

送信 B₁ 制御機能付き受信アレイコイルによる B₁ 不均一および局所 SAR の低減効果の検討 [国際飛躍賞記録]

金子 幸生, 五月女悦久, 越智 久晃

株式会社日立製作所研究開発グループ

背景・目的

3 テスラ (T) およびそれ以上の高磁場 MRI においては、腹部撮像時の送信 RF 分布の不均一低減は依然として重要な課題である。近年、RF シミング技術^{1)~5)}が開発されているが、サ

イズの大きい患者や、形状が複雑な部位の撮像時には、送信 RF により生成される回転磁界 (B₁) の空間分布の不均一低減効果が十分得られない場合がある。そこで、本研究では、従来の受信コイルに PIN ダイオードを付与した、「送信 B₁ 制御機能付き受信アレイコイル (以

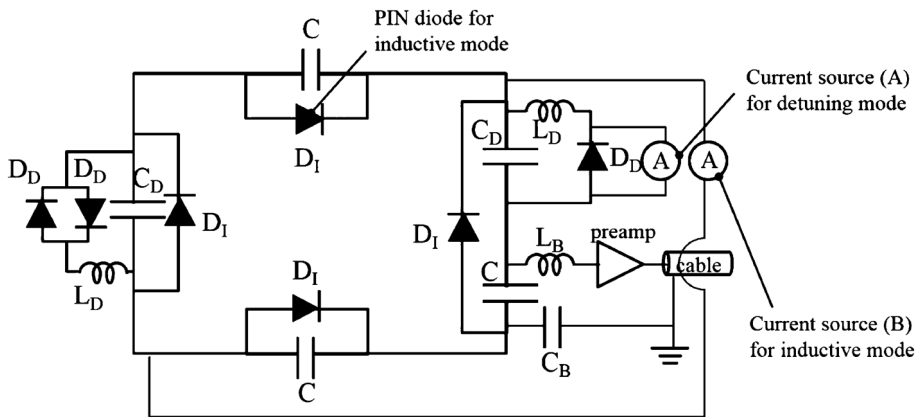


Fig. 1. Circuit of B₁-control receive array coil (B-RAC).

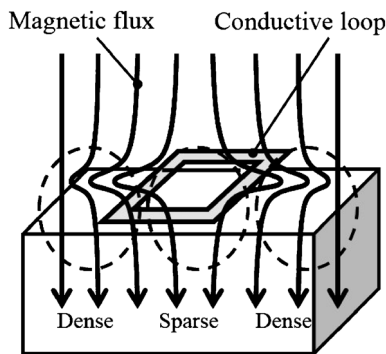


Fig. 2. Magnetic flux around a conductive loop.

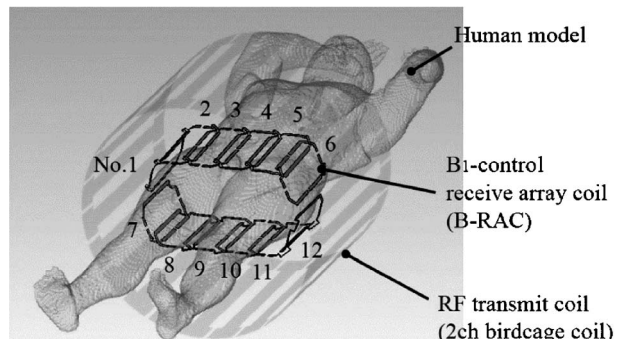


Fig. 3. Schematic of 12-channel B-RAC.

キーワード B₁ inhomogeneity, RF shimming, B₁-control receive array coil, Local SAR

下, B₁制御コイル)」を開発した. 3T 装置において, B₁制御コイルを適用した際の, B₁不均一低減効果および局所 SAR に及ぼす影響について検討した.

