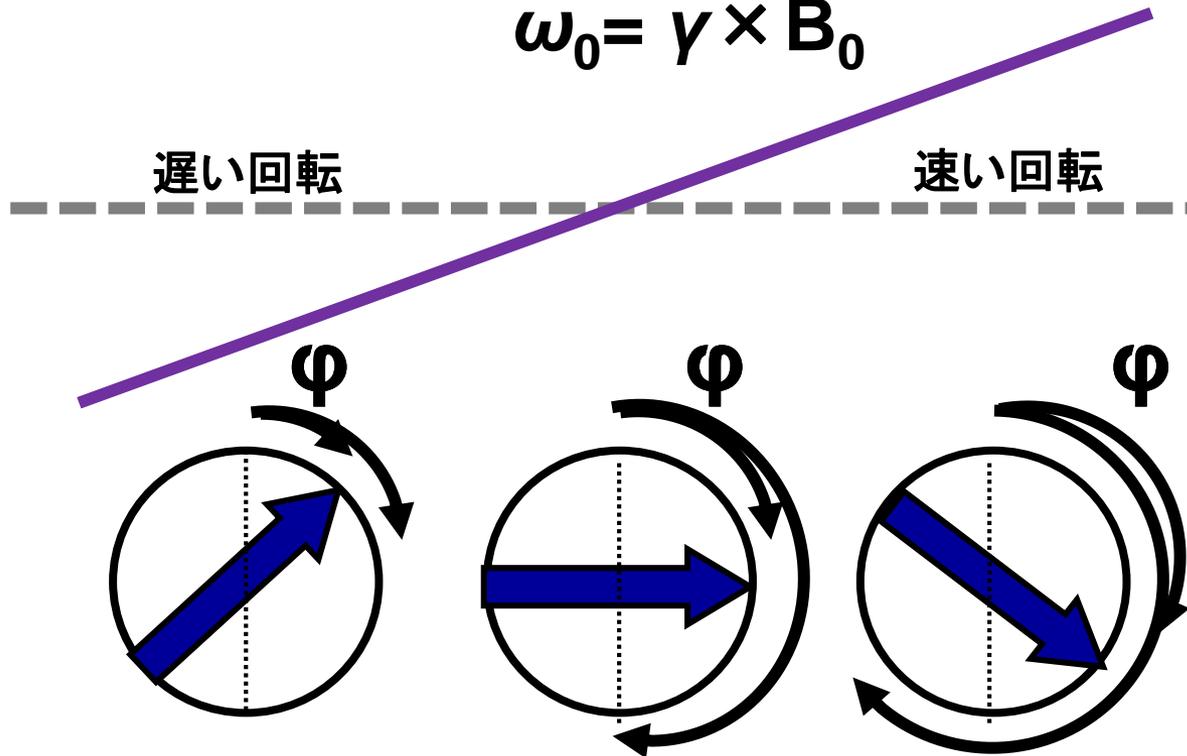


t秒間、傾斜磁場を印加すると速さに応じて位相シフトが進む

さらにt秒間(合計2t秒間)傾斜磁場を印加すると？

位相 = 角速度 × 時間

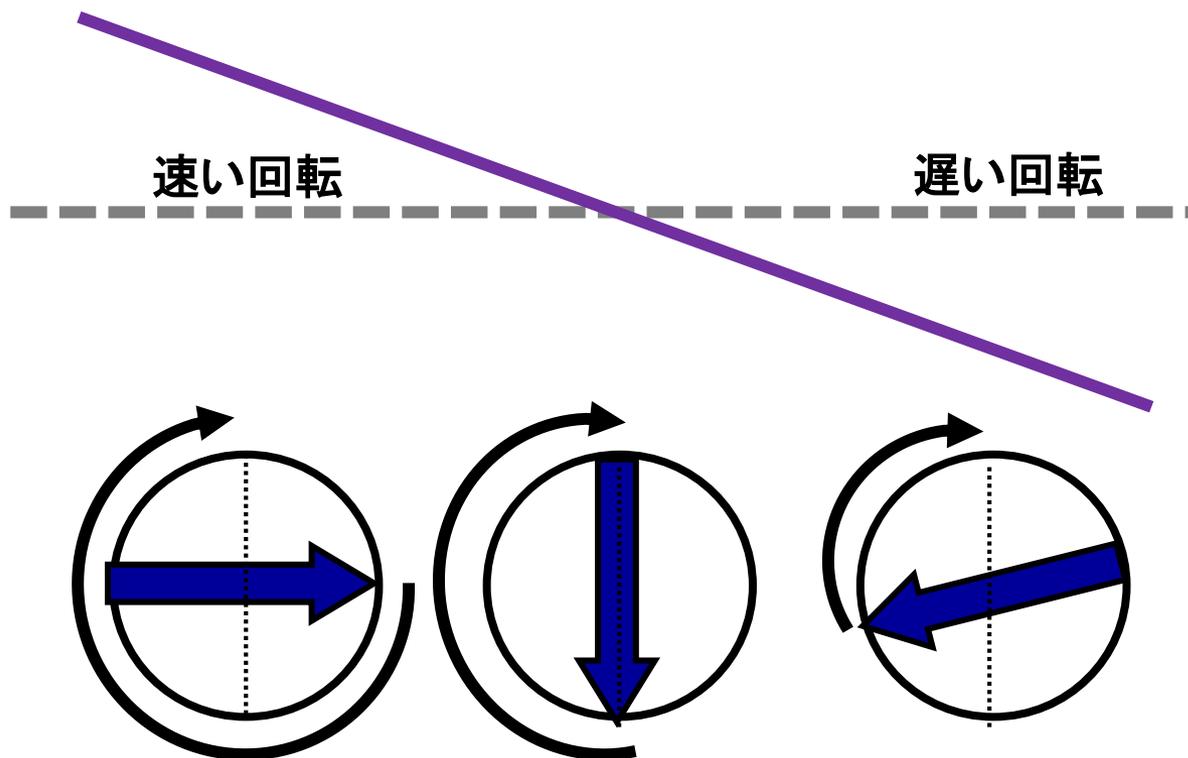
$$\omega_0 = \gamma \times B_0$$



より位相差は大きくなる

この時点で傾斜磁場を反転すると？

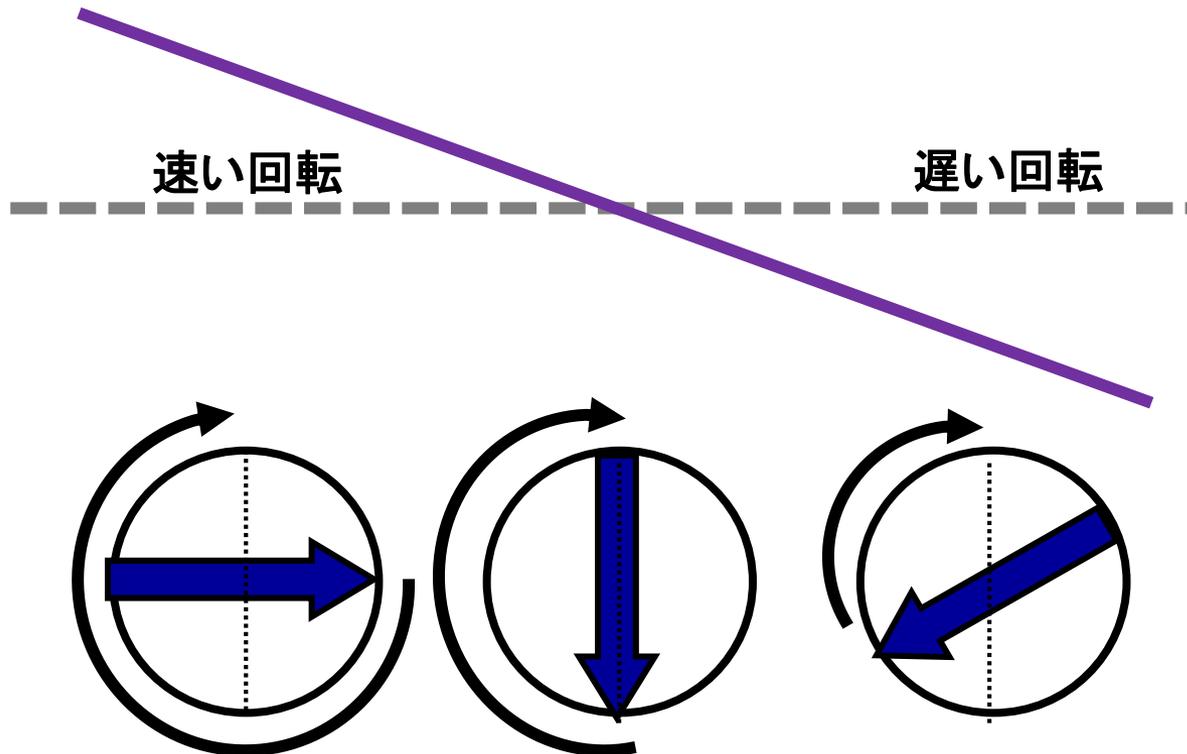
$$\text{位相} = \text{角速度} \times \text{時間}$$



残りのこの距離を進んでいく

進む距離は前半の2t秒間に進んだ距離

$$\text{位相} = \text{角速度} \times \text{時間}$$



正の傾斜磁場を印加した時間(2t)と同じ時間
負の傾斜磁場を印加すると位相は再び揃う!!

