

今からでも大丈夫 パルスシーケンス2

SE法 GRE法の基礎

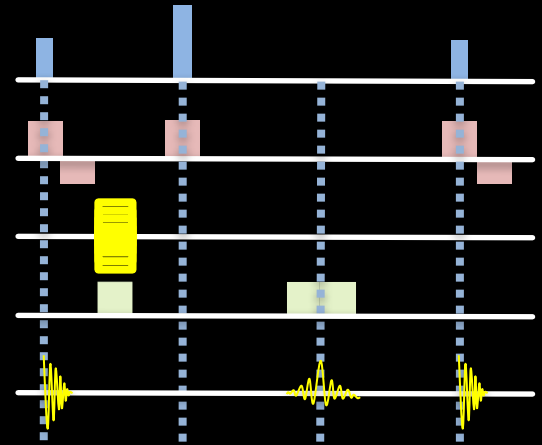
東海大学医学部付属病院 上藁博史

MR画像を得るには？



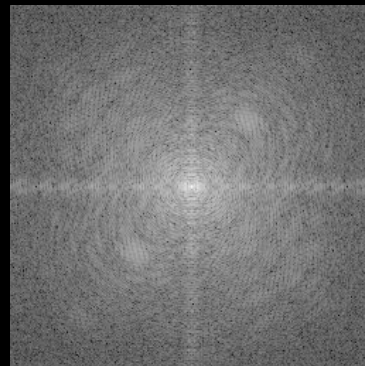
RF励起パルス

エコー信号を取得

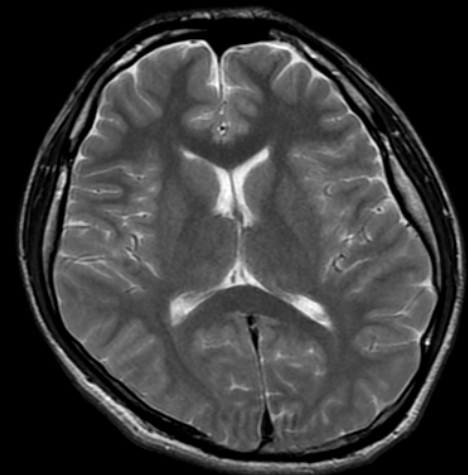


今日のテーマ

k空間に充填



フーリエ変換



エコー信号取得には 何種類も方法がある

- ✓ Spin Echo法
- ✓ Fast Spin Echo法
- ✓ Gradient Echo法
- ✓ Fast Gradient Echo法
- ✓ SSFP法
- ✓ Time of Flight法
- ✓ Phase Contrast法

⋮

多くの撮像法がある

本日の内容

1. Spin Echo法を理解する

2. Gradient Echo法を理解する

Spin Echo法とは？

簡単にいえば…

Spin Echo信号を使って画像を作る方法である。

Spin Echo法を理解する

1-1 Spin Echo信号を得る

1-2 Spin Echo法のコントラスト

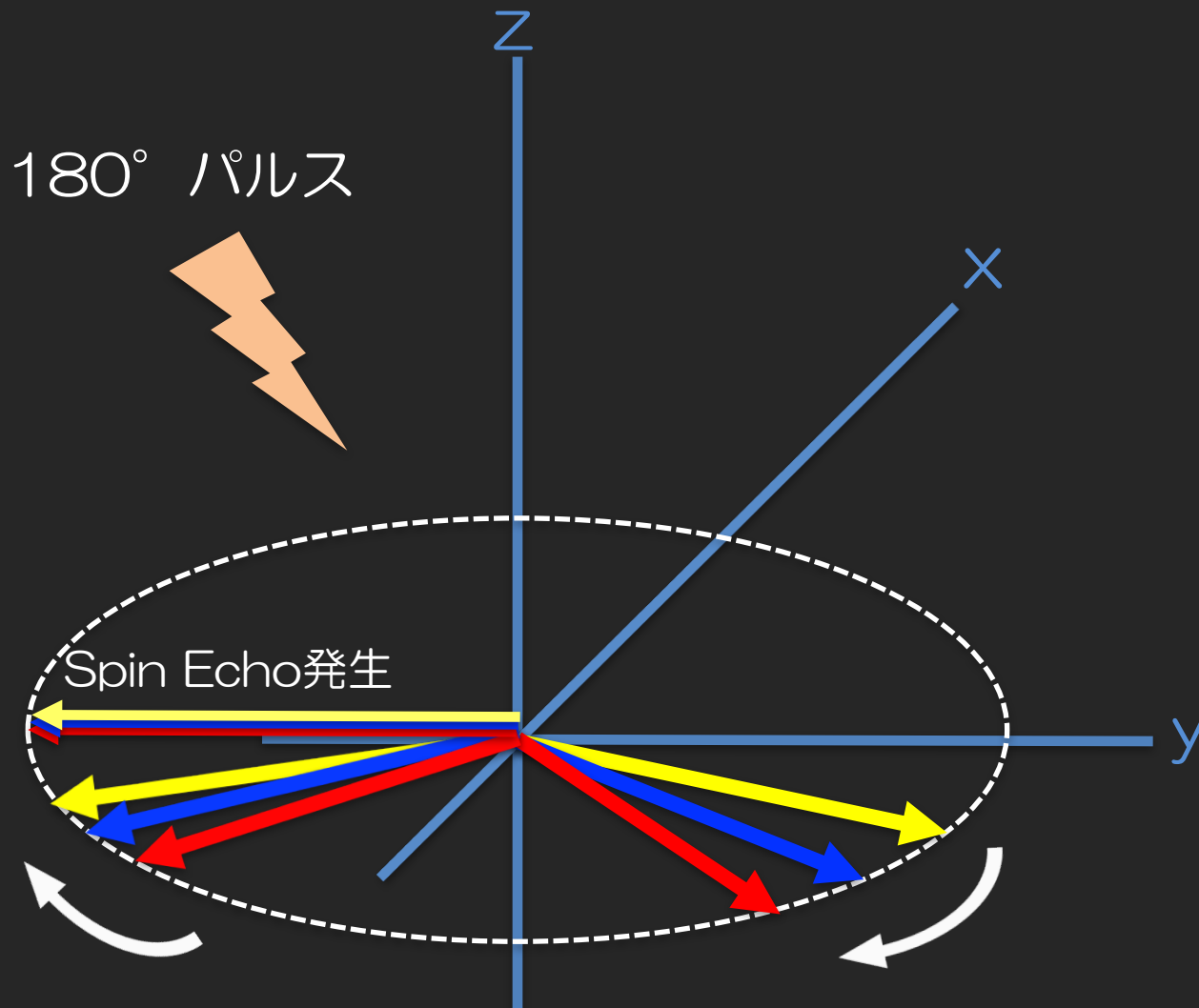
1-3 Fast Spin Echo法

Spin Echo信号を得る

教科書にはよくこのようなことが書かれています

1. 90° 励起パルスを印加し、正味の磁化ベクトルを横平面に倒す。
2. $T2^*$ による位相分散により、すぐに信号が減衰し、 180° パルスを印加する。
3. 180° パルスにより、分散した位相が再収束し、Spin Echo信号が発生する。

Spin Echo信号を得る



Spin Echoの信号発生



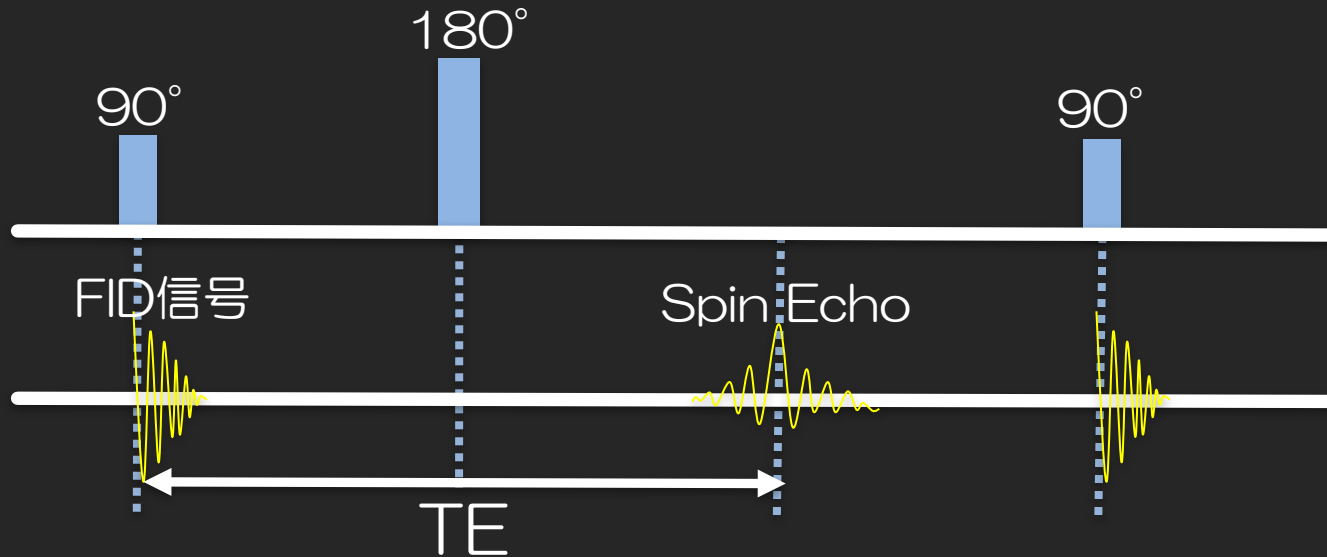
Spin Echo法を理解する

1-1 Spin Echo信号を得る

1-2 Spin Echo法のコントラスト

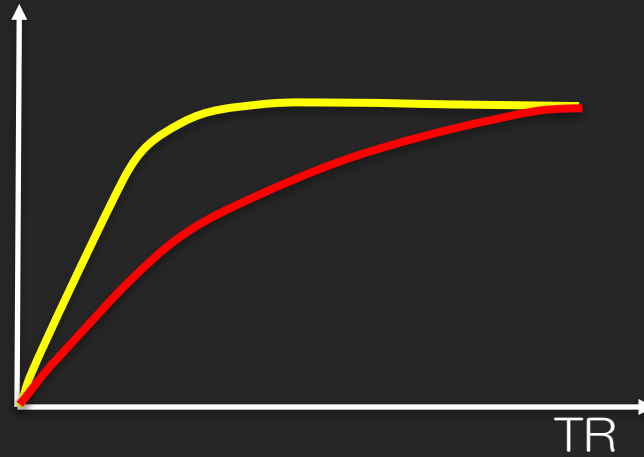
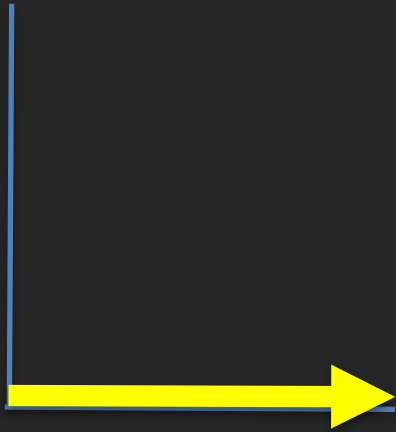
1-3 Fast Spin Echo法

