

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 24 日現在

機関番号：14301  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23791414  
 研究課題名（和文） 実際の撮像環境条件をも含んだMRIパルスシーケンスシミュレーションシステムの構築  
 研究課題名（英文） Development of an MRI pulse sequence simulator that can simulate actual imaging environment  
 研究代表者  
 藤本 晃司（FUJIMOTO KOJI）  
 京都大学 大学院 医学研究科 特定助教  
 研究者番号：10580110

## 研究成果の概要（和文）：

平成 23(2011)年度は既開発の簡易パルスシーケンスシミュレータに対して、(1)勾配磁場をモデルに組み込むことで空間情報を反映し、その効果をデジタルファントムで検証した。(2)複数種類の RF パルス、パルスシーケンスを実装し、TR, TE, フリップ角、バンド幅、勾配磁場の立ち上がりの早さ、ならびに最大値を任意に設定できるようにした。(3)シミュレーションの結果を動画として保存する機能を実装し、教育用ソフトウェアとしての付加価値を高めた。(4)実行形式のプログラムを教室ホームページで一般公開した。(4)背景信号抑制に用いられる反転パルスを複数組み合わせた場合の信号変化をシミュレートする簡易的なソフトウェアを開発し、骨盤部 time-SLIP 法においてその検証を行った。

平成 24(2012)年度は(1)ワークステーションを導入し、約 10,000 個のスピンの挙動をシミュレート可能になった。(2)シミュレーションソフトウェアを国内学会（2012 年 4 月、日本医学放射線学会）および国際学会（2012 年 11 月、北米放射線学会）で発表した。また、巨視的磁化のシミュレーション結果を骨盤部の非造影血管撮像法に適用した結果も同学会で発表した。(3)生データからの画像再構成プログラムを開発した。実際の MRI 撮像装置から得られた 3 次元脳血管画像のデータをもとに、圧縮センシングの手法を用いて約 20% のデータから、鮮明な脳血管画像を得ることに成功し、国内の学会で発表を行った（2012 年 12 月、圧縮センシングとその周辺（4））。これは MRI 装置メーカーでも未だ実装がすすんでいない最先端の再構成手法であり、今後も大きな研究の発展が期待される。

## 研究成果の概要（英文）：

For previously developed in-house software, (1) we implemented modeling of gradient magnetic field and confirmed the effect with a digital phantom (2) customizable RF pulse, pulse sequences, TR, TE, FA, BW, slew rate and Gmax were implemented (3) 'save as movie' feature that enhanced utility of the software were implemented. A new software that simulate macroscopic behavior of the spins and were used to simulate signal behavior with multiple IR pulses. By introduction of a powerful workstation, the number of spins for simulation increased to 10,000. These results were reported both in domestic and international conferences (JRC and RSNA, respectively). Off-line reconstruction software was developed. By using compressed sensing technique, clear visualization of cerebral arteries was achieved by using only 20% of full 3D-MRA data.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード: MRI / パルスシーケンス / シミュレータ / 磁気共鳴画像 / 画像再構成

### 1. 研究開始当初の背景

CTと比較してMRIでは撮像法の多様化が著しく、臨床現場でMRIを使いこなすためにはMRIの原理に関する高度な知識が必要とされる。しかし、その原理を理解するためには量子力学や電磁気学の知識が必要となるが、日本では医療現場に医用工学研究者がおらず、最新の知識を放射線科医が理解できないという深刻な現実がある。

### 2. 研究の目的

本研究は臨床現場で使用されるMRIパルスシーケンスのシミュレーションシステムを構築し、その結果を視覚的に呈示することで放射線科医や放射線技師の理解を助けることを第一の目的とする。さらに、磁場の不均一性、血流、画像再構成法、ノイズなどの影響をシミュレートし、その結果をフィードバックすることで臨床現場での適切な撮像パラメータを決定するために支援を行う。