原理・方法

Fig. 1 に示すように, B₁制御コイルは, 従来の受信コイルに対してダイオード (Di) が追

加されており, 誘導性ループモードをもつ. Fig. 2 に示すように, RF 送信時に本モードを使うことによって, 磁束密度を局所的に変化させることができ, B₁不均一低減効果を得ることができる. すなわち, 従来の受信コイルは, RF 送信時にはデチューンされて未使用であるが, B₁制御コイルでは, RF 送信時に積極的に使用されることで送信 B₁の制御を行う. Fig. 3 に示すように, 本検討では 12 チャンネルの

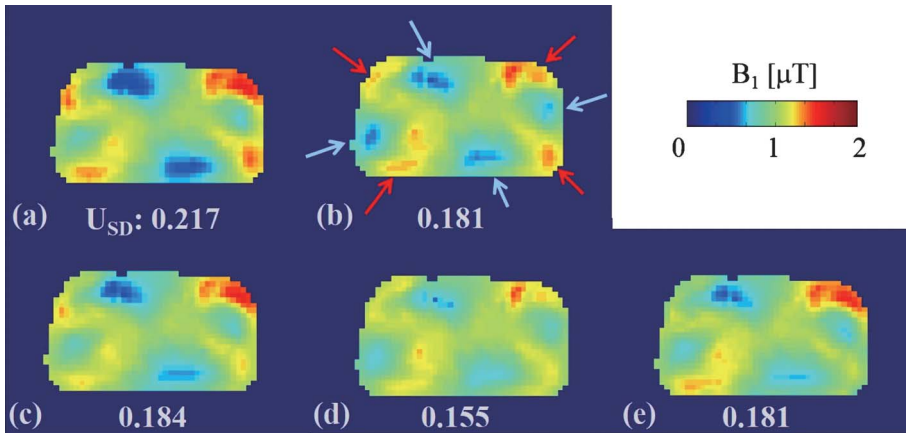


Fig. 4. B₁ maps in the human model. (a) QD without B-RAC, (b) RF shimming without B-RAC (minimization of U_{SD}), (c) QD combined with B-RAC, (d) RF shimming combined with B-RAC (minimization of U_{SD}), (e) RF shimming combined with B-RAC (minimization of maximum local SAR, maintaining U_{SD} in case (b)).

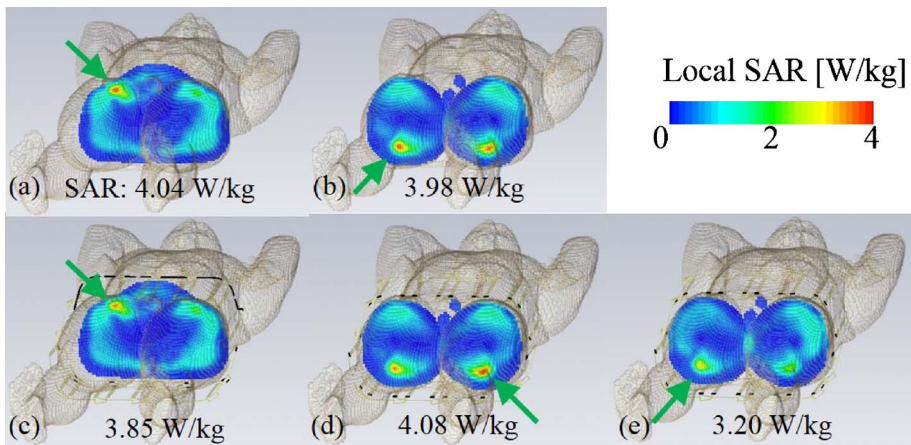


Fig. 5. Local SAR maps in the human model. (a) QD without B-RAC, (b) RF shimming without B-RAC (minimization of U_{SD}), (c) QD combined with B-RAC, (d) RF shimming combined with B-RAC (minimization of U_{SD}), (e) RF shimming combined with B-RAC (minimization of maximum local SAR, maintaining U_{SD} in case (b)).