Spin Echo法のコントラスト

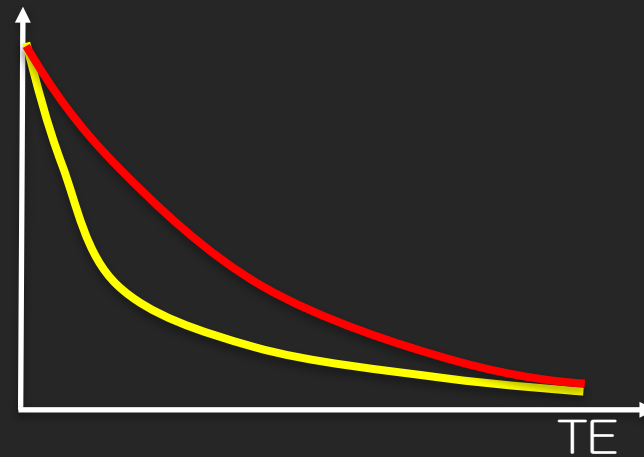
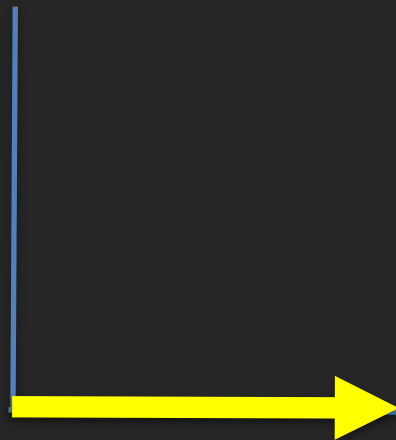


TEが経過した時点で位相の揃った大きな横磁化をもつ組織は高信号（白）となり、横磁化が小さな組織は低信号（黒）となる。

2つの組織の緩和

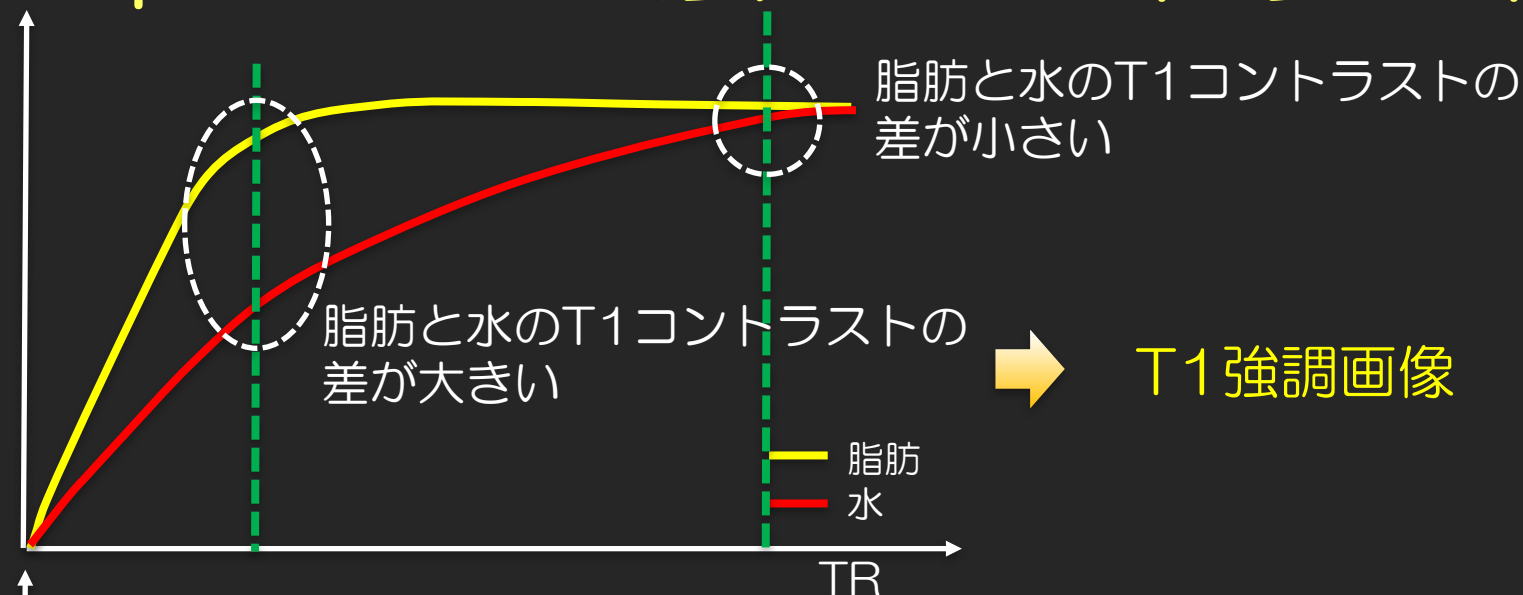


縦緩和



横緩和

Spin Echo法のコントラスト



T1強調画像



T2強調画像



プロトン密度強調画像

Spin Echo法のコントラスト まとめ

	T1強調画像	T2強調画像	プロトン密度強調画像
TR	短い	長い	長い
TE	短い	長い	短い

- ✓ Spin Echo法のコントラストはTRとTEの設定により決定される

長いTR：3000msec以上

短いTR：300～700msec

長いTE：60msec以上

短いTE：10～25msec

Spin Echo法の利点と欠点

180° パルスを印加することで磁場の不均一性を打ち消せる



磁化率の変化に強い撮像法



磁場の不均一は画像の歪みとなって現れるため、その影響をキャンセルできることは画質の良さに直結する

一枚の画像を得るのに時間がかかる



撮像時間を短縮したい



Fast Spin Echo法

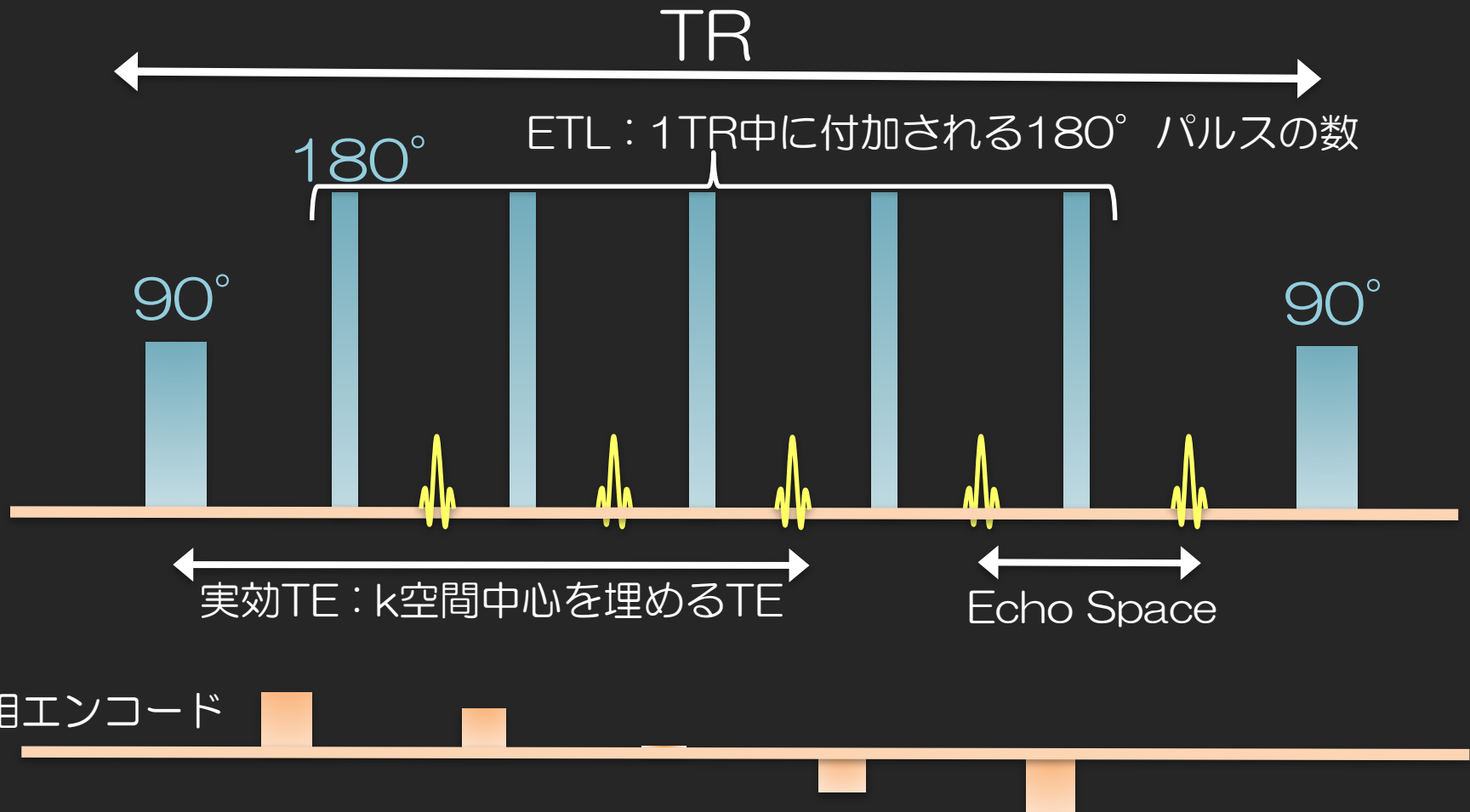
Spin Echo法を理解する

1-1 Spin Echo信号を得る

1-2 Spin Echo法のコントラスト

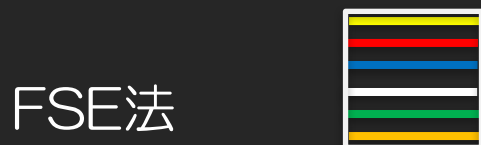
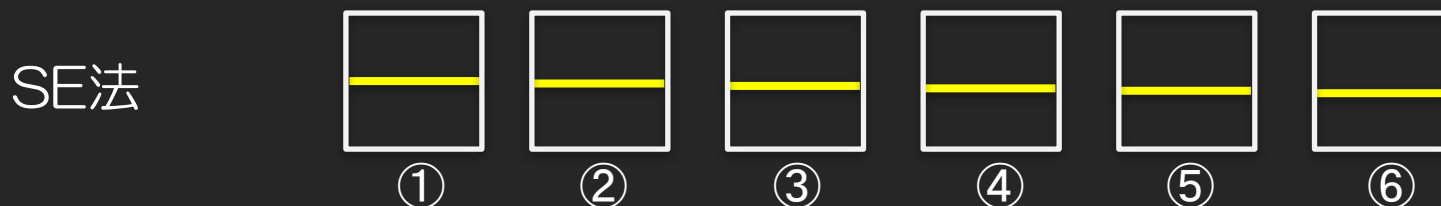
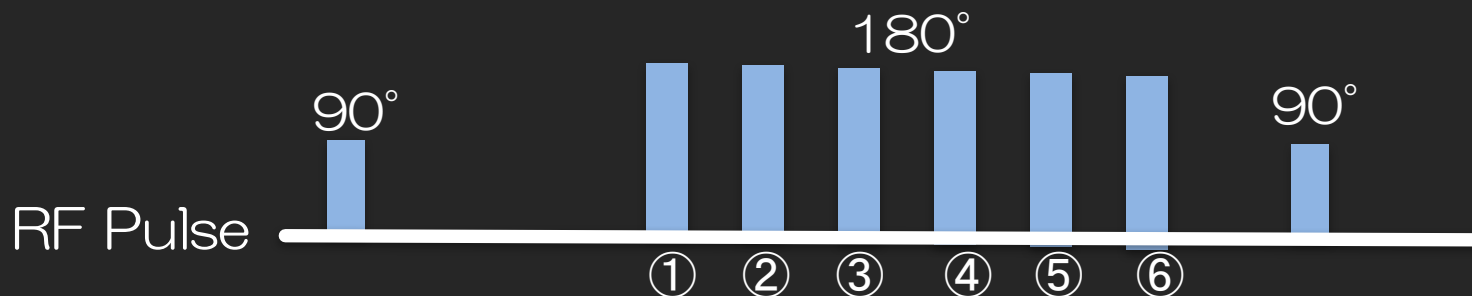
1-3 Fast Spin Echo法

