

教えてください

1.5Tと3Tでは何がどう違うのですか？

# 腹部領域

東海大学医学部付属病院

梶原 直

# 3.0Tの1.5Tと違う点

- |              |   |              |
|--------------|---|--------------|
| 1. 化学シフト量の増大 | } | Advantage    |
| 2. 磁化率効果     |   | Disadvantage |
| 3. T1値延長     |   |              |
| 4. $B_0$ 不均一 | } | Disadvantage |
| 5. $B_1$ 不均一 |   |              |
| 6. SAR上昇     |   |              |
| 7. SN比の向上    | } | Advantage    |

# 本日の内容

- $B_1$ 不均一とSAR
- 検査の現状とリミテーション

B1について

Multi Transmit機構とは何か？



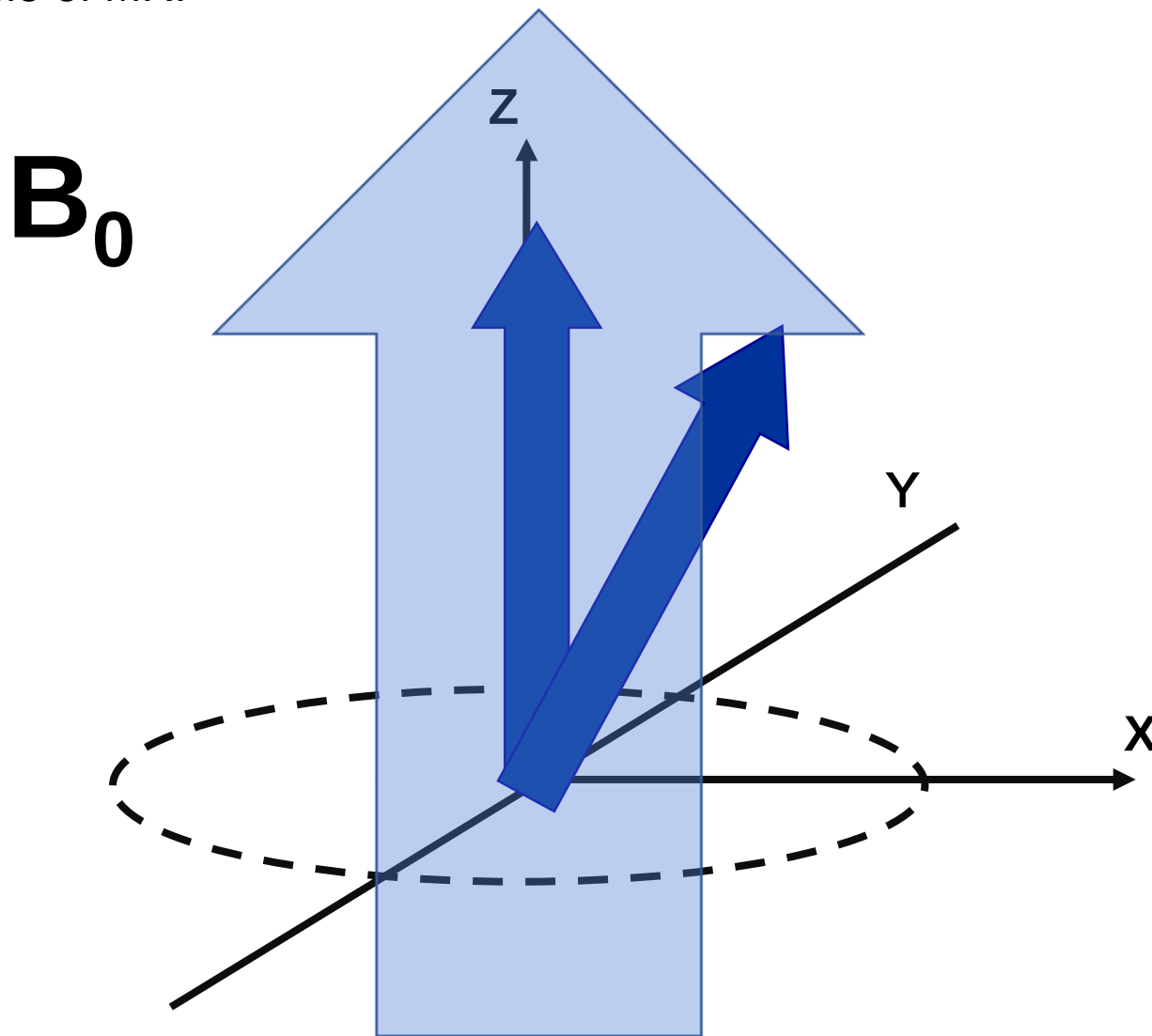


$B_0$ とは装置本体が作りだす

時間的変動の無い  
静磁場

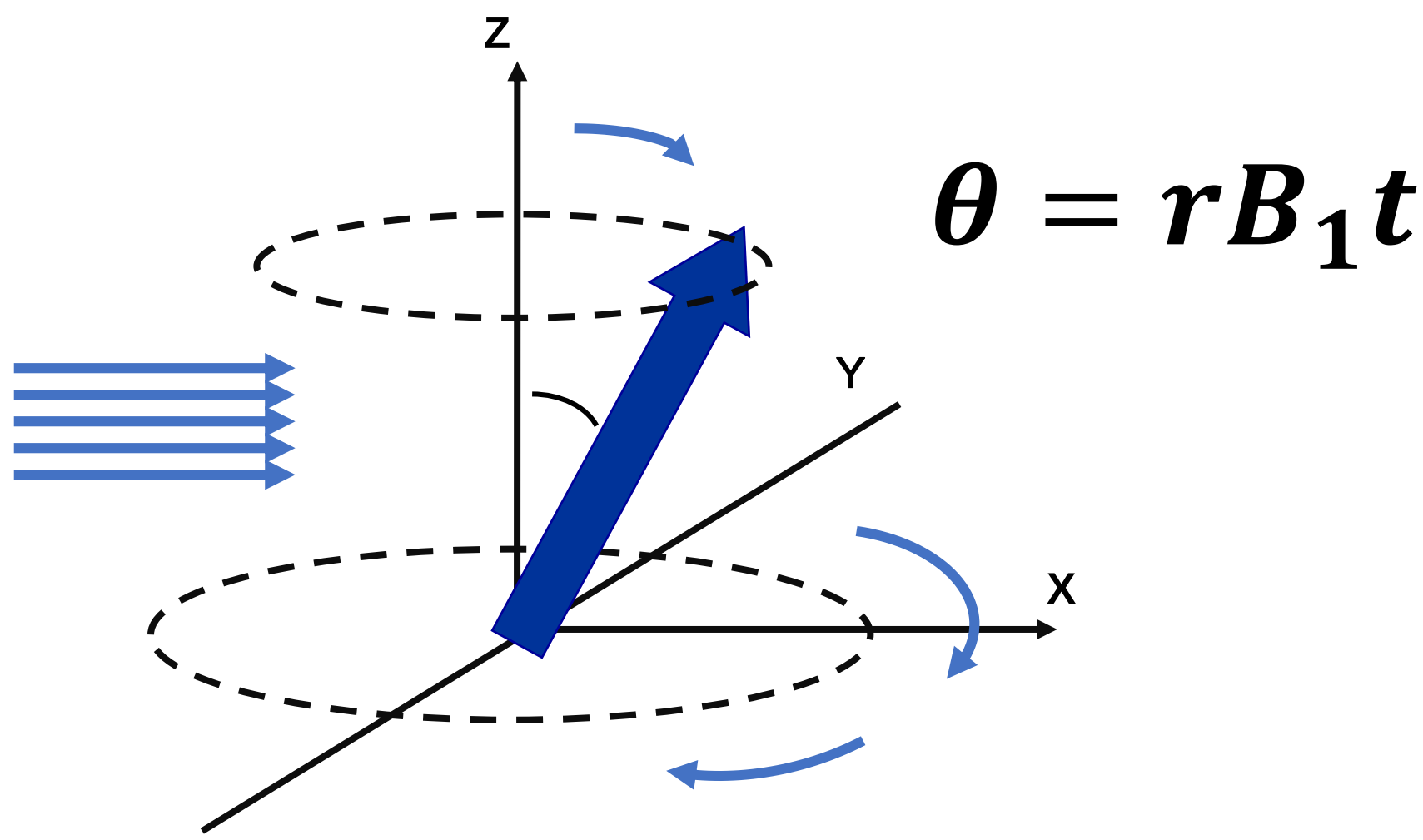
1.5T < 3.0T

● Principle of MRI



巨視的磁化ベクトルを観測するには $B_0$ 方向から $xy$ 平面に傾ける必要がある

●What is B1



傾けるように加える力(回転磁場)⇒  $B_1$   
 $B_1$ 場がRFパルスとしての作用を持つ

**RF(回転磁場:  $B_1$ )はどのように  
につくられる？**

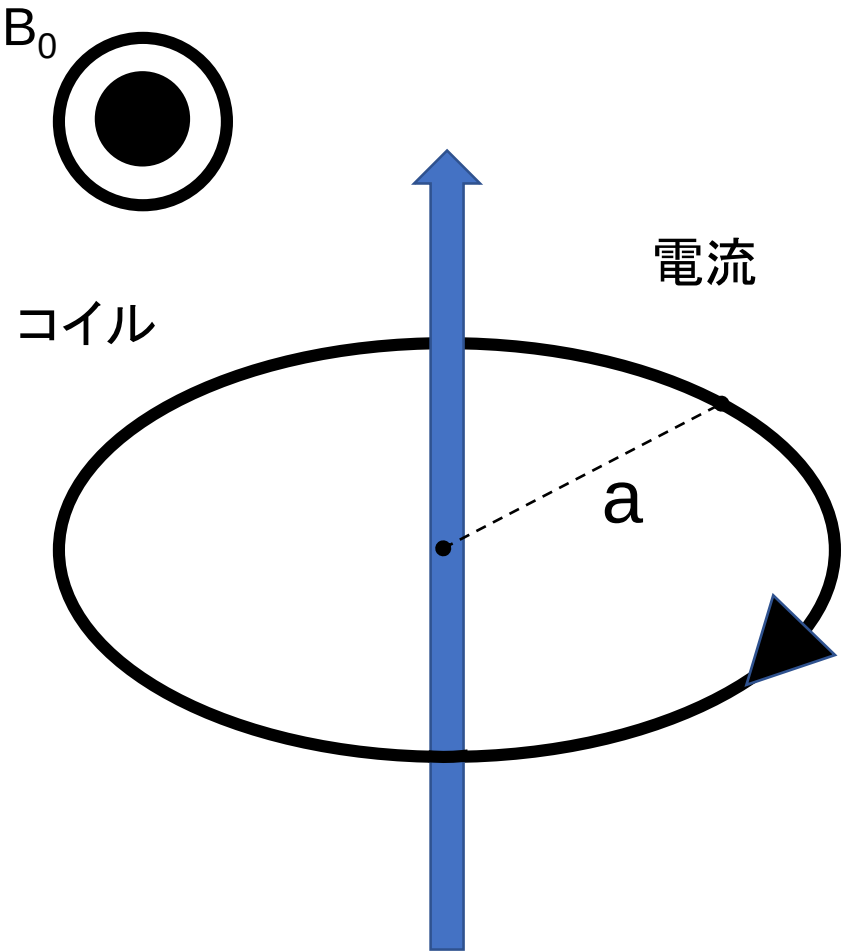




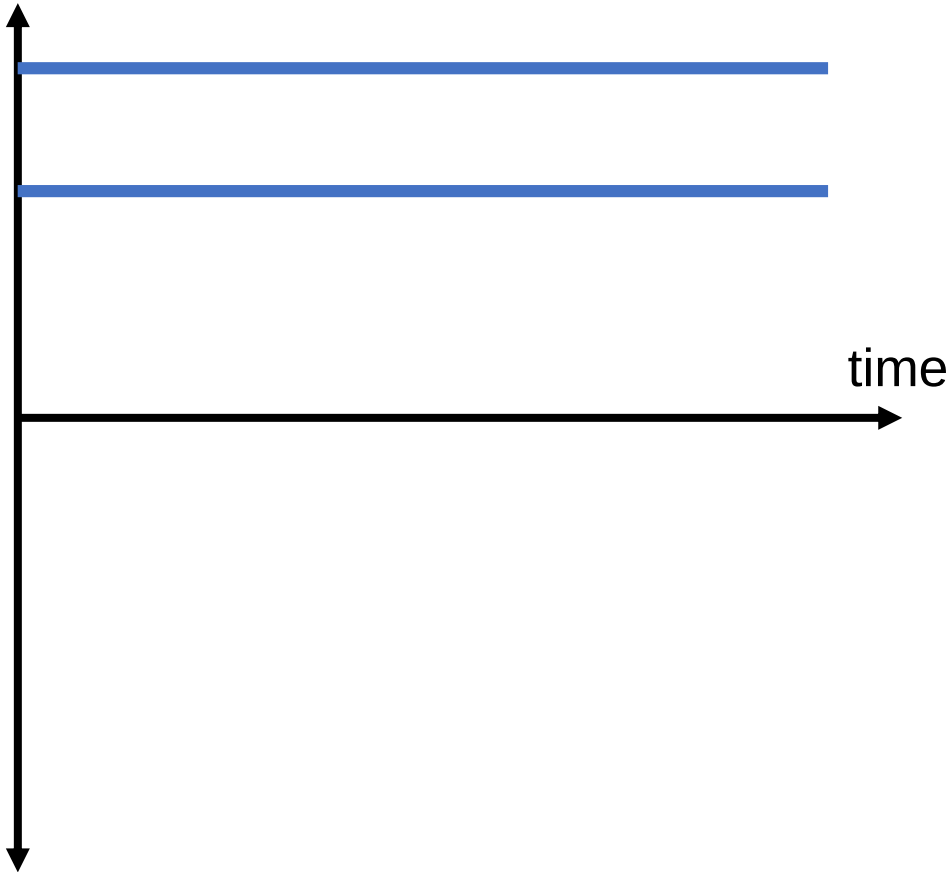
●What is B1

# アンペールの法則

$$H = \frac{I}{2a}$$

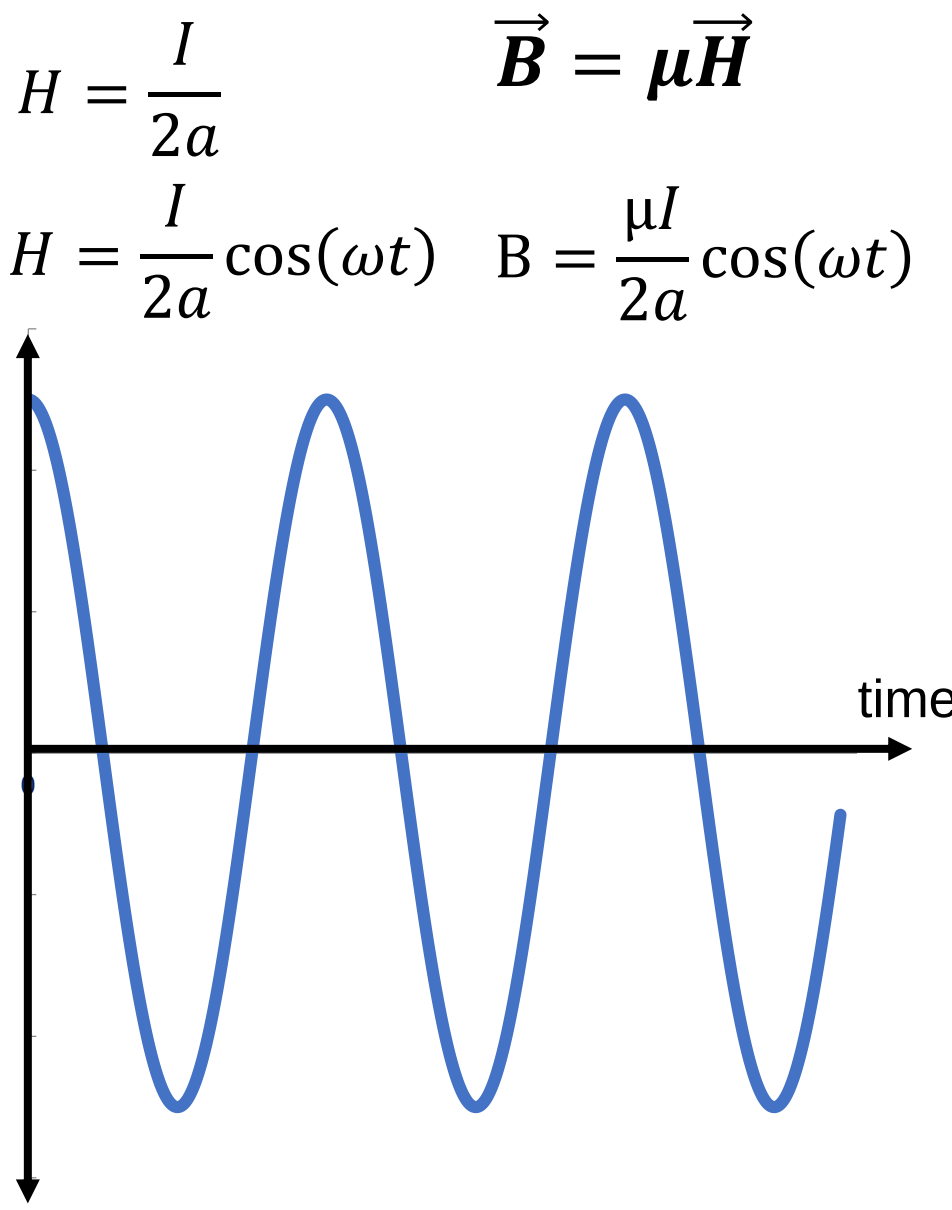
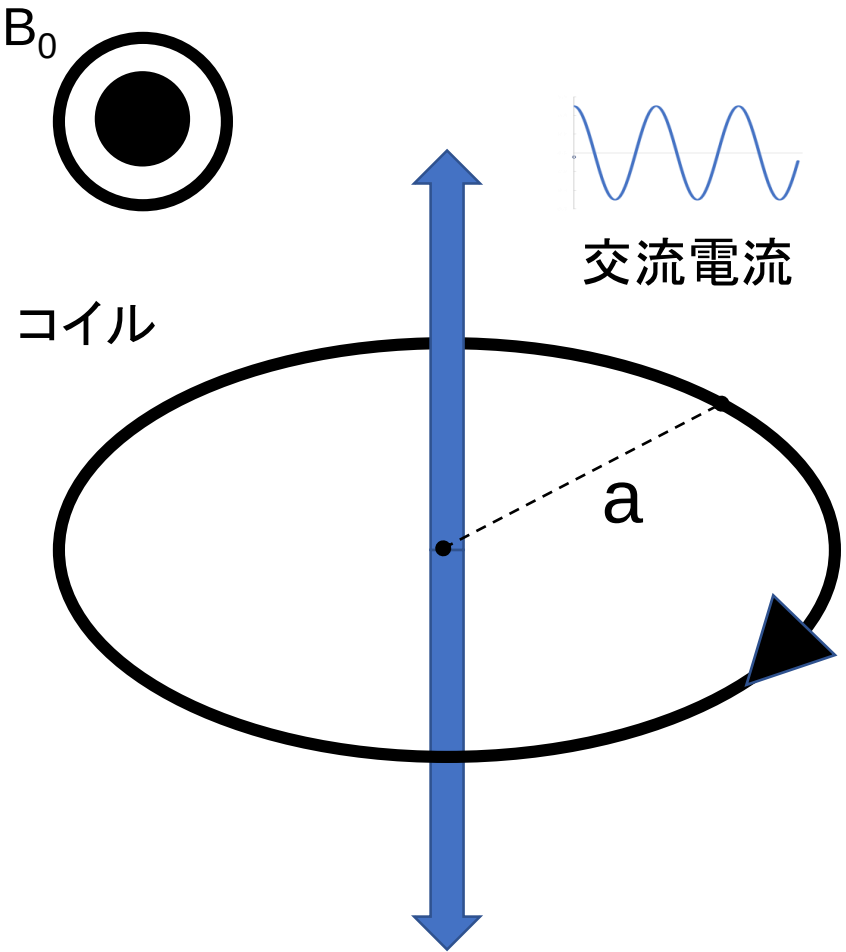