B₁ 制御コイルモデルを作成し、FDTD シミュレーションを行った。なお、No. 1, 4, 5, 8, 9, 12 の 6 つのループについては誘導性ループモードとし、その他のループについてはデチューンモードとした。人体モデルとして、CST 社提供の Hugo モデル（身長 180 cm、体重 90.3 kg）を使用し、骨盤領域が RF 送信コイル中心となるように設定した。RF 送信コイルとして、2ch ハードケージコイルを用い、RF 送信時の B₁ 不均一指標 U_{SD}（標準偏差／平均値）、および人体モデル内の最大局所 SAR（10 g 平均）を算出した。RF 送信条件として、(a)RF シミングなし（QD 照射）、(b)RF シミング（B₁ 不均一指標を最小化）のみ使用、(c)B₁ 制御コイルのみ使用し QD 照射、(d)B₁ 制御コイルと RF シミングの併用（B₁ 不均一指標を最小化）、(e)B₁ 制御コイルと RF シミングの併用（局所 SAR を最小化）とした。

結果・考察

Fig. 4 に、骨盤断面における B₁ 分布および B₁ 不均一指標の値を示す。RF シミングのみ使用した場合（(b)の場合）では、矢印箇所を示すように B₁ 不均一が残っているが、B₁ 制御コイルと RF シミングを併用すると（(d)の場合）、B₁ 不均一指標が 15% 低減し、B₁ 分布の均一化がみられた。Fig. 5 に、局所 SAR 分布および最大局所 SAR の値を示す。B₁ 制御コイルと RF シミングを併用すると（(e)の場合）、RF シミングのみ使用した場合より、局所 SAR は 20

% 低減した。以上の結果より、RF シミングと送信 B₁ 制御機能付き受信アレイコイルを組み合わせることによって、RF シミングのみの場合よりも、B₁ 不均一低減効果や局所 SAR 低減効果が大きいことが確かめられた。

なお、本研究成果は、Journal of Magnetic Resonance, vol. 287, pp. 25–32, 2018 に掲載された。

文 献

- 1) McKinnon G, Becerra R, Wheeler D, Lindsay S. RF shimming, with a conventional 3T body coil. In: Proceedings of the 15th Annual Meeting ISMRM, Berlin, Germany, 2007; 173
- 2) Nistler J, Diehl D, Renz W, Eberler L. Homogeneity improvement using A 2 port birdcage coil. In: Proceedings of the 15th Annual Meeting ISMRM, Berlin, Germany, 2007; 1063
- 3) Katscher U, Vernickel P, Graesslin I, Boernert P. RF shimming using a multielement transmit system in phantom and in vivo studies. In: Proceedings of the 15th Annual Meeting ISMRM, Berlin, Germany, 2007; 1693
- 4) Hajnal JV, Malik SJ, Larkman DJ, O'Regan D, Nehrke K, Katscher U, Graesslin I, Börner P. Initial experience with RF shimming at 3T using a whole body 8 channel RF system. In: Proceedings of the 16th Annual Meeting ISMRM, Toronto, Canada, 2008; 496
- 5) Childs AS, Malik SJ, O'Regan DP, Hajnal JV: Impact of number of channels on RF shimming at 3T. MAGMA, 2013; 26: 401–410

B₁ Homogenization and Local SAR Reduction using a B₁-control Receive Array Coil at 3T [Proceedings of the 2014 Young Investigator Award]

Yukio KANEKO, Yoshihisa SOUTOME, Hisaaki OCHI

*Hitachi Ltd., Research and Development Group
1-280 Higashi-Koigakubo, Kokubunji, Tokyo 185-8601*

B₁ inhomogeneity in the human body increases as the nuclear magnetic resonance (NMR) frequency increases. Various methods have thus been developed to reduce B₁ inhomogeneity, such as a dielectric pad, a coupling coil, parallel transmit, and radio-frequency (RF) shimming. However, B₁ inhomogeneity still remains in some cases of abdominal imaging. In this study, we developed a B₁-control receive array coil (B-RAC). Unlike the conventional receive array coil, B-RAC reduces B₁ inhomogeneity by using additional PIN diodes to generate an inductive loop during the RF transmit period. The inductive loop can generate dense and sparse regions of the magnetic flux, which can be used to compensate for B₁ inhomogeneity. B-RAC was modeled in the numerical simulation, and the spatial distributions of B₁ and local SAR in a human model were analyzed. It was demonstrated that B-RAC can reduce B₁ inhomogeneity in a human model. B-RAC can reduce the maximum local SAR, and maintain B₁ inhomogeneity in the case of RF shimming alone. Therefore, using the B-RAC with RF shimming is more effective in reducing B₁ inhomogeneity and local SAR than using RF shimming alone.