Fast Spin Echo法

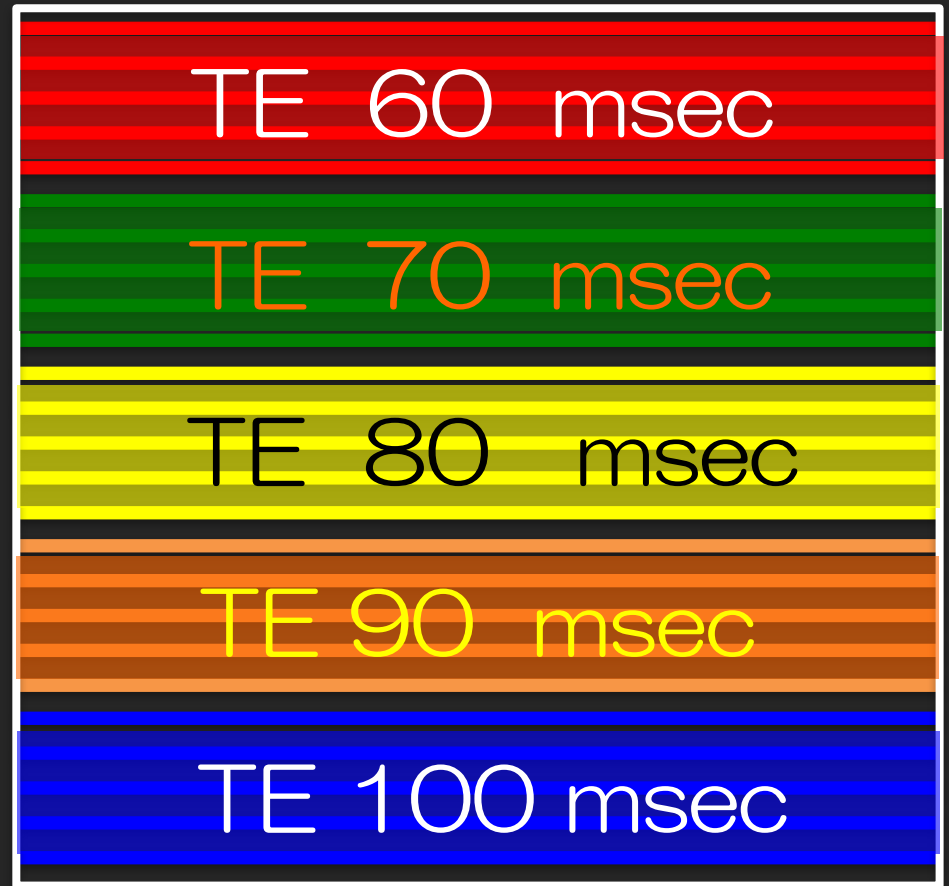
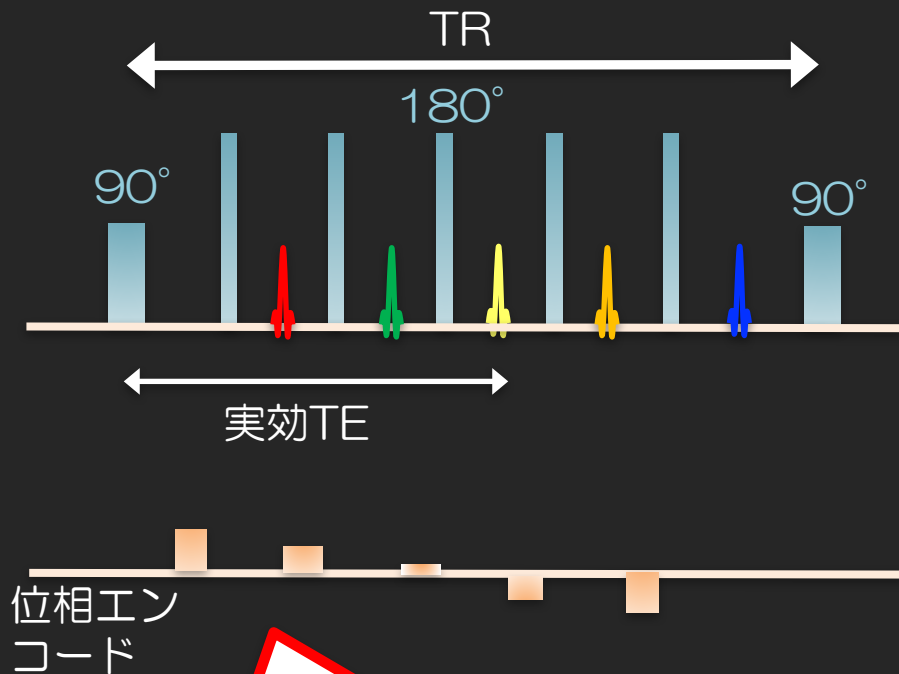