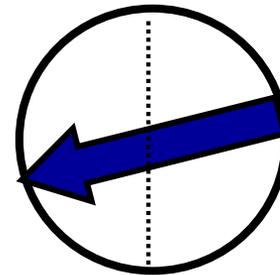
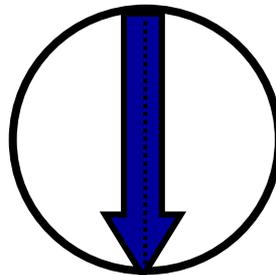
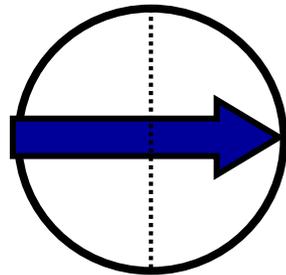
もし仮に傾斜磁場をきると？

位相 = 角速度 × 時間

元の回転速度で再び回る

遅い回転

速い回転

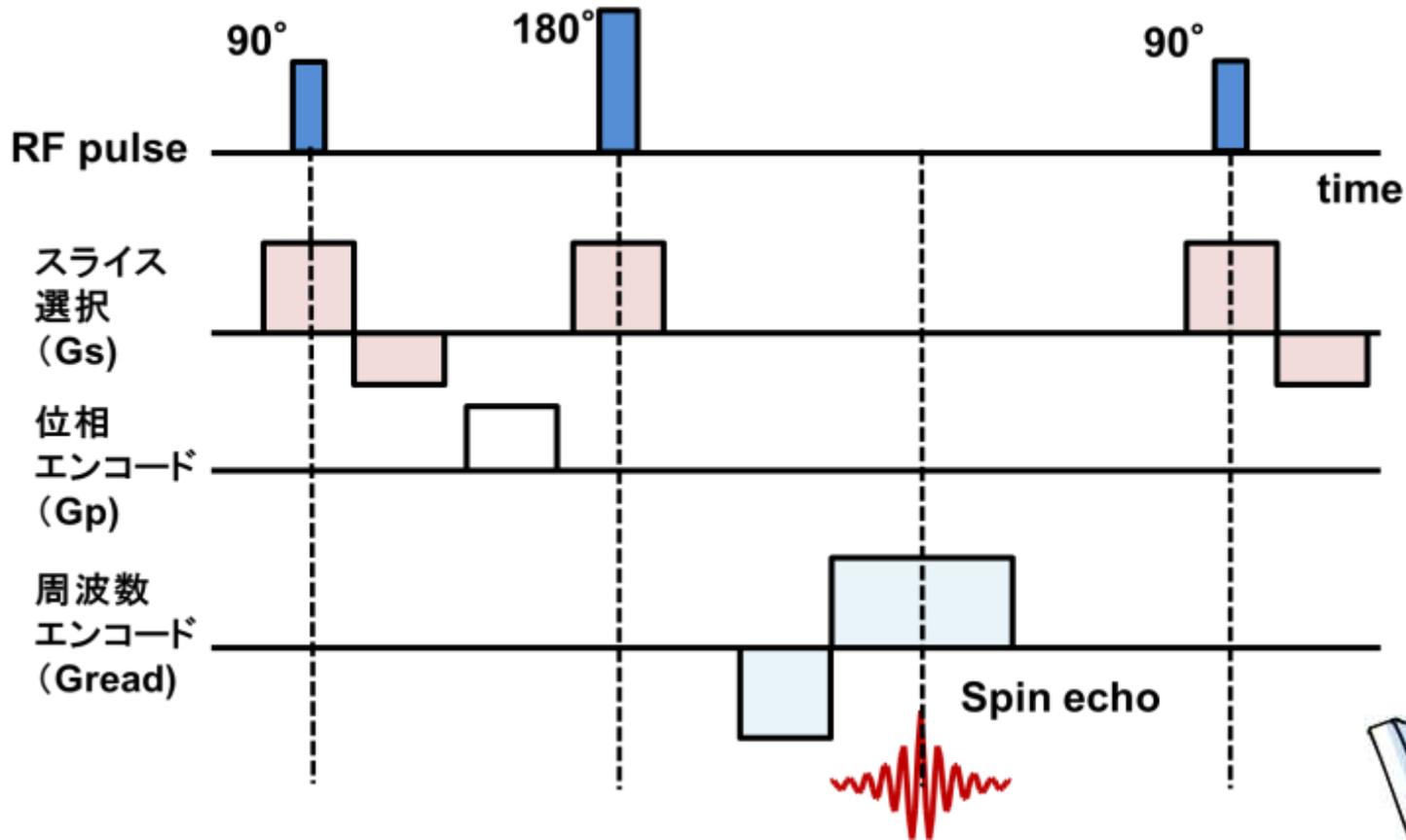


位相差はそのまま保持される

なんでこんなお話をするのかというと

位相というKeyフレーズがとても大切

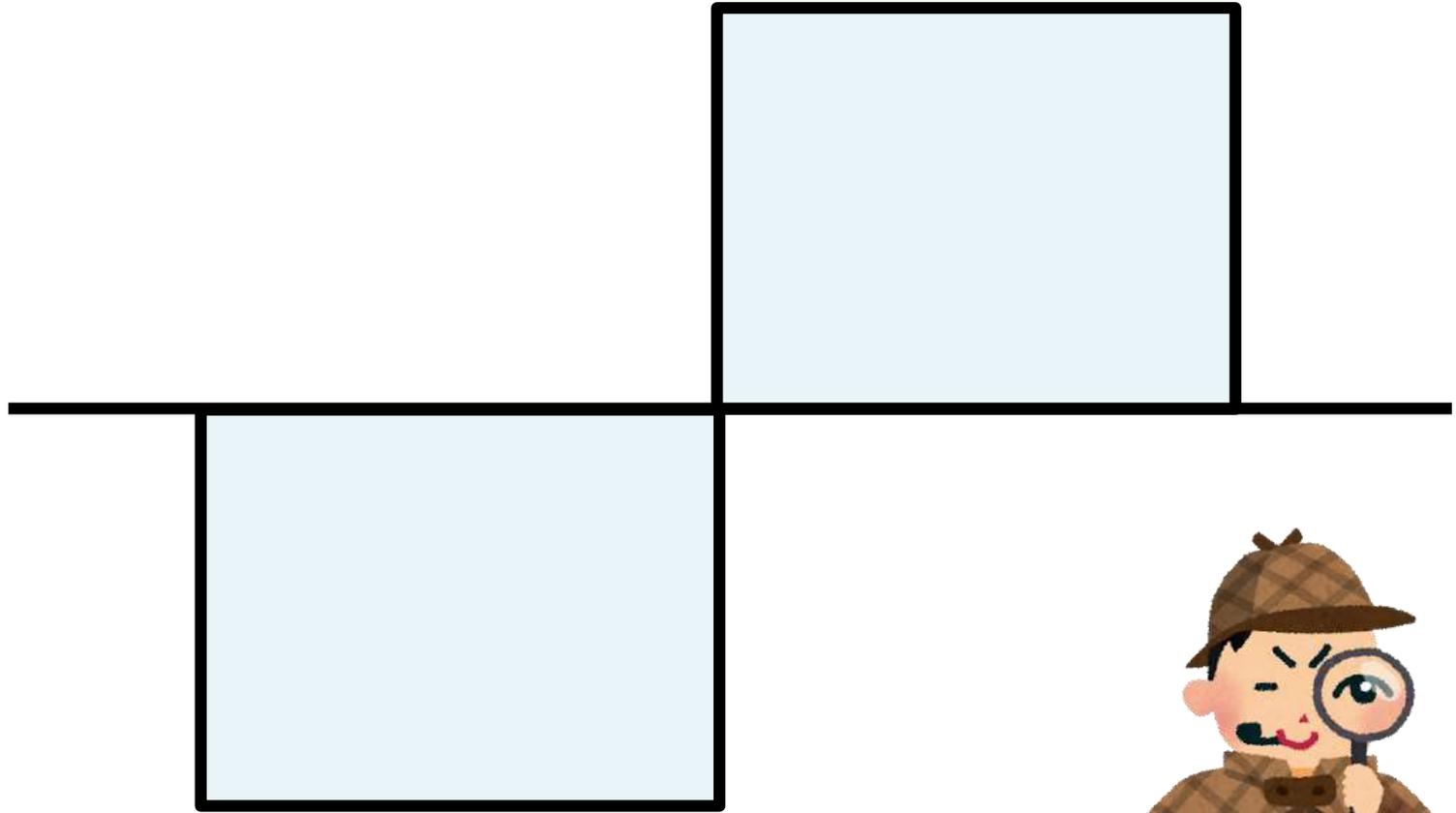
PSDは傾斜磁場の関わる各工程図に記したものの