コイルに電流を流すと磁場が発生



●What is B1

# アンペールの法則



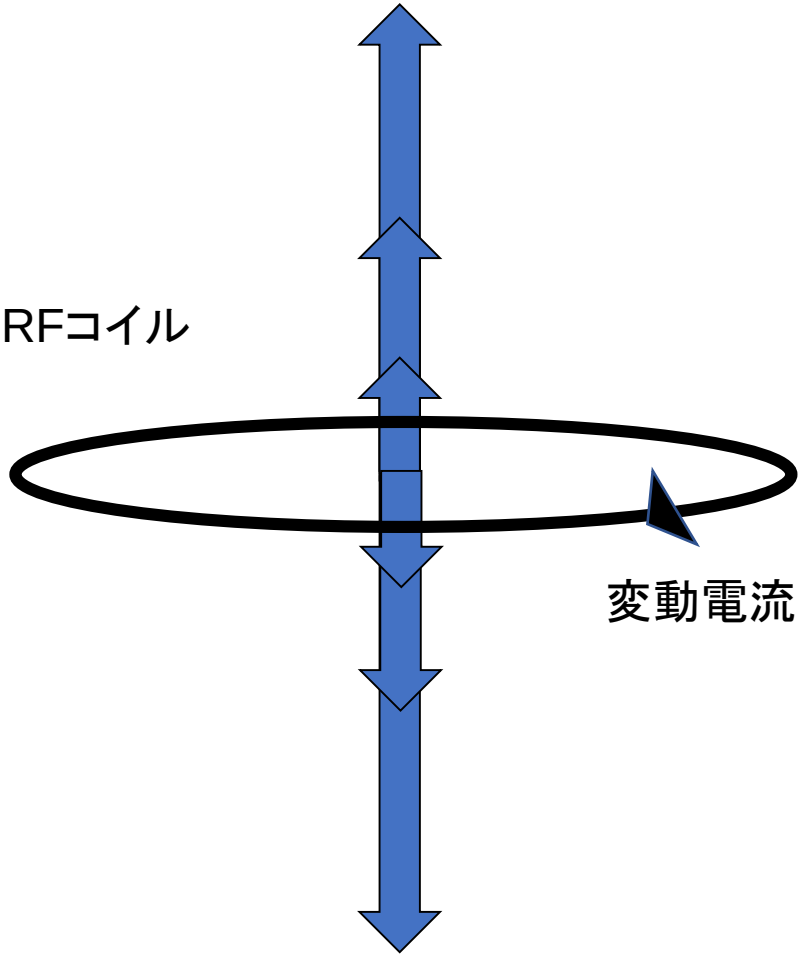
電流と共に磁場(磁束密度)も変化

## ●What is B1

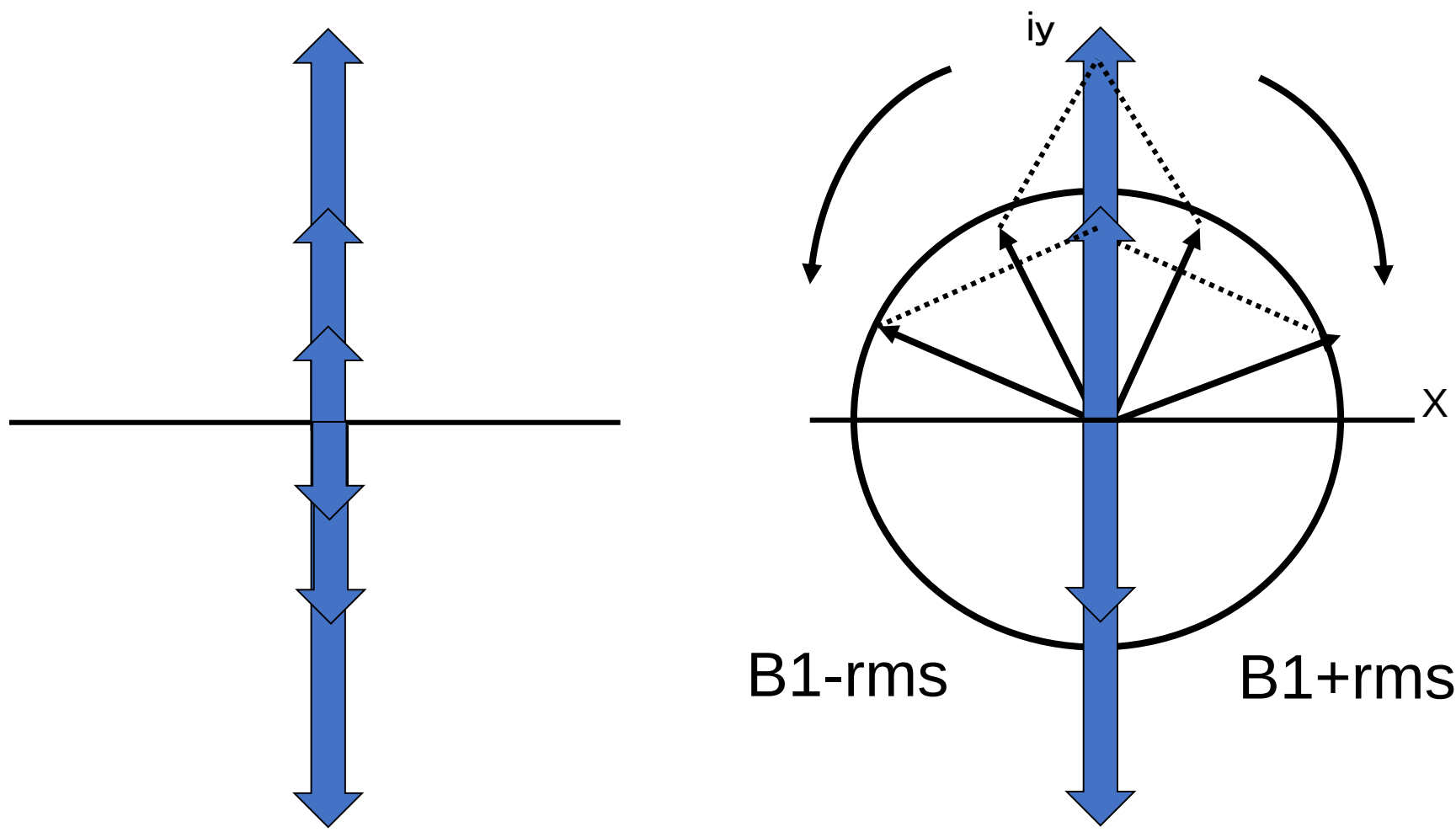
- 磁場と直交して電場が形成
- 周期的な波として空中(物質)を伝搬

**コイルに流れる変動電流の周波数がRFの帯域にあればRFとなる**

# 単振運動から生成される波を直線偏波



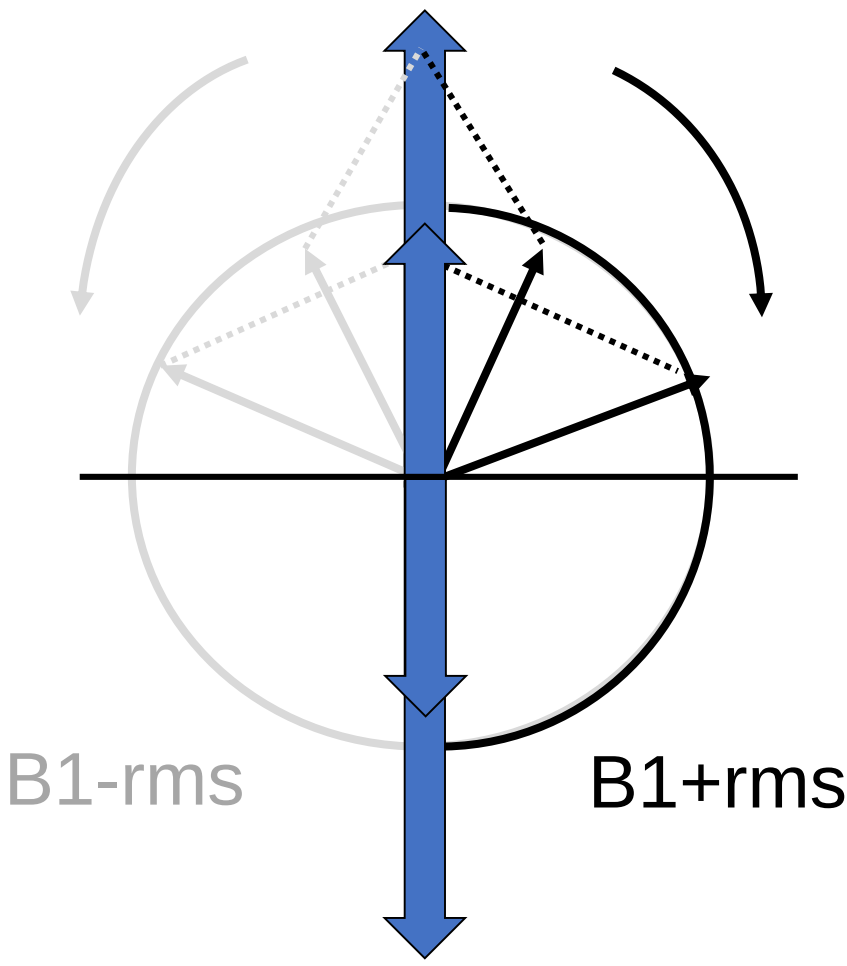
●直線偏波



反対方向に回転する2つの回転磁場のベクトル和

●直線偏波

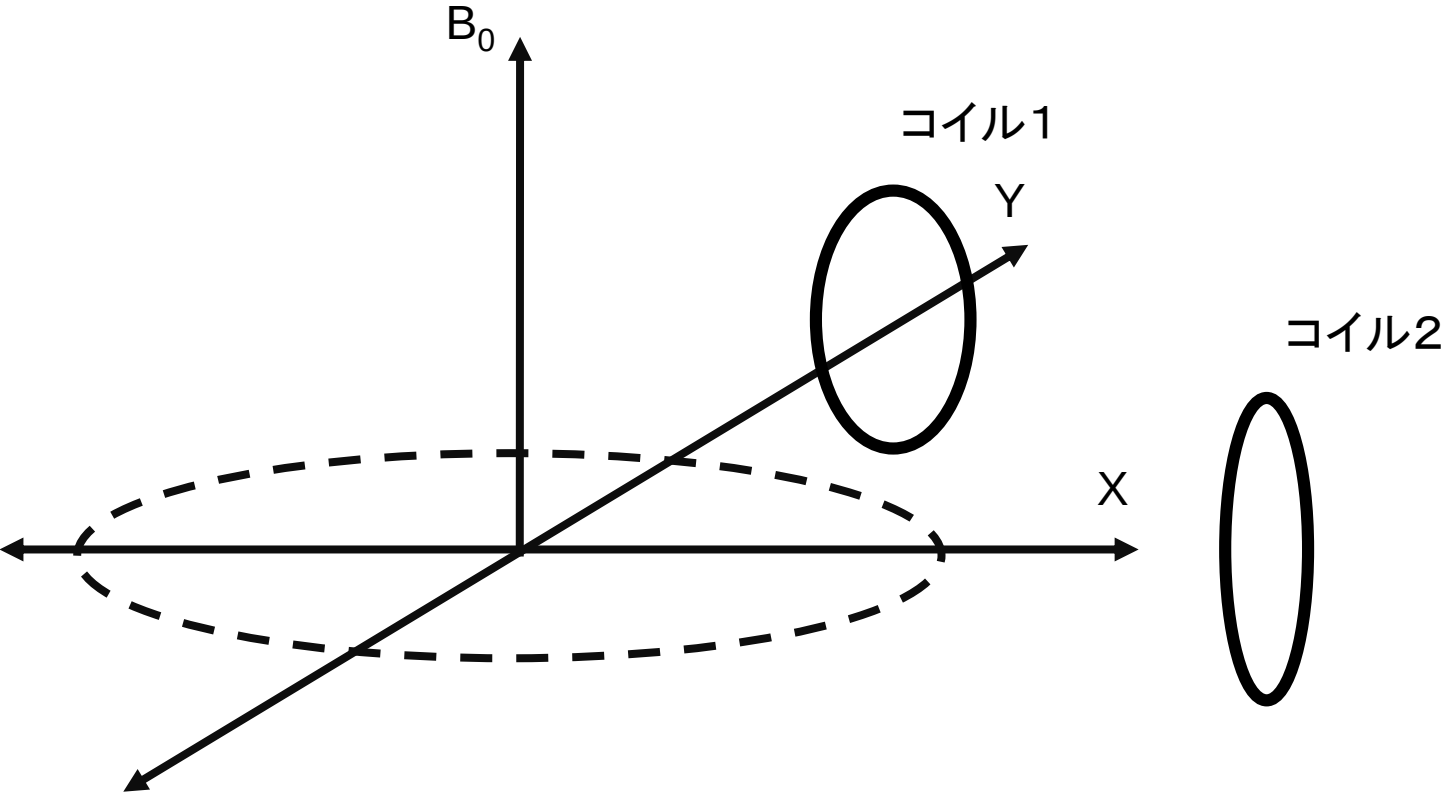
単振動するRF磁場強度の  
半分だけが共鳴に関与する  
ので効率が悪い



# 直角位相コイルによるQD送信

quadrature coil

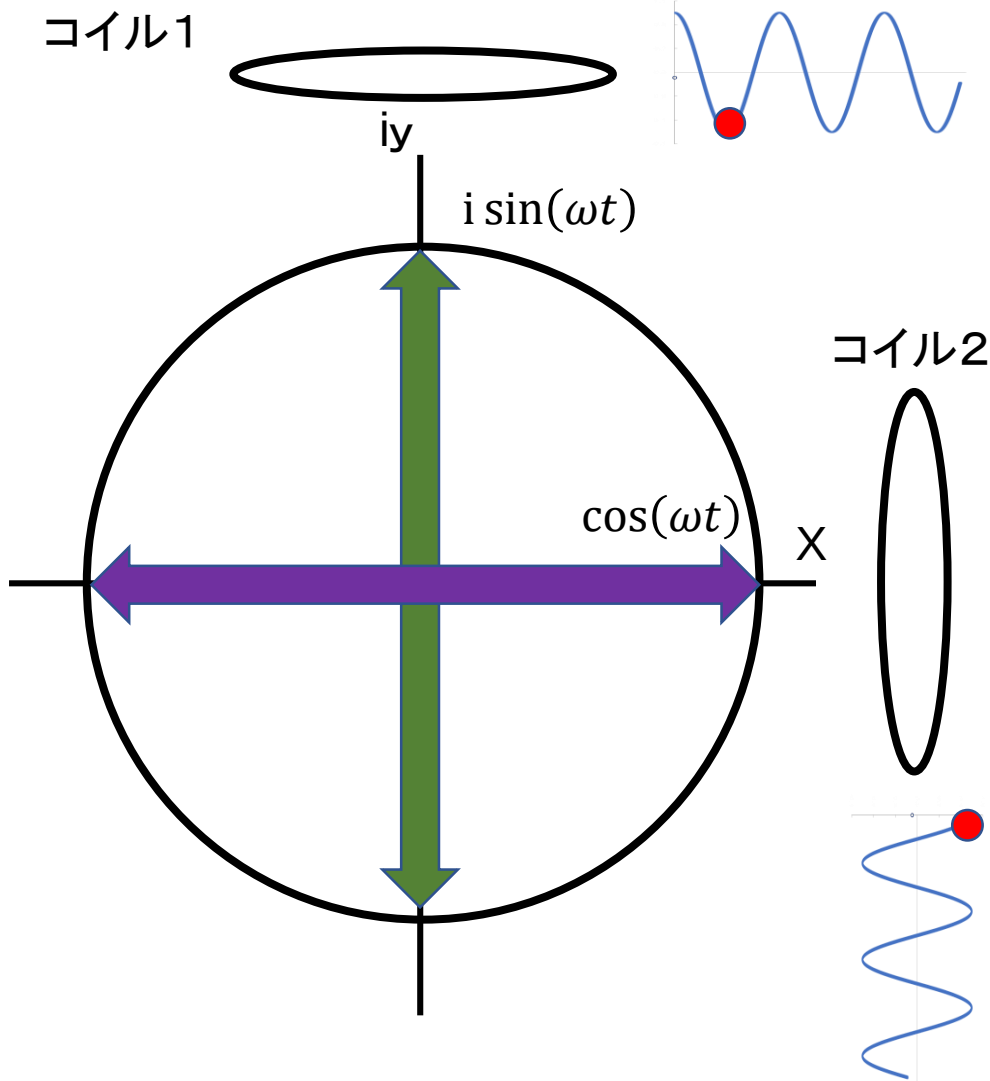
Quadrature送信



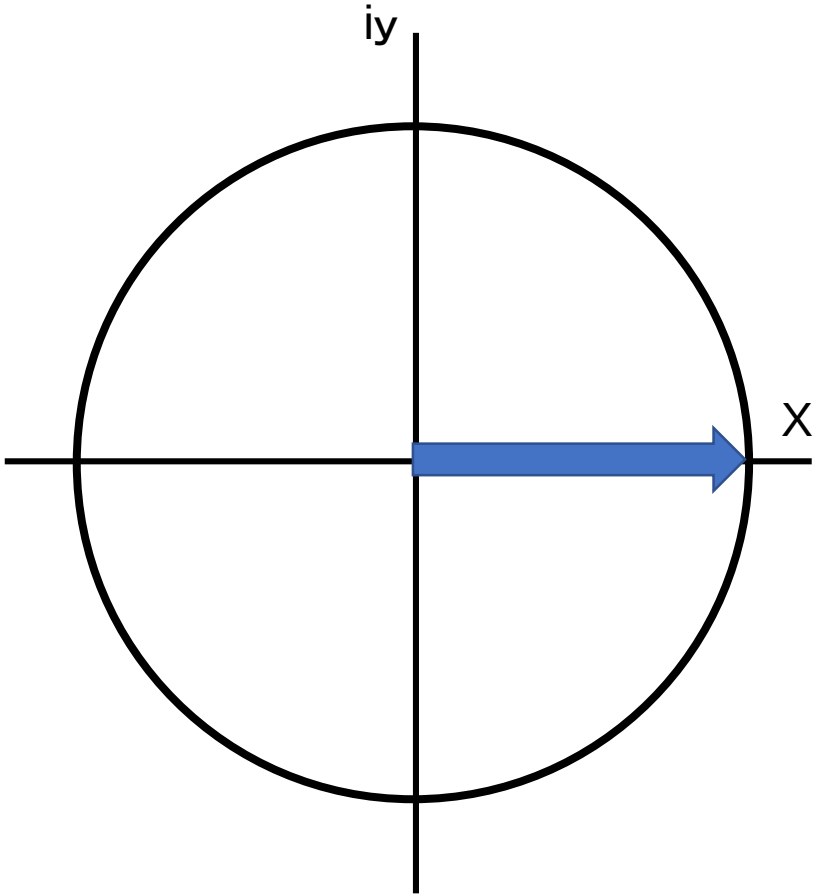
● quadrature coil

# QD送信

● 直角位相コイル (quadrature coil)



$$\cos(\omega t) + i \sin(\omega t)$$
$$\cos(\omega t) - i \sin(\omega t)$$



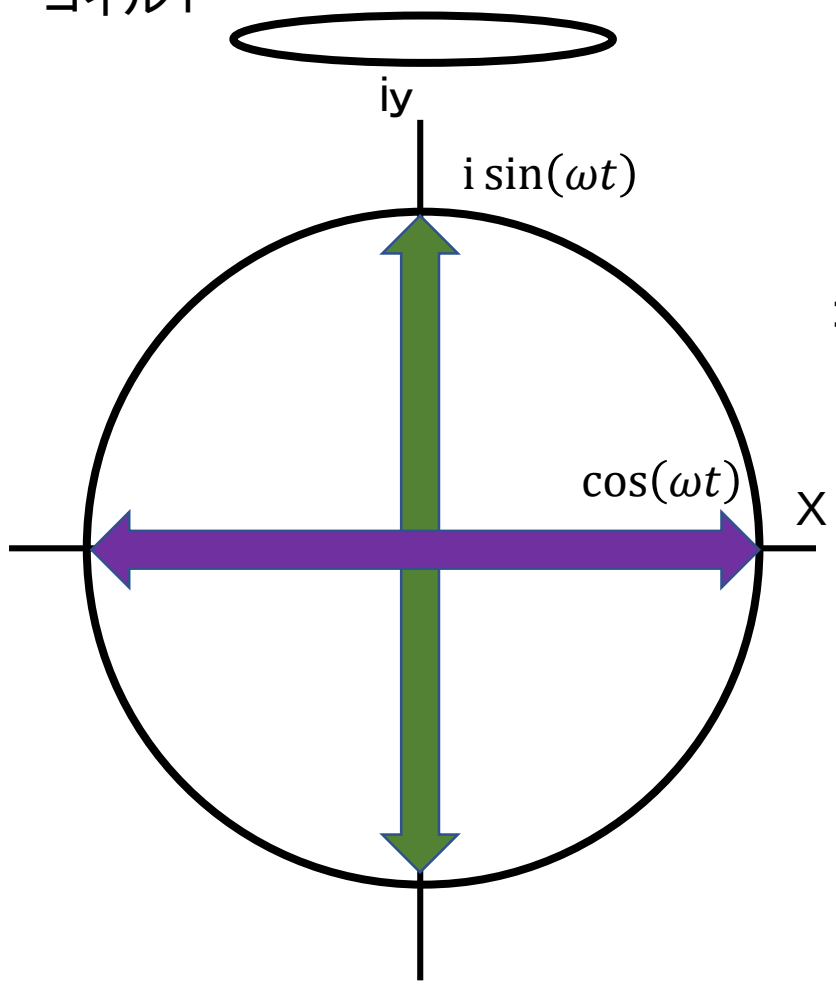


● quadrature coil

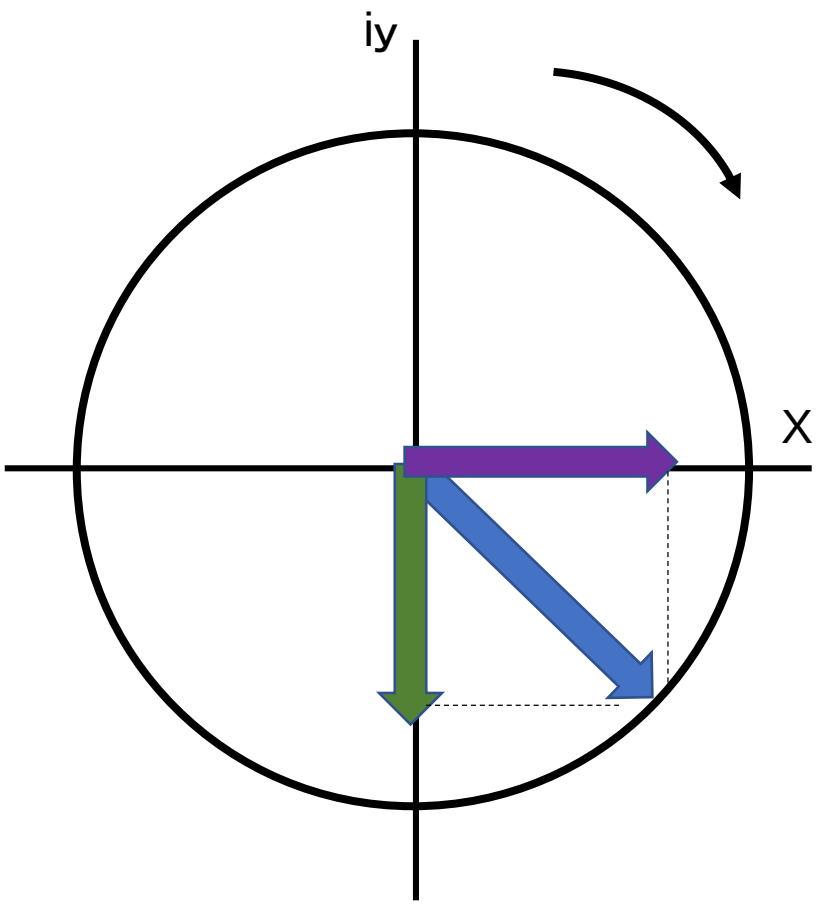
# QD送信

● 直角位相コイル (quadrature coil)

コイル1



$\cos(\omega t) + i \sin(\omega t)$   
 $\cos(\omega t) - i \sin(\omega t)$

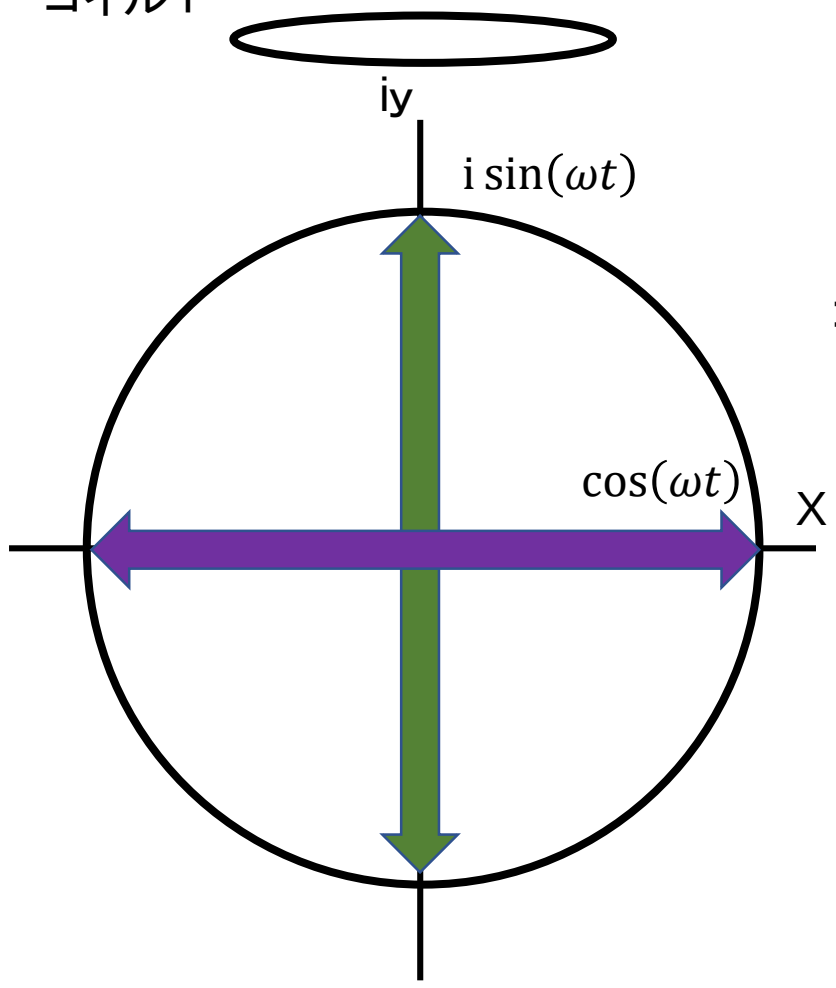


●quadrature coil

# QD送信

● 直角位相コイル (quadrature coil)