Spin Echo法とFast Spin Echo法の違いは？

SE法とFSE法の決定的な違いはTR内の 180° パルスの数ではなく、 180° パルスによって発生したエコー信号のk空間充填の違い。



Fast Spin Echo法



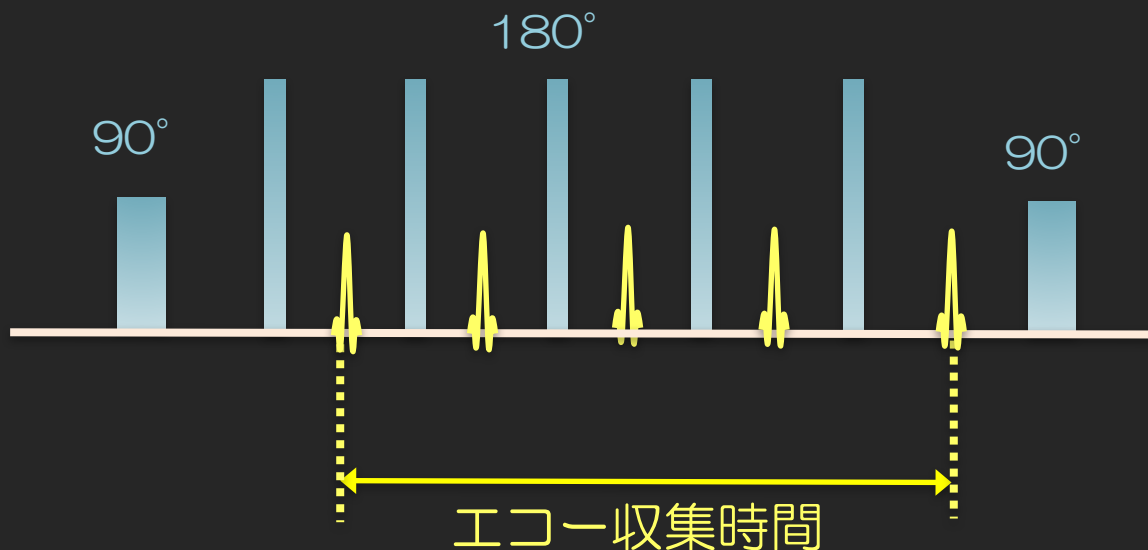
k空間

例えば・・・
実効TE：80msec
ETL：5
Echo Space：10msec

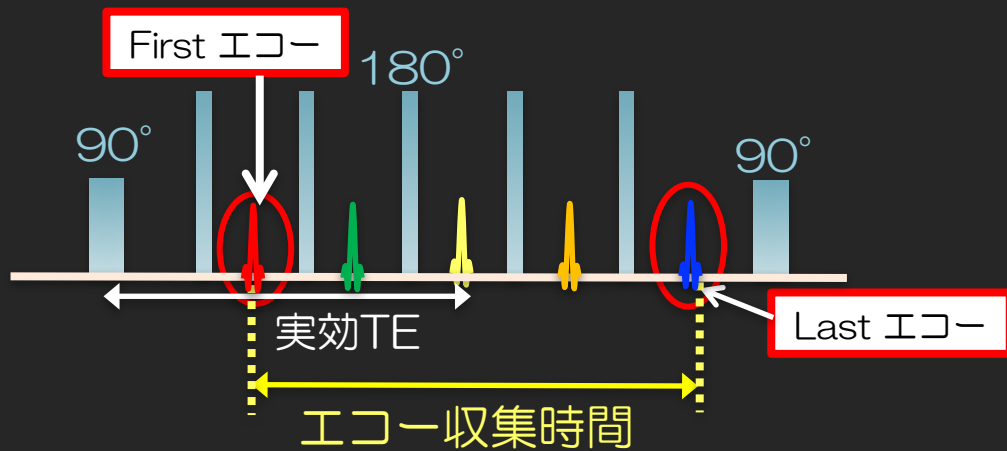
Fast Spin Echo法とエコー収集時間

エコー収集時間って…

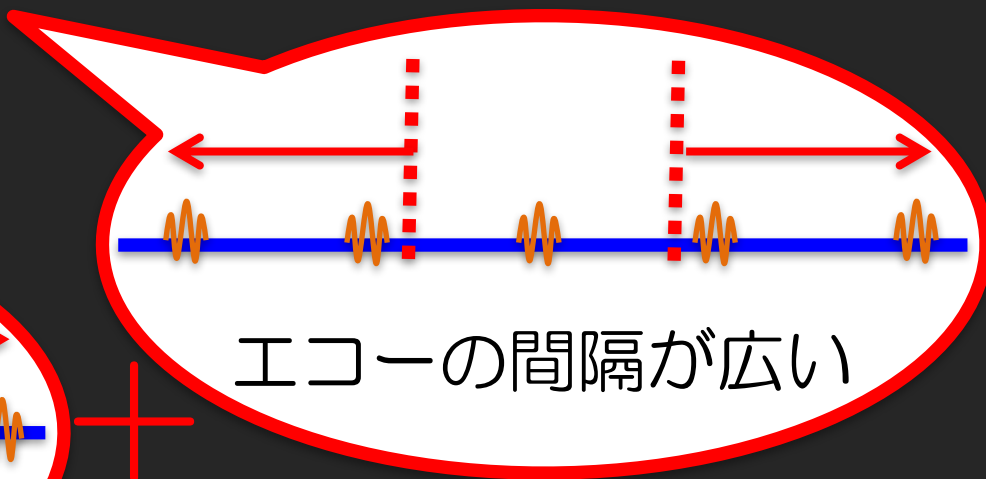
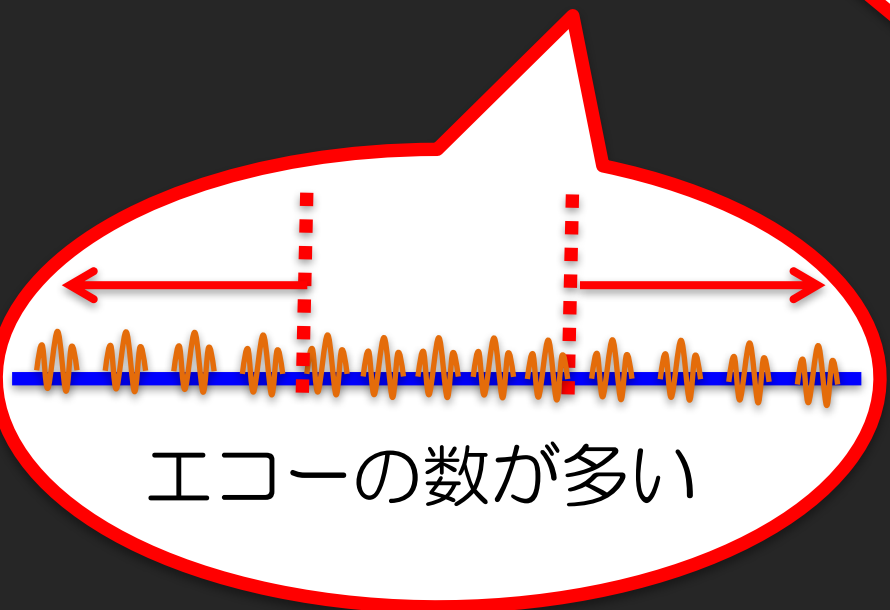
- ❖ エコーを収集している時間（当たり前ですが…）
- ❖ 収集時間が長ければアーチファクトの原因となる



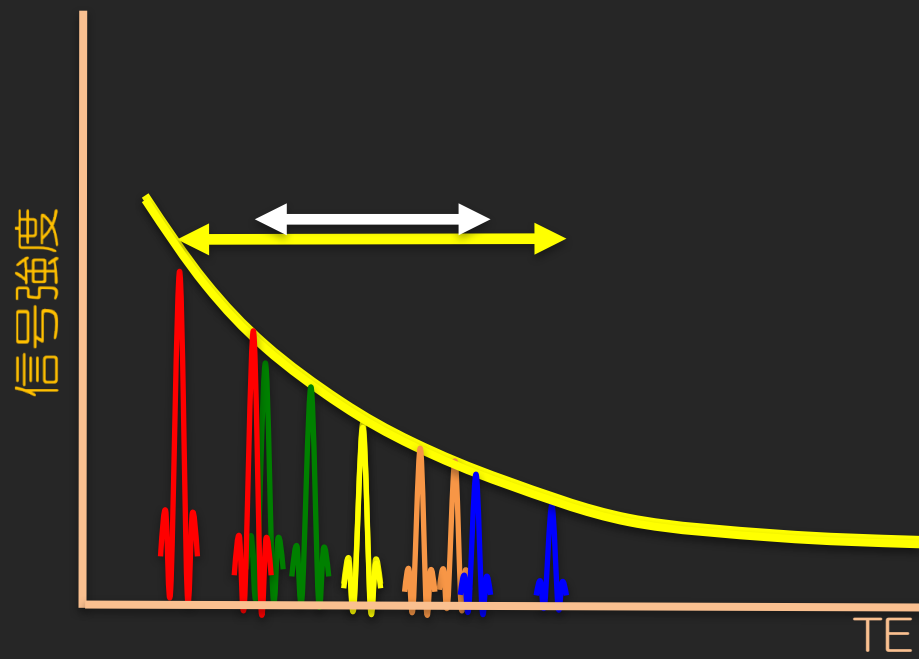
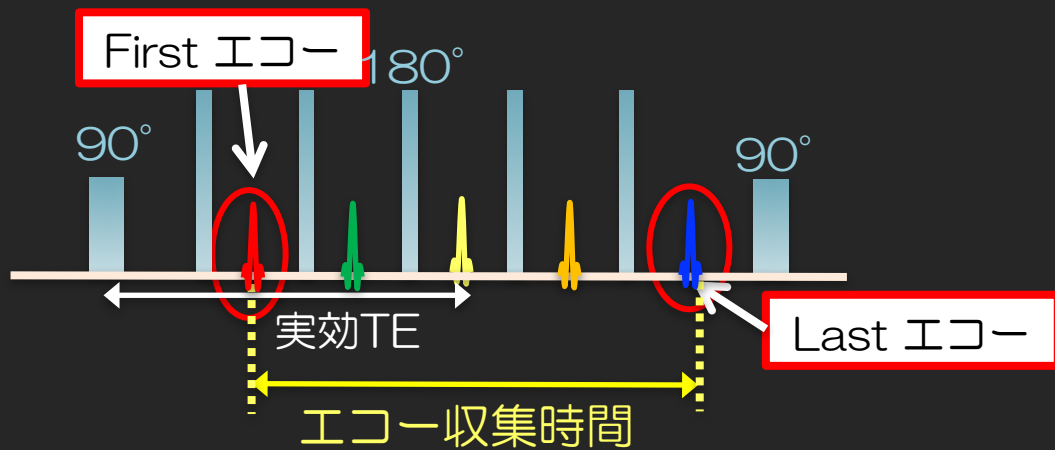
収集時間が長いって??



