

平成25年度

岡山大学大学院保健学研究科

博士学位申請論文

内容要旨

放射線技術科学分野

黒田 昌宏 教授 指導

73421006

播本 隆

平成25年 6月提出

内 容 目 次

主 論 文

Influence of permittivity and electrical conductivity on image pattern of MRI
(誘電率及び導電率の MRI 画像への影響)

播本 隆、大野誠一郎、廣末美幸、宮井将宏、服部謙吾
黒田昌宏、金澤 右、渋谷光一、加藤博和

Journal of X-Ray Science and Technology. 2013 Jan 1;21(2):147-59.

主 論 文

Influence of permittivity and electrical conductivity on image pattern of MRI

(誘電率及び導電率の MRI 画像への影響)

[緒言]

高磁場MRI装置の電気的特性による信号強度分布の変化は、MRI画像の不均一を発生する。これは、被写体の誘電特性による。しかし試料の電気的特性の違いによる信号強度分布の変化はあまり知られていない。高誘電率における信号強度分布の不均一の原因は定在波であり、高導電率ではRF磁場による渦電流によって磁場が減衰されると言われている。RF磁場の不均一については、波長と干渉効果によるものと考えられている。しかし試料の電気的特性に対する実際のフリップ角 (actual FA) と設定フリップ角 (Pre-determined FA) の関係についての研究は今のところ少ない。

我々は電気的特性の異なる試料を作成し、ファントムの電気的特性が実際のフリップ角に及ぼす影響について検討した。

[方法]

ファントムの材料は、低誘電率のオリーブオイル、高誘電率の蒸留水、中導電率の0.402 %食塩水および高導電率の4.02 %食塩水である。測定方法については、MRI装置がSiemens社製Magnetom Avanto 1.5 Tを用いて本体内蔵のRFコイルを使用する。ファントムは、RFコイル内に置かれプロトン密度強調法により測定される。

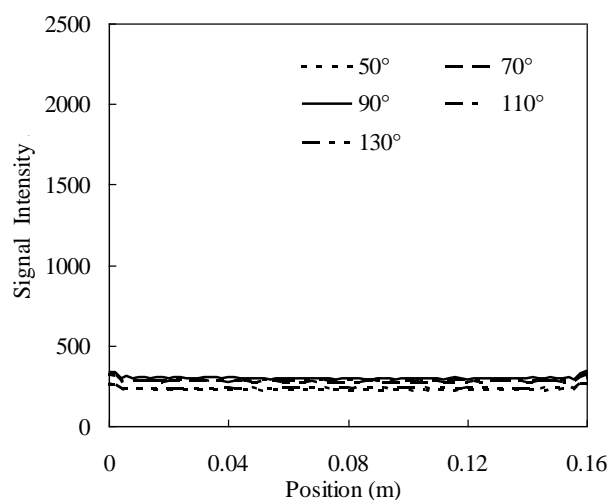
測定の条件はTR=10,000 ms, TE=15 msで一定とし、フリップ角は50°,70°,90°,110°,130°と変化させる。画像は、ファントムの中心を通る直線上の信号強度をImage Jを用いて解析する。このようにして得られた値を表計算ソフトに取り込み、信号強度分布を作成する。この分布よりファントムの中心部と辺縁部の各曲線の測定点を最小二乗法により二次曲線へfittingし、信号強度が最大となる設定フリップ角を求める。