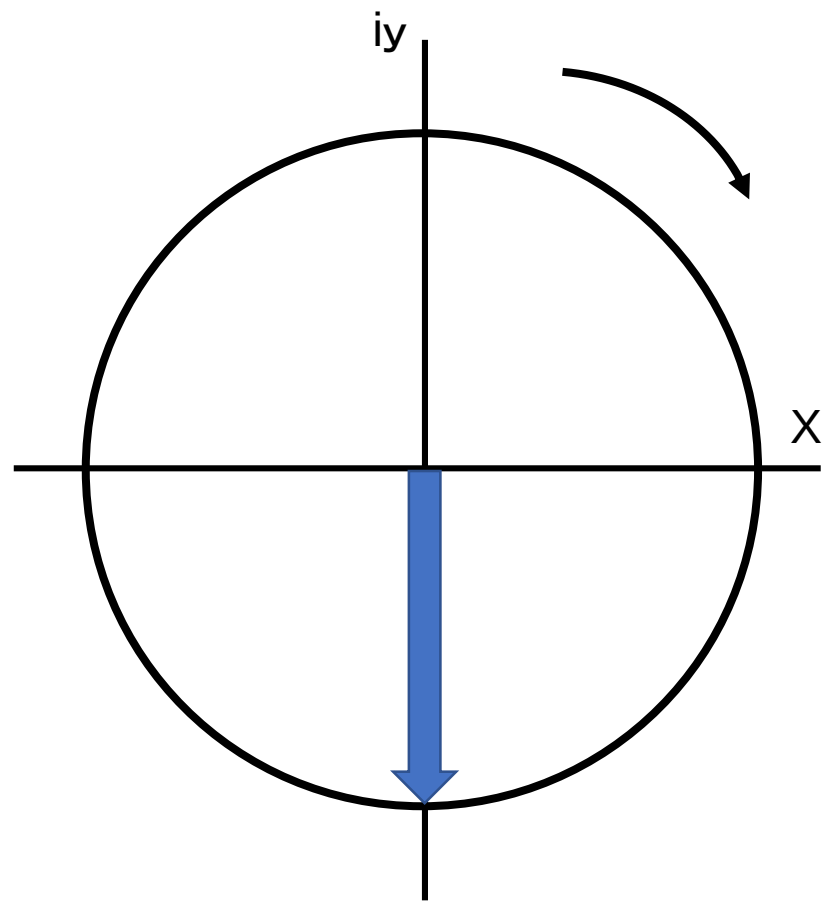
コイル1



コイル2



$\cos(\omega t) + i \sin(\omega t)$   
 $\cos(\omega t) - i \sin(\omega t)$

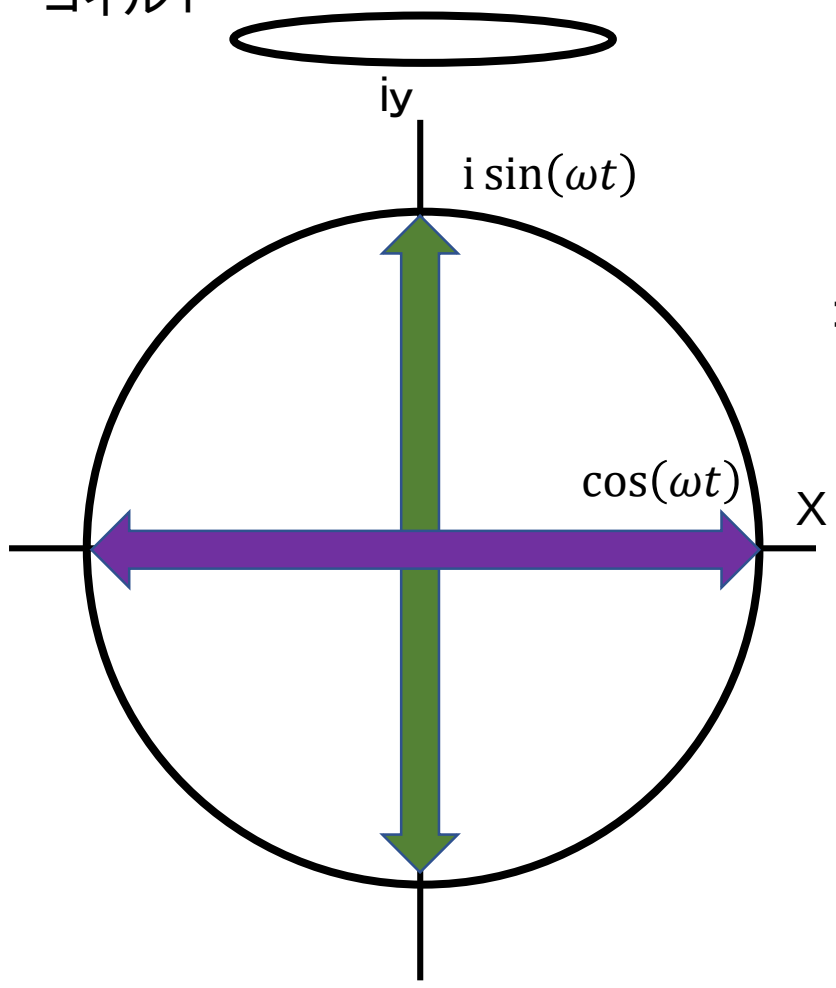


●quadrature coil

# QD送信

● 直角位相コイル (quadrature coil)

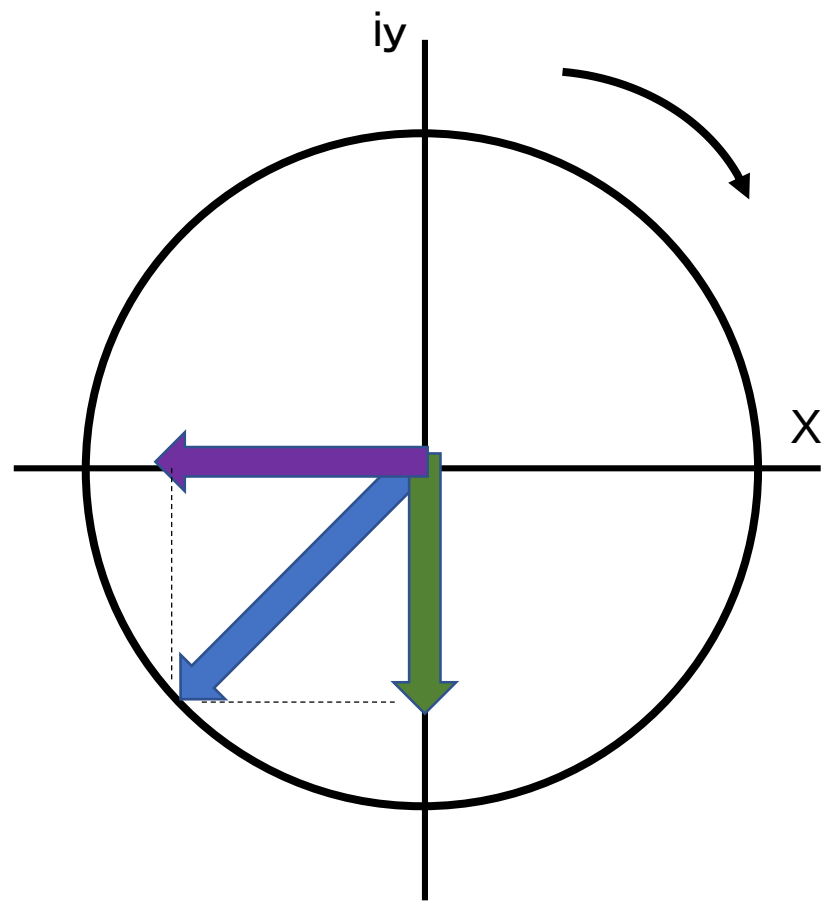
コイル1



コイル2



$\cos(\omega t) + i \sin(\omega t)$   
 $\cos(\omega t) - i \sin(\omega t)$

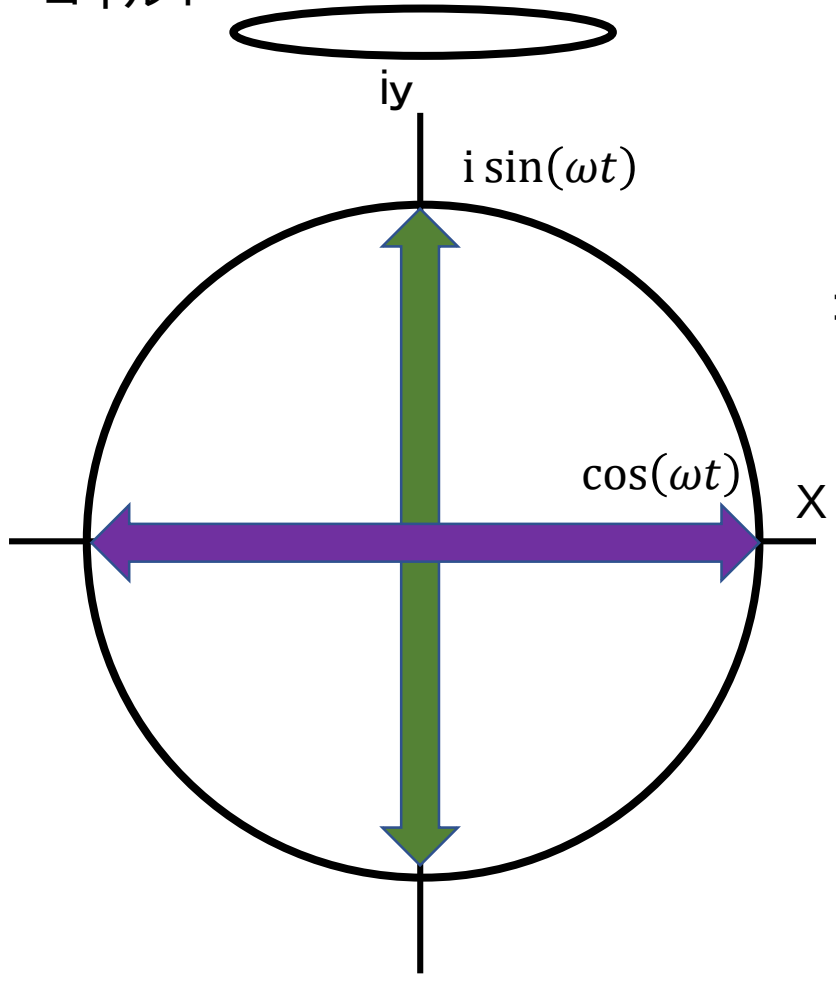


● quadrature coil

# QD送信

● 直角位相コイル (quadrature coil)

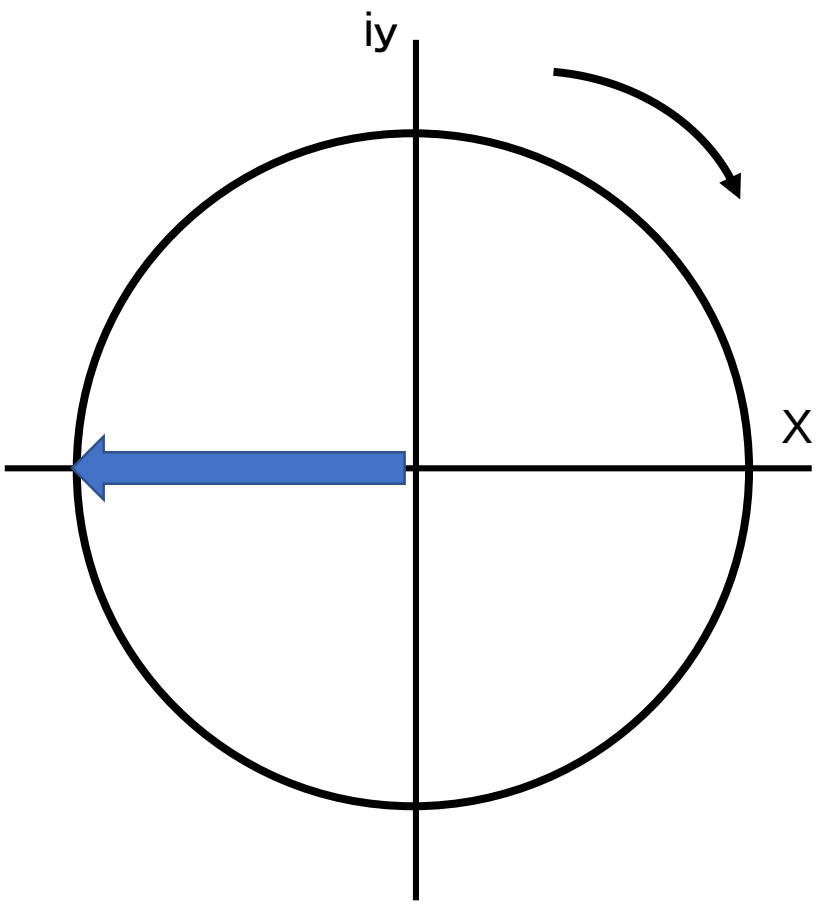
コイル1



コイル2



$\cos(\omega t) + i \sin(\omega t)$   
 $\cos(\omega t) - i \sin(\omega t)$

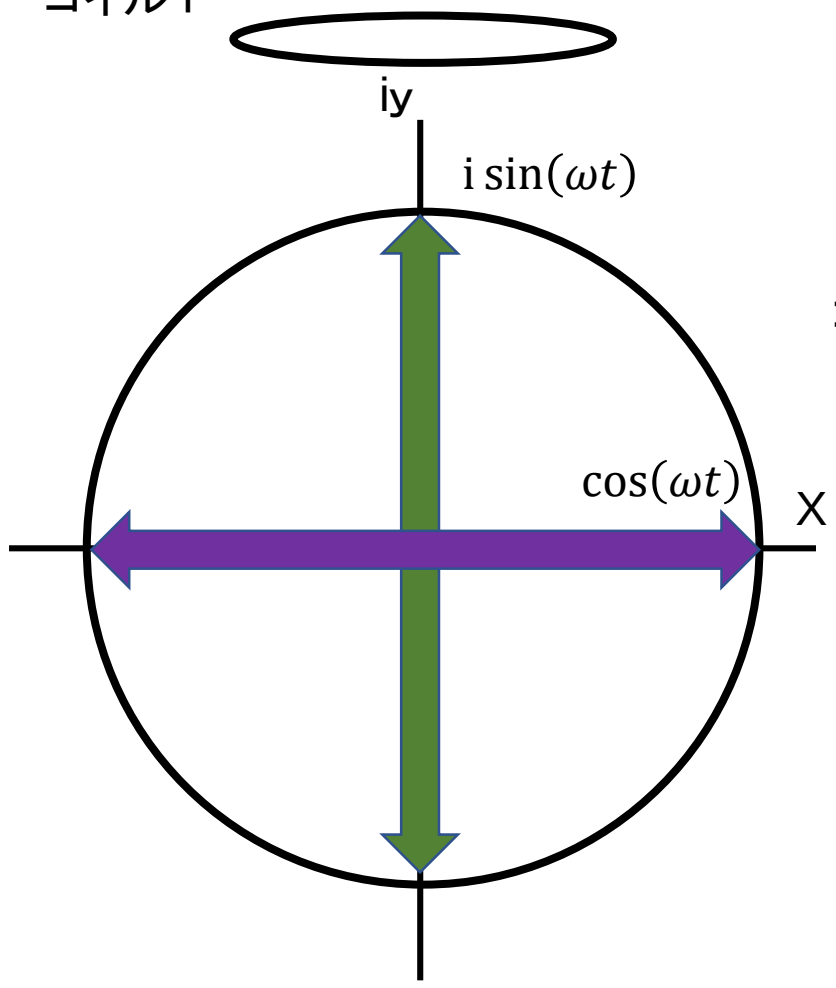


● quadrature coil

# QD送信

● 直角位相コイル (quadrature coil)

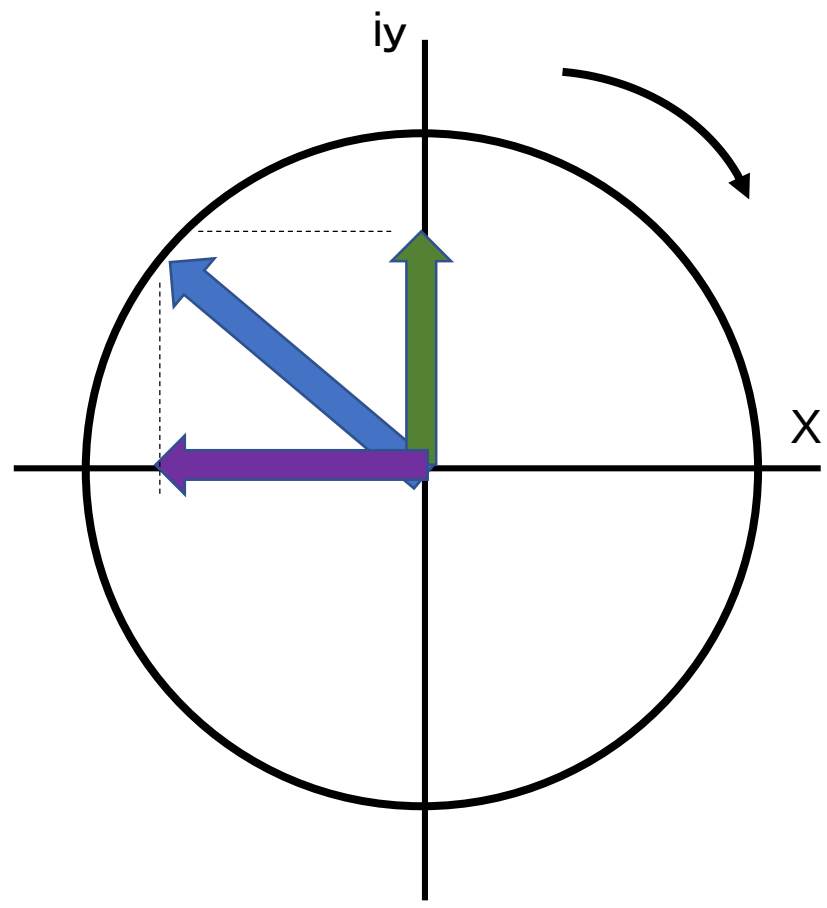
コイル1



コイル2



$\cos(\omega t) + i \sin(\omega t)$   
 $\cos(\omega t) - i \sin(\omega t)$

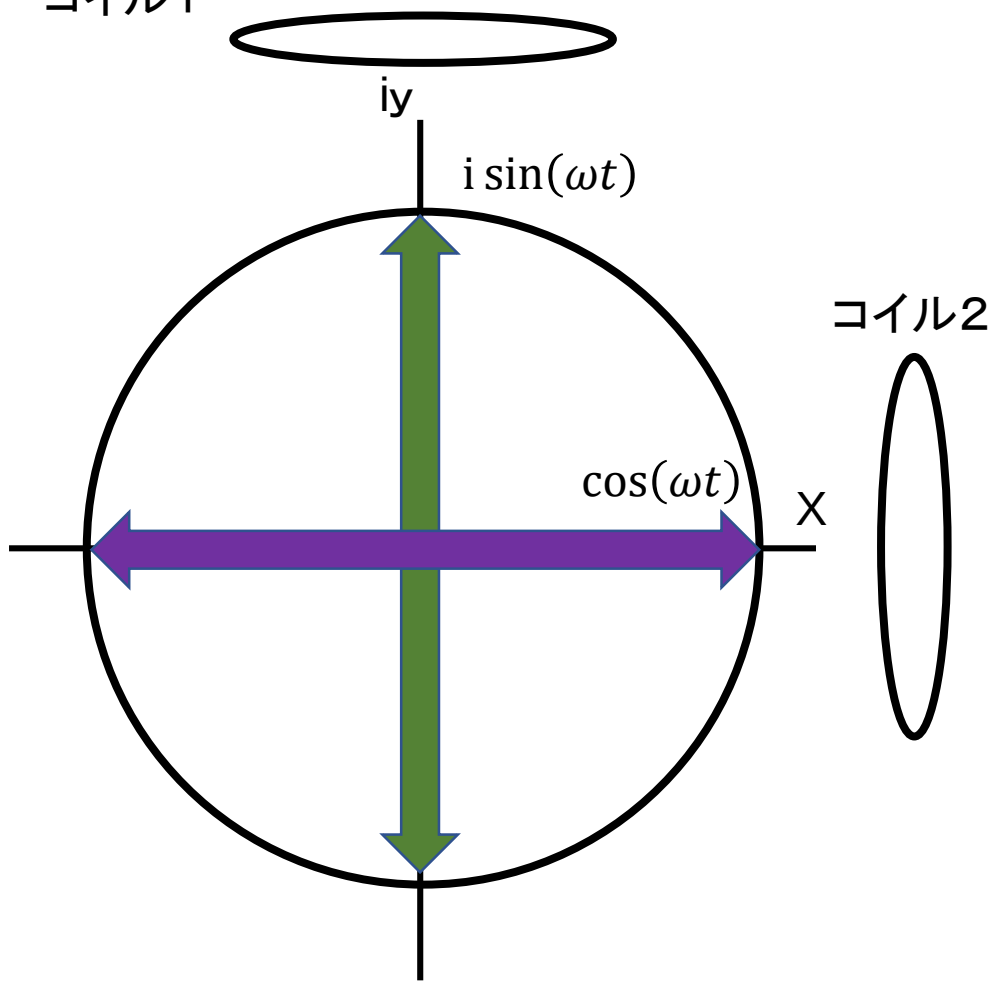


● quadrature coil

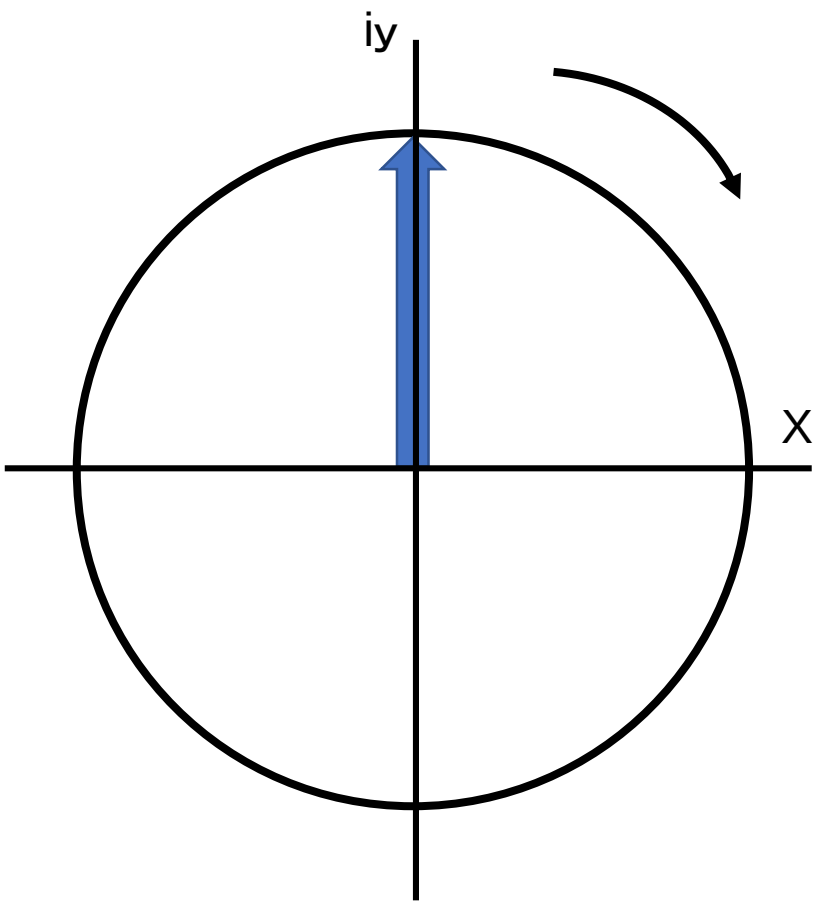
# 円偏波 ⇒ 回転磁場

● 直角位相コイル (quadrature coil)