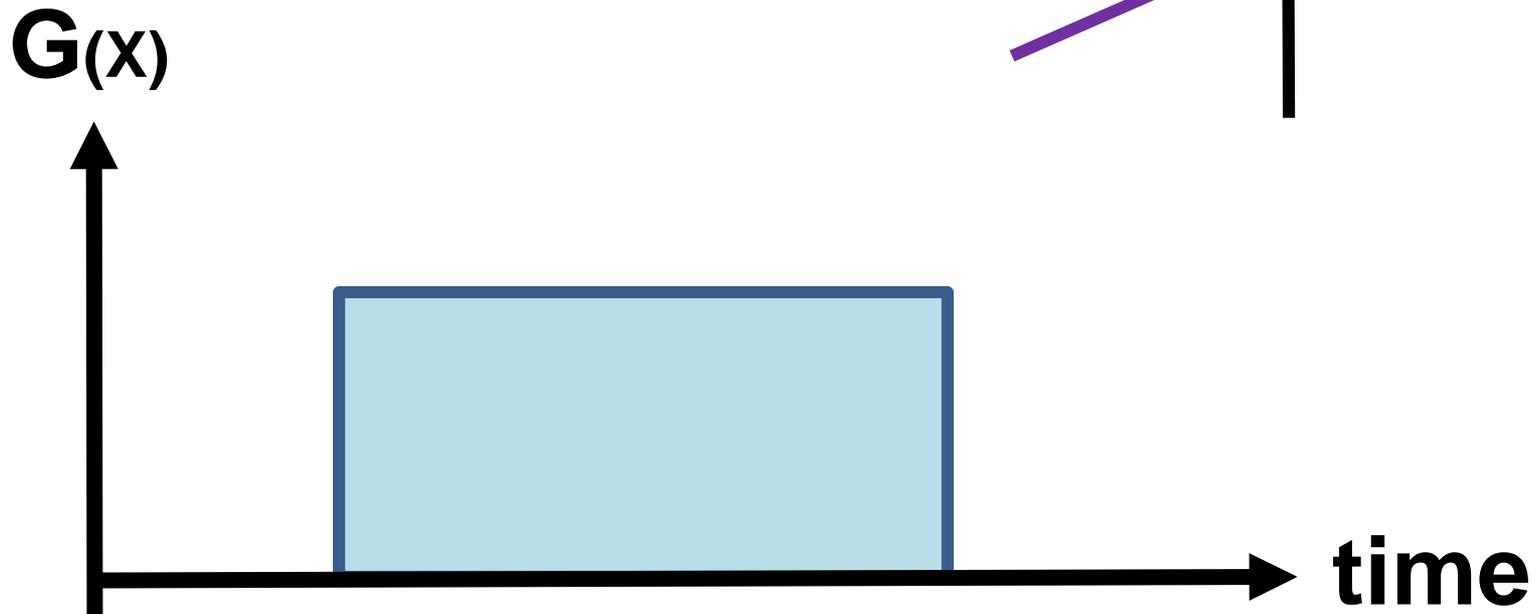
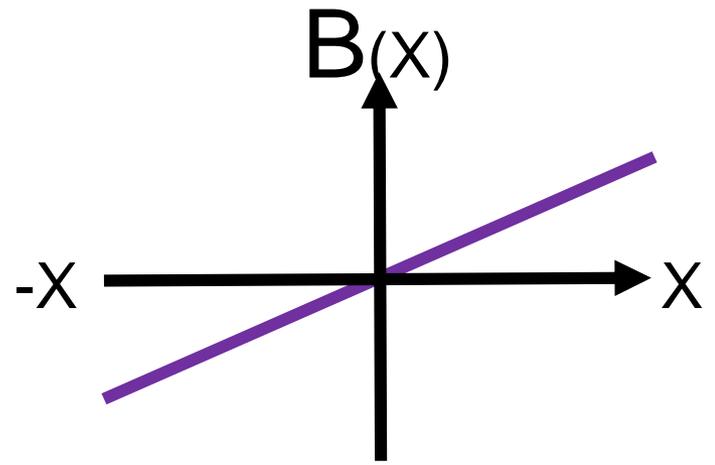
各ローブがなぜこんな配置をしているのか？



上下逆さのローブには意味がある



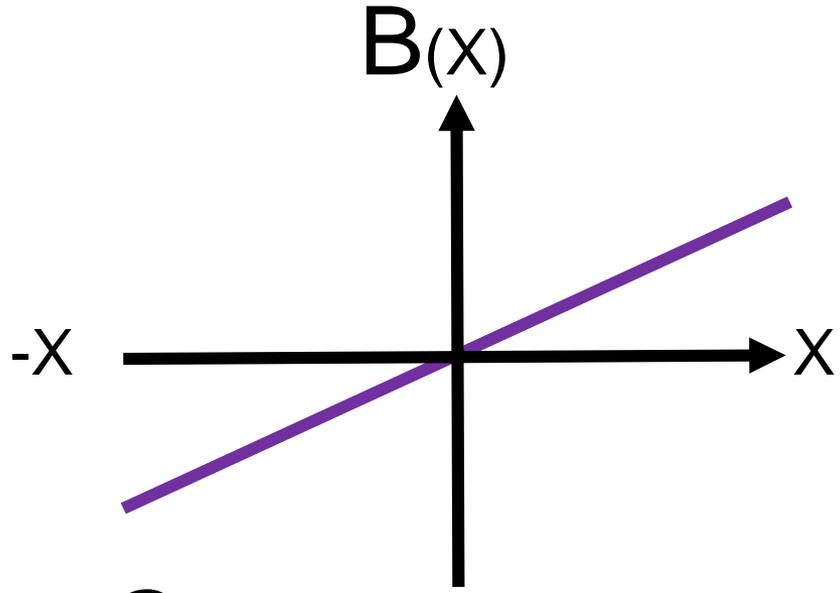
● Gradient



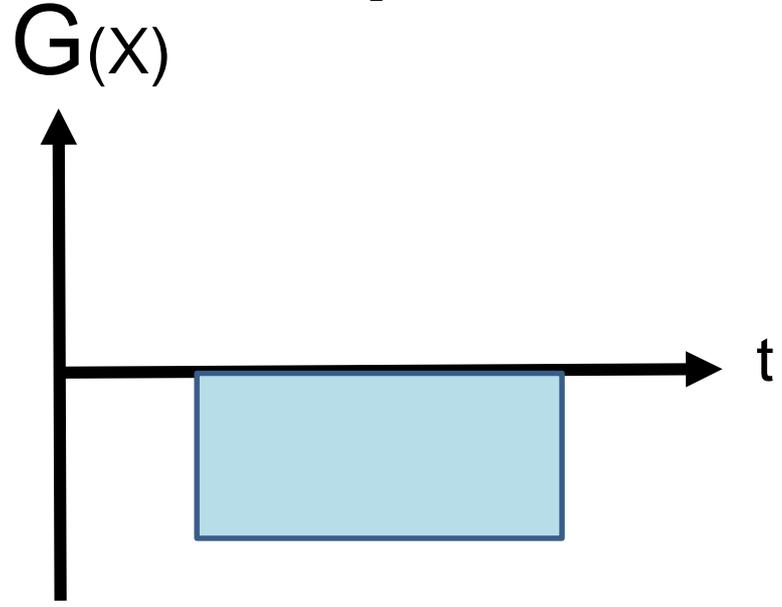
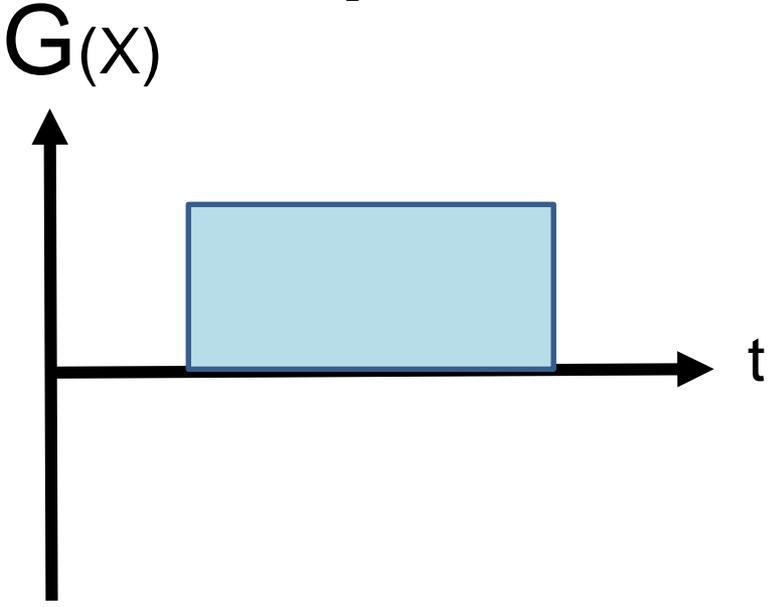
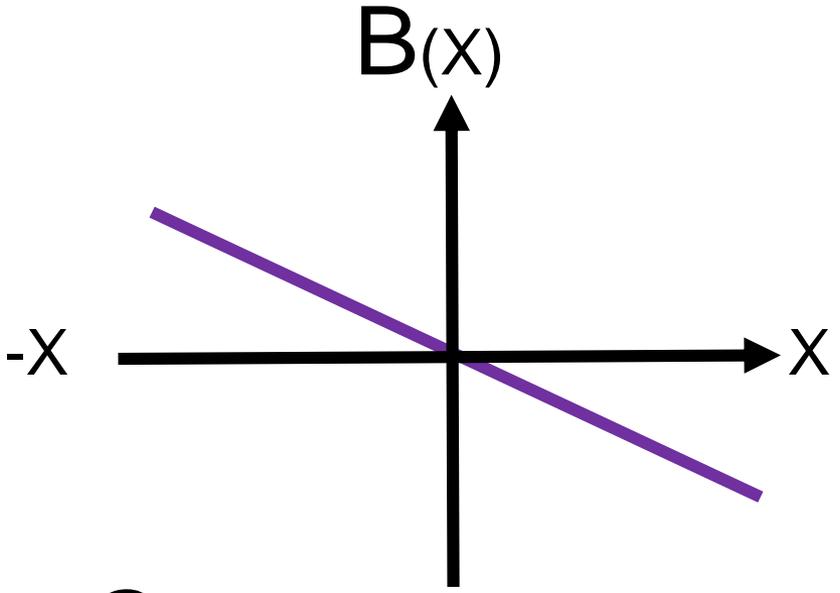
この強さの傾斜磁場を何秒間印加しますか？
ということ