FirstエコーとLastエコー
のTEの差が大きくなる



First-Last TEの差が大きいと…

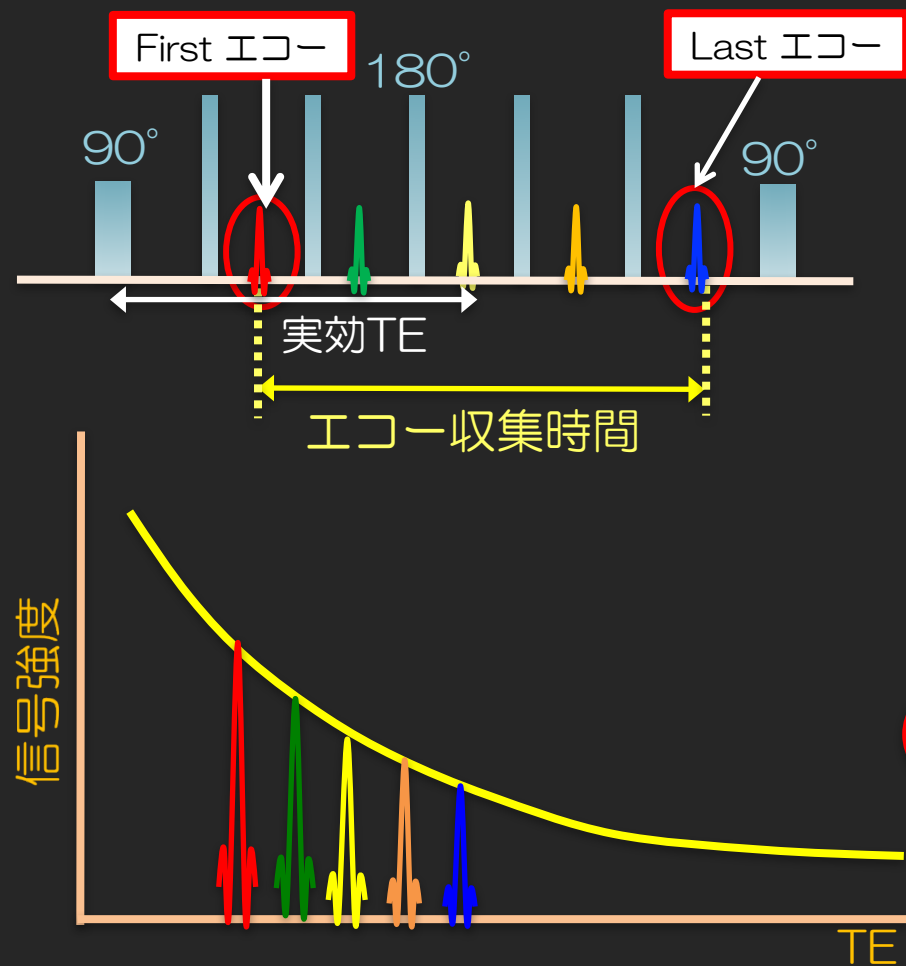


FirstエコーとLastエコー
のTEの差が大きくなる



FirstエコーとLastエコー
の信号値の差が大きくなる

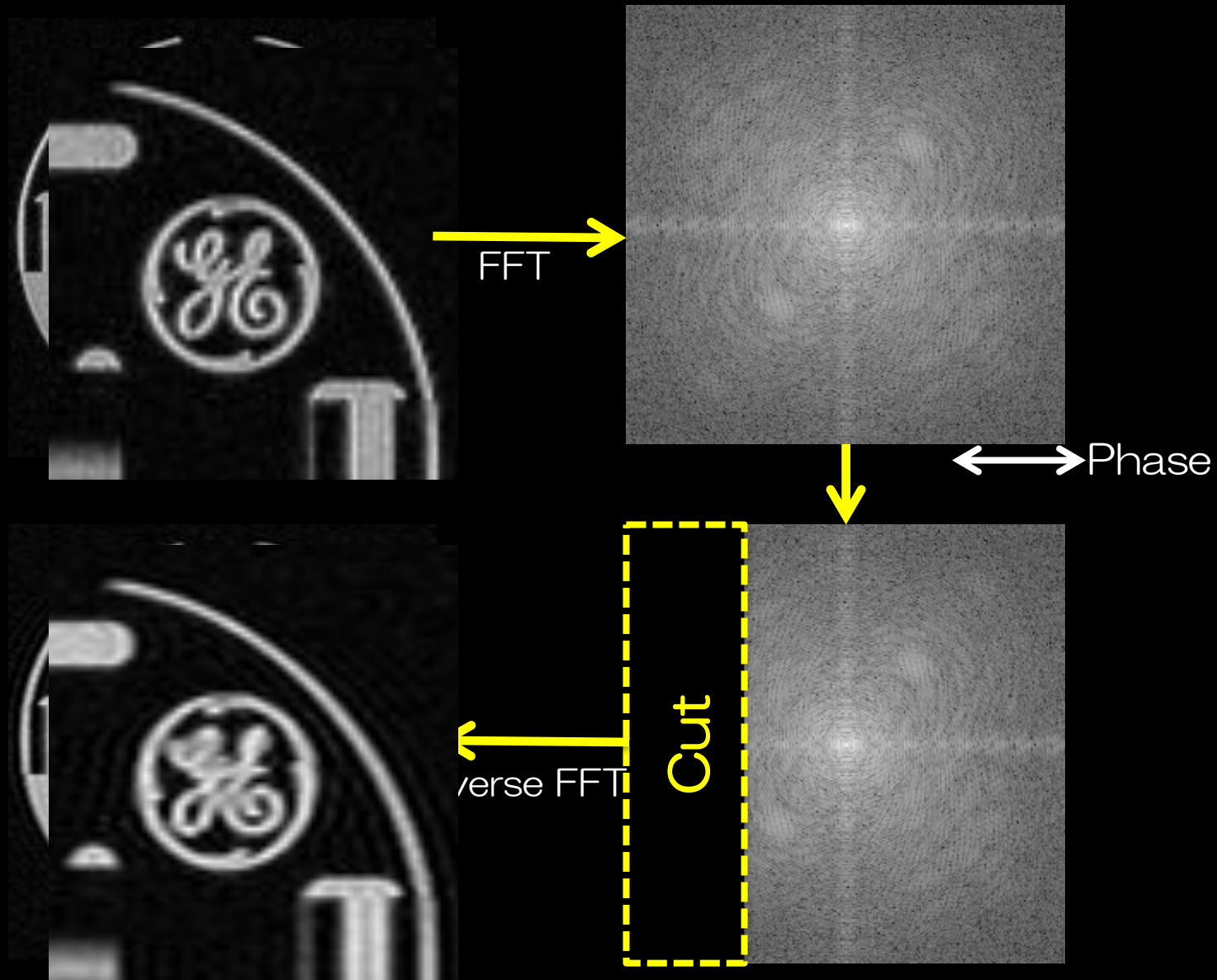
First-Last TEの差が大きいと…



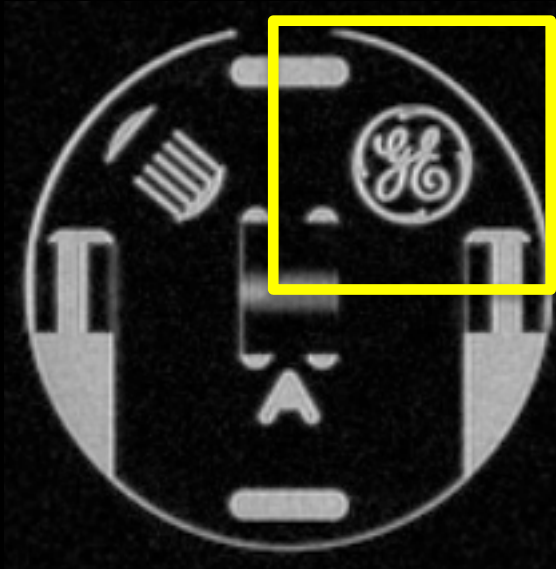
ブラーリング (Blurring)

- 画像の輪郭のボケをさす。
- FSE法は信号強度の異なるデータでk空間画像が作成され、高周波成分の信号強度が低下することで画像がボケる。

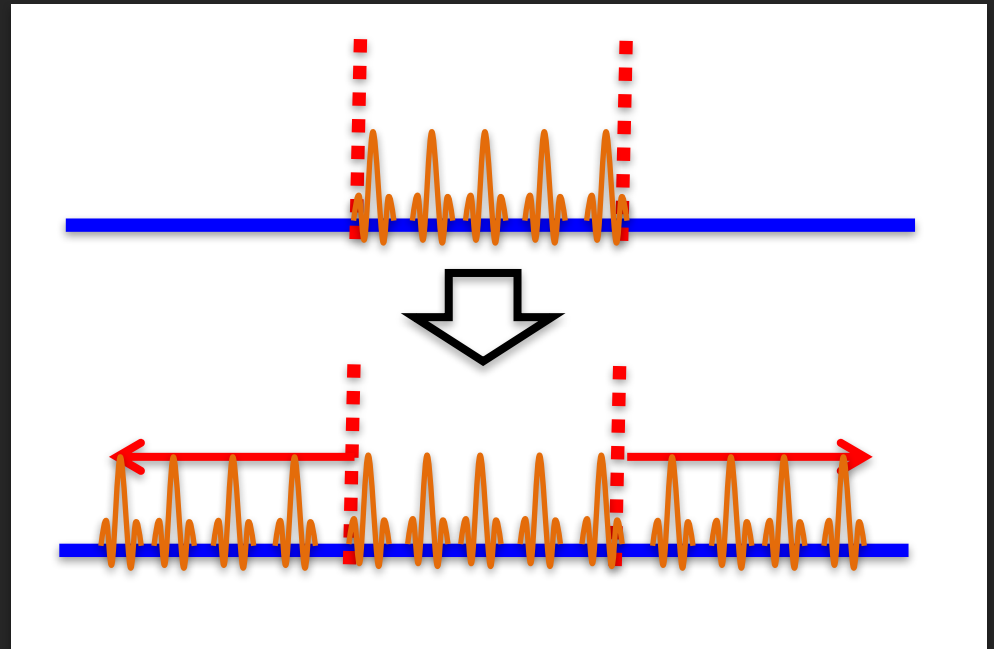
ファントム画像を例に



ETLを変化させたら



上の画像をFSE法で撮像。黄枠の部分を視覚的に比較する。



Sequence	: FSE-XL
TR	: 4000ms
effTE	: 103ms
ETL	: 16, 64
BW	: 25kHz
NEX	: 1

ETLを変化させたら

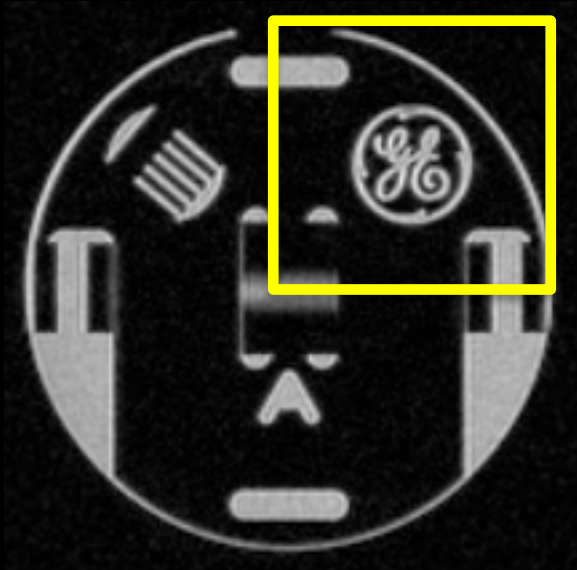


Sequence : FSE-XL
TR : 4000ms
effTE : 103ms
ETL : 16
BW : 25kHz
NEX : 1

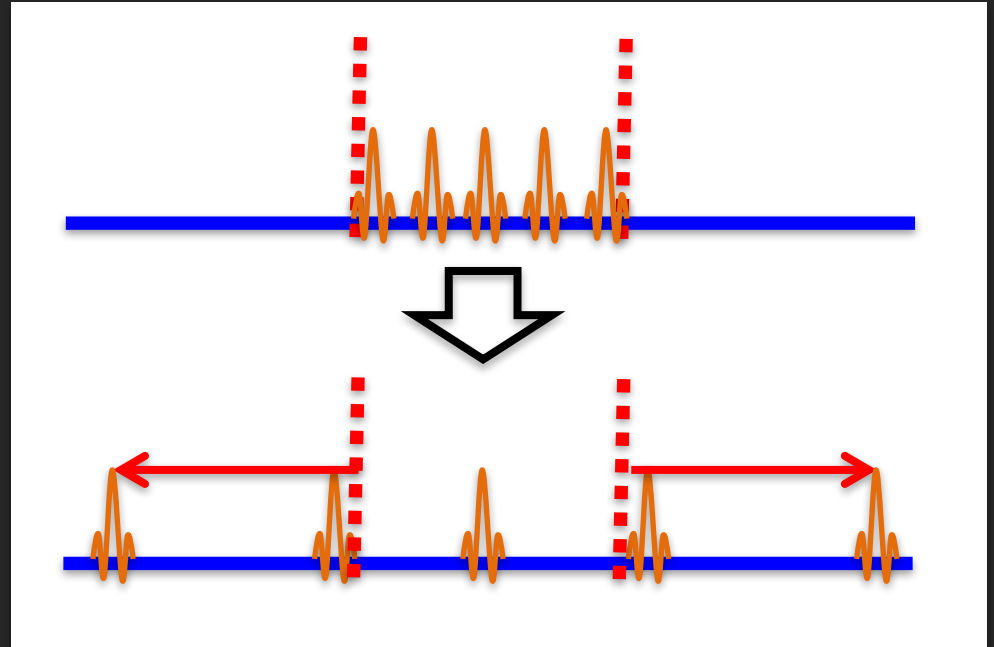


Sequence : FSE-XL
TR : 4000ms
effTE : 103ms
ETL : 64
BW : 25kHz
NEX : 1

Echo Spaceを変化させたら



上の画像をFSE法で撮像。**黄枠**の部分を目視的に比較する。



Sequence	: FSE-XL
TR	: 4000ms
effTE	: 103ms
ETL	: 16
Echo Space	: 6.6、14.3 msec
NEX	: 1

Echo Spaceを変化させたら



Sequence : FSE-XL
TR : 4000ms
effTE : 102ms
ETL : 16
Echo Space : 6.6 msec
NEX : 1



Sequence : FSE-XL
TR : 4000ms
effTE : 102ms
ETL : 16
Echo Space : 14.3 msec
NEX : 1

SE法とFSE法 まとめ

1. Spin Echo信号は2つのRFパルスを用いて得られる信号である。
2. Spin Echo法のコントラストはTRとTEによって決定される。

SE法とFSE法 まとめ

3. Fast Spin Echo法は1TRに複数のエコーを収集することで撮像時間を短縮できる。
4. Fast Spin Echo法は1つのk空間画像の中に異なるTEの信号が混在する撮像法である。
5. SE法にはないパラメータ (ETLやEcho Space等)があり、ブラーリング等のアーチファクトが認められ、若干コントラストが異なる。

