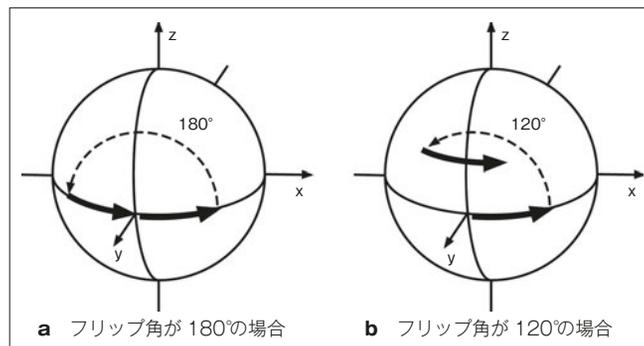


### ■ Hyperecho, TRAPS

- FSE の信号をなるべく変えずに、フリップ角を減らす技術\*1
- 完全にリフォーカスされないことによる信号の低下やコントラストの変化に注意

\*1 3T では FSE : fast spin-echo (TSE : turbo spin-echo) の SAR を減らすため、リフォーカスパルスのフリップ角を小さくする必要がある。

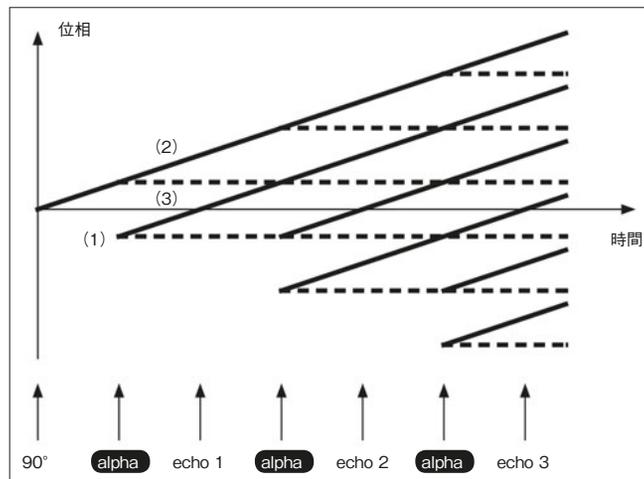
図1 リフォーカスパルスのフリップ角



リフォーカスパルスのフリップ角が正確に 180° であれば、磁場不均一による位相の回転はキャンセルされて信号が完全に回復する。このフリップ角が 180° より小さいと信号が完全には回復しないだけでなく、縦磁化成分を含んだ複雑な動きをする。この動きを直感的にわかりやすく表示したものがフェーズグラフで、スピンエコーの解析に用いられる。

### ■ フェーズグラフ

図2 フェーズグラフ



フェーズグラフは磁化の位相のふるまいを縦軸を位相、横軸を時間として表示したものである。エコー発生の観点からみると、磁化はRFパルスによって、①横磁化のまま、位相が反転する成分、②横磁化のまま、位相も変化しない成分、③縦磁化に変化する成分、の3つに分かれる。図2(前頁下図)で斜めの実線は横磁化を表し、磁場不均一などで位相が回転の様子が斜線として表現される。

アルファ度のRFパルスによって(1)位相が反転する成分(x軸に対して対称の位置にジャンプするもの)、(2)変化しない成分(そのまま斜めに進むもの)、および(3)縦磁化に変化するもの(破線)に分かれる。縦磁化は歳差運動をしなため、破線はすべてx軸に平行である。エコーは反転した磁化がx軸を横切る、つまり位相がゼロになる時に発生する。縦磁化はパルスによって変化しないものと、横磁化に変化するものとに分かれる。

こうして縦磁化を経由して再び横磁化に戻った後にエコーとなったものを指して「スティミュレーテッド エコー」という。正確に180°のパルスではすべての磁化は反転され、その他の成分は発生しない。横磁化はT2によって減衰するが、縦磁化はT1で減衰するため、リフォーカスパルスのフリップ角が小さいときにはコントラストはT2とT1の混ざったものとなる。

