

## Short Gantry の特徴

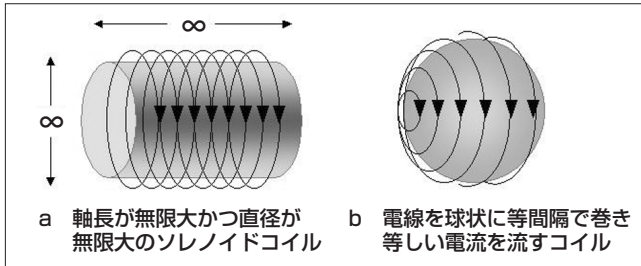
後藤和久

- 開放感が得られる
- 磁場均一性が得にくい
- 大きなFOV 撮像が困難

歴史的にMRIのガントリーは徐々に短くなってきたといえる。その理由は被験者に開放感を与えるためである。ショートガントリーには静磁場や傾斜磁場の特性が劣化するなど技術的克服課題が多かったが、最近の技術によってかなり欠点がなくなってきた。

### ● 理想の磁場均一性は現実には不可能

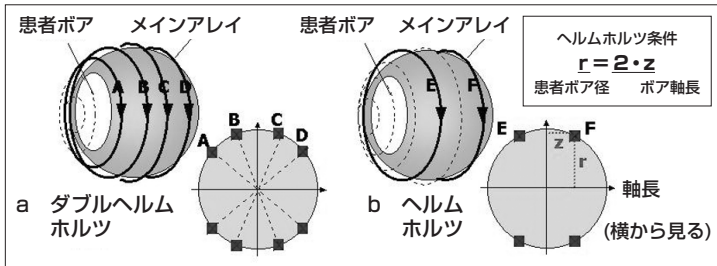
図1 理想の磁場均一性の実現



理想の均一性を実現するには、無限の軸長/無限大の直径でソレノイド状に超電導線を巻く(図1a)、または密閉された球形空間状にコイルを巻く(図1b)。無限の軸長や密閉球状は現実にはありえないので、MRIの磁石はこれらに近似するようにダブルヘルムホルツあるいはヘルムホルツと称する構造(図2)を採用して理想の均一性に近づけている。

### ● MRI マグネットの内部構造とヘルムホルツ条件

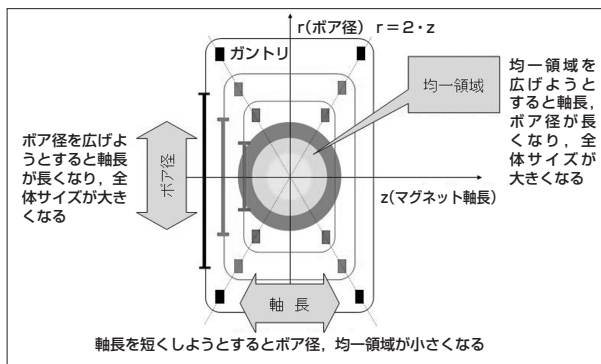
図2 現実のマグネット構造



ヘルムホルツコイルでは、超電導線をドーナツ状の「アレイ」に巻き(ドーナツの穴が検査ボア)、「ヘルムホルツ条件」と呼ぶ幾何学的条件に従ってアレイを配列する。このときヘルムホルツ条件から少しでもはずれると磁場均一性が一気に劣化(消滅)してしまうことが重要。

### ● MRI では軸長とボア径と均一性が取り合いの関係になる

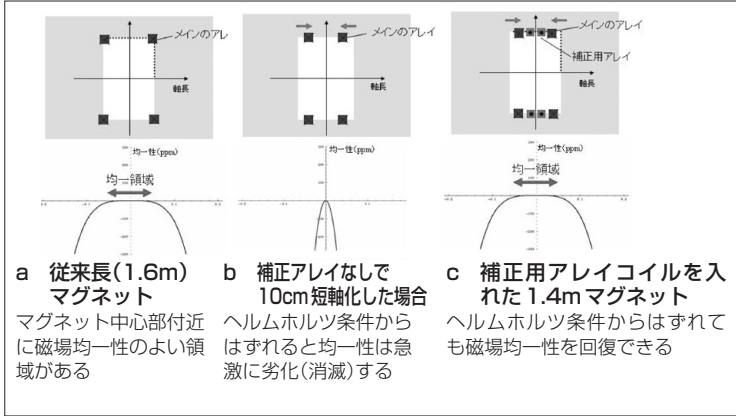
図3 軸長、ボア径、均一領域の関係



アレイの配列距離( $z$ =マグネット軸長)を決めると、ヘルムホルツ条件によってボア径( $r$ )と磁場均一領域が自動的に決まってしまう。ショートマグネットでは軸長を短くするのでボア径は小さくなり、均一領域も狭くなる。これらをどのようにバランスさせるか頭を悩ませる問題になる。