コイル1



$$\begin{aligned} &\cos(\omega t) + i \sin(\omega t) \\ &\cos(\omega t) - i \sin(\omega t) \end{aligned}$$



# RFコイルに求められる条件

- 高周波磁場の進行方向は $B_0$ 方向とは直交関係
- 大きくて人体の広い範囲をカバー



● Birdcage coil

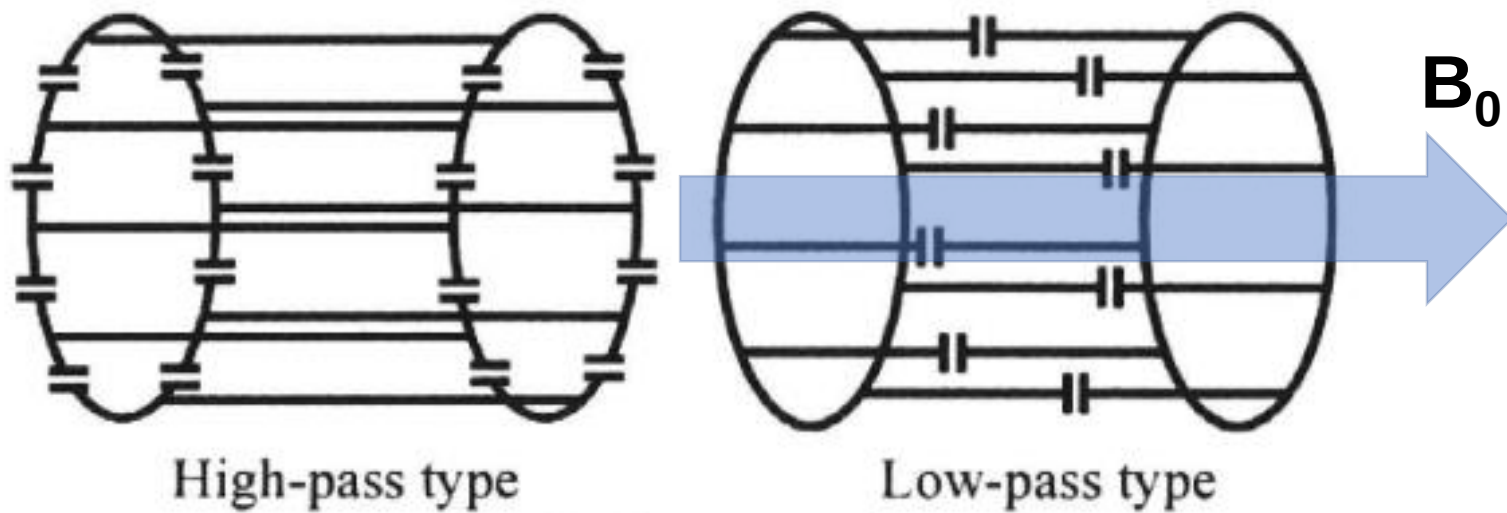
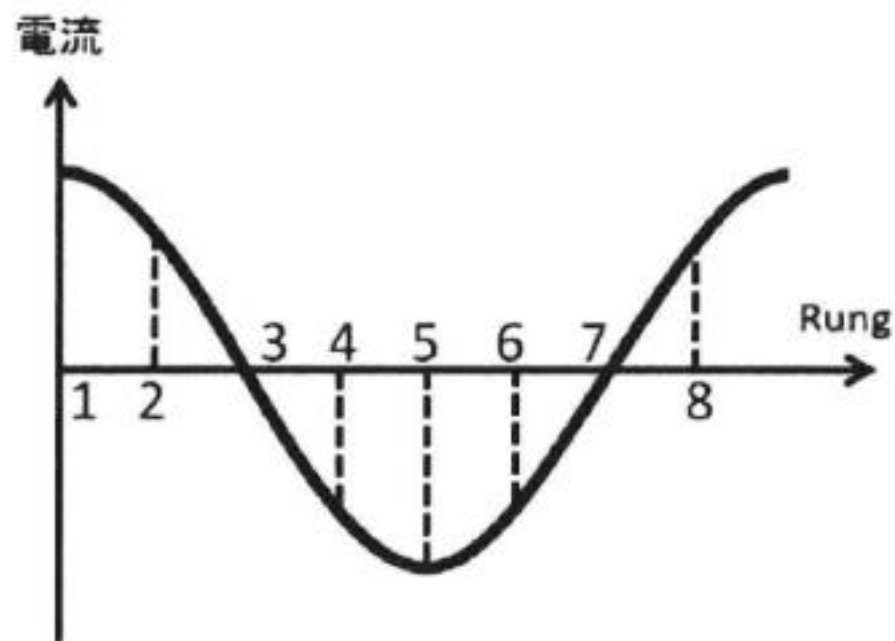
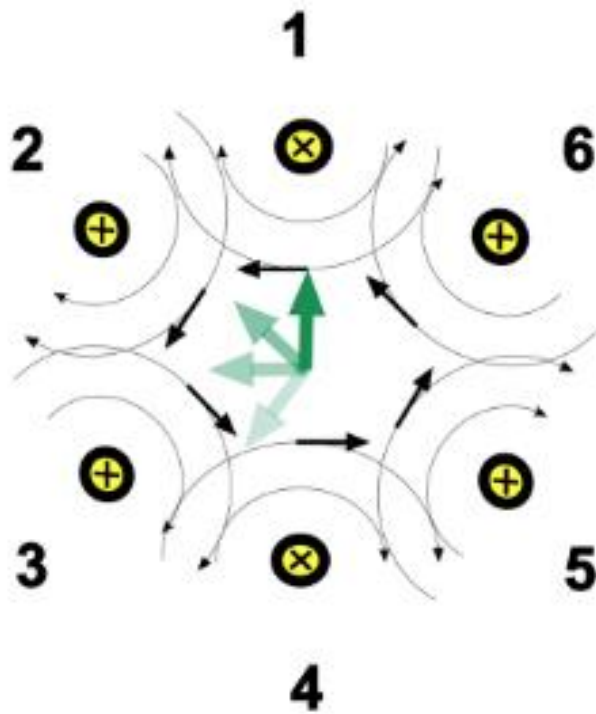


Fig. 3 Birdcage coil.

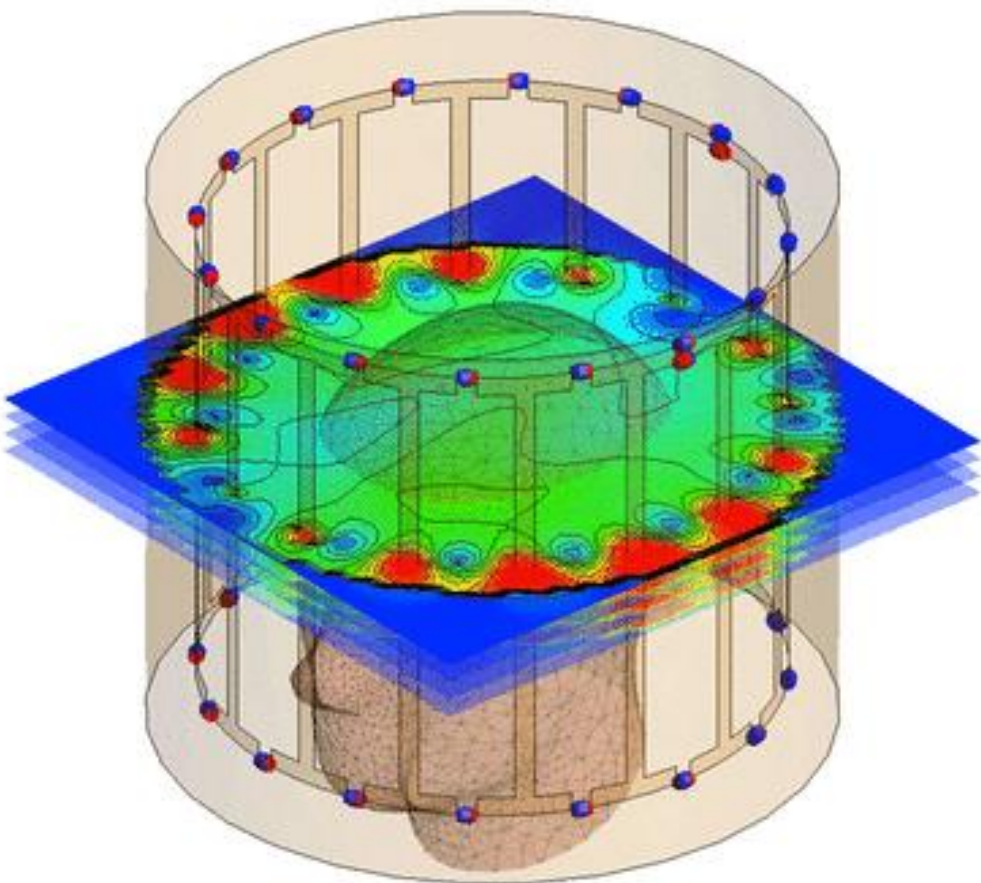




● Birdcage coil



Generation of rotating B1 field (green arrow) by a birdcage coil. Sinusoidal current is applied sequentially to rungs 1-6, each of which generates a local field in directions shown. A phase shift of  $360^\circ/6 = 60^\circ$  between the successive rungs produces a resonantly rotating B1 field.



Magnetic field map inside a birdcage coil.  
(Courtesy of P. Futter, computed with FEKO)

● Birdcage coil

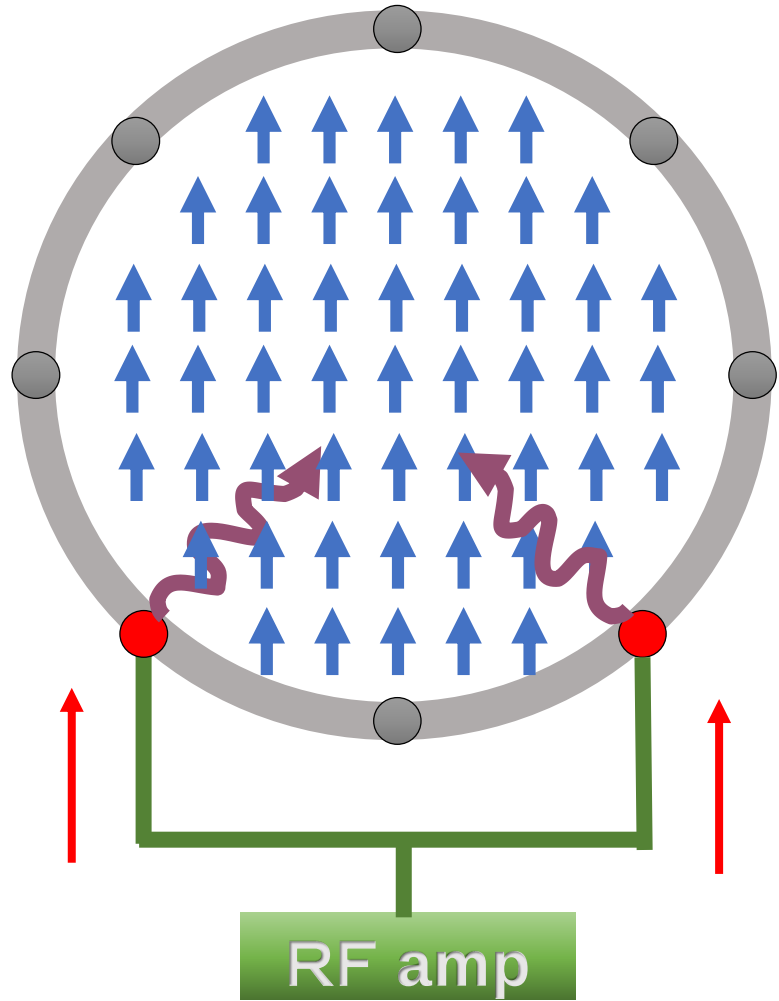


互いに $90^\circ$  離れた2点に給電をすることにより1つのコイルでQD送信が可能

● Birdcage coil

- Quadrature送信による円偏波によって均一な $B_1$ 場を提供

対象物が無い場合

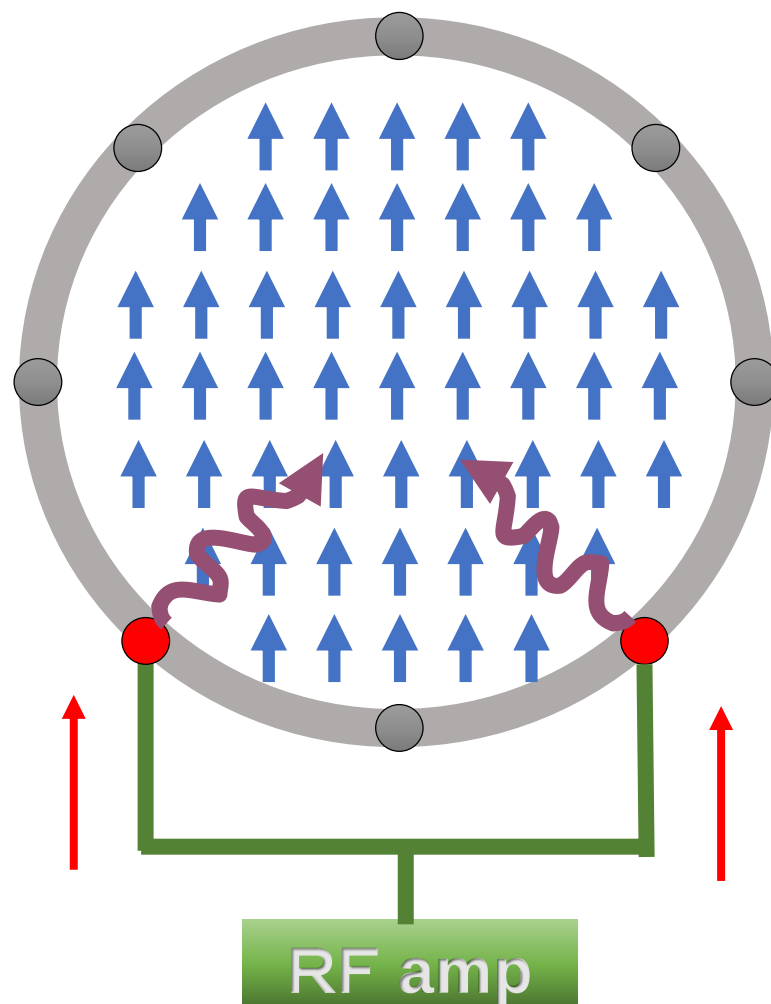
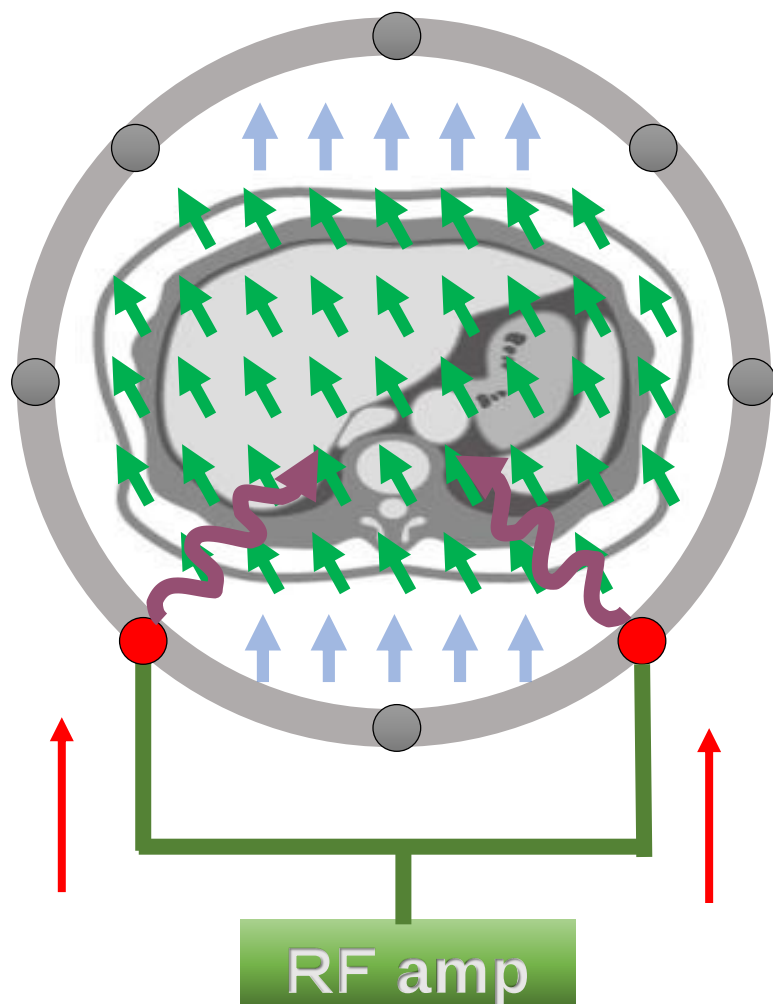


互いに90° 離れた2点に給電をすることにより1つのコイルでQD送信が可能

● B<sub>1</sub> field

- Quadrature送信は対象物がなければ均一なB<sub>1</sub>場を提供
- 対象物が入るとB<sub>1</sub>場の変化を生じる

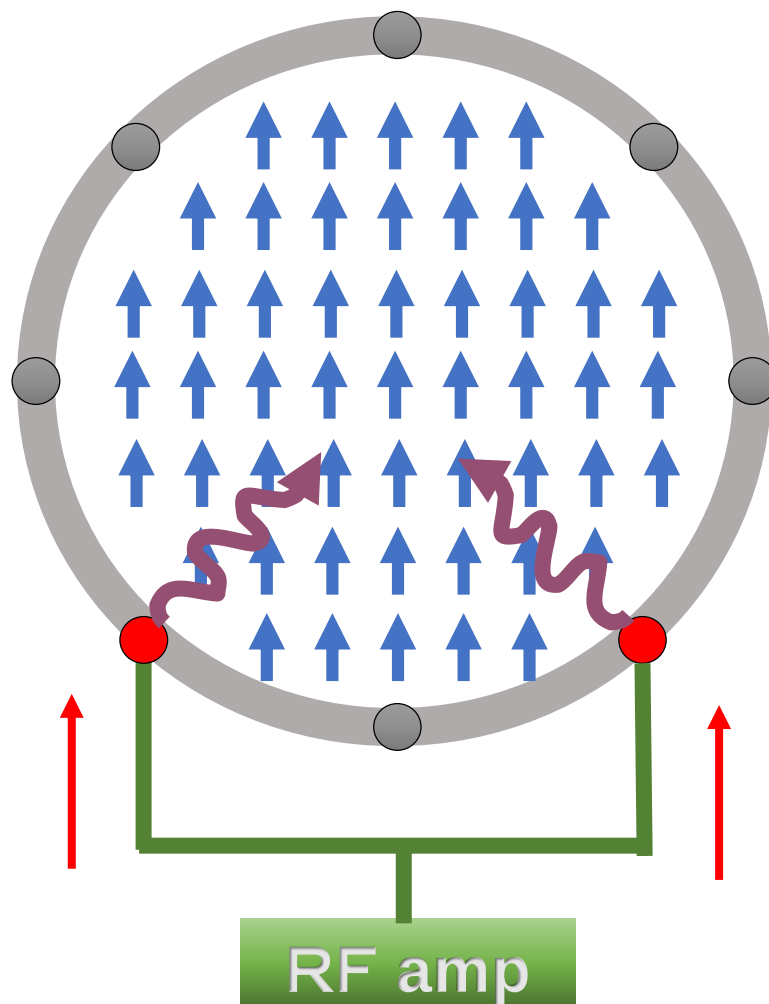
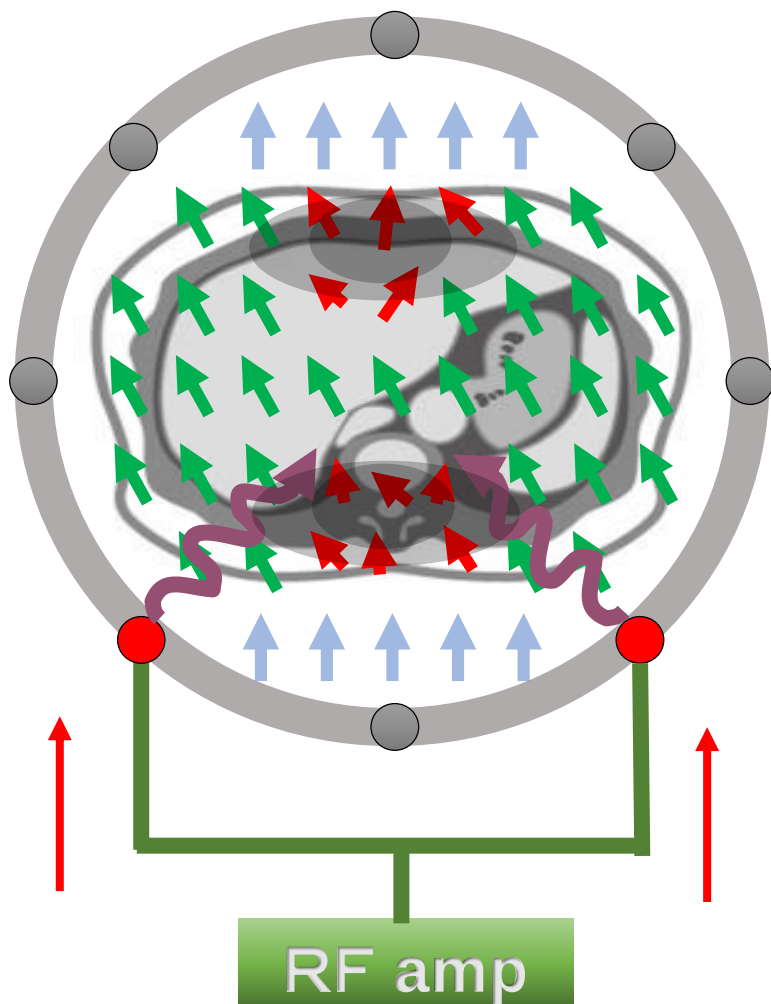
対象物が無い場合