● Gradient

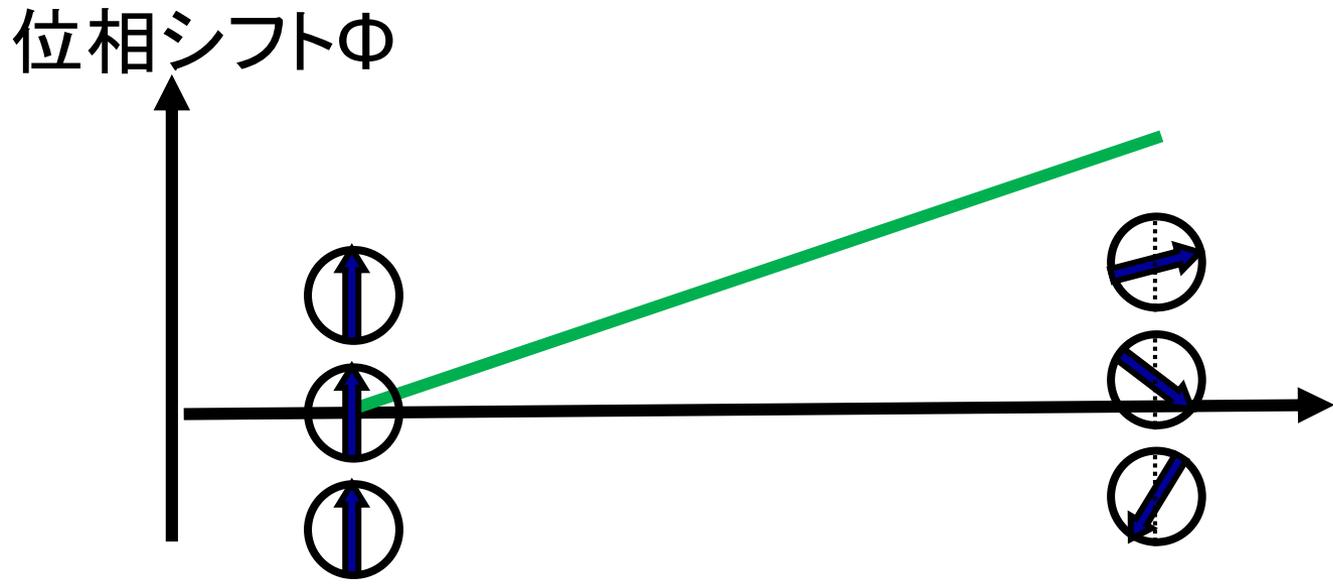
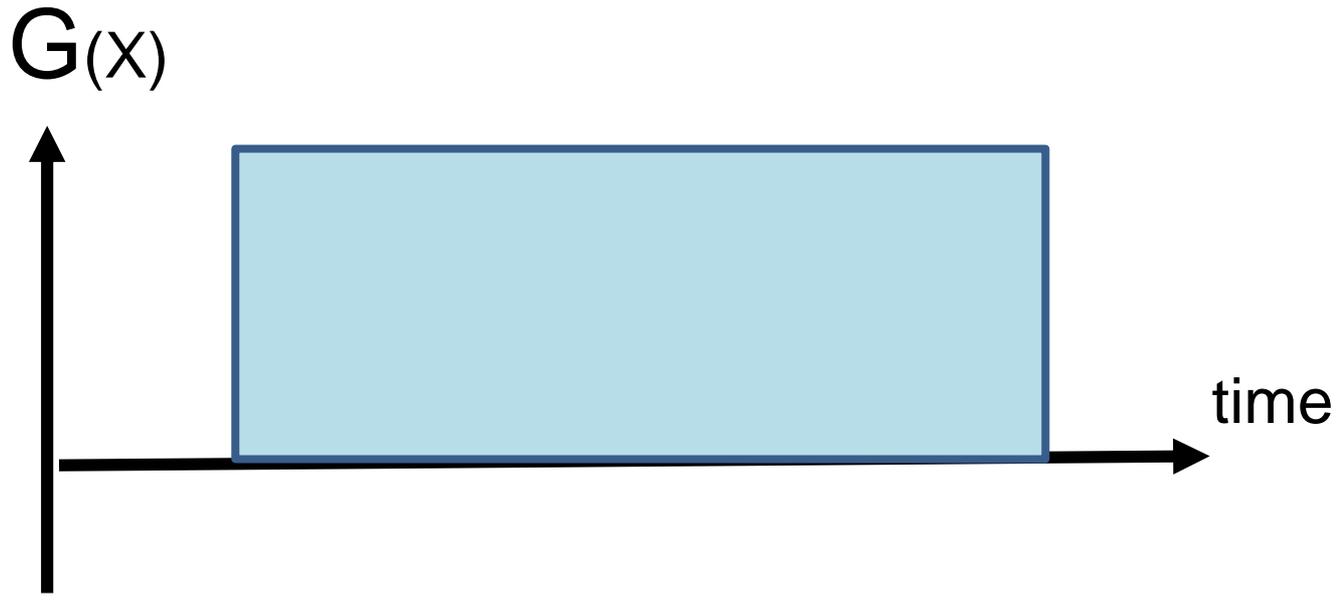
マイナス→プラス: 正の傾斜磁場



プラス→マイナス: 負の傾斜磁場



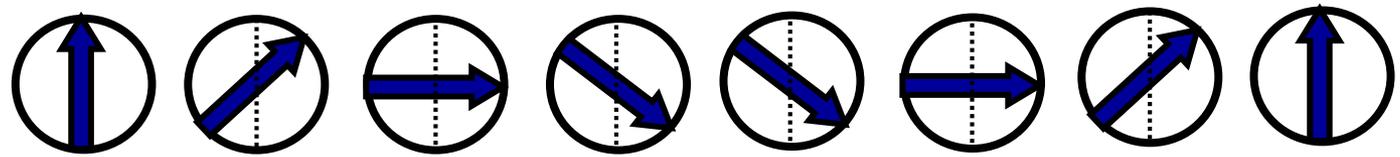
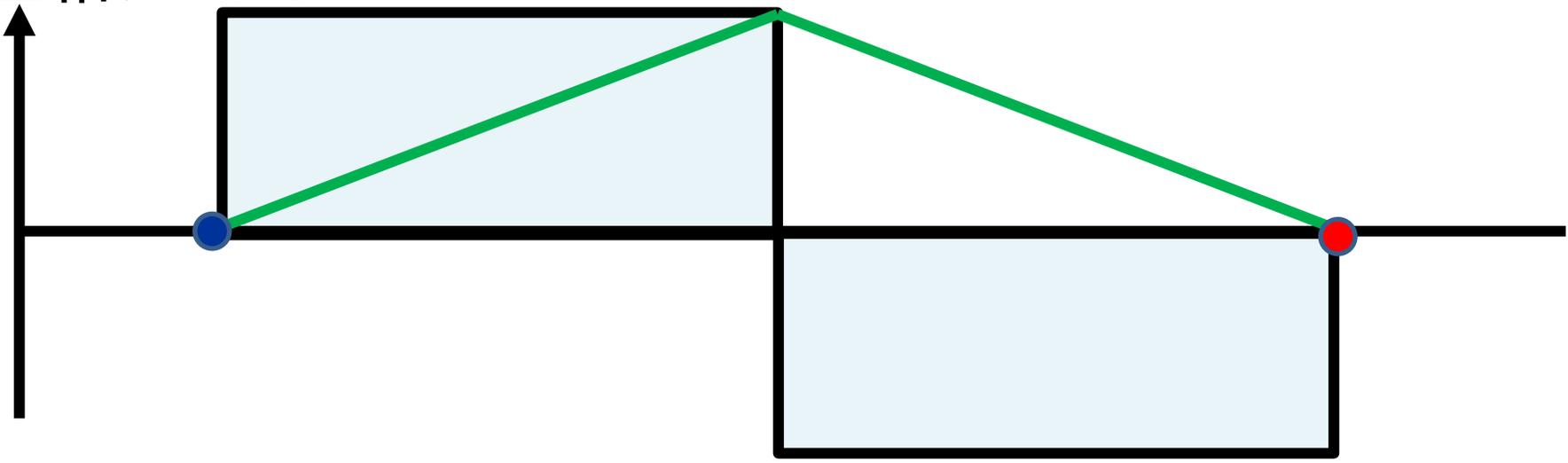
● Gradient