また、ファントムが回転磁場内にある時の磁束密度分布を有限要素法により計算する。

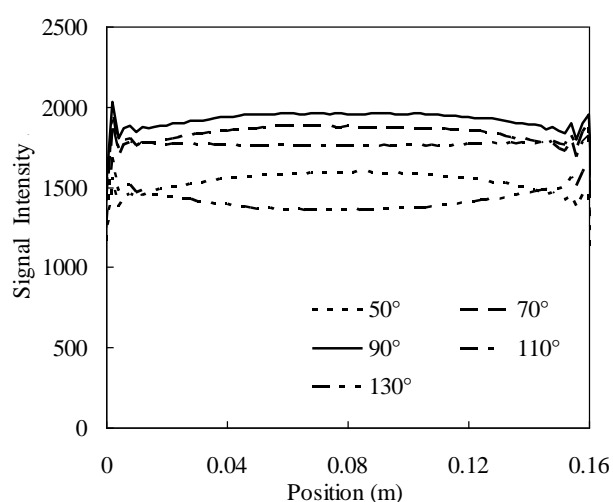
[結果]

各試料の中心部の信号強度と設定フリップ角の関係をFig.1に示す。オリーブオイルの信号強度分布をFig.1-(a)に示す。信号強度分布は設定フリップ角が変化しても平坦である。この信号強度分布は設定フリップ角が50°から90°までは各曲線の信号強度はわずかに大きくなっているが、90°から130°はわずかに小さくなっている。蒸留水の信号強度分布をFig.1-(b)に示す。この信号強度分布は設定フリップ角が50°から90°までは各曲線は凸を示し、信号強度は大きくなっている。設定フリップ角が90°から130°では各曲線は凹を示し、信号強度は小さくなっている。0.402 %食塩水の信号強度分布をFig.1-(c)に示す。信号強度分布の分布は蒸留水とほぼ同様である。4.02 %食塩水

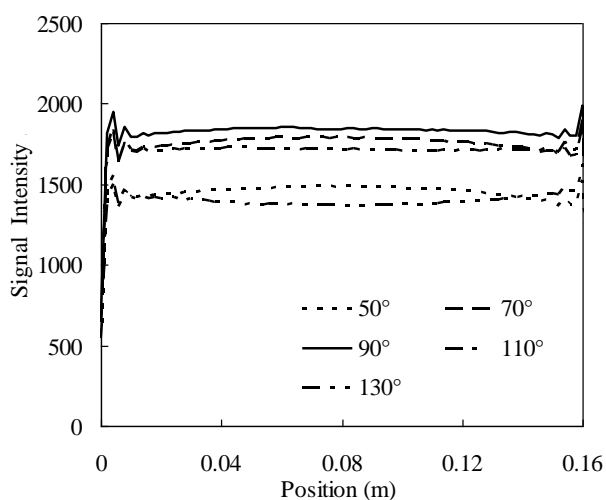
の信号強度分布を Fig.1-(d)に示す。 設定フリップ角の 50° から 130° の全てが信号強度分布の分布は凹になっている。 設定フリップ角が増加するにつれて曲線の信号強度は増加している。 Fig. 2 は設定フリップ角を二次曲線に fitting した最大値を示している。 Figs 3 に示す有限要素法による磁束密度の分布は, Figs 1 に示す $FA=90^{\circ}$ の信号強度分布に類似している。