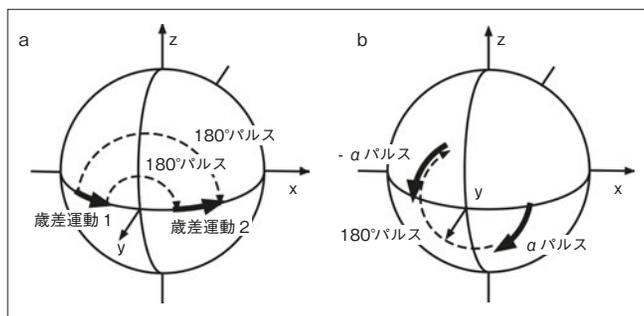
## Hyperecho

### 原理

原則1：1つの180°パルスを挟んで、長さの等しい歳差運動があるとき、全体として1つの180°パルスと同等(図3a)。

原則2：1つの180°パルスを挟んで、フリップ角が同じで符号が逆のパルスがあるとき、全体として1つの180°パルスと同等(図3b)。

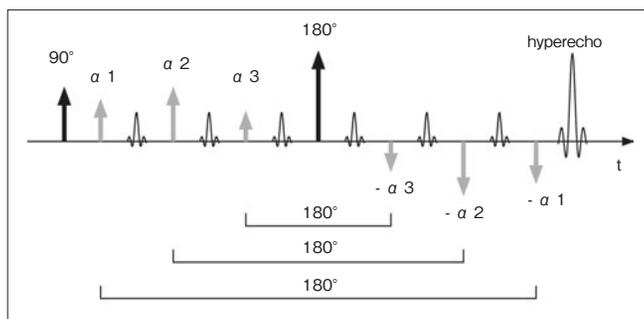
図3



### Hyperecho :

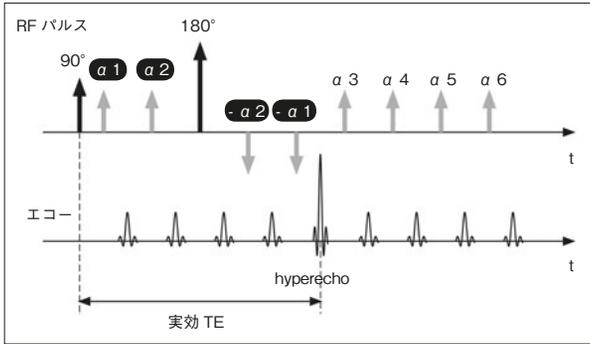
上の2つの原則を1つの180°パルスの前後に繰り返して適用すると、任意のパルス列による影響を完全にリフォーカスすることができる。これは前項のフェーズグラフで示される複雑な状態から考えると驚くべき結果と言える。

図4



## Hyperecho を使った FSE

図5



まず、通常の  $180^\circ$  パルスを使った FSE に対して、リフォーカスパルスのフリップ角を小さくする。SAR は当然これによって減少するが、同時にエコーの大きさも減少する。したがって S/N が低下し、コントラストも本来の T2 強調コントラストから変化する。

ここで実効 TE の半分の位置に  $180^\circ$  パルスを置き、hyperecho の理論に従ってその前後のフリップ角を決めると実効 TE の場所、すなわち k-space の中央に純粋なスピネコーが発生する。画像のコントラストと S/N は k-space 中央のデータで決められるため、hyperecho によってこの両方が回復できることになる。ただしその他のエコーの大きさは回復されないため、空間分解能は低下する。

## TRAPS ⇒ TRAnSition between Pseudo Steady states

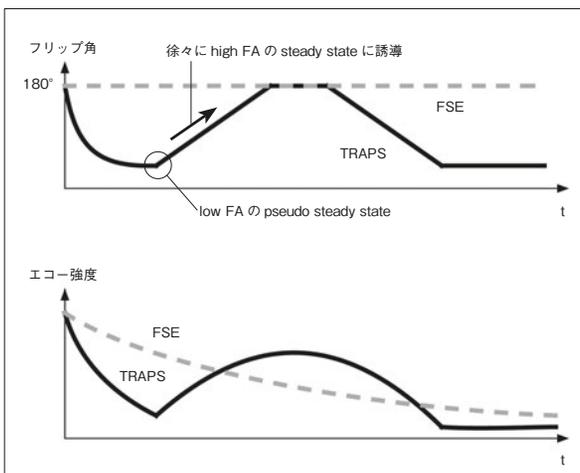
フリップ角を徐々に変化させることによって生じる pseudo steady state とよばれる状態を利用することで、SAR の低い高 S/N 比の画像を得る方法のこと

### 原理

- CPMG でも同じフリップ角を繰り返して用いると、TrueFISP と同様の一種の steady state に達する。
- この状態でも信号は T2 によって減衰するので、真の意味での steady state ではなく、pseudo steady state と呼ばれる。
- いったんこの pseudo steady state に入ると、フリップ角を少しずつ変化させても新しいフリップ角での steady state に追従する。
- TRAPS では  $90^\circ$  パルスの後、できるだけ短い時間で steady state に持ち込み、k-space の中心付近で信号が最大になるようにフリップ角を変化させる。

## TRAPS sequence

図6



$180^\circ$  でスタートした後、小さなフリップ角(例えば  $60^\circ$ )での pseudo steady state に導入する。その後徐々にフリップ角を増大させて k-space 中心付近では  $180^\circ$  にし、再び徐々に減少させる。通常の  $180^\circ$  パルスを用いた FSE と比較して、フリップ角が小さいセグメントでは信号も小さいが、k-space 中心付近では通常のスピネコーと同等な信号が得られる。この間、信号の減衰は T1 と T2 の混ざったものとなり、通常の FSE よりも TE が短めのコントラストとなり、また S/N 比もむしろ高めとなる。ただし hyperecho と同様、k-space の周辺部では信号が低くなるため、空間分解能は低下する。