● B<sub>1</sub> field on 3T

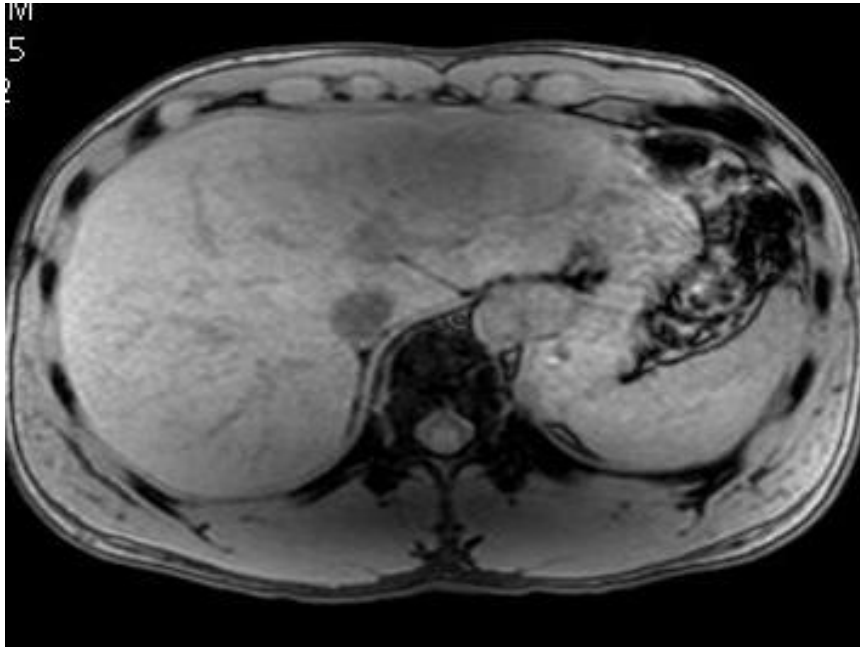
- Quadrature送信は対象物がなければ均一なB<sub>1</sub>場を提供
- 3.0Tではより影響が強く表れる