本日の内容

1. Spin Echo法を理解する

2. Gradient Echo法を理解する

Gradient Echo法を理解する

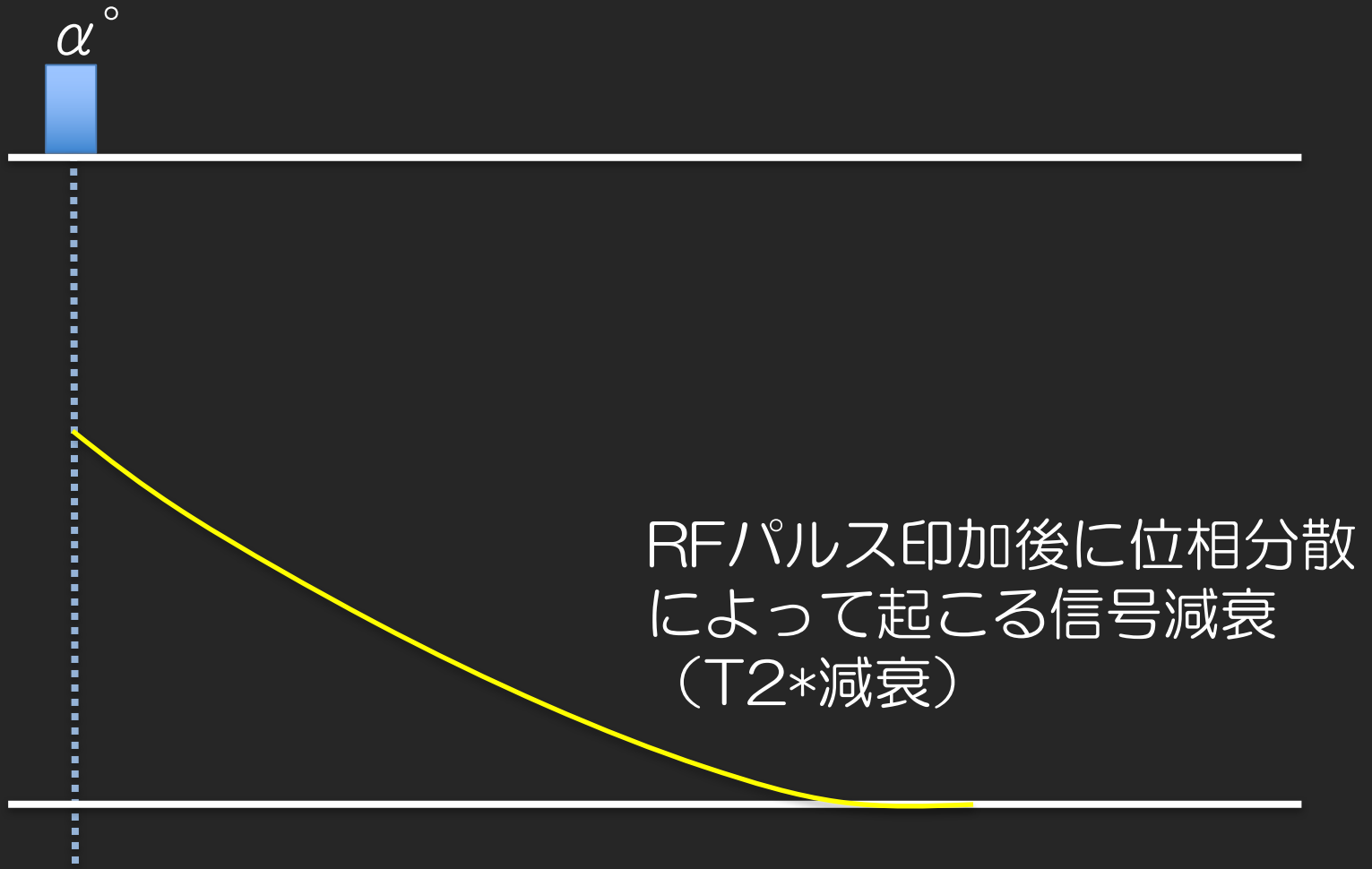
1-1 Gradient Echo信号を得る

1-2 Gradient Echo法のコントラスト

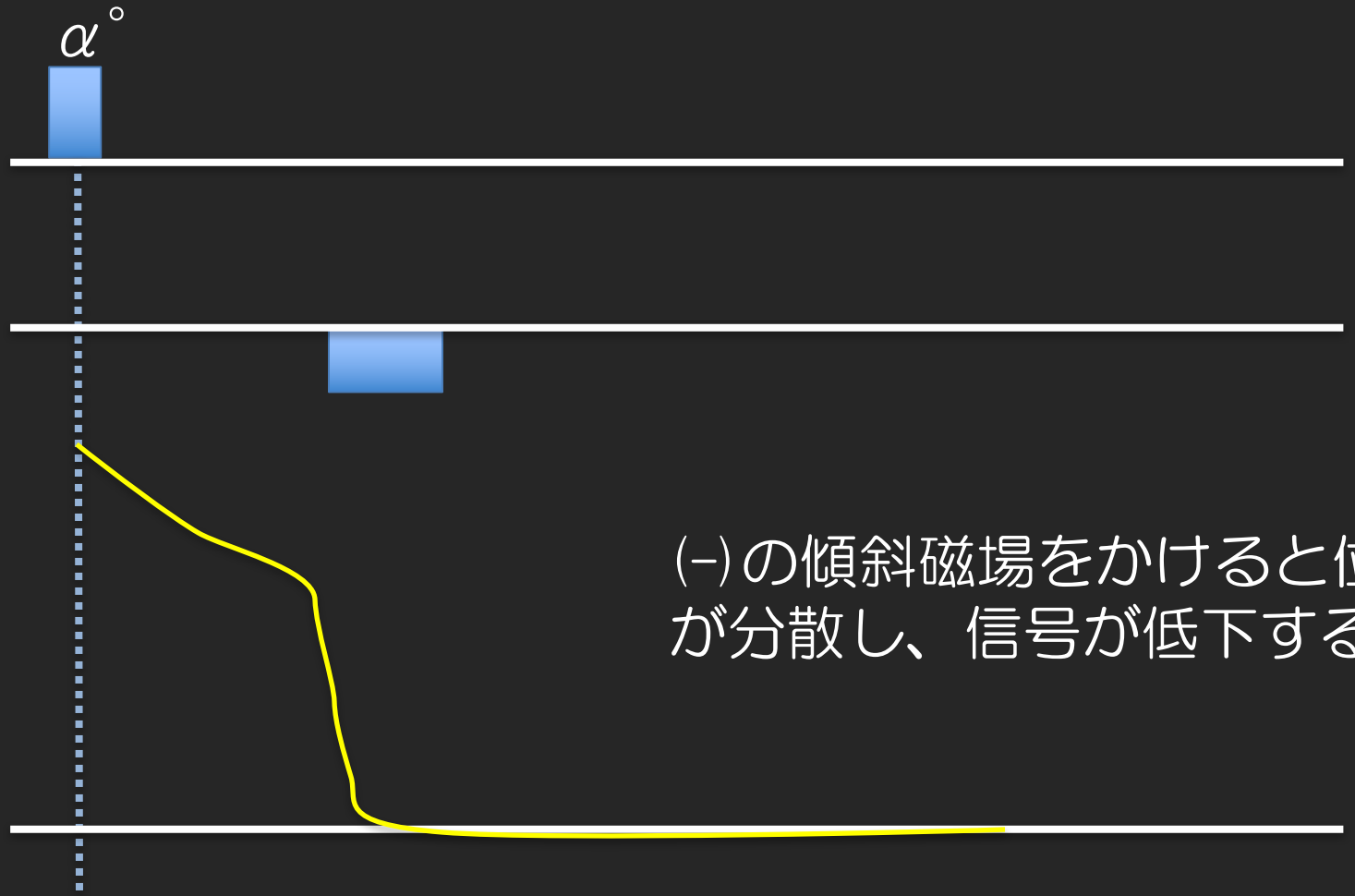
Gradient Echo法とは

傾斜磁場を用いてFID信号を再収束させ、画像化する撮像法

FID（自由誘導減衰）信号

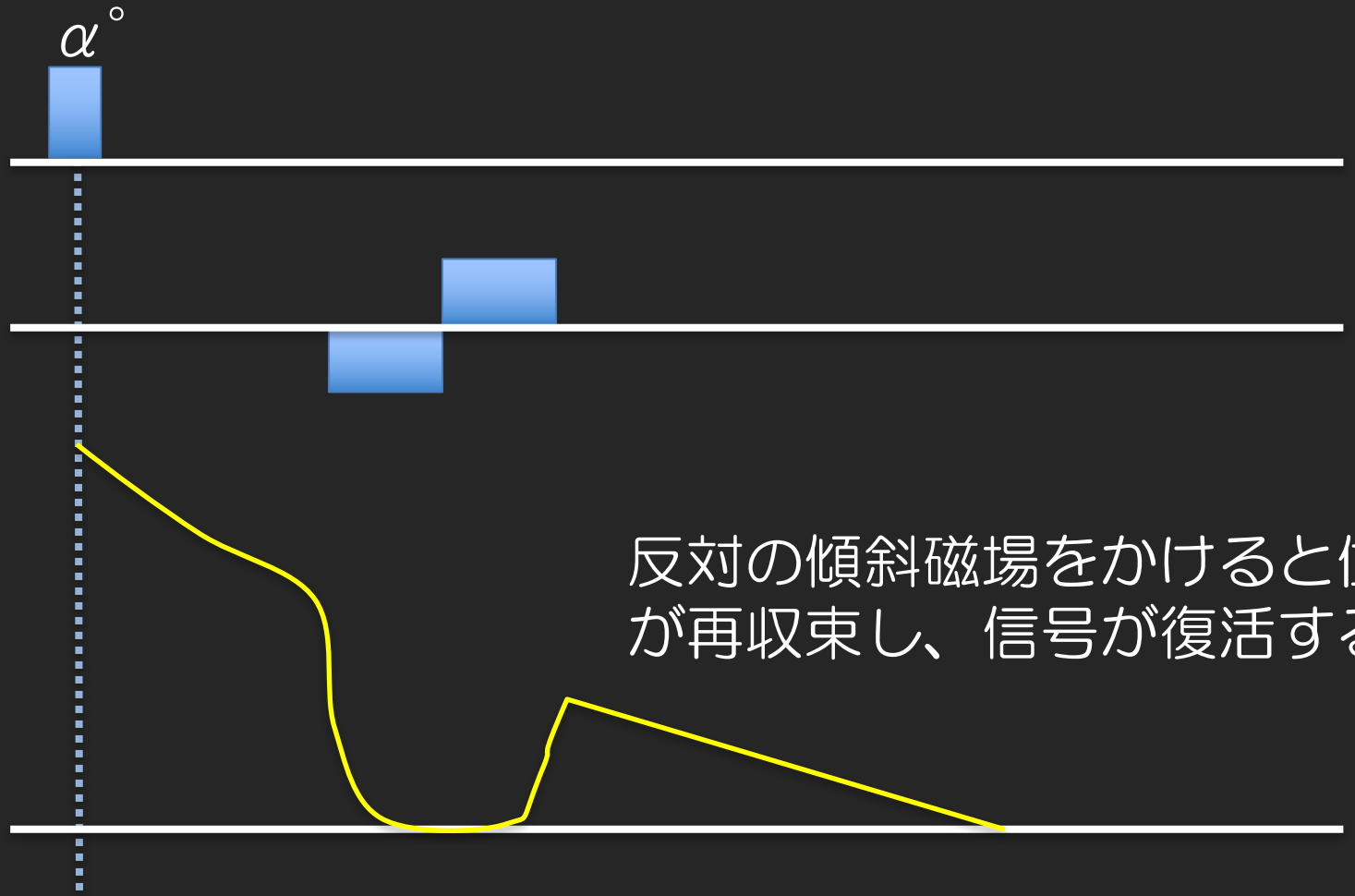


FID（自由誘導減衰）信号