大切な事はある時間、傾斜磁場を印加すると位相差ができること

● Gradient

位相シフト Φ

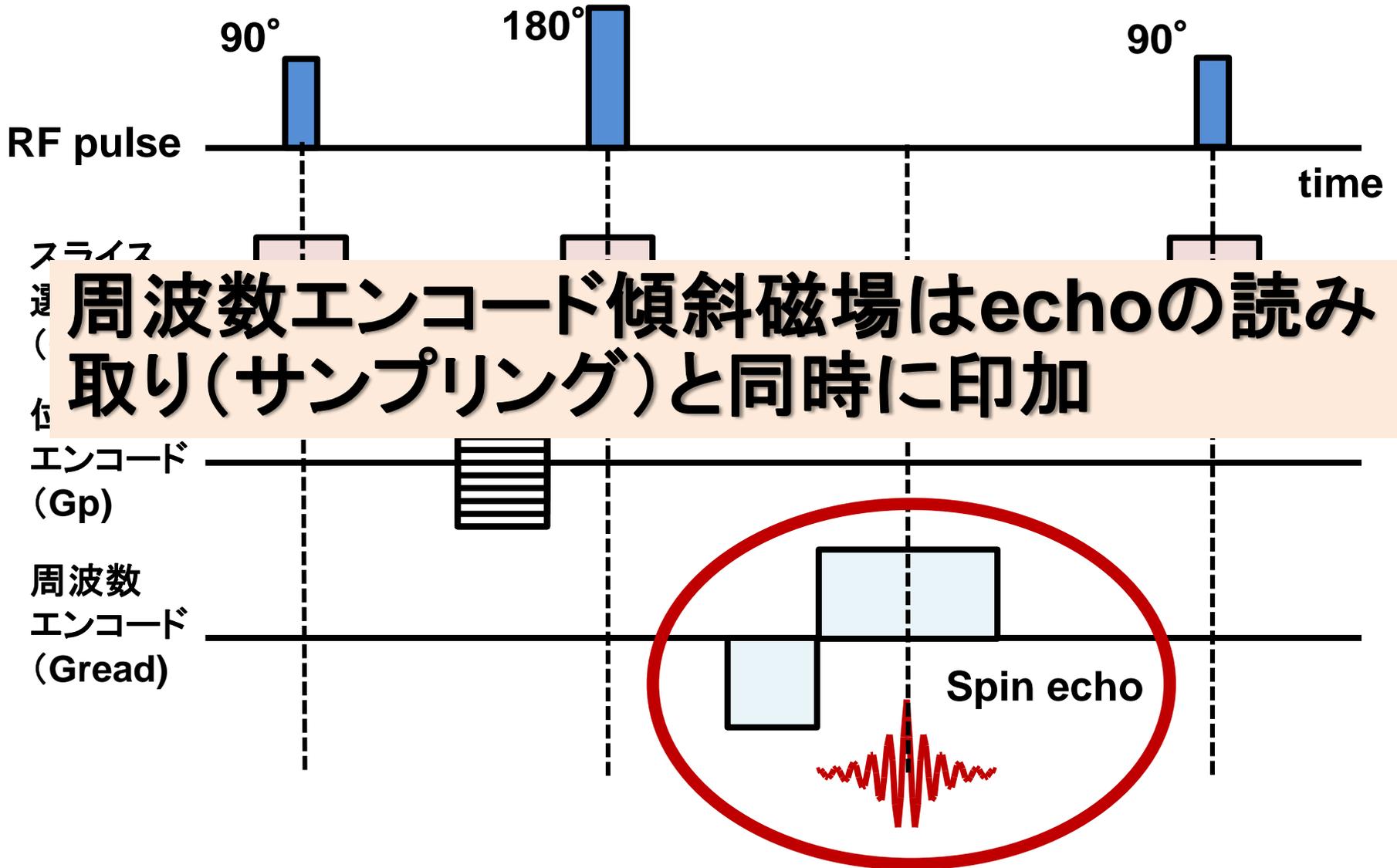


傾斜磁場の印加が与える位相の変化量は正負の傾斜磁場の面積が同じであれば+-0となるため

始点と終点での位相は一致したこととなる

SE法

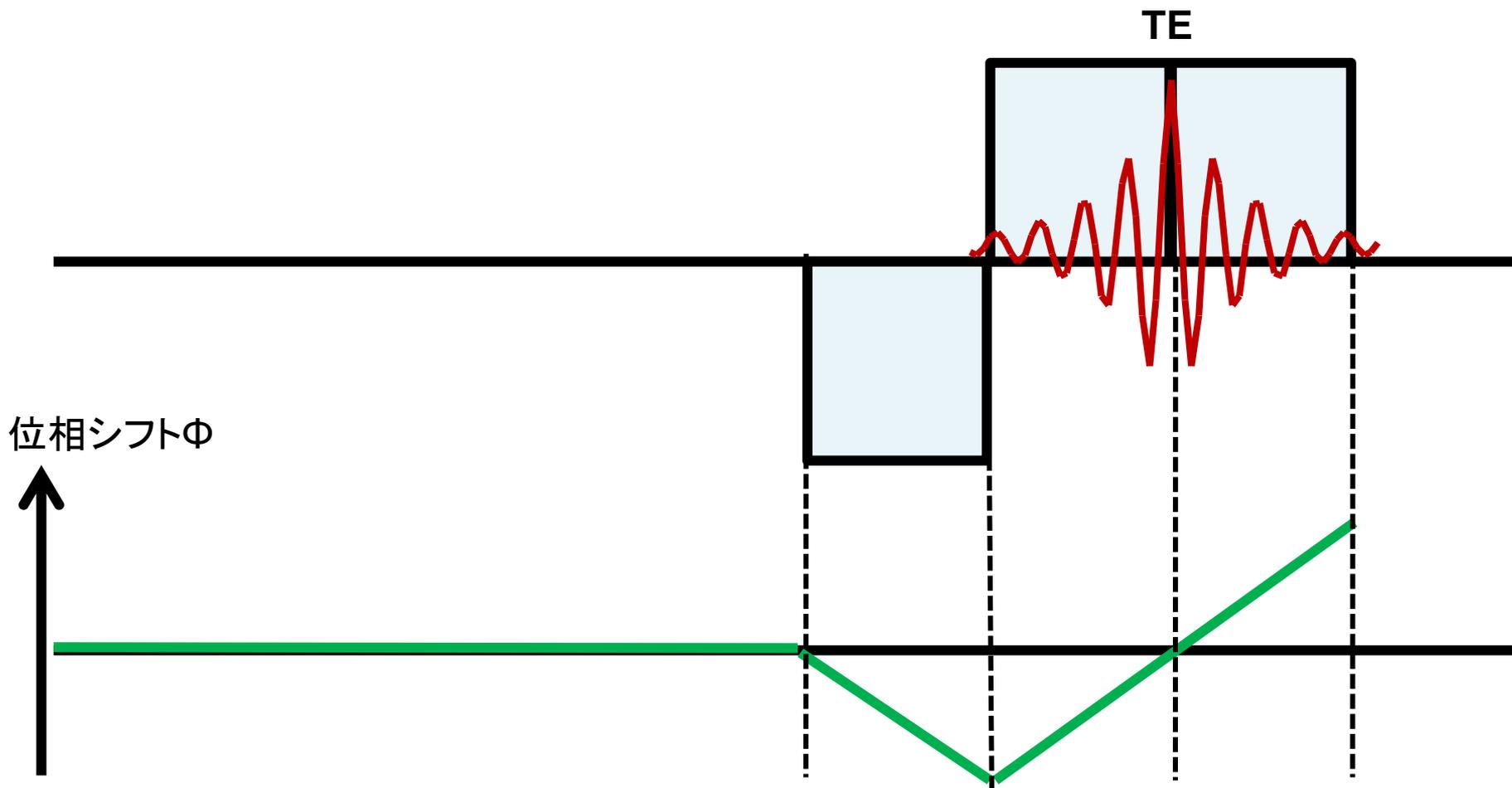
周波数エンコード



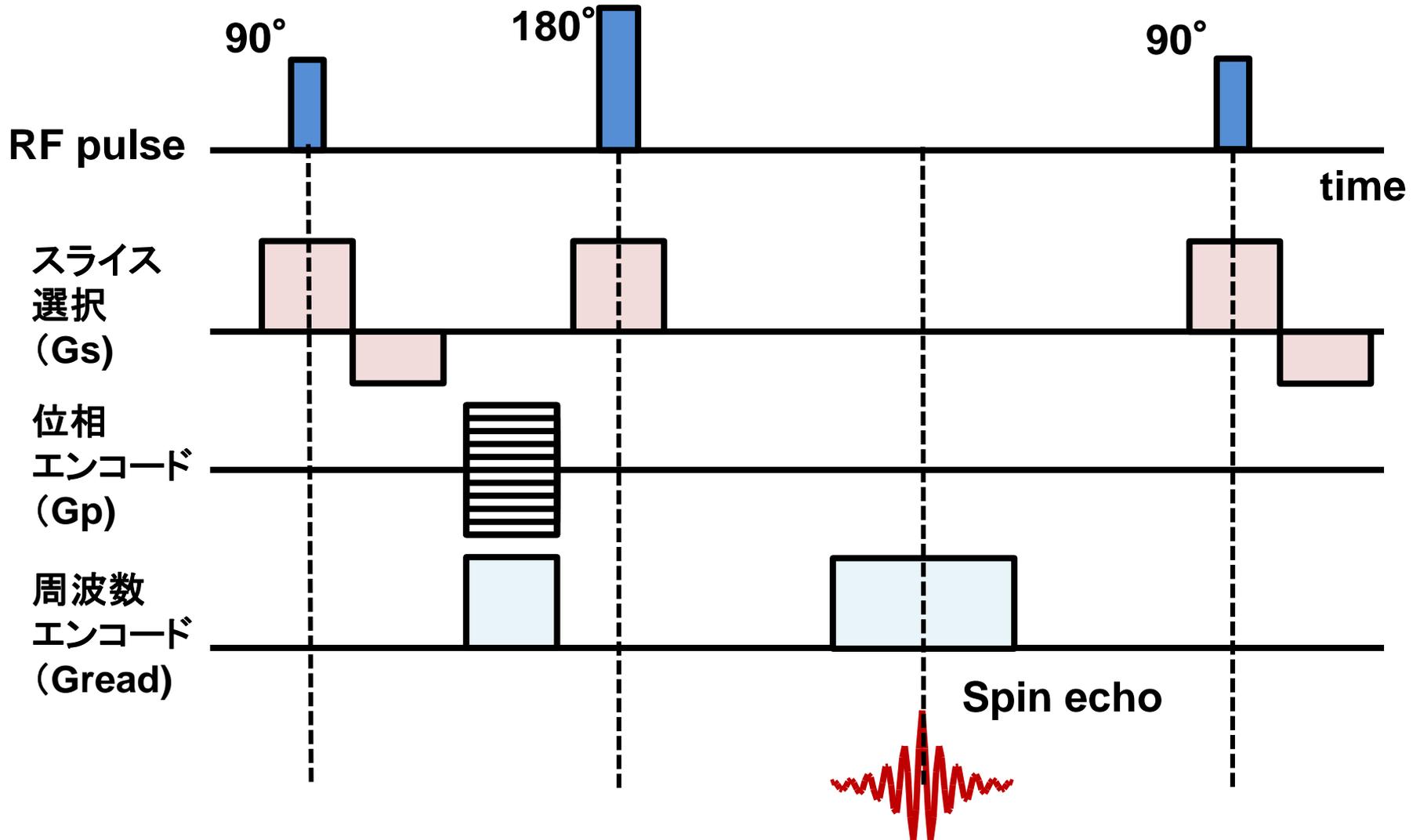
周波数エンコード傾斜磁場はechoの読み取り(サンプリング)と同時に印加