対象物が無い場合

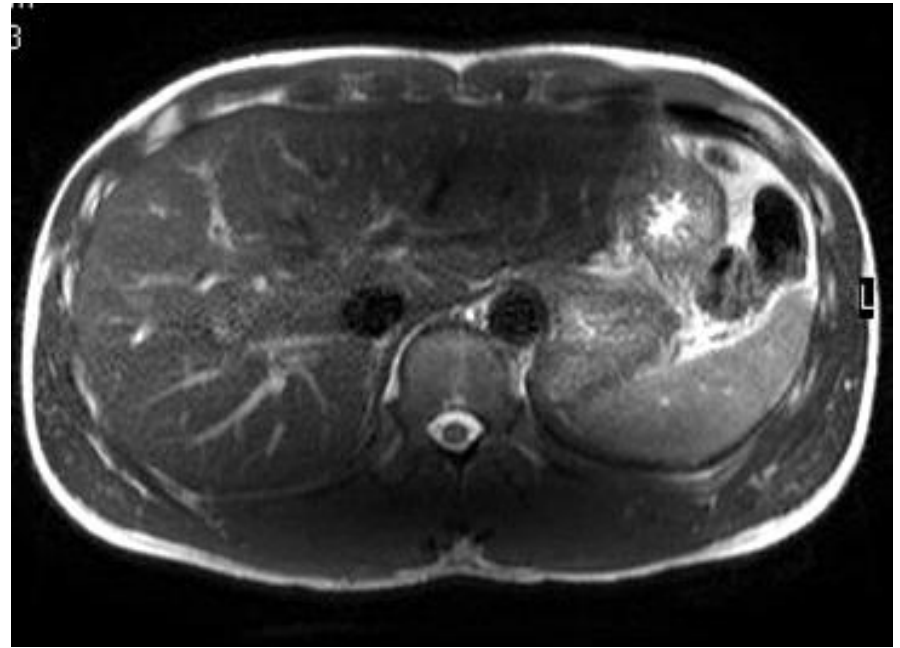


# 3.0Tに特有の問題

T1FFE



T2FSE



励起が不十分なことに起因する画像の極端な濃度ムラ

**何が問題となってるのか？**

**何が変化？**

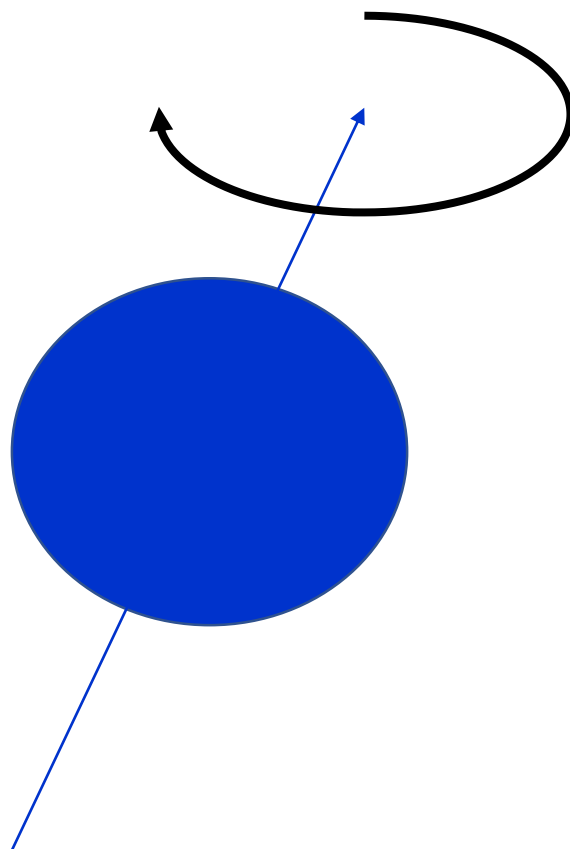
# **1. RF波長の問題**

# **2. 生体の電氣的性質**

- 誘電率
- 伝導率
- 透磁率



# MRIは核磁気共鳴！



# RFはプロトンの回転周波数に一致

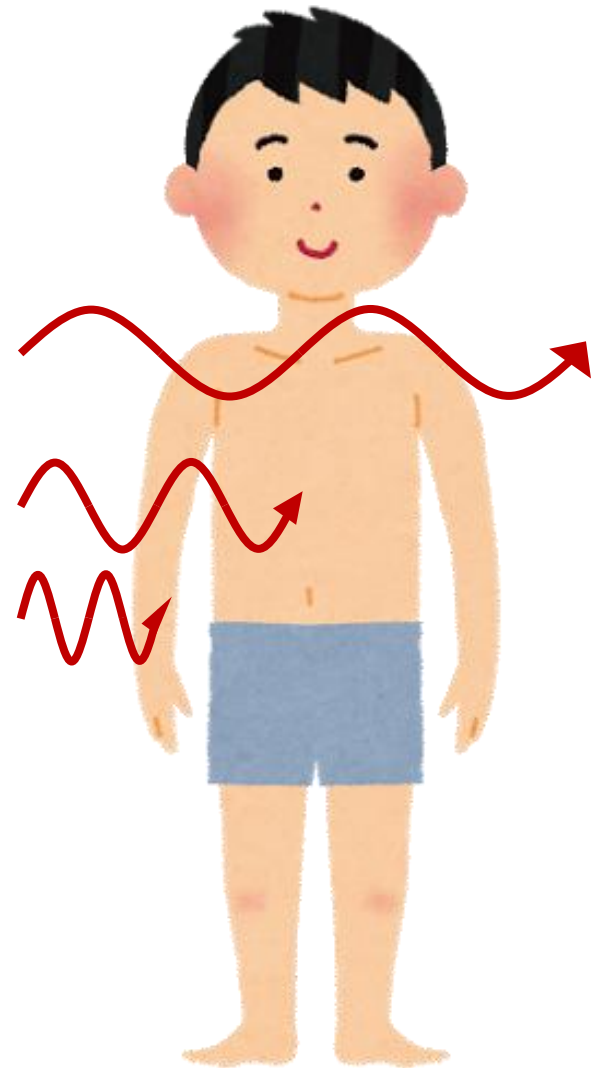
## ラーモア周波数より

1.5T : 64MHz  $\Rightarrow \lambda = 52 \text{ cm}$

3.0T : 128MHz  $\Rightarrow \lambda = 26 \text{ cm}$

7.0T : 298MHz  $\Rightarrow \lambda = 11 \text{ cm}$

高磁場ほど波長が短くなる

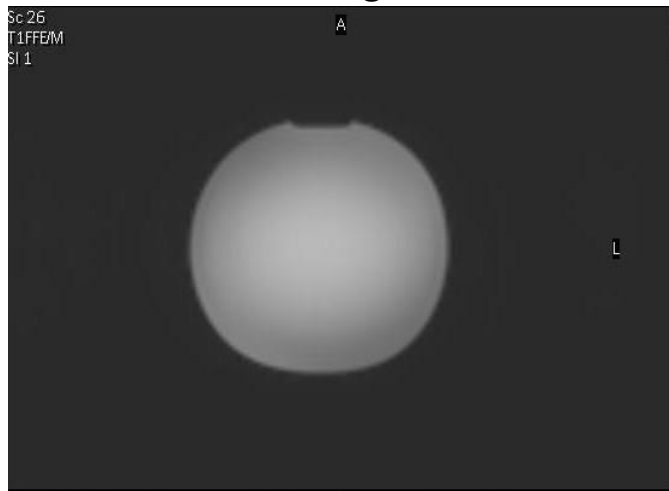


# Small phantom

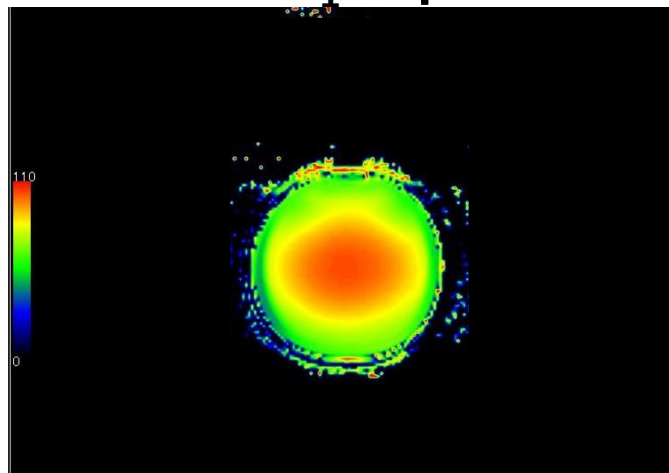
小さな被写体では問題とならない

## 1.5T

image

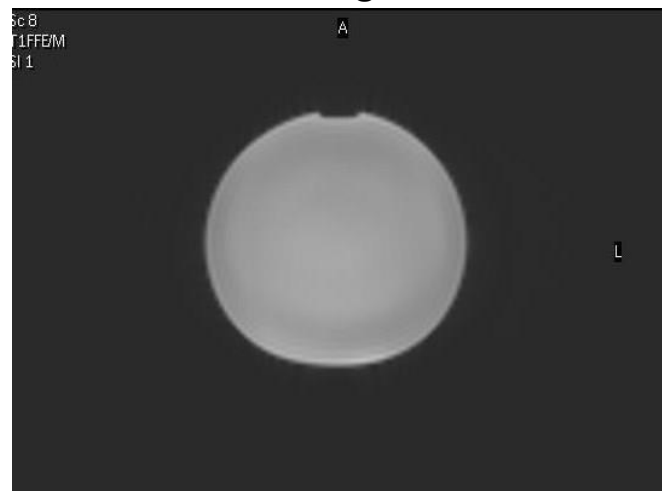


B<sub>1</sub>map

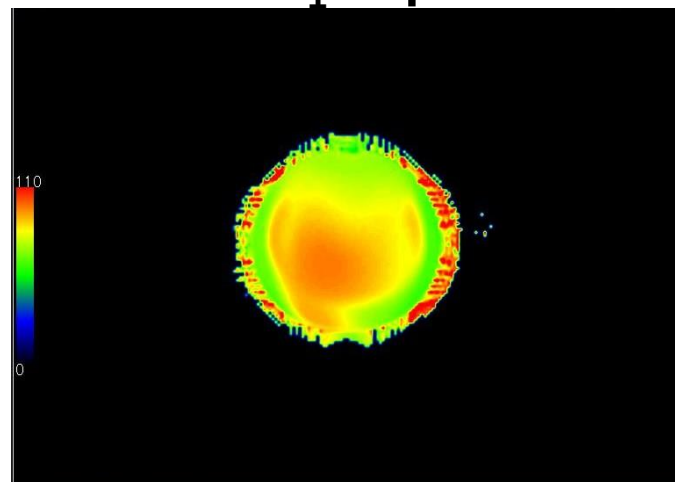


## 3.0T

image



B<sub>1</sub>map

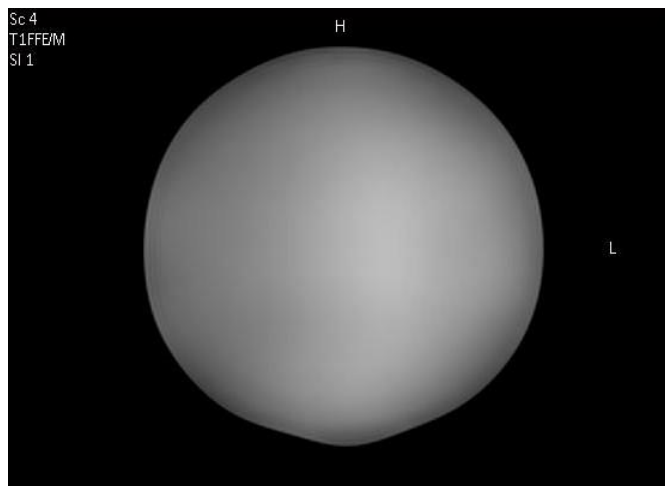


# Large phantom

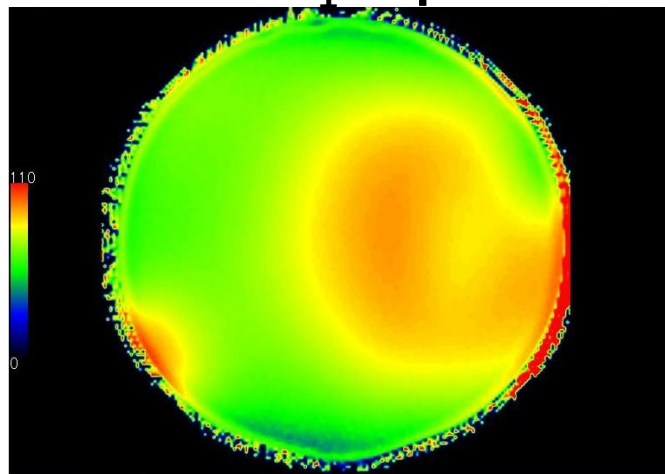
大きくなると内容物が同じでも濃度ムラ

**1.5T**

image



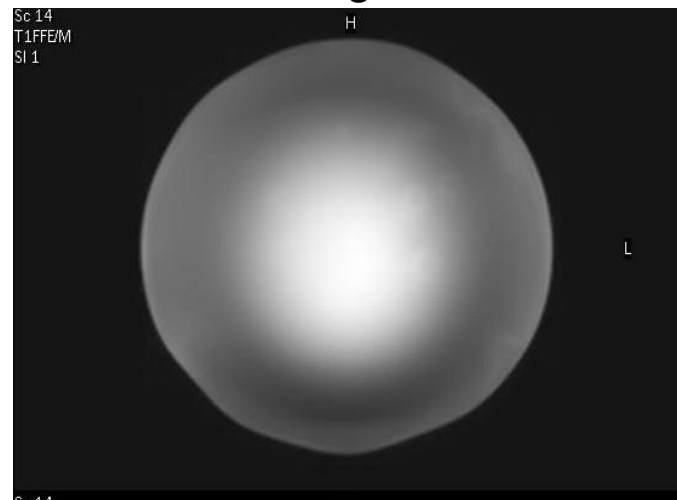
**B<sub>1</sub>map**



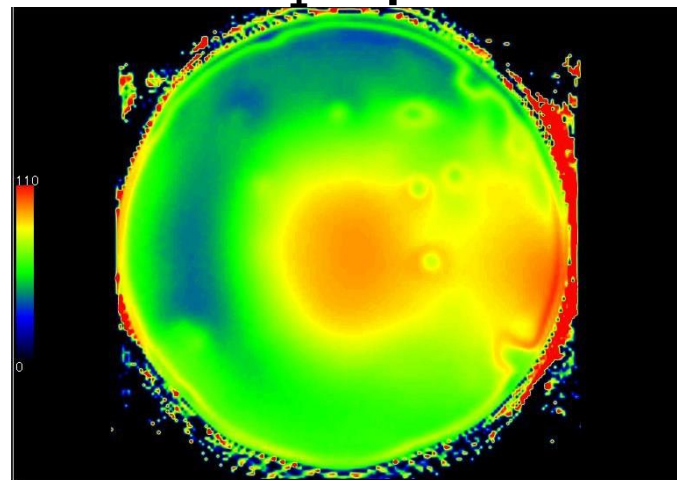
Penetrationの低下？

**3.0T**

image

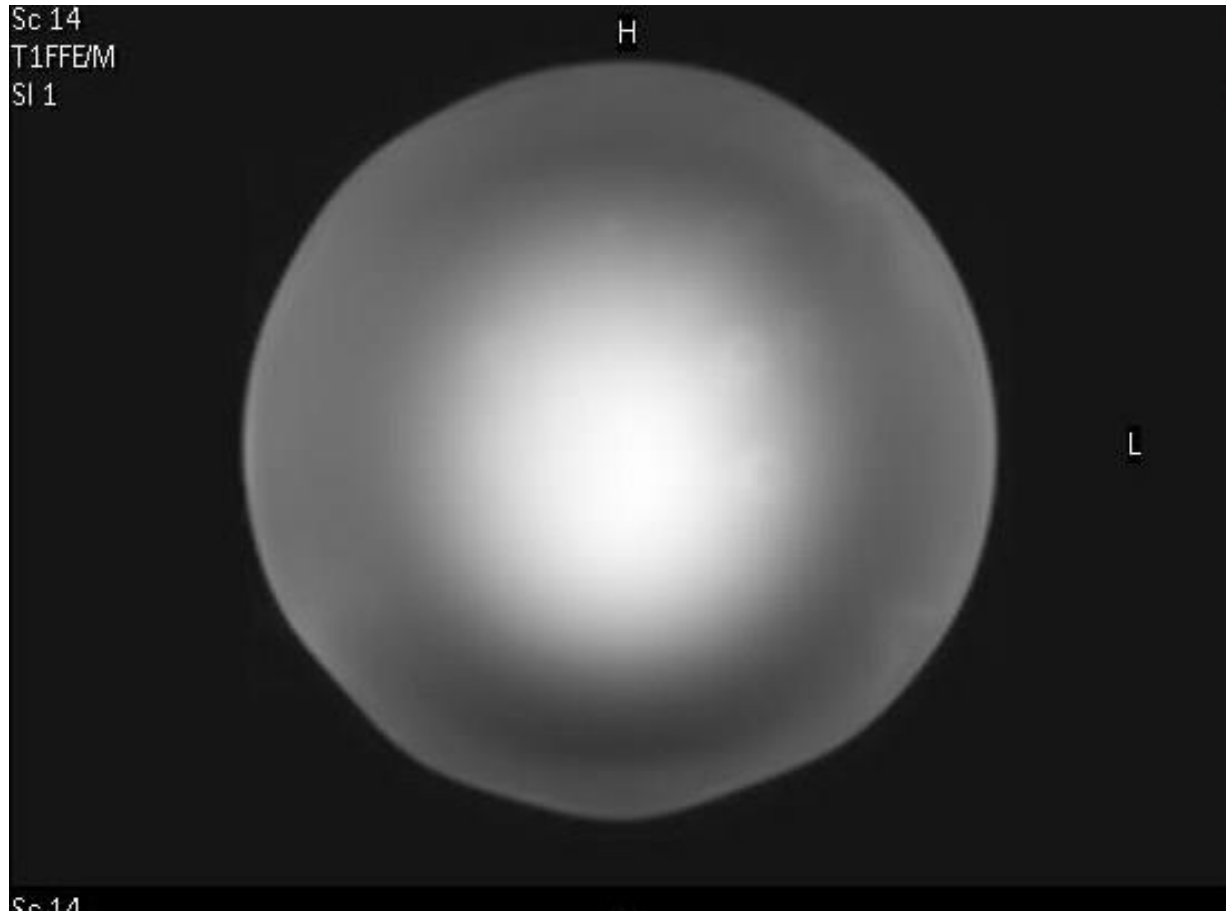


**B<sub>1</sub>map**

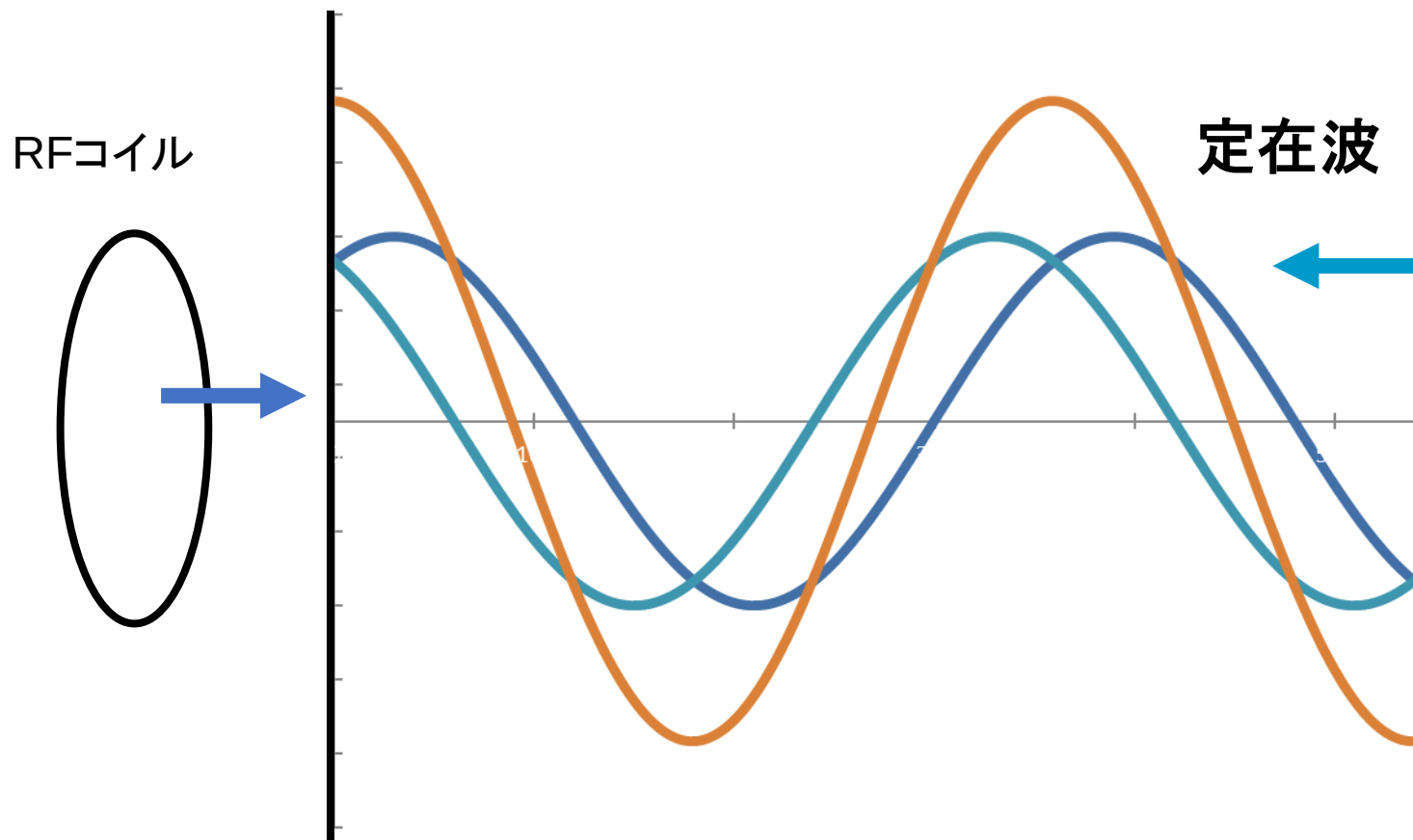


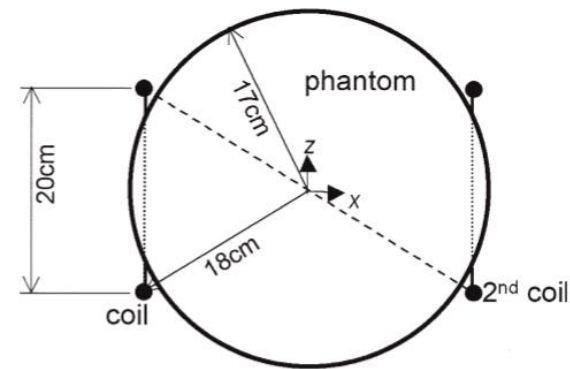
RF分布のバラツキが顕著

# 誘電共鳴効果



# 誘電共鳴効果

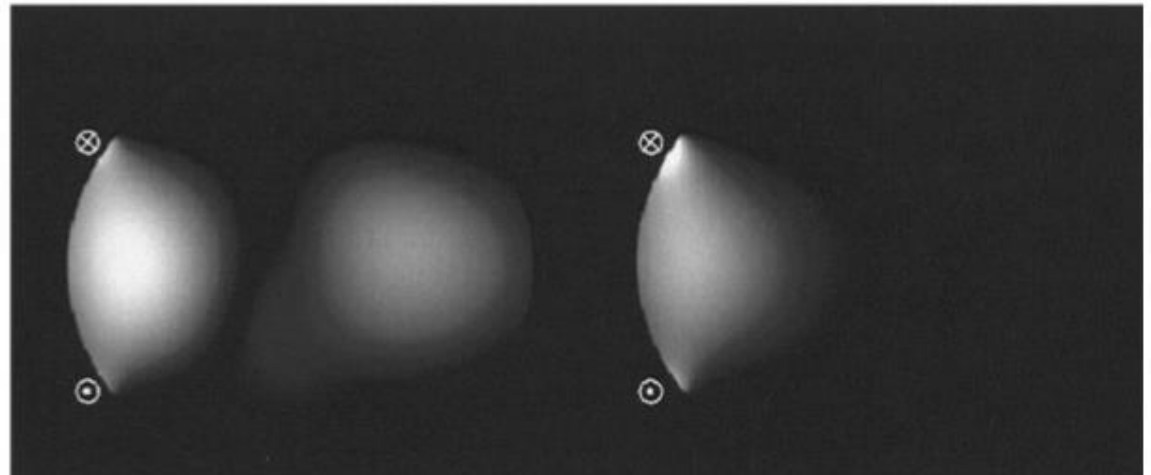




One Coil

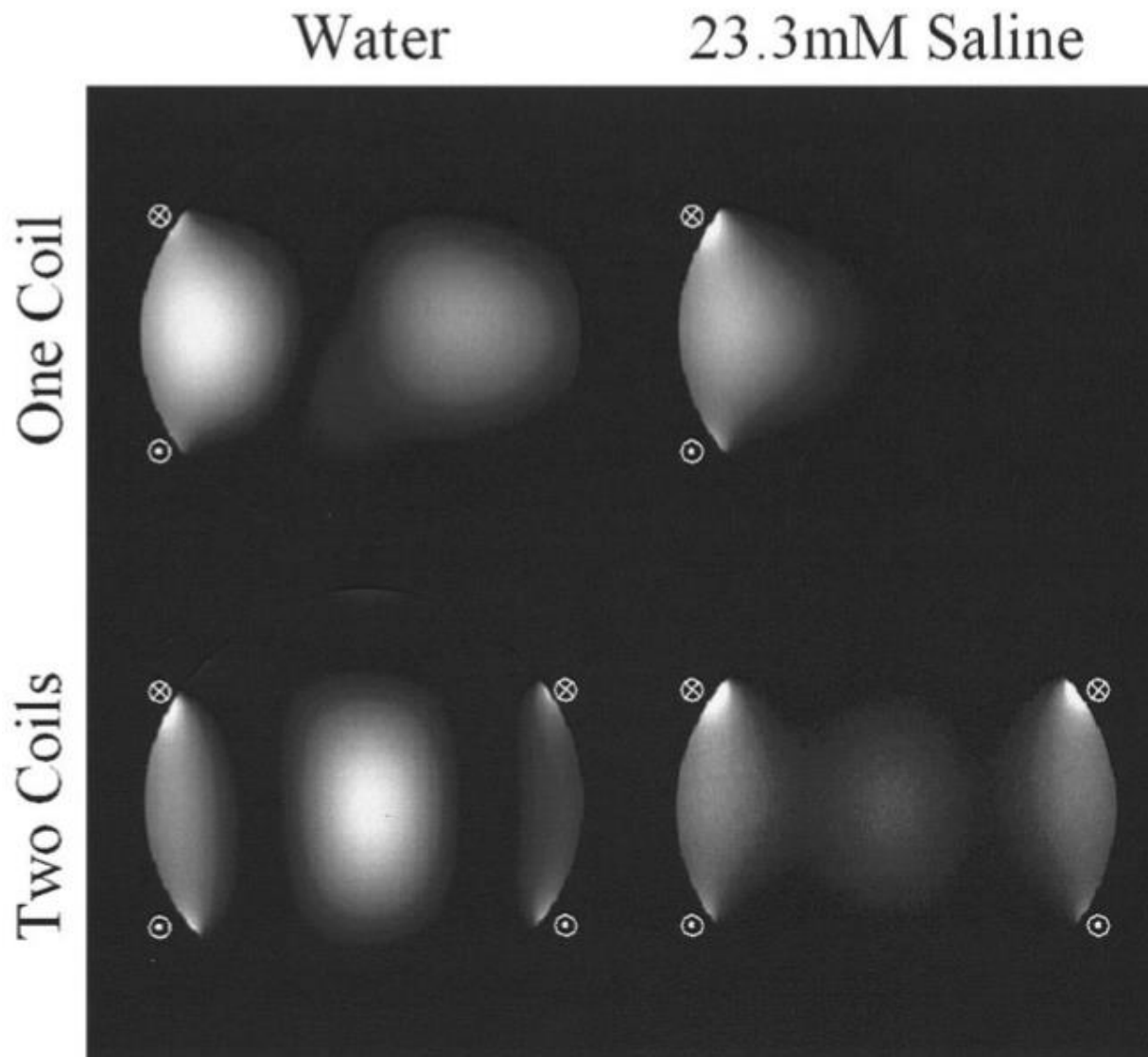
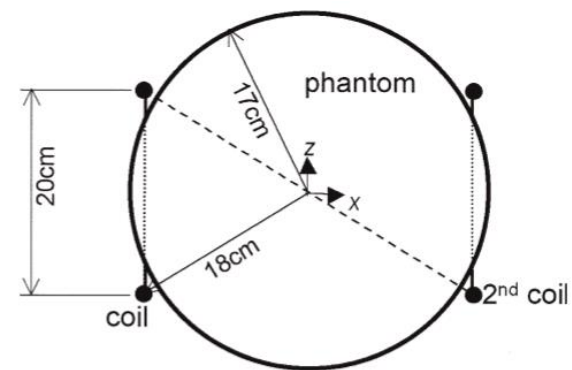
Water

23.3mM Saline



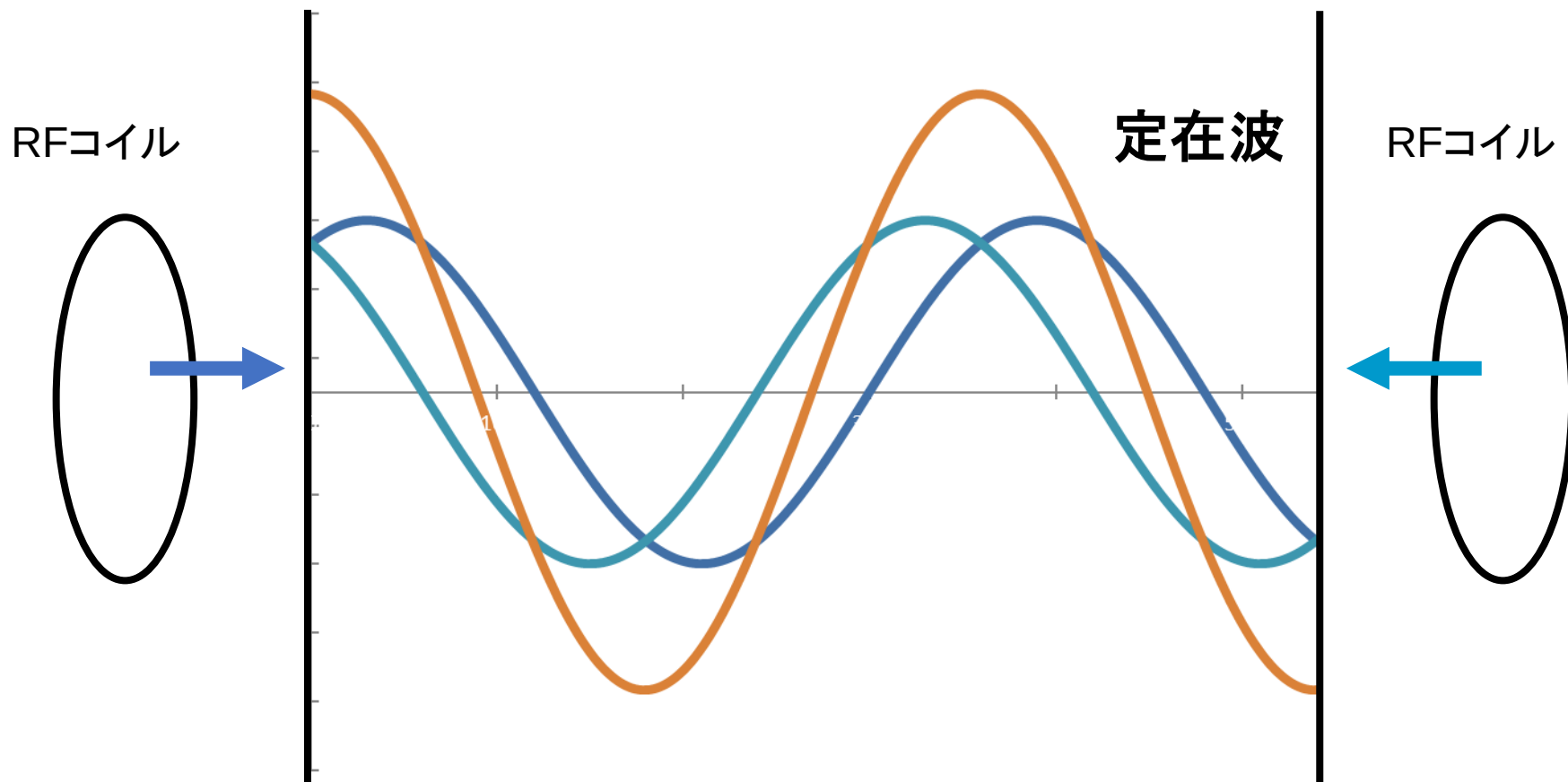
伝導率が高い場合⇒ 波が減衰するため反射効果は弱まり、  
誘電効果は抑制

生体内では波の減衰が支配的



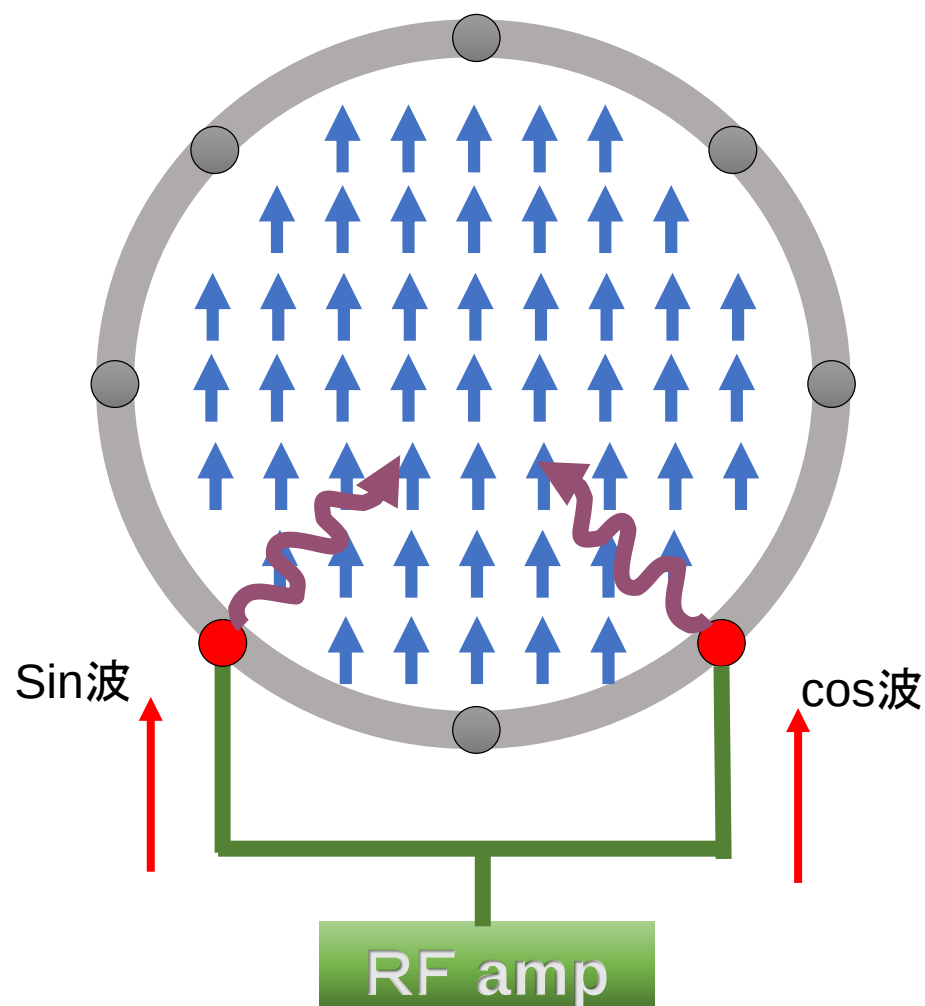
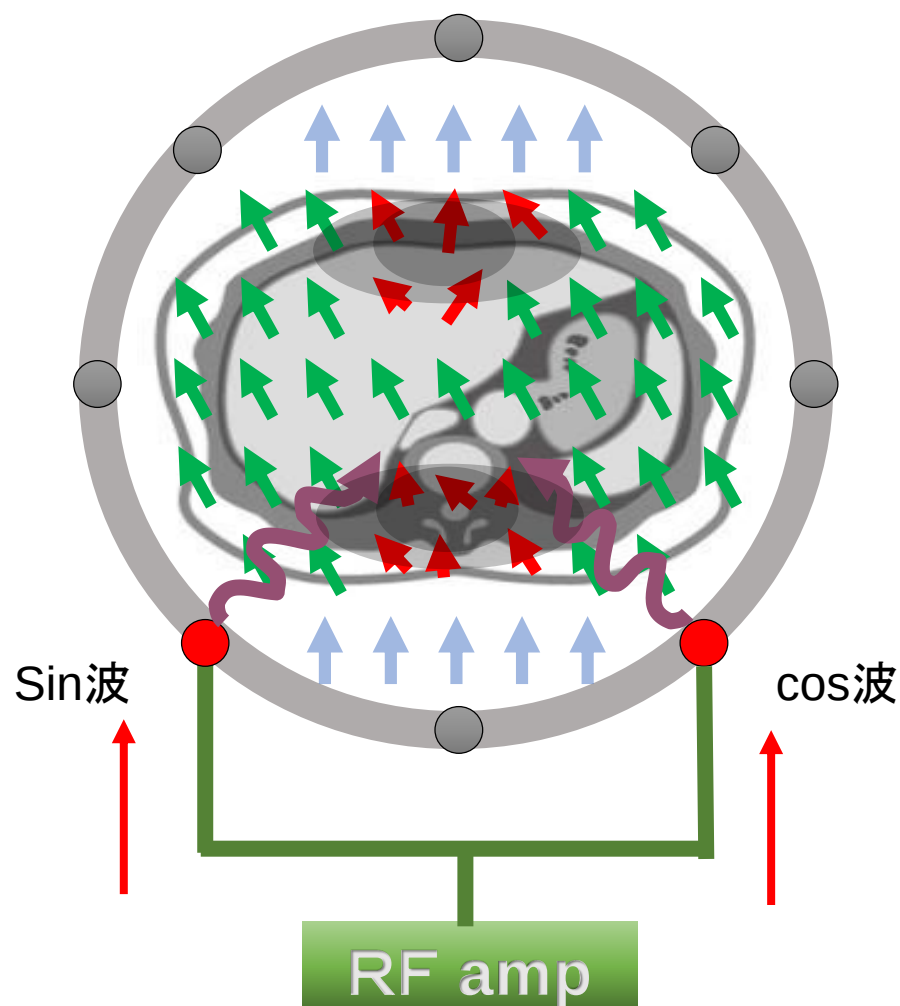