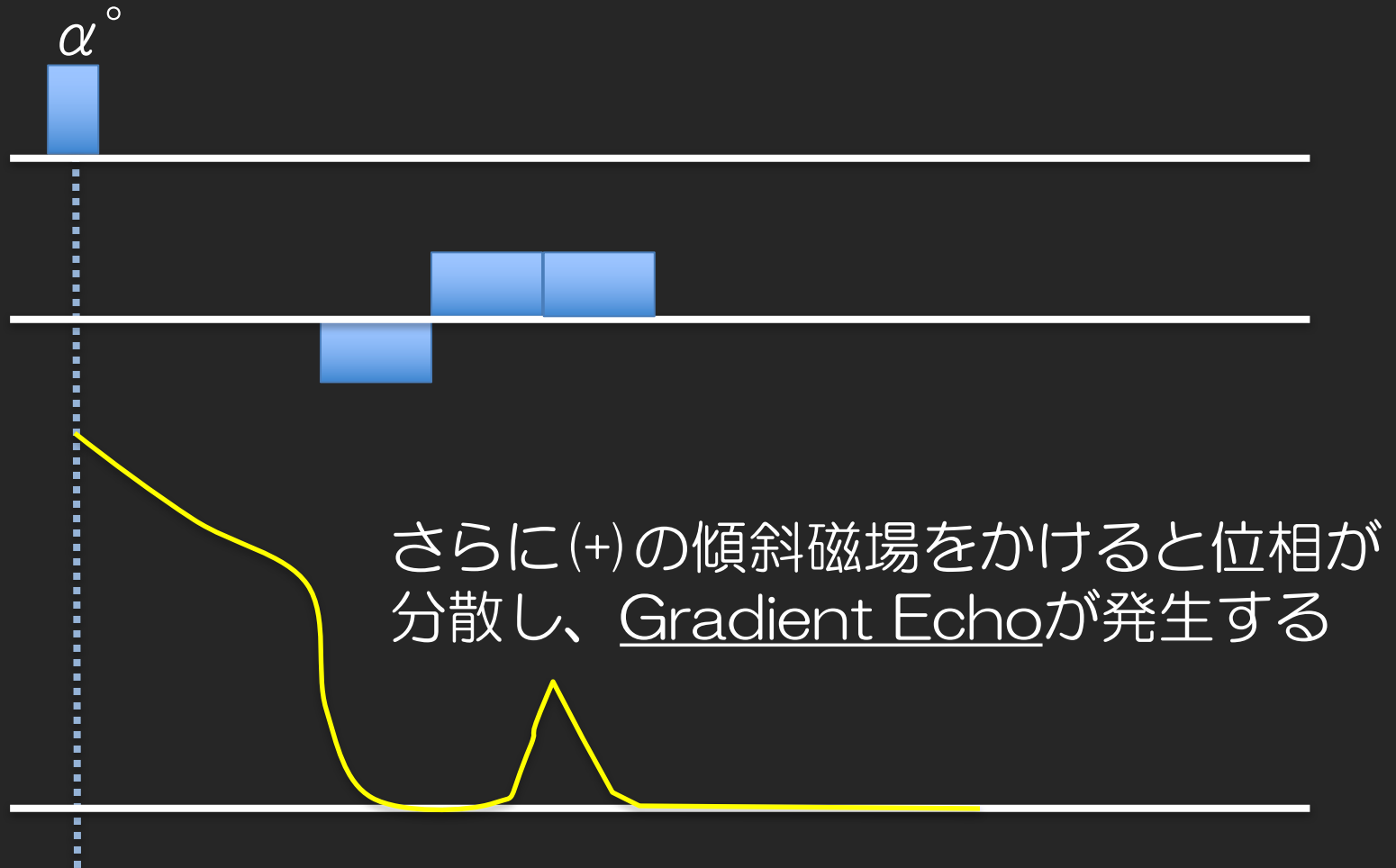


(-) の傾斜磁場をかけると位相が分散し、信号が低下する

FID（自由誘導減衰）信号



FID（自由誘導減衰）信号



GRE法の特徴（SE法との比較から）

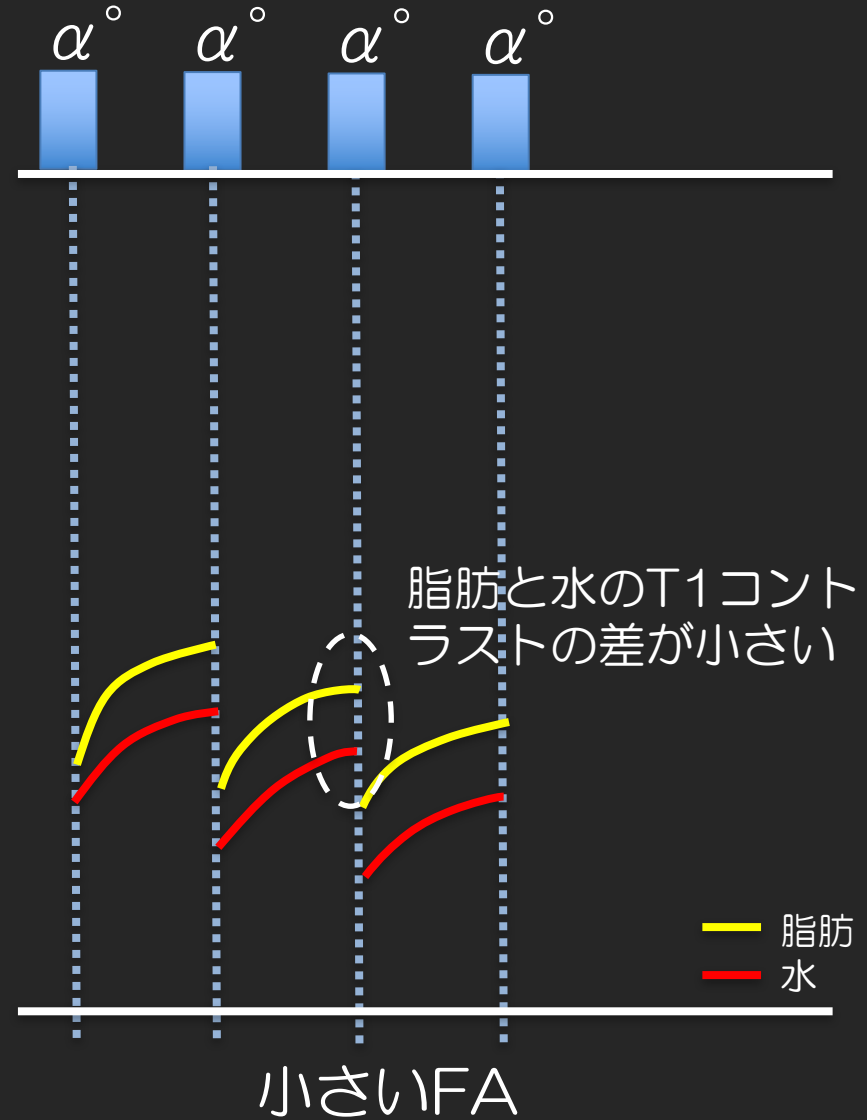
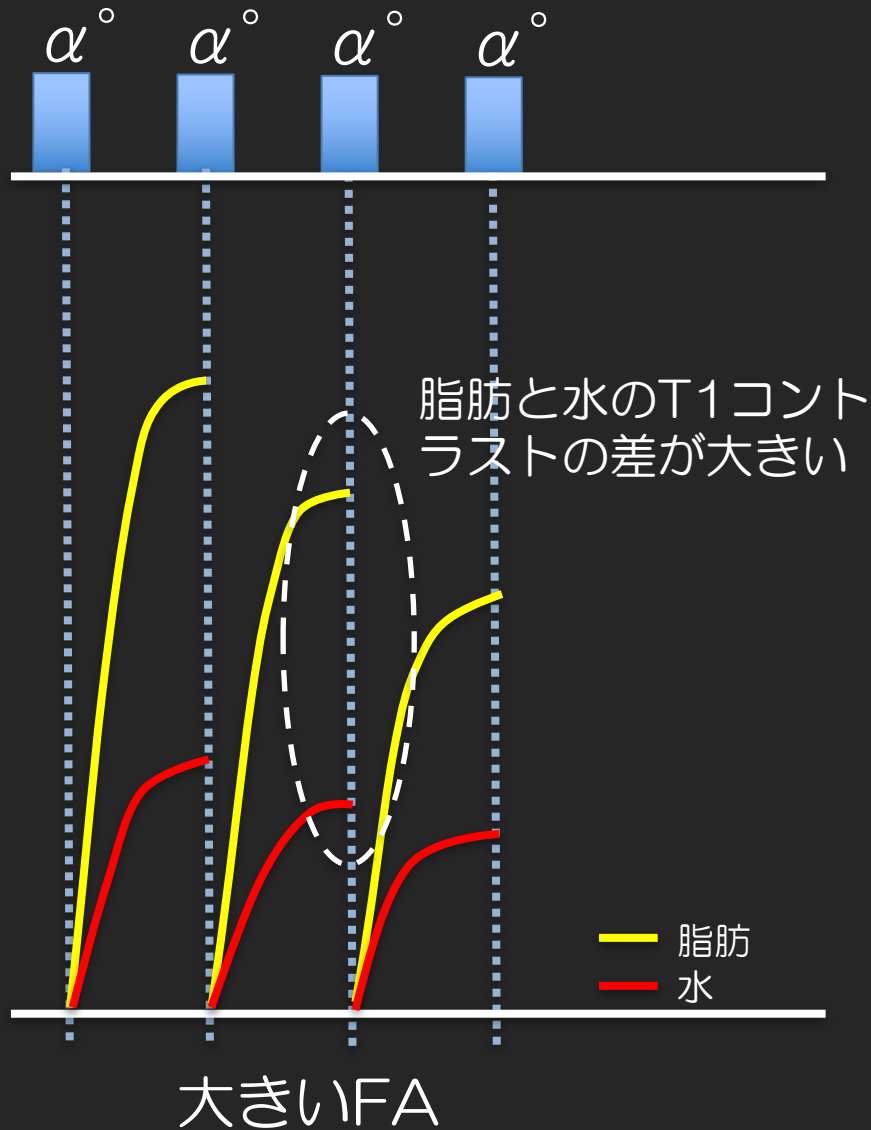
- 180° パルスを用いずに傾斜磁場を用いる
- 横磁化の減衰は T_2 ではなく T_2^* 減衰となる
→ Spin Echoと比較して信号値が低い
- TEを大幅に短縮することができる
→ TRも短縮可能で撮像時間が短縮できる