## 磁場均一性を向上させる“補正アレイ”技術

図4 補正アレイ効果

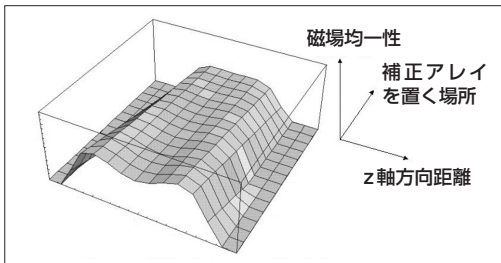


ヘルムホルツ条件からはずれるショートマグネットでは均一性を確保するには、すでに発生している静磁場に微調整を加える技術(シミング)では対応できない。内部のアレイ配列に根本的な工夫が必要である。

最新のショートマグネットでは、メインのアレイ以外に“補正用の高次アレイ”が一体構造となっている。自然の摂理であるヘルムホルツ条件を“賢くだます”のが補正アレイの役目。

## 高性能なショートマグネットは重量が重く、値段も高くなる

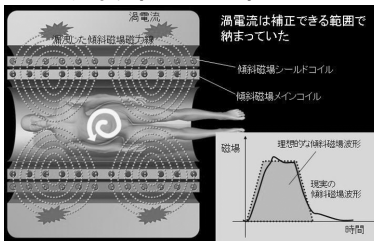
図5 均一性向上のシミュレーション



どのような補正アレイをどのように配列するかがマグネットメーカーのノウハウ。巧みな配列によって、ショートマグネットの均一性を回復あるいは従来以上に向上させることも可能。最近では同一領域で比較し2倍の均一性向上、同じ均一性で約10%の均一領域拡張をもつ高性能なショートマグネットが登場しているが、内部構造が複雑になるので重量が増え、マグネット製造原価が高くなるデメリットがある。重量と価格のネックを克服することがショートマグネット普及のキーポイント。

## 大FOV撮像の画質劣化は短軸化した傾斜磁場コイルのせい

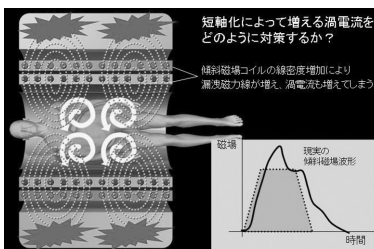
図6 ショートガントリ=ショートマグネット+ショートG-Coil



ショートガントリの実現にはショート(短軸)傾斜磁場コイルが必要になる。ショートガントリで大きなFOV撮像が苦手といわれるのは、ガントリに合わせて短くせざるをえない傾斜磁場コイルに原因がある。傾斜磁場コイルは、傾斜磁場を発生するメインコイルと、外の構造物へ漏洩する磁力線をシールドするシールドコイルの2重構造になっている(ASGC: active shielded gradient coil)。漏洩磁力線によって発生するノイズ(渦電流)をASGCで抑制することで傾斜磁場波形の歪を最小限にする。

## 短軸化によって増える渦電流への対応が画質の鍵

図7 短軸化で増える渦電流



ASGCを短軸化すると“コイルパターン”の線密度”が上がるため、工作精度などの物理的な誤差が相対的に強調され、漏洩磁場が増える。これにより渦電流が増加、結果として大きなFOV撮像で画質が低下する。克服の筋道は2つ。1つは渦電流の発生を見込んでソフト的に(シーケンスで)補正する考え方。もう1つはコイルの構造や製造法を工夫することでシールド能力を向上させ、原因となる漏洩磁場を元から断つ考え方。各MRIメーカーごとに問題解決のアプローチはさまざまだが、最先端の臨床能力を提供できる高性能なショートガントリシステム実現のためには、従来レベルのハードウェアやソフトウェアのままでは対応しきれず、新たな高画質化技術の導入が不可欠であるという点については異論はないであろう。