# 誘電遮断効果

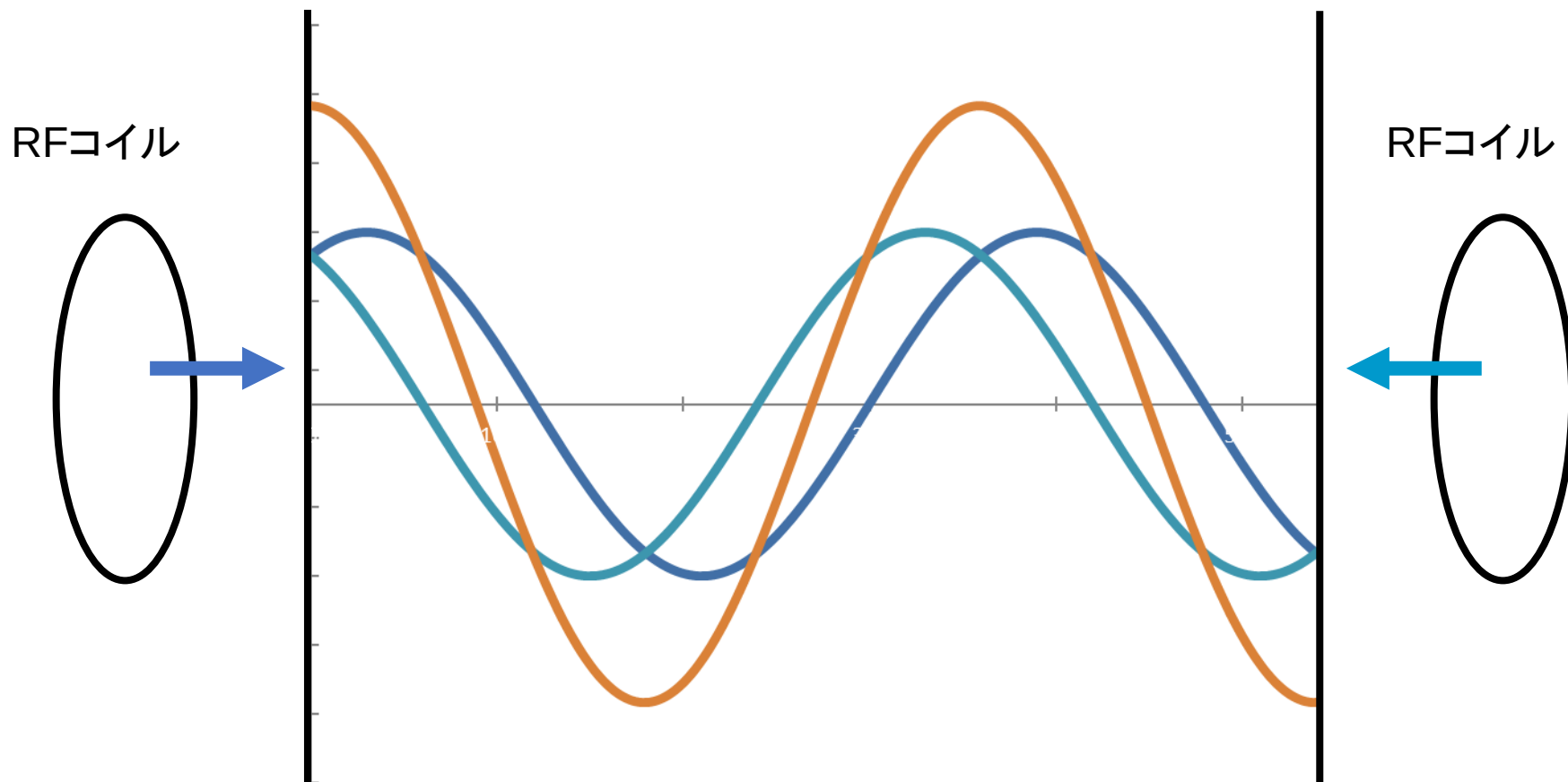


- 3.0TにおけるQD送信
- 理想的なsin波とcos波の関係性が崩れ干渉

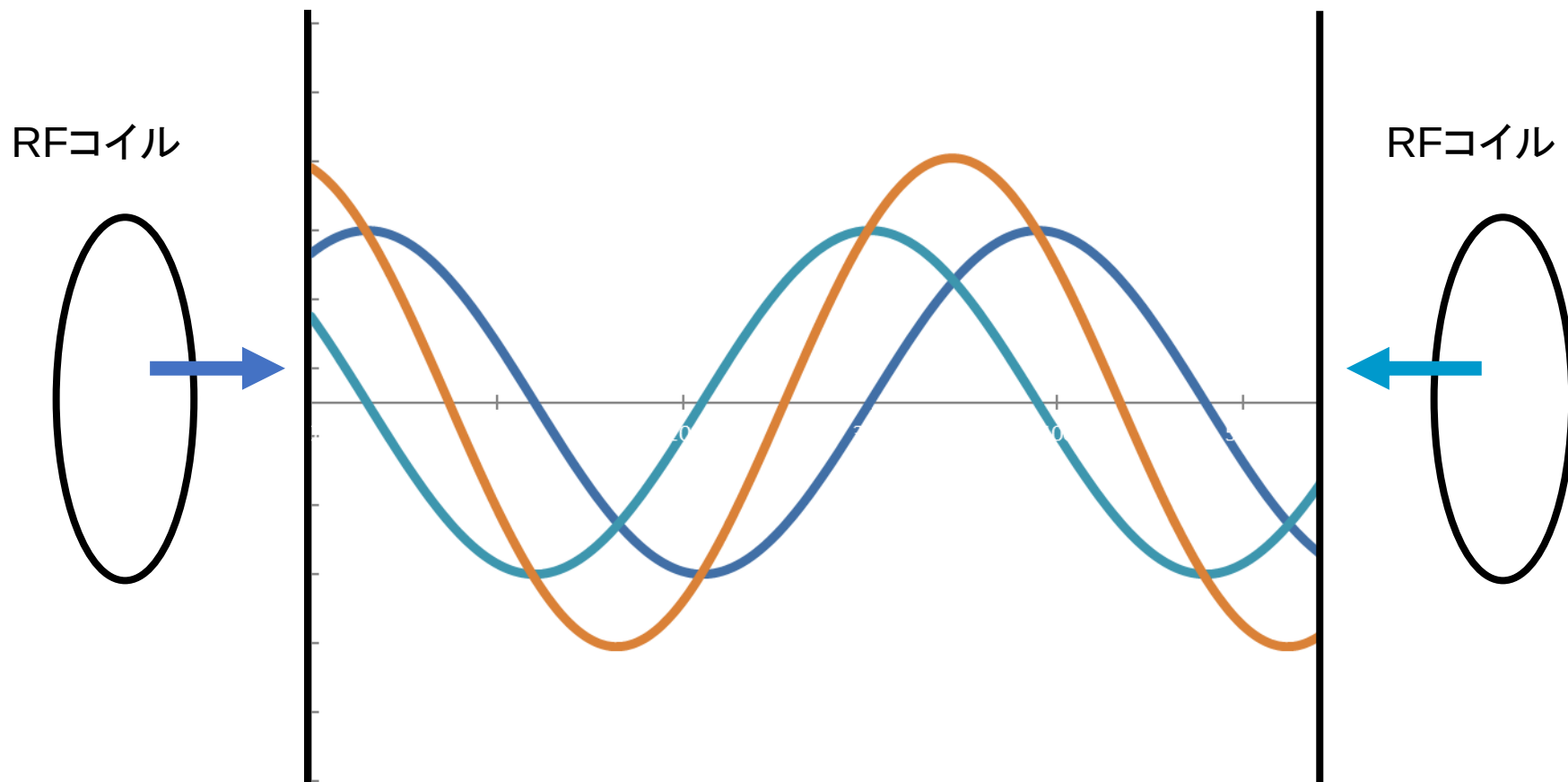
対象物が無い場合



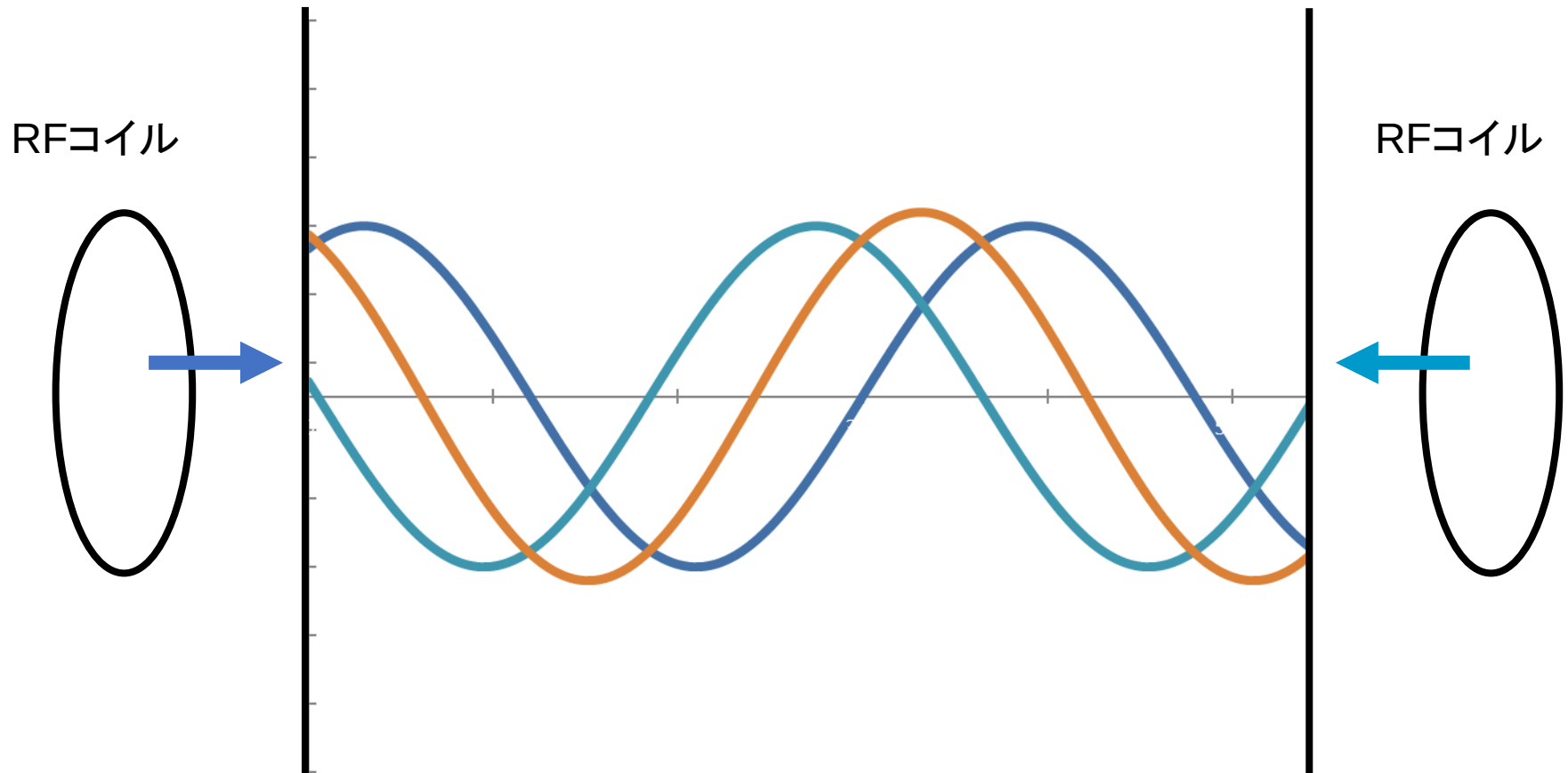
# 誘電遮断 ⇒ RFシミング



# 誘電遮断 ⇒ RFシミング



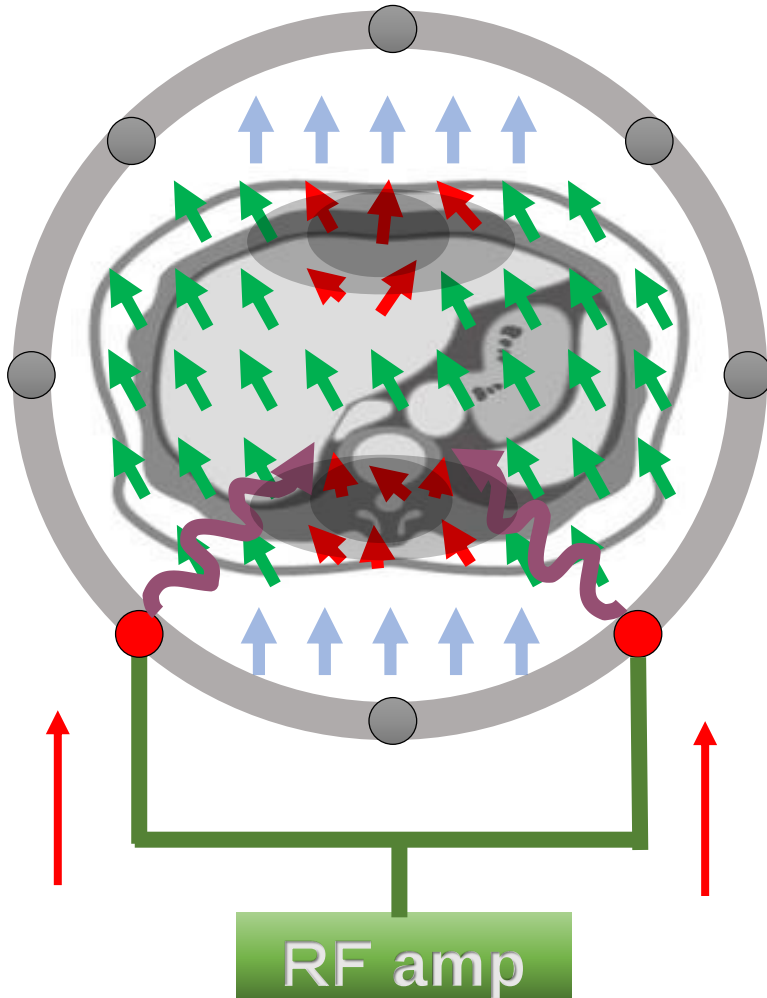
# 誘電遮断 ⇒ RFシミング



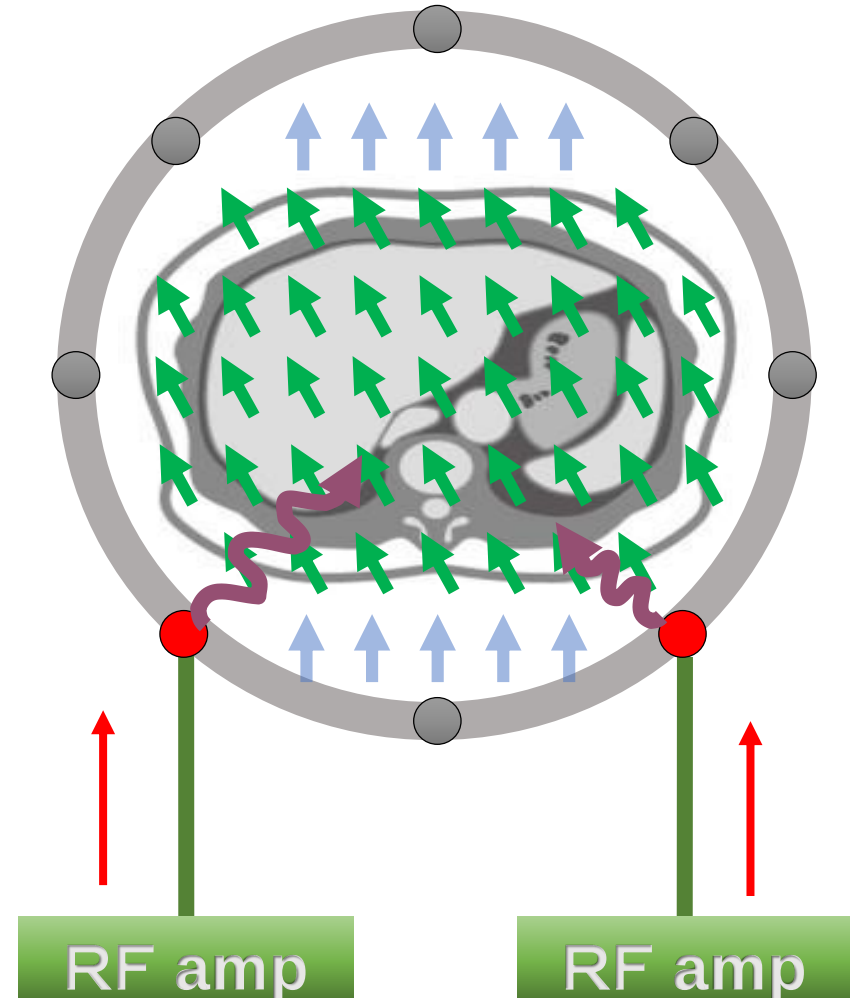
Multi transmitの基本原理

- 各RF送信アンプを独立制御
- 位相と振幅を調整

## Single transmit

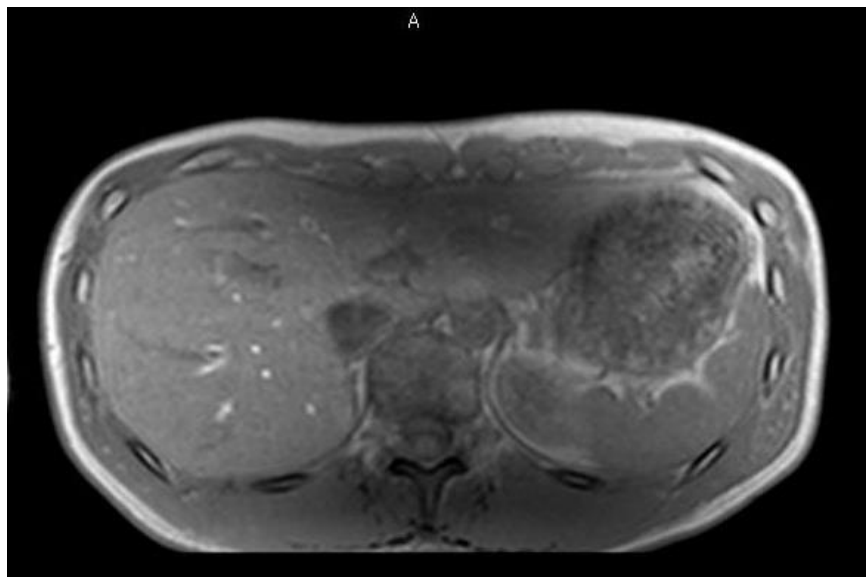


## Multi transmit

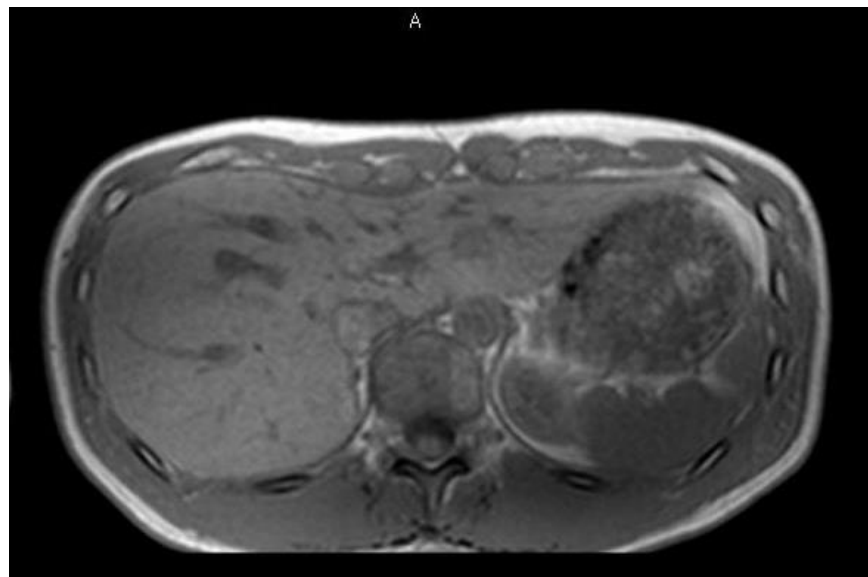


# Multi Transmit

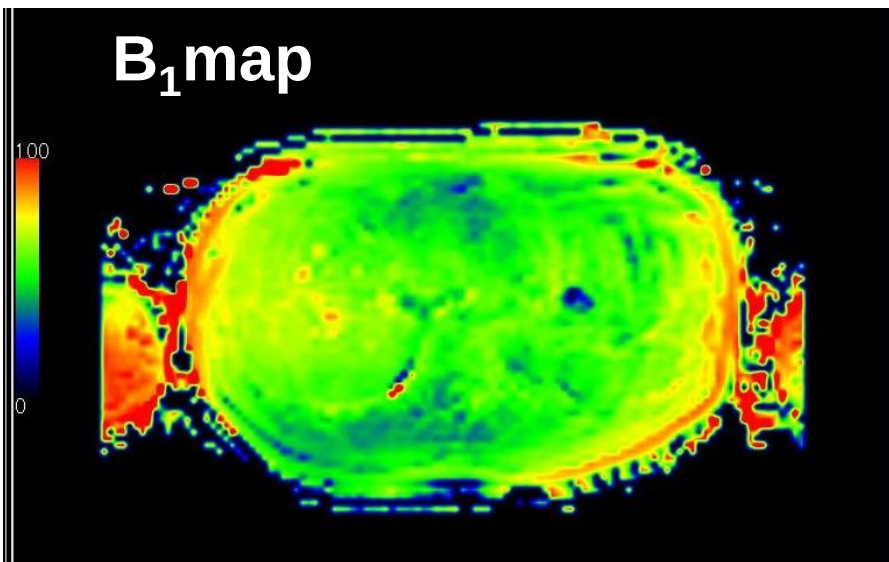
Single transmit



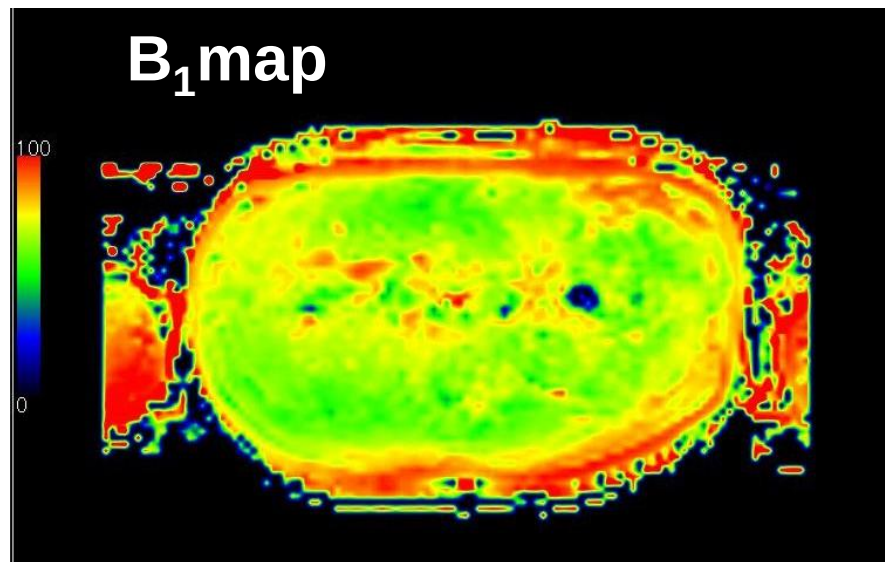
Multi transmit



$B_1$ map



$B_1$ map



各装置メーカーともに3.0Tでは同様の技術が使用されている

# RF shimming



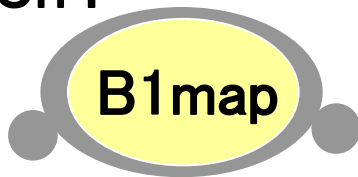
## B1calibrationによって検査毎・患者毎に適したRF出力補正を行う



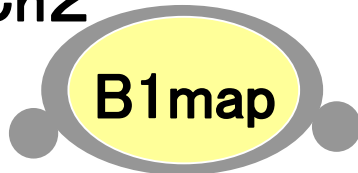
### B1 Calibration

・補正元となるB1mapを取得

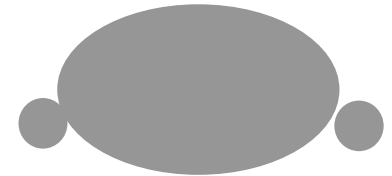
送信Ch1



送信Ch2



+ モデル式に当てはめ =  
位相と振幅を算出



Multi Transmitの恩恵

**SARの低減効果**

人体に与えたRFエネルギーは熱に置き換わる

$$SAR \propto \sigma \cdot E^2$$



**SAR**: Specific Absorption Rate [W/kg]

$$SAR \propto \sigma \cdot \gamma^2 \cdot B_0^2 \cdot \theta^2 \cdot D$$

$\sigma$ : 電気伝導率、 $\gamma$ : 球体モデルの半径、 $B_0$ : 静磁場強度、 $\theta$ : フリップアングル、 $D$ : Duty cycle

既に1.5Tの4倍

- TR
- FA
- TSE factor
- Refocus angle
- Packages (1TRにおける撮像枚数)