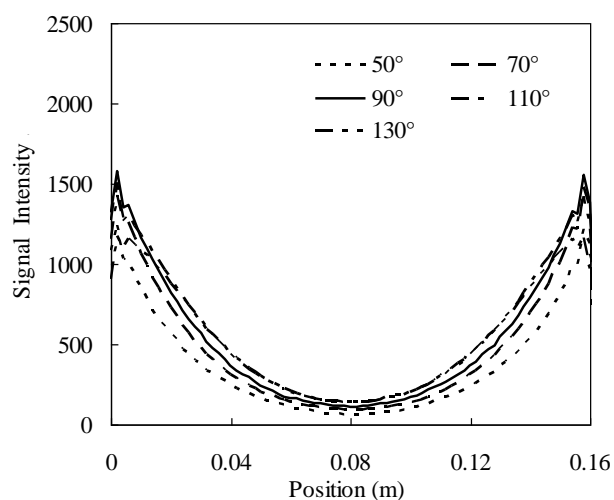
(a) オリーブオイル



(b) 蒸留水

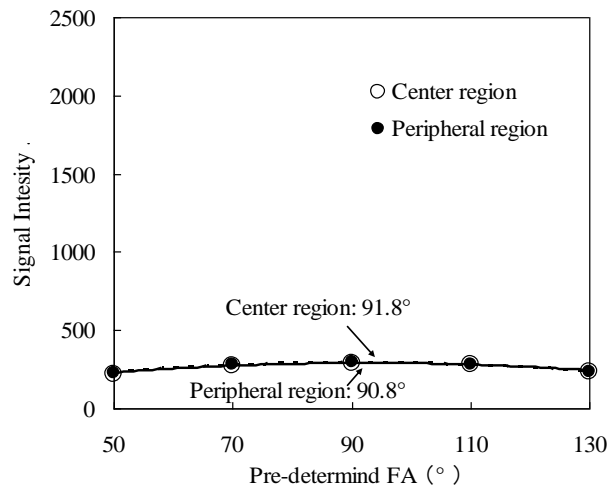


(c) 0.402 w/w% 食塩水

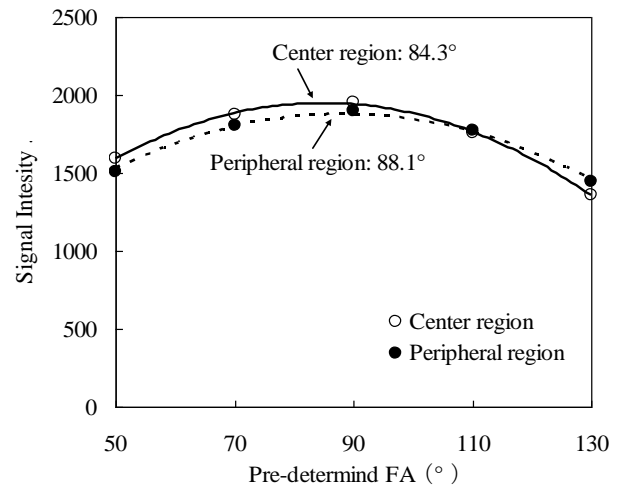


(d) 4.02 w/w% 食塩水

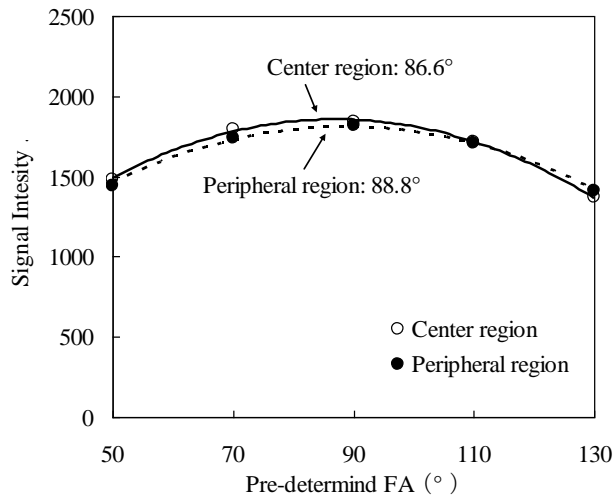
Fig. 1. 各試料のファントム画像の信号強度分布を示す。各試料の設定フリップ角が 50° , 70° , 90° , 110° , 130° を示す。