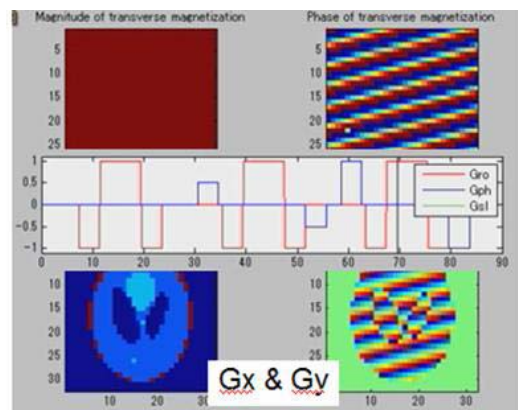
### 3. 研究の方法

- 1) 研究代表者がこれまでに開発した簡易パルスシーケンスシミュレータを発展させる。
- 2) シミュレーションモデルが臨床現場で使用されている様々なRFパルス並びに勾配磁場を再現出来るかどうかを検証する。
- 3) SSFP (steady state free precession, 定常状態自由歳差運動) など、臨床現場で用いられるシーケンスのシミュレーションを行い、実際の撮像結果と対比する。
- 4) 実際にMR装置で収集された生情報 (raw data) をMRI装置から抽出し、これを画像に再構成する手法について検討可能なシステムを構築する。
- 5) 医師 (放射線科医) や放射線技師にシミュレータの機能を紹介し、彼ら自身が条件を変えてシミュレーションを行うことができるよう、MatlabでGUIを設計、開発する。

### 4. 研究成果

平成23年度は既開発の簡易パルスシーケンスシミュレータに対して、読み取り方向に加え、位相方向とスライス方向の勾配磁場をモデルに組み込むことで、スピンの座標の違いによる局所磁場の違いがシミュレーションに反映できるようになった。また、その効果をデジタルShepp-Loganファントムを用いて検証した。

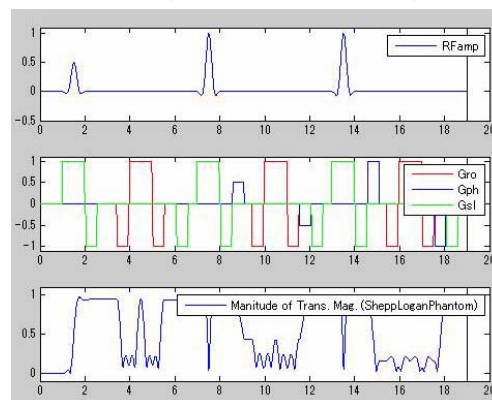
スライス選択や再収束に用いられている sinc パルスに加え、MTパルスとして用いられることがある hard パルス及び Fermi パルスを実装した。パルスシーケンスではスピ



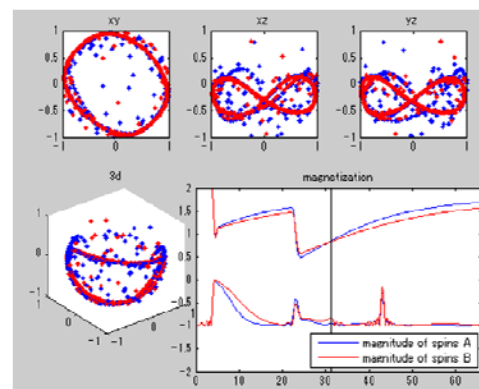
ンエコー、高速スピネコー、グラジエントエコー、SSFP、EPIを実装した。またこれらのシーケンスでTR、TE、フリップ角、バンド幅が任意に選べるようにした。勾配磁場の立ち上がりの早さ、ならびに最大値も任意に設定できるようにした。

シミュレーションの結果を、任意の開始時間・終了時間と任意の速度で動画として保存出来る機能を開発し、教育用ソフトウェアとしての付加価値を高めた。

このソフトウェアについては実行形式のプ

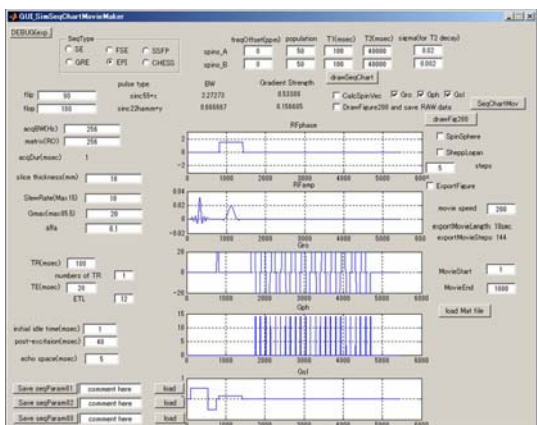


ログラムを教室ホームページで一般公開した。上記とは別途新たに、パラレルイメージングを用いた画像再構成実験を行うための基盤として、装置から出力した raw data (