設定に対する撮像パラメータが  
よりシビア

## 通常操作モード

➤ **頭部**     **3,2 W/kg**

➤ **腹部**     **2,0 W/kg**

3.2 W/kg

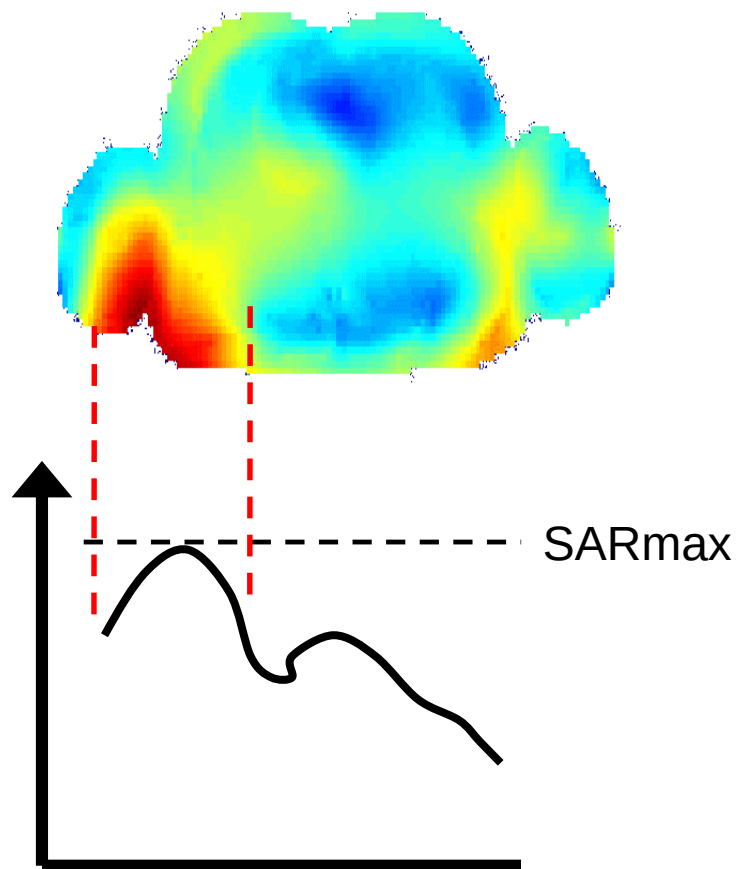
| stproc                     | offc/ang           | conflicts |
|----------------------------|--------------------|-----------|
| ▲ Total scan duration      | 02:27.5            |           |
| Rel. signal level (%)      | 100                |           |
| Act. TR/TE (ms)            | 16 / 3.5           |           |
| ACQ voxel MPS (mm)         | 0.57 / 0.89 / 1.40 |           |
| REC voxel MPS (mm)         | 0.39 / 0.39 / 0.70 |           |
| Scan percentage (%)        | 63.9               |           |
| Packages                   | 5                  |           |
| Act. WFS (pix) / BW (Hz)   | 3.006 / 144.5      |           |
| Min. WFS (pix) / Max. B... | 0.579 / 749.9      |           |
| Min. TR/TE (ms)            | 16 / 2.2           |           |
| SAR / level                | 100%               |           |
| Whole body / level         | 0.0 / 0.9 / normal |           |
| B1 rms                     | 2.34 uT            |           |
| PNS / level                | 84% / 1st level    |           |
| Sound pressure level (...) | 15.5               |           |

2.0 W/kg

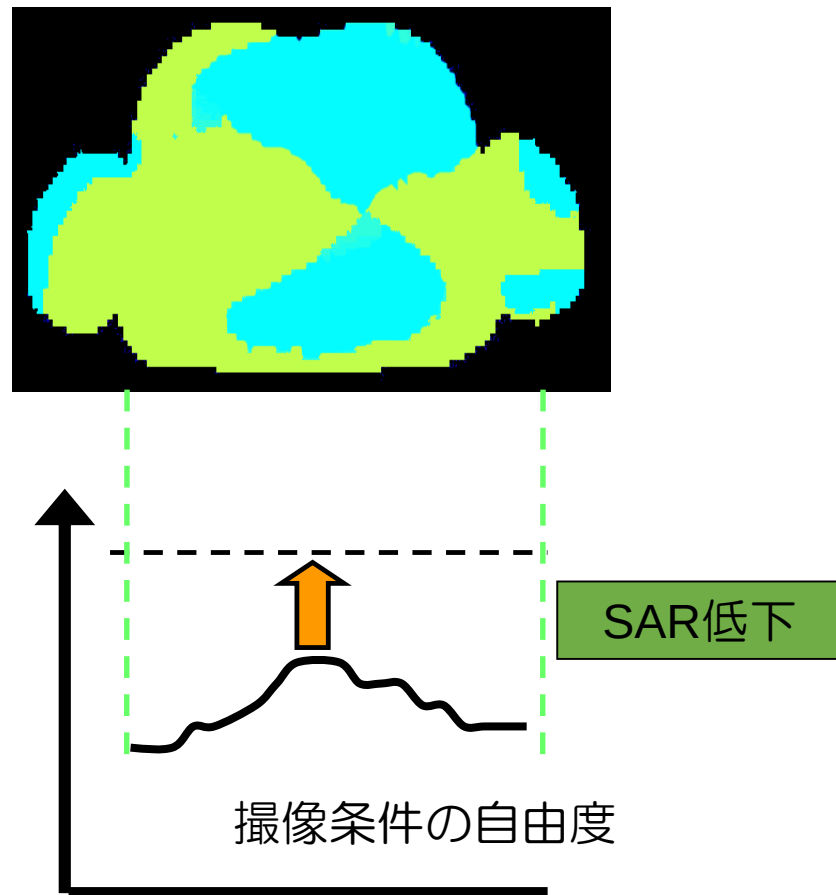
| stproc                     | offc/ang            | conflicts |
|----------------------------|---------------------|-----------|
| ▲ Total scan duration      | 03:32.9             |           |
| Rel. signal level (%)      | 100                 |           |
| Act. TR/TE (ms)            | 23 / 3.5            |           |
| ACQ voxel MPS (mm)         | 0.57 / 0.89 / 1.40  |           |
| REC voxel MPS (mm)         | 0.39 / 0.39 / 0.70  |           |
| Scan percentage (%)        | 63.9                |           |
| Packages                   | 5                   |           |
| Act. WFS (pix) / BW (Hz)   | 3.006 / 144.5       |           |
| Min. WFS (pix) / Max. B... | 0.579 / 749.9       |           |
| Min. TR/TE (ms)            | 23 / 2.2            |           |
| SAR / level                | < 100%              |           |
| Whole body / level         | < 0.9 W/kg / normal |           |
| B1 rms                     | 1.62 uT             |           |
| PNS / level                | 83% / 1st level     |           |
| Sound pressure level (...) | 13.8                |           |

頭部のMRA(TOF)  
SARの上限を3.2から  
2.0に落としただけでこうも  
撮像時間が延長してしまう

## Single transmit



## Multi transmit



算出される固定値  
SAR低下によりパラメータの自由度は向上

$$SAR \propto \sigma \cdot \gamma^2 \cdot B_0^2 \cdot \theta^2 \cdot D$$

$\sigma$ : 電気伝導率、 $\gamma$ : 球体モデルの半径、 $B_0$ : 静磁場強度、 $\theta$ : フリップアングル、 $D$ : Duty cycle

フリップアングル

$$\theta = r B_1 t$$

2つのコイルで $B_1$  (振幅) を分担するためSARを低くすることができる



$$SAR \propto \sigma \cdot \gamma^2 \cdot B_0^2 \cdot \theta^2 \cdot D$$

$\sigma$ : 電気伝導率、 $\gamma$ : 球体モデルの半径、 $B_0$ : 静磁場強度、 $\theta$ : フリップアングル、 $D$ : Duty cycle

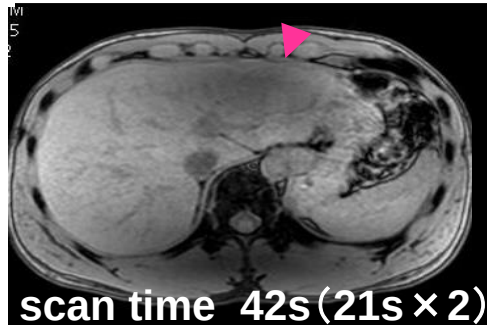
- TR
- FA
- TSE factor
- Refocus angle
- Packages

大きく緩和

## Single transmit

### dual echo T1FFE

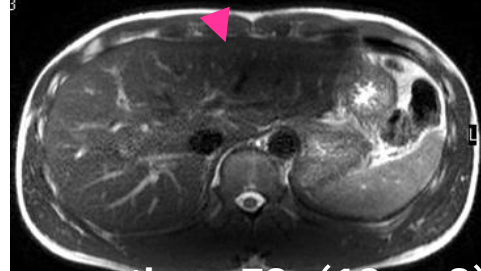
TR/TE/FA 209/2.3 3.45/65  
number of slices 20  
slice thickness/gap 8mm/1mm



scan time 42s (21s × 2)

### T2 TSE multi shot BH

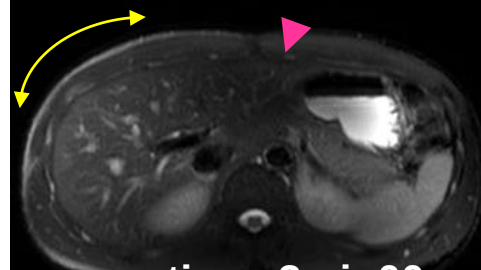
TR/TE 3037/70  
TSE factor 22  
number of slices 20  
slice thickness/gap 8mm/1mm



scan time 72s (18s × 8)

### FS T2 TSE multi shot RT

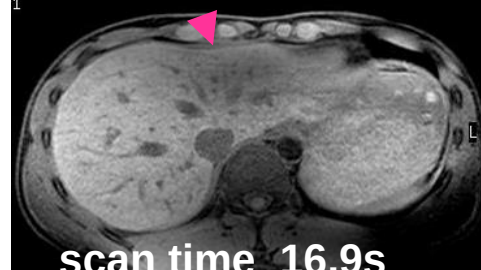
TR/TE 1300/70  
TSE factor 22  
number of slices 20  
slice thickness/gap 8mm/1mm



scan time 3min00s

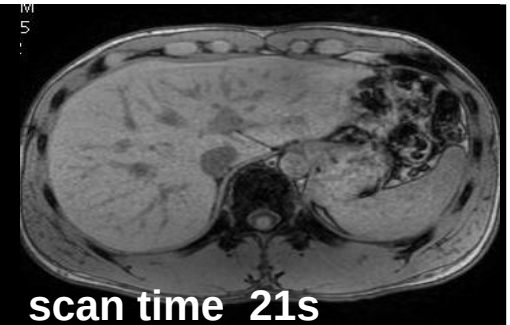
### e-THRIVE (3DFST1)

TR/TE/FA 3.5/1.5/10°  
TFE factor 38  
number of slices 70  
slice thickness/gap 5mm/-2.5mm

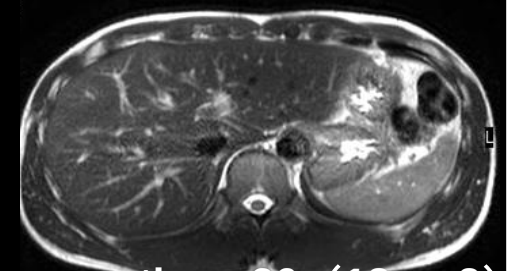


scan time 16.9s

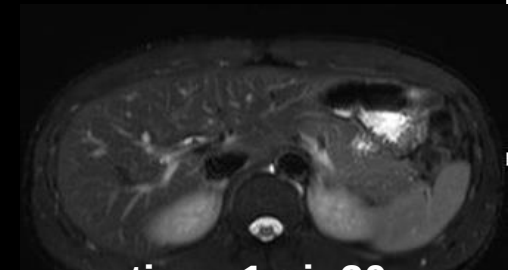
## Multi transmit



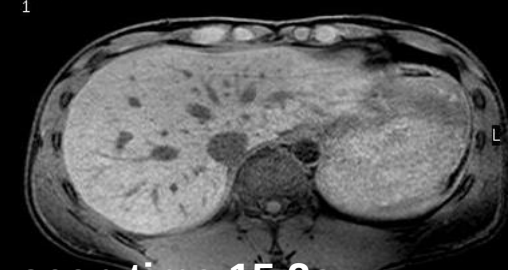
scan time 21s



scan time 36s (18s × 2)



scan time 1min30s



scan time 15.2s

# 小まとめ

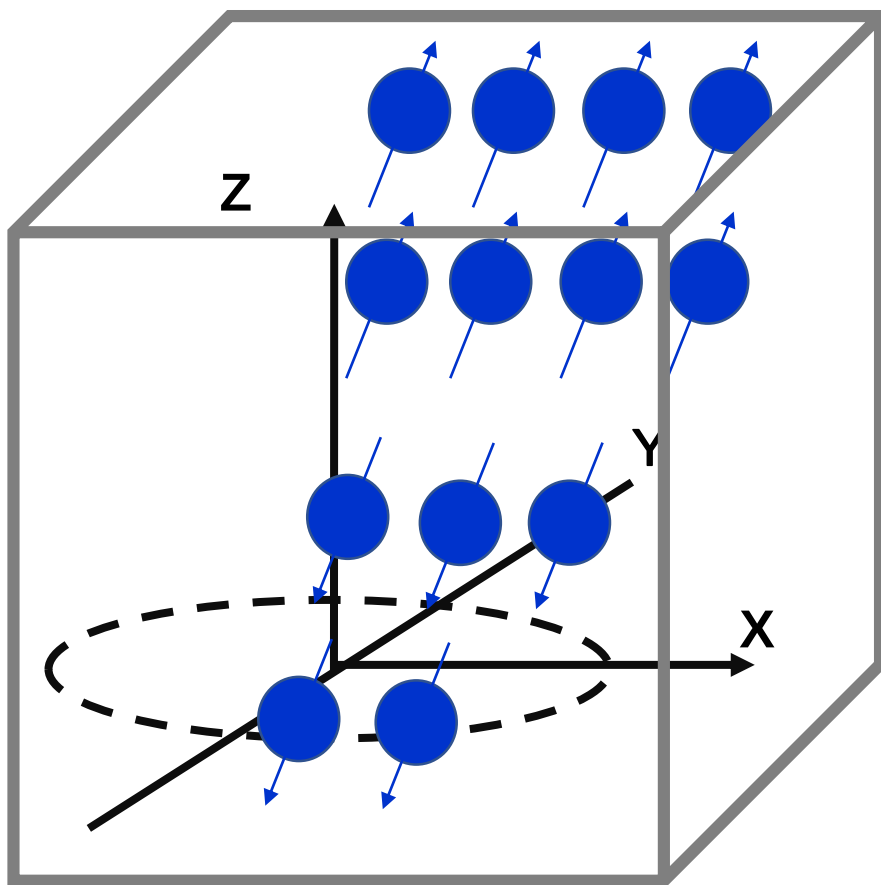
- $B_1$ について基本原理
- 3Tにおける $B_1$ 不均一の問題点とその克服
- SARについて

1.5Tのルーチンワークに近づいた

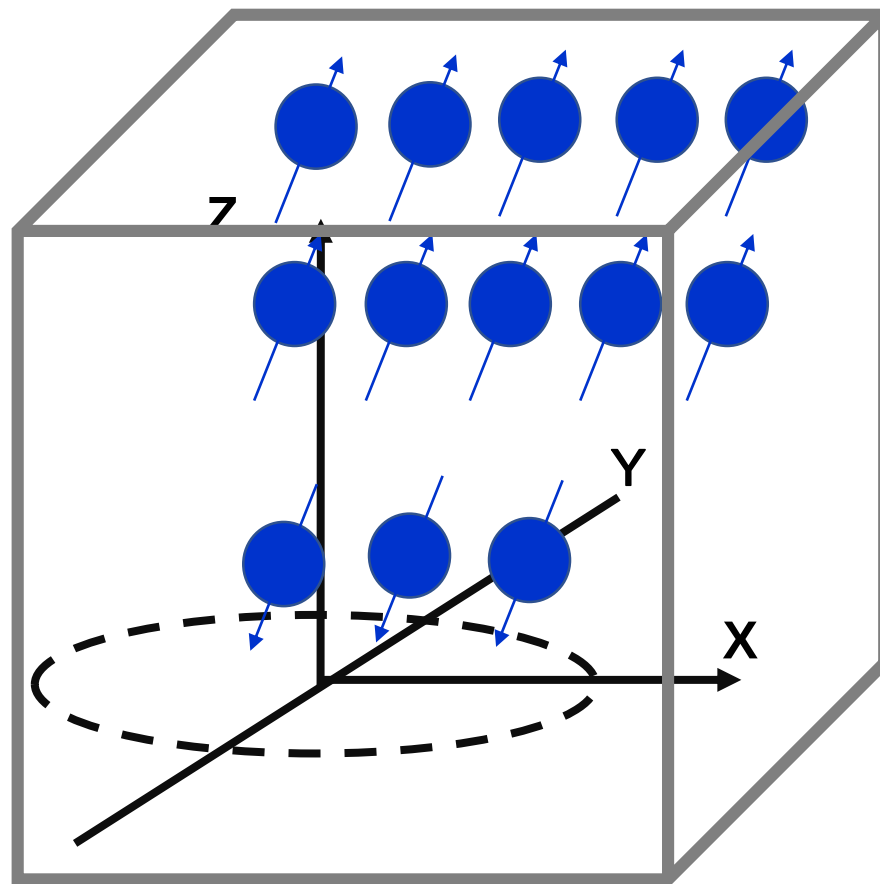
・・・というのが現状

**Advantage?**

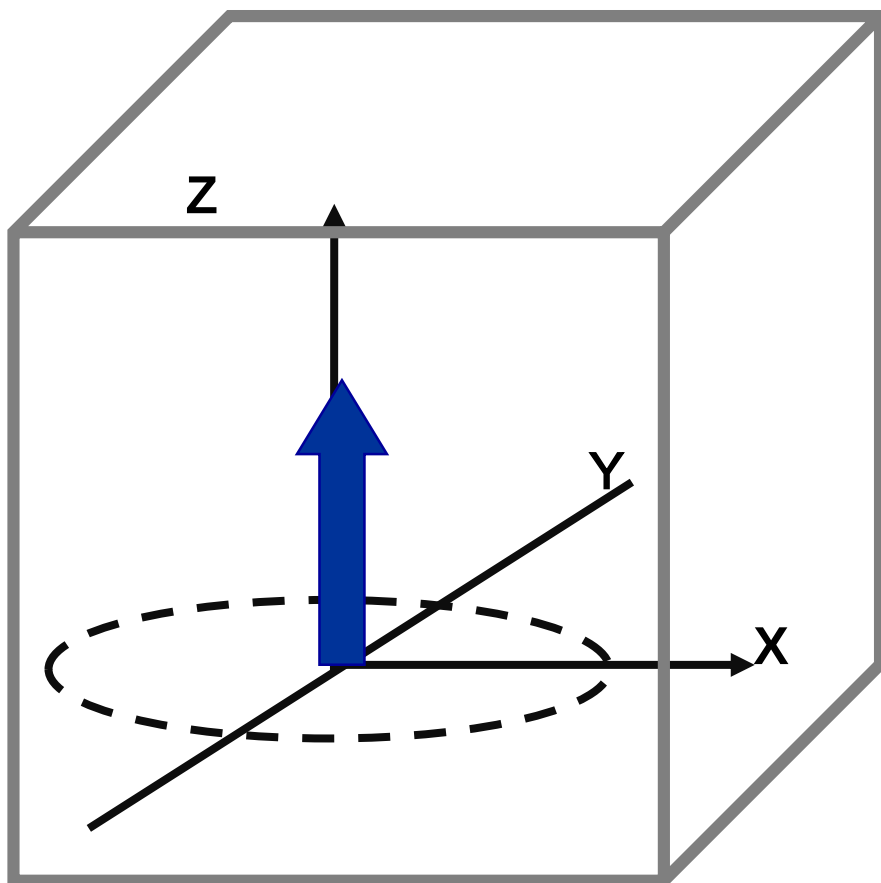
**1.5T**



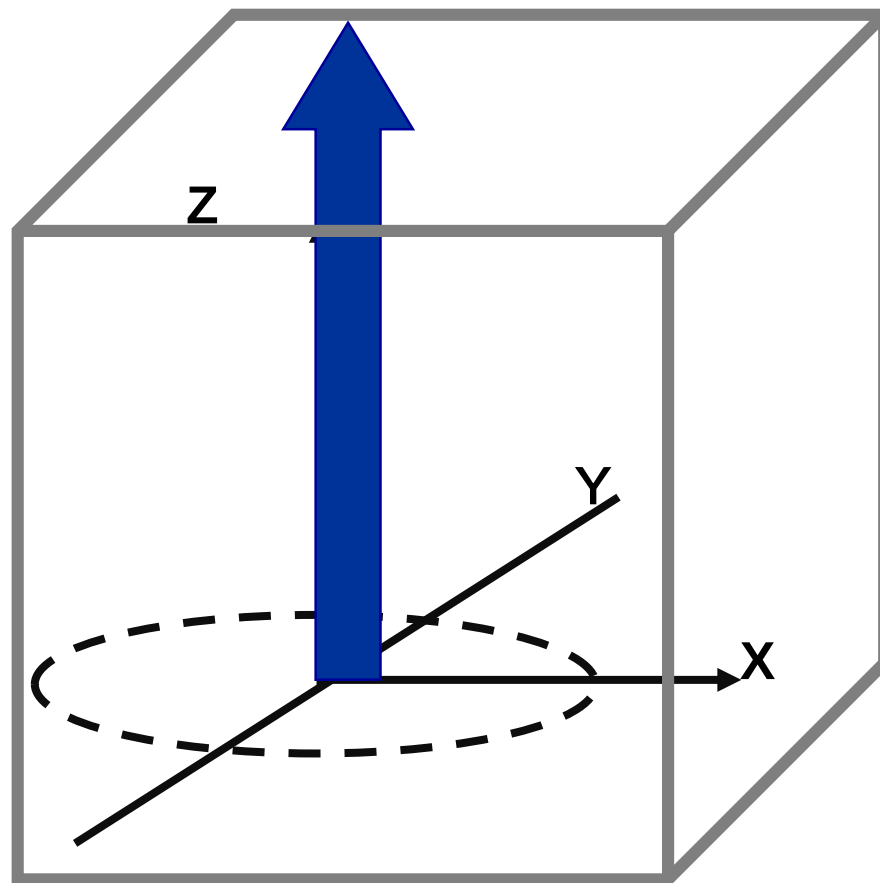
**3.0T**



**1.5T**



**3.0T**



$$SNR = B_0 \times \text{voxel volume} \times \text{sampling time} \times NEX$$

$$\text{Voxel volume} = \frac{\text{Slice thickness} \times \text{FOV}}{\text{Readのmatrix数} \times \text{phaseのmatrix数}}$$

$$\text{Sampling time} = \frac{1}{\text{Band width}}$$

空間分解能を高くすることができる

# Limitation





# まとめ

- $B_1$ とSARについて
- 検査の現状とリミテーション



終わり

# 参考文献

- 荒木力, MRI完全解説 第2版 秀潤社
- 日本磁気共鳴医学会安全性評価委員会, MRI安全性の考え方 秀潤社
- 高原太郎, MRI応用自在 第3版 メジカルビュー社
- 小原真, 次世代RFパルス送信技術“ MultiTransmit”-原理と臨床応用  
- Vol. 69 No. 3 Mar 2013 日放技
- 富羽貞範, MRI技術の最新トレンド Med ImagTech Vol.31 No.2 2013
- 山下裕市, Vantage Titan 3T Multi-PhaseTransmission,  
INERVISION(28・9)2013
- 金森勇雄 MRの実践 医療科学社
- <http://mriquestions.com/index.html>