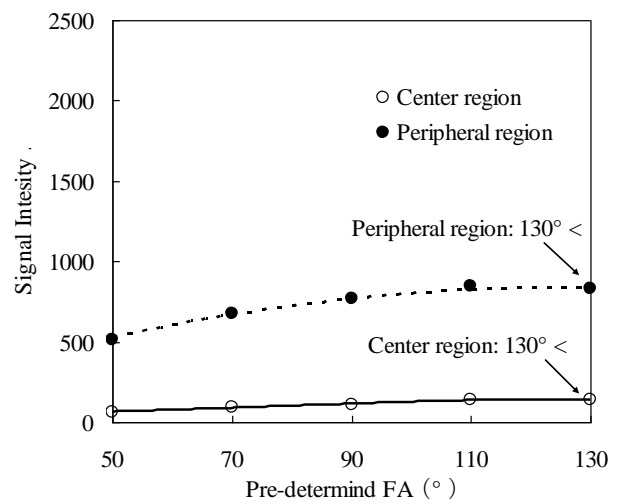
(a) オリーブオイル



(b) 蒸留水



(c) 0.402 w/w% 食塩水



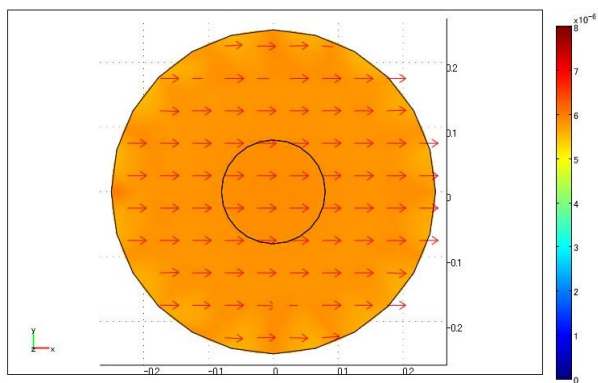
(d) 4.02 w/w% 食塩水

Fig. 2. 設定フリップ角の信号強度依存性.

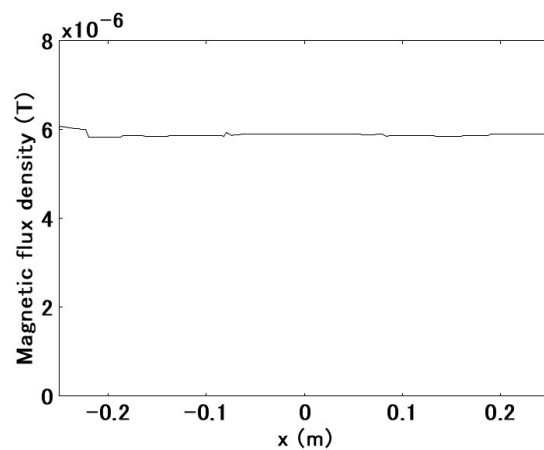
設定フリップ角の信号強度依存性.

ファントムの中心部と辺縁部の信号強度は、中心部が○、辺縁部が●で示される。

図に示されたフリップ角は二次曲線に fitting した最大値である。

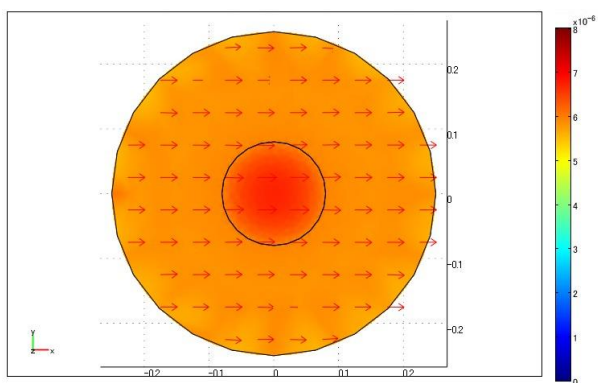


(a)

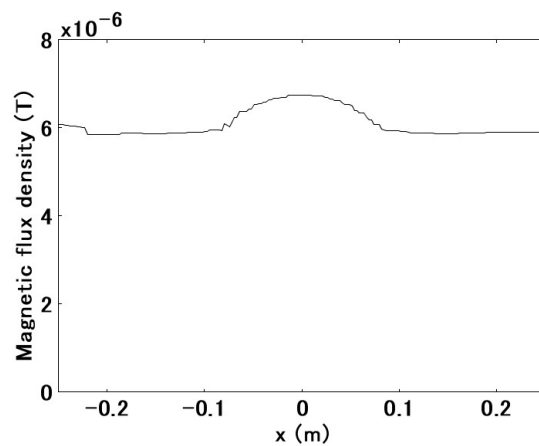


(b)

Fig. 3-1. オリーブオイル.