TEの時に最も位相が揃う必要がある

読み取り傾斜磁場の前にあえて位相をずらす

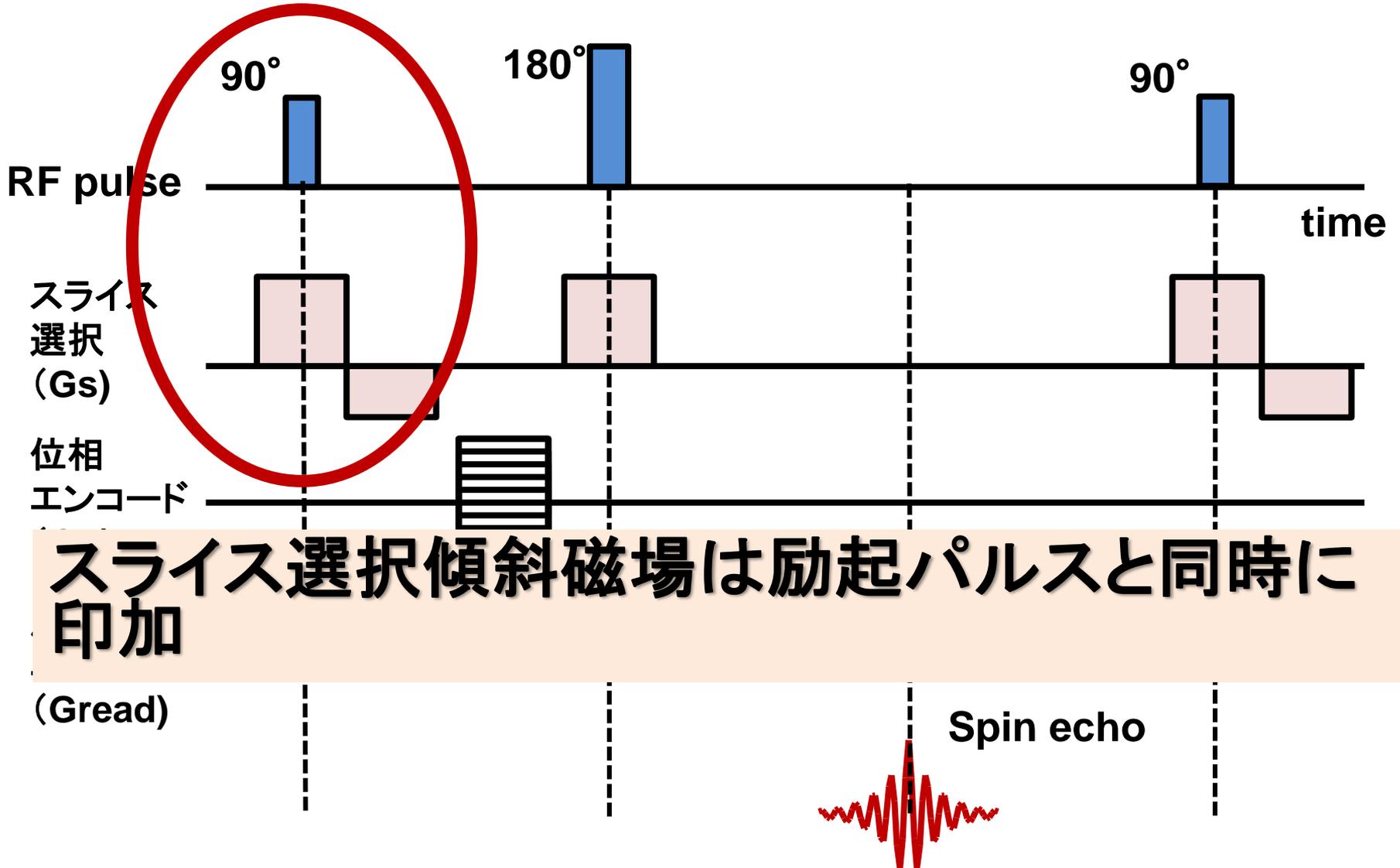


SE法



SE法

スライスエンコード



スライス選択傾斜磁場は励起パルスと同時に印加

(Gread)

Spin echo

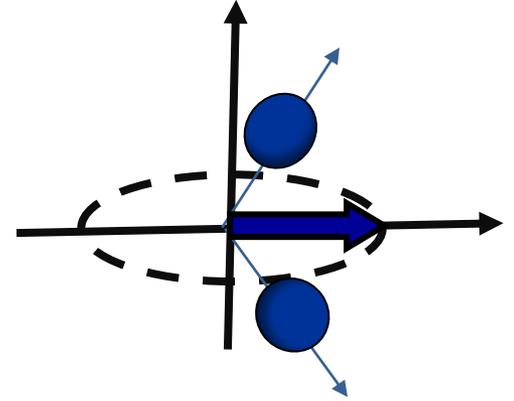
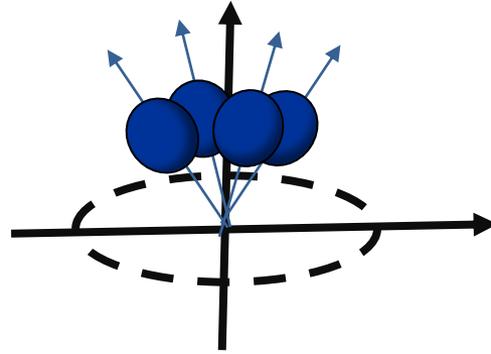
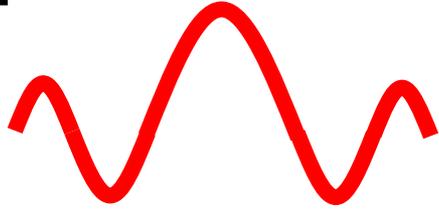
90° pulse