Gradient Echo法を理解する

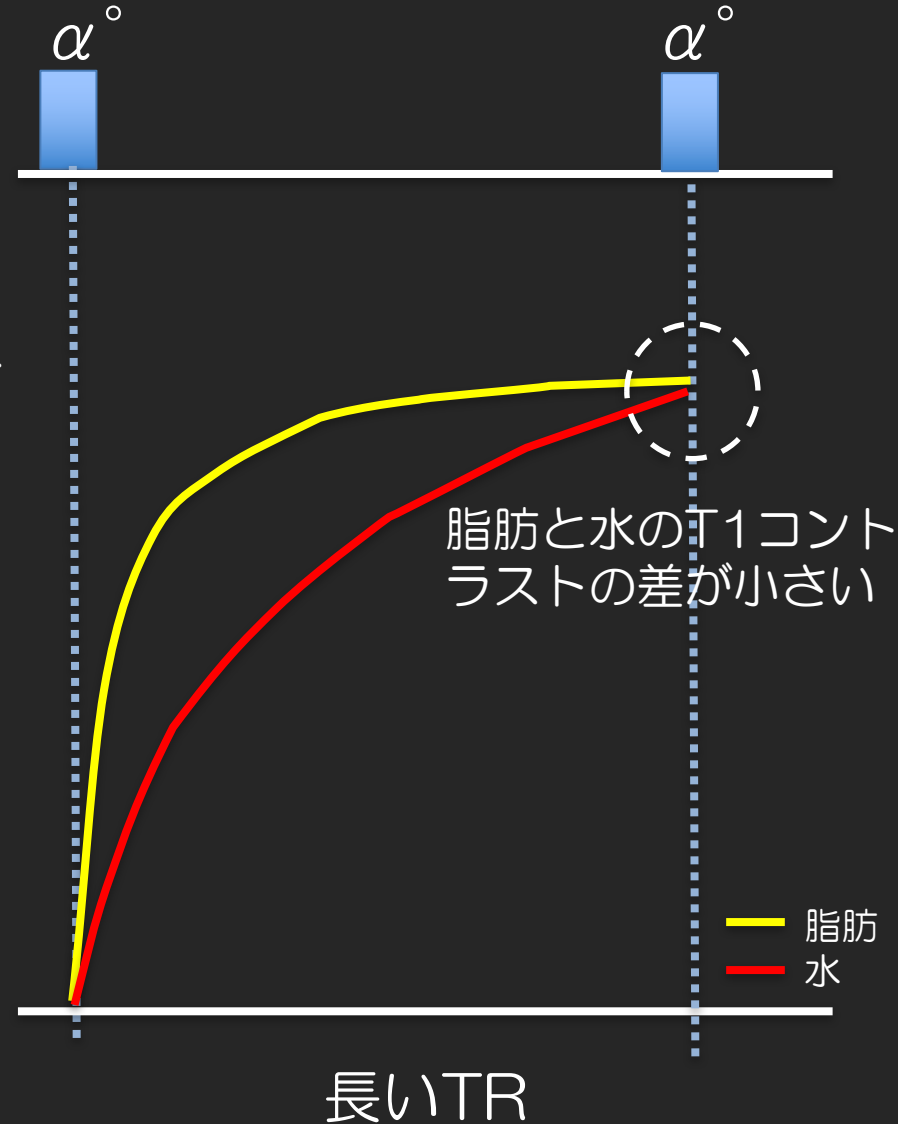
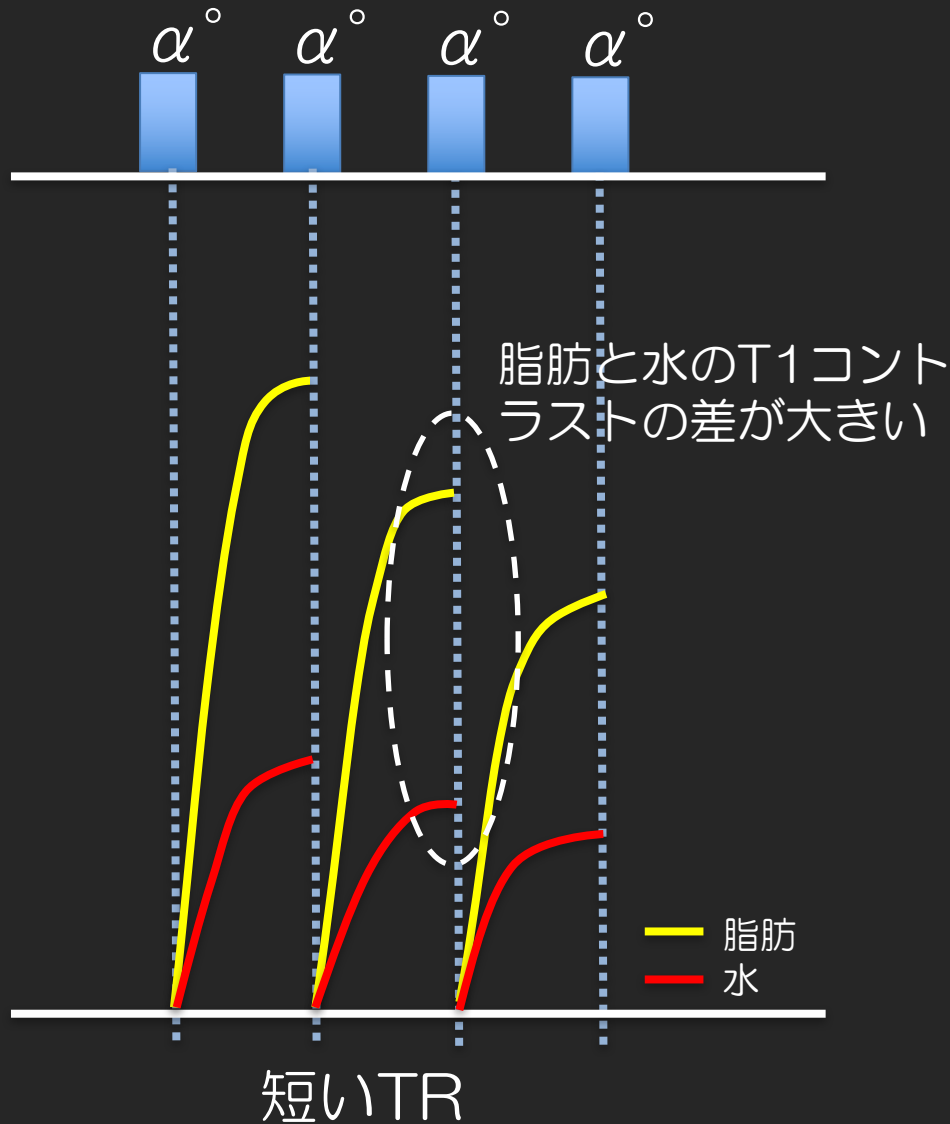
1-1 Gradient Echo信号を得る

1-2 Gradient Echo法のコントラスト

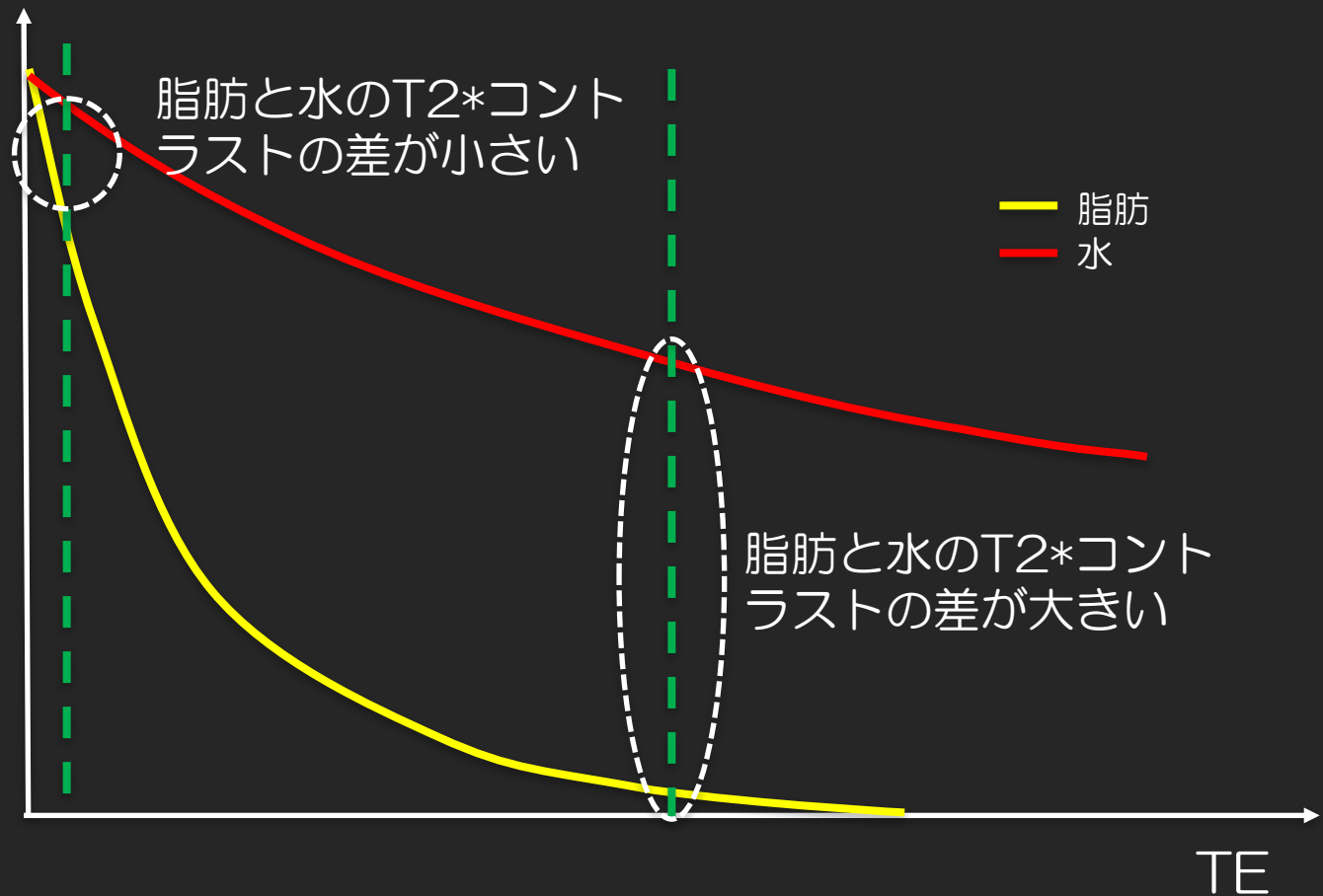
Gradient Echo法におけるコントラストの考え方 (FA)



Gradient Echo法におけるコントラストの考え方 (TR)



Gradient Echo法におけるコントラストの考え方 (TE)



Gradient Echo法におけるコントラストの考え方（まとめ）

	T1強調画像	T2*強調画像	プロトン密度強調画像
FA	大きい	小さい	小さい
TR	短い	長い	長い
TE	短い	長い	短い

- ✓ Gradient Echo法のコントラストはTR、TEに加えてFAの設定により決定される

大きいFA：70～90° 程度

小さいFA：5～20° 程度

短いTR：50msec未満

長いTE：15～25msec程度

短いTE：5～10msec程度

Gradient Echo法 まとめ

- ✓ Gradient Echo法は、傾斜磁場を用いて位相を再収束させて信号を得る。
- ✓ 傾斜磁場によって位相が再収束されるため、磁場の不均一性は補償されない。（ $T2^*$ 減衰）
- ✓ RF励起パルスには、 90° だけでなく様々な角度のFAを用いて、TRと組織の $T1$ 緩和時間と併せてコントラストが決定される。

参考文献

➤ MRI 基礎と実践

ウエストブルック／ロス 著
杉村和郎／川光秀昭 監訳

➤ MRI 原理とMRS

今西好正／徳原正則／小谷博子 著

➤ MRI 完全解説

荒木力 著