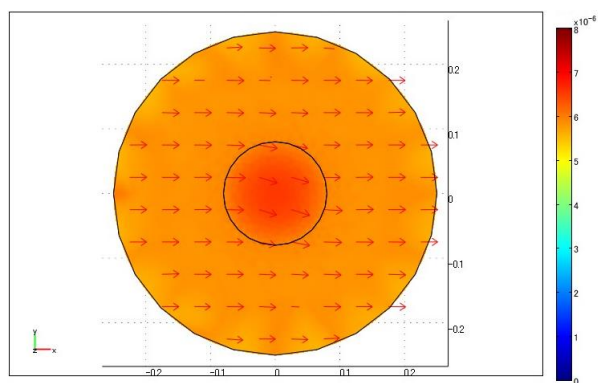


(a)

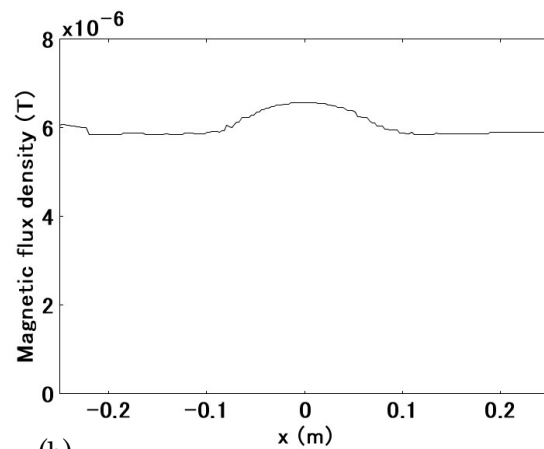


(b)

Fig. 3-2. 蒸留水.



(a)



(b)

Fig. 3-3. 0.402 w/w% 食塩水.

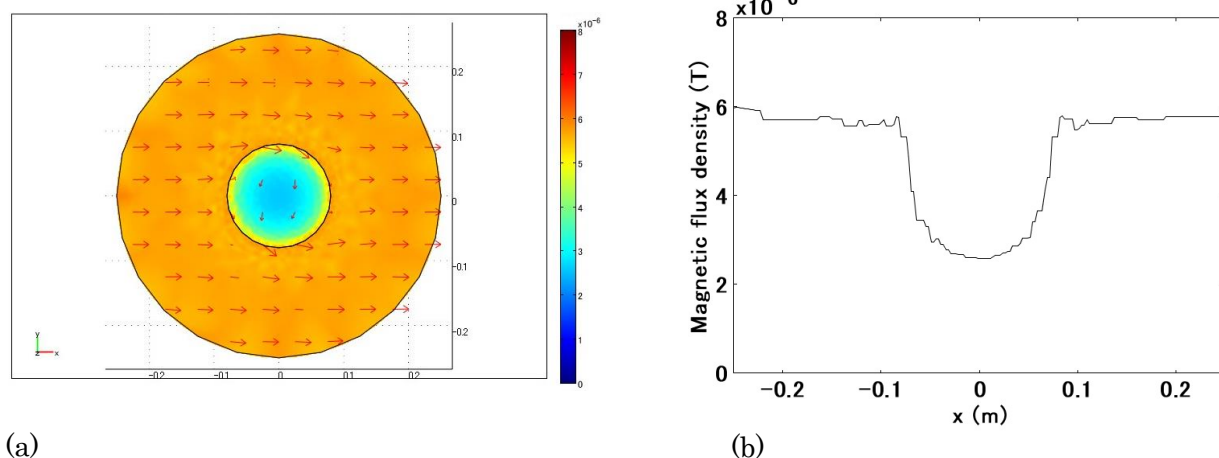


Fig. 3-4. 4.02 w/w% 食塩水.