RFと傾斜磁場が作るスライス選択面内の周波数帯域が一致することが条件

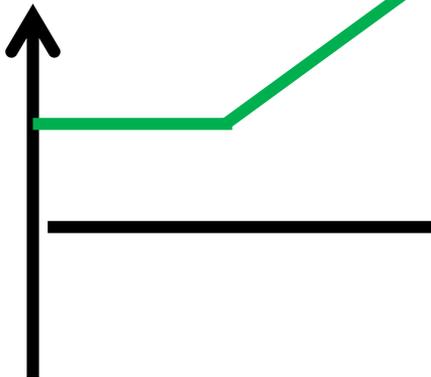
RF照射前後

90° pulse

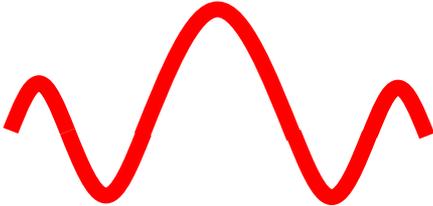


傾斜磁場の作用

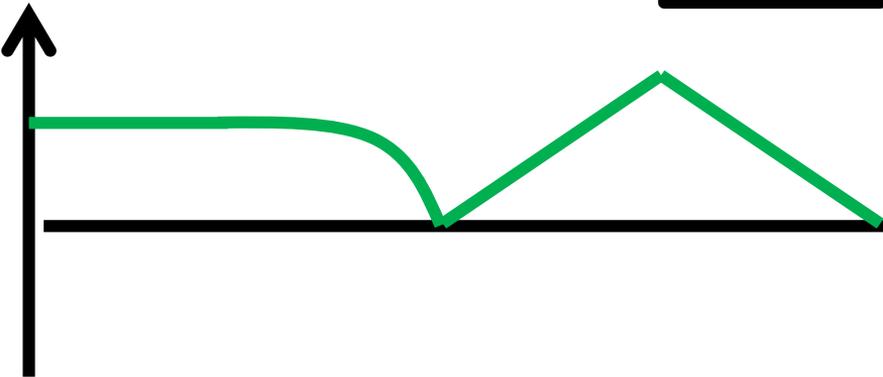
位相シフト Φ



90° pulse

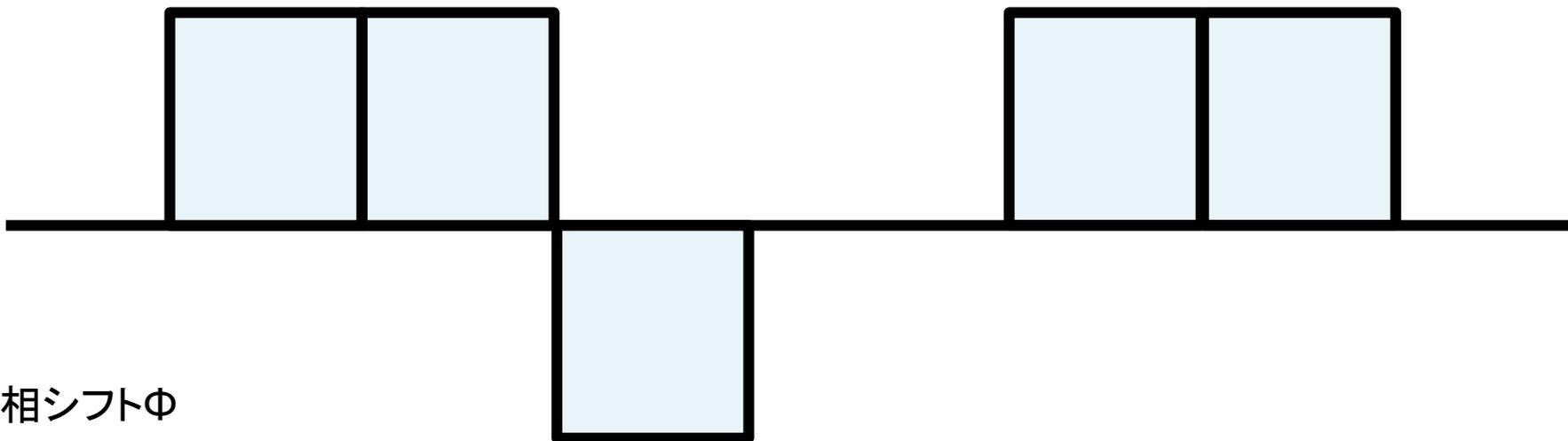
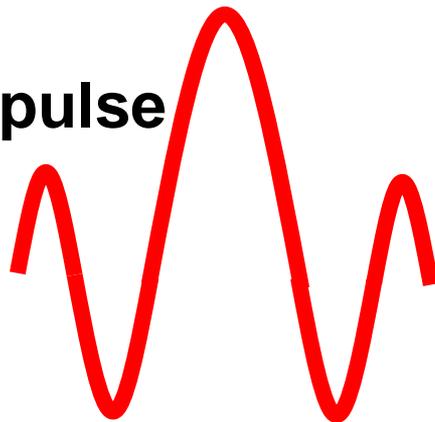
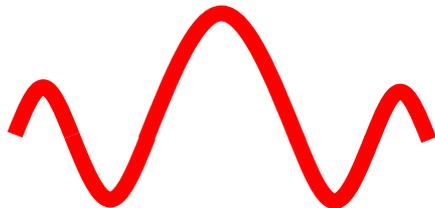


位相シフト Φ



90° pulse

180° pulse



位相シフトφ

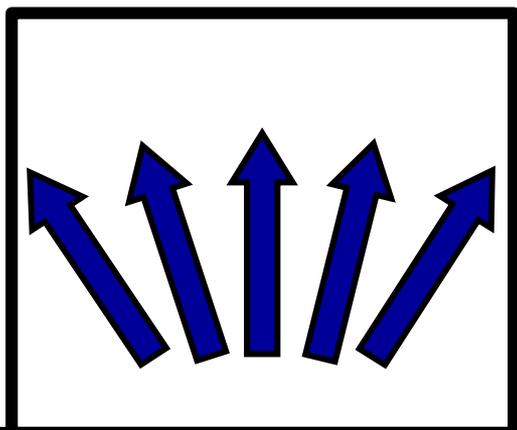


同じ周波数にて回転

信号を損なわずに済む

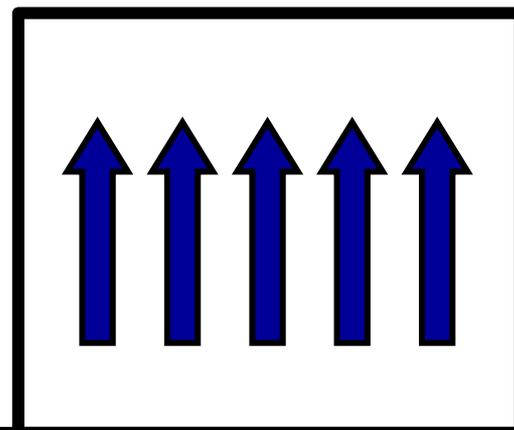
Rephase lobe(-)

Slice



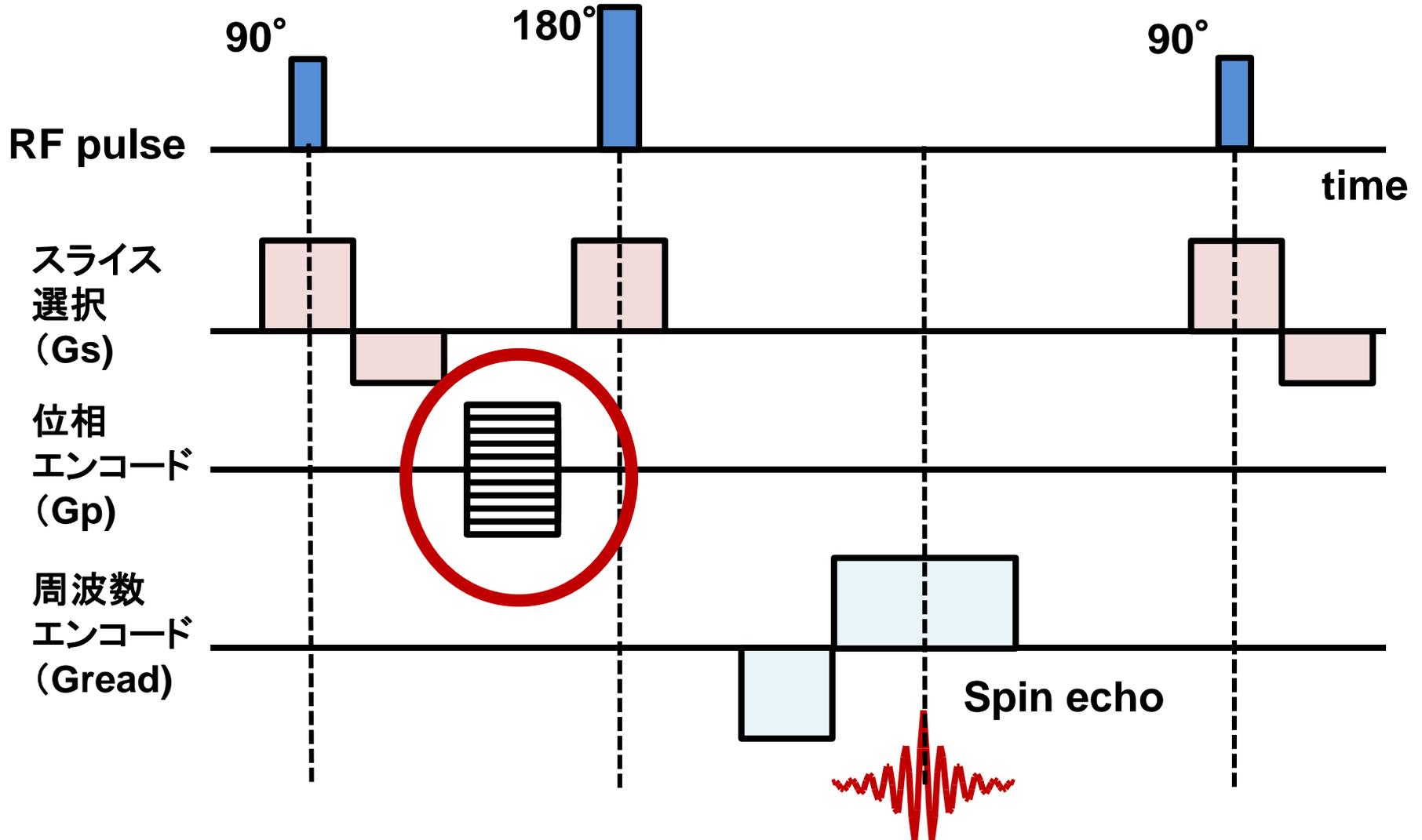
Rephase lobe(+)

Slice

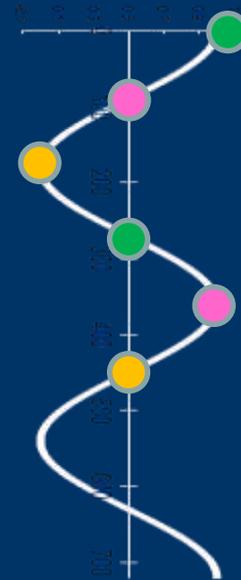
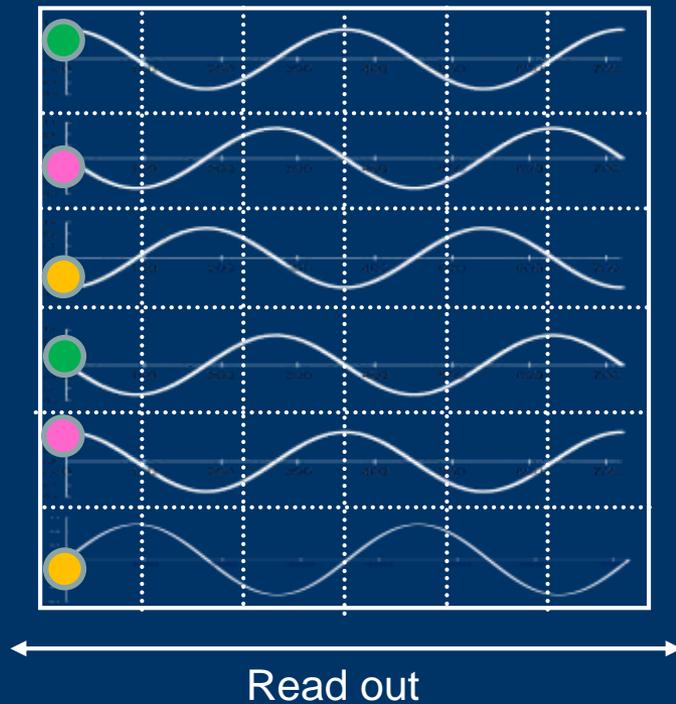


