

II MRIの最新技術と未来展望—基礎編

8. MRIシミュレータの現状と将来

巨瀬 勝美/巨瀬 亮一 (株)エムアールアイシミュレーションズ

MRIシミュレータとは

MRIシミュレータとは、MRIにおける撮像プロセスを計算機上に再現し、MR信号を求めるソフトウェアのことである。計算機の性能向上に伴い、2000年頃から本格的な開発が始まり^{1)~4)}、最近では、GPUの使用などにより、臨床画像を再現できる段階に至っている^{5), 6)}。本稿では、MRIシミュレータの原理、技術的な課題、実施例などを紹介する。

MRIシミュレータの原理

図1に示すように、MRIシミュレータには、被写体を記述する数値ファントム、MRI装置を記述するシステムパラメータ、パルスシーケンスを入力する。これらの入力データを用い、シーケンス

に記述されたRFパルス波形、グラディエント波形、不均一磁場などによる isochromat (以下、核磁化) の運動と緩和を、Bloch方程式に従って計算し、データ収集ポイントにおける横磁化成分の総和を計算することにより、MR信号を求める。なお、拡散現象を記述する場合には、Bloch-Torrey方程式、化学交換や交差緩和を記述する場合には、Bloch-McConnell方程式を使用する。

MRIシミュレータの技術的課題と対策

MRIシミュレータでは、受信コイル内のすべての核磁化の運動を記述する必要があるため、MR画像の再現には、すべての画素に含まれる核磁化の計算を行う。また、①RFパルスを高速に繰り返し印加する場合、②スライス形状を正確

に記述する場合、③静磁場強度が画素内で大きく変化する場合、④画素内に複数の成分がある場合などには、画素を小さな subvoxel に分割して核磁化を配置し、計算する必要がある。よって、典型的な画像マトリックス数を 256^3 とすると、 2^{24} 個 (約1680万個) の数倍以上、すなわち1億個程度の核磁化を扱うことになる (図2)。

さらに、撮像プロセスにおいて、核スピン系の励起、歳差運動、緩和現象を記述するためには、シーケンスの時間軸に沿ったそれらの計算が必要である。例えば、3D imagingにおいて、データ収集ウィンドウで 256^3 個の k 空間データを求める場合には、 2^{24} 回の計算 (歳差運動、緩和、信号和) が必要となる。これを、 2^{24} 個の核磁化に対して行う場合には 2^{48} 回、すなわち約280兆回の計算が必要となる (図2)。

このように、1兆回をはるかに超える数値演算が必要とされるため、理論性能で1TFLOPS (毎秒1兆回の浮動小数点演算) を超えるGPUの使用が不可欠である。また、われわれは、この信号計算が、単精度浮動小数点演算で実行可能であることを示し、PCゲームなどに使用される安価なGPUがMRIシミュレータに使用できることを提案している^{5), 7)}。

MRIシミュレータの適用例：3D SPGR

図3に、3D RF spoiled gradient

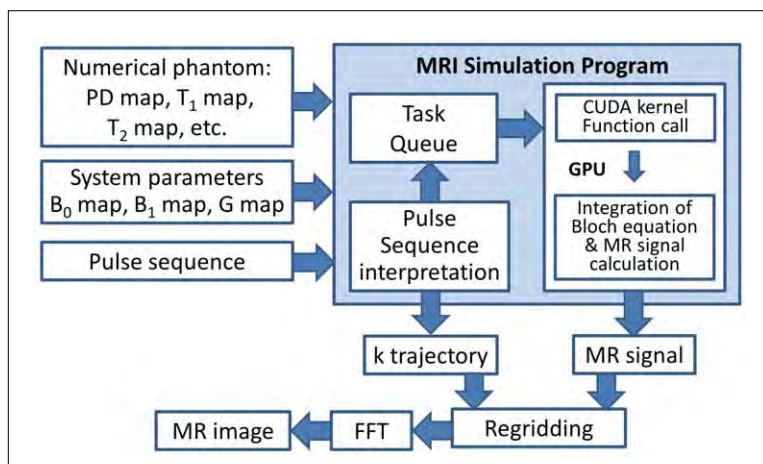


図1 MRIシミュレータのブロックダイアグラム