Fig. 3. 磁束密度分布

(a)は $z=0$ 面における磁束密度分布を示す。直径0.5mの円は計算領域の境界を示し、直径0.16mの円は、ファントムの境界を示す。(b)はファントム内における x 軸上の磁束密度のプロファイルを示す。

[考察]

MRI装置に設定したフリップ角が変化した時、信号強度はさまざまに変化する。フリップ角を変化させたときに信号強度が最大となるのは、プロトンが 90° 倒されたときである。Fig.2に示された設定フリップ角によってピークを示すフリップ角は、プロトンに印加される実際のフリップ角が 90° の時である。これは実際のフリップ角は設定フリップ角とは違うことを意味し、ファントムの試料内の電気的特性の違いと同じようにファントム内における測定点によっても違う。Table 1は、実際のフリップ角が 90° の時の設定フリップ角を示す。オリーブオイルでは、中心部における実際のフリップ角が 90° の時、設定フリップ角は 91.8° で 1.8° 大きくなっている。辺縁部では 0.8° 大きくなっている。これは、ファントム中心部における実際のフリップ角は辺縁部と比較して 1.0° 小さくなっていることを示している。これはオリーブオイルの誘電率と導電率が非常に小さいため、RF波がオリーブオイルを通過する時には増幅も減衰もされないからである。蒸留水では、中心部における実際のフリップ角が 90° の時、設定フリップ角は 84.3° である。すなわち設定フリップ角が 90° にするためには陽子の傾きが 5.7° と小さくならなければならない。逆に中心部における設定フリップ角は辺縁部のそれより 3.8° 小さくなっている。これは蒸留水において、辺縁部と比較して中心部の実際のフリップ角が大きくなるのはRF波の干渉と磁束密度の増幅により辺縁部よりも中心部の磁束密度が大きくなっているからである。0.402%食塩水では、中心部

における設定フリップ角が辺縁より 2.2 °小さくなっている。さらに中心部と辺縁部の設定フリップ角は、蒸留水より小さくなっている。これは実際のフリップ角が蒸留水と比較して、0.402 %食塩水の高導電率により RF 波が減衰したためである。これらのことは、ファントム中心部における実際のフリップ角は辺縁部に比較して大きくなっていることを示している。4.02 %食塩水では、中心部および辺縁部の設定フリップ角は、130°以上になっている。このことは中心部、辺縁部共に実際のフリップ角は設定フリップ角よりも非常に小さくなっていることを示している。これは高導電率によって、ファントム内の RF 磁場が著しく減少したためである。以上より、ファントム内の信号強度の変化は、実際のフリップ角とファントムの電気的特性の影響を受けていることが示唆される。

Table 1
実際のフリップ角が 90° の時の設定フリップ角

試料	中心部		辺縁部	
	設定フリップ角	フリップ角	設定フリップ角	フリップ角
	最大値	増減	最大値	増減
オリーブオイル	91.8	-1.8	90.8	-0.8
蒸留水	84.3	+ 5.7	88.1	+1.9
0.402 w/w% saline	86.6	+ 3.4	88.8	+1.2
4.02 w/w% saline	>130	<-40	>130	<-40

Notes: 単位は角度

設定フリップ角の最大値：実際のフリップ角が 90°の時のフリップ角

フリップ角の増減：実際のフリップ角から設定フリップ角を引いた値で、ファントムの試料による設定フリップ角の増減。

[結論]

ファントムの誘電率が大きくなると実際のフリップ角は設定フリップ角より大きくなり、導電率が大きくなると実際のフリップ角は、設定フリップ角より小さくなること が示された。実際のフリップ角が大きくなるのは RF 波の干渉と高誘電率による RF 磁場の増幅である。また、実際のフリップ角が小さくなるのは高導電率による RF 磁場の減衰である。