SE法

位相エンコード



受信coilで収集する信号は1次元

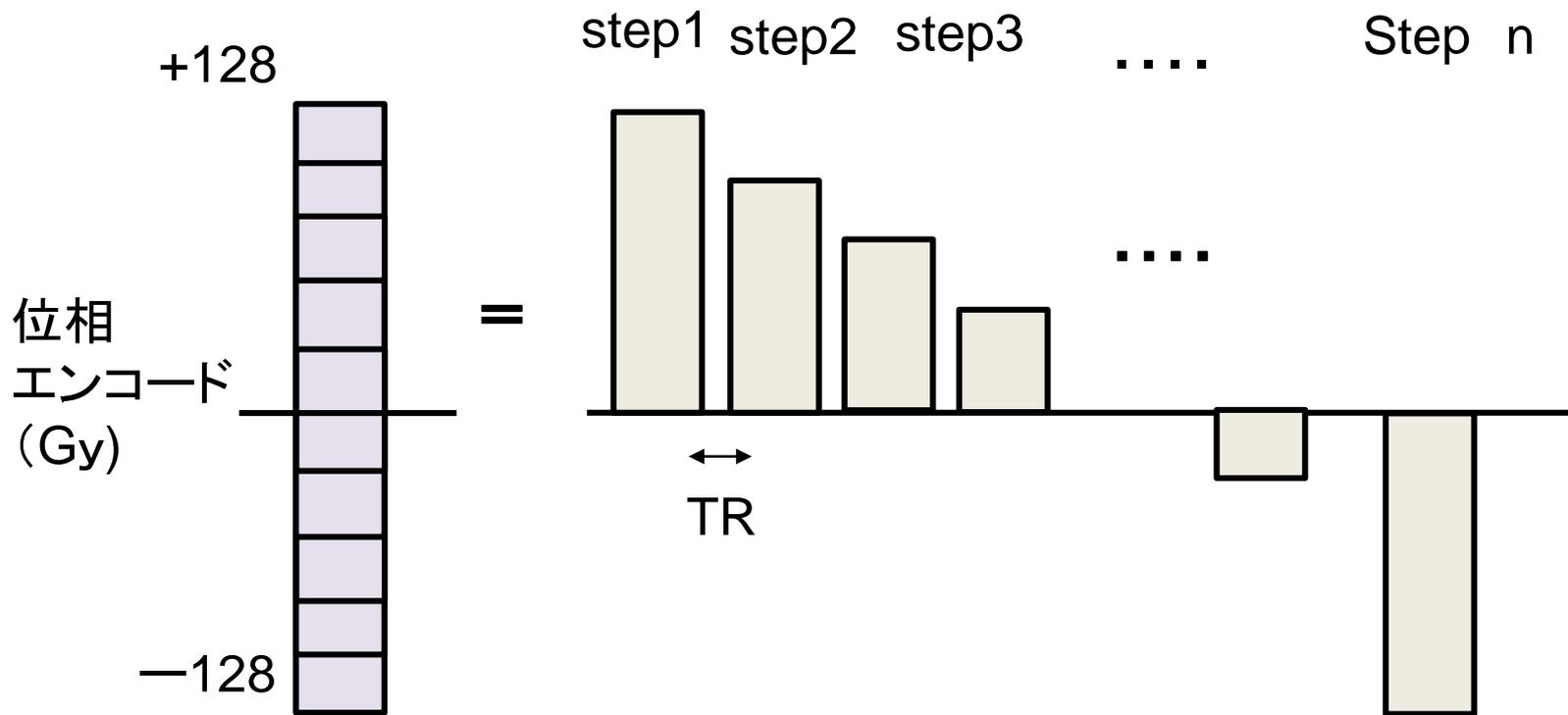


k-space

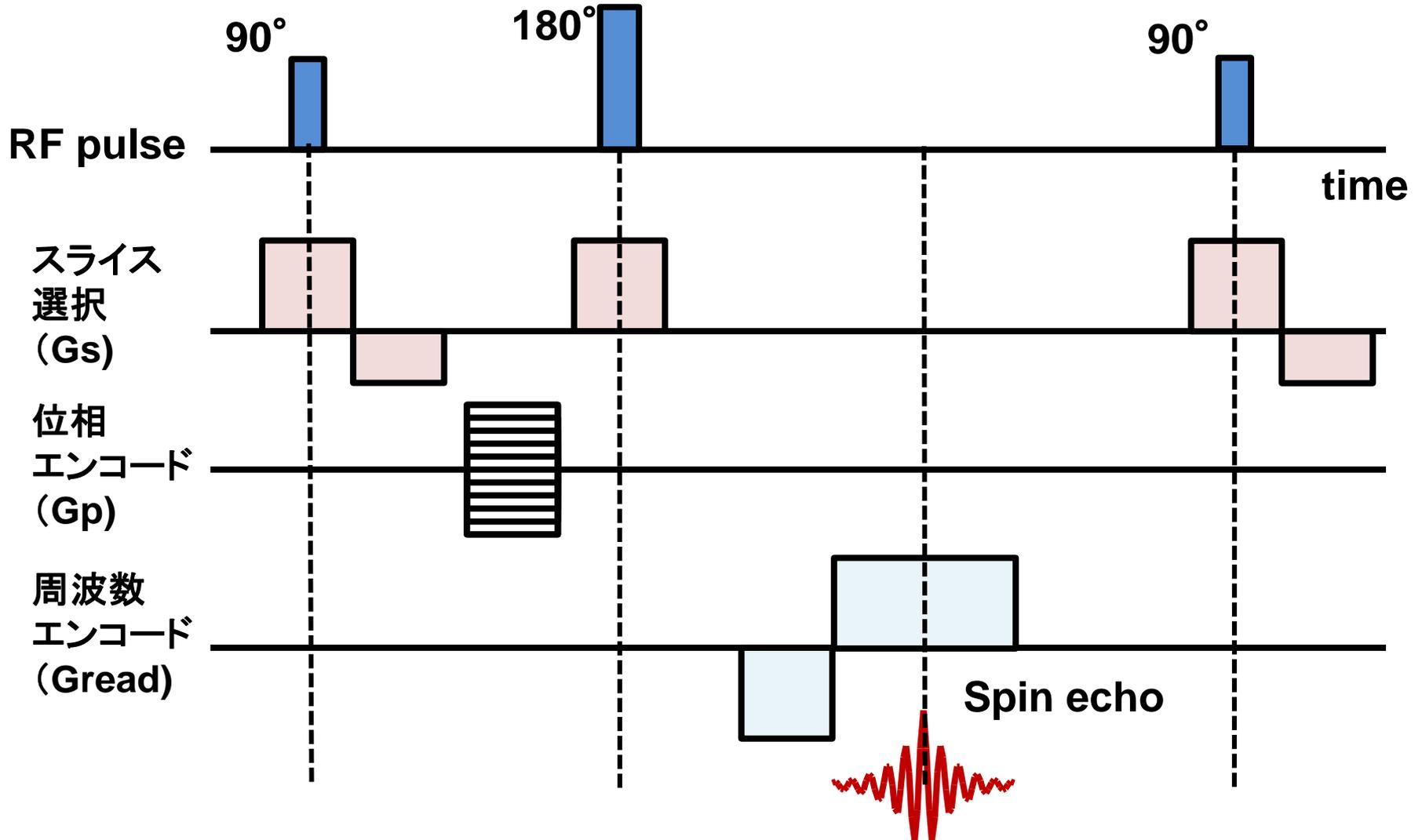


2次元の情報を得るにはTR毎に波のスタートポイントを変えて位相方向に設定したマトリックス数分だけ何回も繰り返して信号を収集する必要がある

正の強い傾斜磁場から負の強い傾斜磁場までそれぞれ異なった傾斜磁場の印加が行われる。仮に位相方向のマトリクスを256と設定した場合は256回の位相エンコードが必要となる。



SE法



まとめ

- 傾斜磁場の働きについてお話
- 周波数と位相を変化させることが大切
- PSDの各ローブは傾斜磁場の印加を表していました
- 正負反転のローブは位相を揃えるために必要



参考文献

- 渡邊城大.パルスシーケンスを理解する.埼玉放射線・Vol.59 No.3 2011.
- 錦成郎.シーケンステーブルを読む(MRシリーズ).日放技 59(6).707-718,2003
- 荒木カ. 決定版 MRI 完全解説. 学研メディカル秀潤社, 2014.
- 室伊三男.現場で役立つMRI読本.ピラールプレス, 2014.