複素表現されたデータ)に対して、任意の間引きを行ったあとフーリエ変換を適用して画像再構成を行うソフトウェアを開発した。背景信号抑制に用いられるIRパルスを複数組み合わせ合わせた場合の信号変化をシミュレートする簡易的なソフトウェアを開発し、

骨盤部 time-SLIP 法においてその検証を行った。

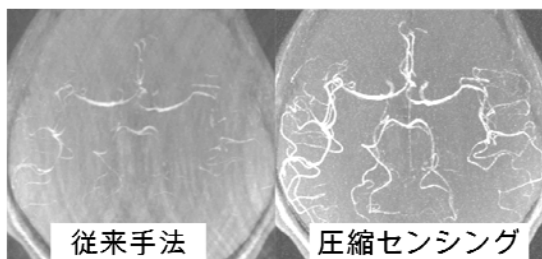


平成 24 年度には前年度の研究内容を発展させ、1. 大容量メモリを搭載したワークステーションを導入し、約 10000 個のスピンの挙動をシミュレート可能になった。ただし、面内のマトリクス数を 128\*128 に抑えたとしてもスライス方向には数ピクセル分しかシミュレートができないため、スピン（微視的磁化）ではなく巨視的磁化のシミュレーションを行って臨床現場での有用性を検証し、学会で報告した。

CEST (chemical exchange saturation transfer) 効果を得るために用いられる MT パルスに関して、中心周波数からのオフセットが画像の信号強度の及ぼす影響 (Z-spectrum) について検討を行った。その結果、従来の MT 画像で使用されている sinc 波形では期待する効果が得られないことを見だし、パルスシーケンスの改良に反映させた (現在、臨床例を対象にデータ取得中)。

シミュレーションソフトウェアを国内学会 (2012 年 4 月、日本医学放射線学会) および国際学会 (2012 年 11 月、北米放射線学会) で発表した。また、巨視的磁化のシミュレーション結果を骨盤部の非造影血管撮像法に適用し、こちらも同学会で発表した。

生データからの画像再構成プログラムを開発した。実際の MRI 撮像装置から得られた 3 次元脳血管 MR angiography のデータをもとに、間引きを行い、圧縮センシングの手法を用いて約 20% のデータから、鮮明な脳血管画像を得ることに成功し、国内の学会で発表を行った (2012 年 12 月、圧縮センシングとその周辺 (4))。これは MRI 装置メーカーでも未だ実装がすすんでいない最先端の再構成手法であり、今後も大きな研究の発展が期待される。



## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 6 件)

1. 藤本晃司、MRI における信号収集から画像再構成まで、第 2 回 圧縮センシングとその周辺、京都大学工学部 8 号館 (吉田キャンパス)、2011/7/23-24
2. 藤本晃司、圧縮センシングの MRI への応用、シンポジウム 5 「圧縮センシングを理解する」、JSMRM (日本磁気共鳴医学会大会) 2012、国立京都国際会館、京都市、京都府、2012/9/8(土)
3. 藤本晃司、岡田知久、木戸晶、富樫かおり、MRI パルスシーケンスシミュレーターの開発 (英文タイトル: Development of an MRI pulse sequence simulator)、JRC 2012、パシフィコ横浜、2012/4/14(土)
4. 長尾 泰輔、藤本 晃司、木戸 晶、草原 博志、富樫 かおり、Time-spatial labeling inversion pulse (SLIP) 法を用いた子宮動脈非造影 MRA 撮像時の背景抑制に関する検討、JRC2012、パシフィコ横浜、2012/4/14(土)
5. Fujimoto, K., Nagao, T., Kido, A., Kusahara, H., Togashi, K., A simulator to evaluate effect of tissue T1, BBTI and TR on the background suppression in Non-Contrast-Enhanced (CE) Time-Spatial Labeling Inversion Pulse (Time-SLIP) MR Angiography (MRA), 2012 RSNA, Chicago, USA, 2012/11/25-30
6. Fujimoto, K., Okada, T., Kido, A., Togashi, K., A simulator for visualizing behavior of groups of spins for various MRI pulse sequences, 2012 RSNA, Chicago, 2012/11/25-30

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年月日：  
 国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.kuhp.kyoto-u.ac.jp/~diag\\_rad/intro/tech/MRIpulseSequenceSimulator.zip](http://www.kuhp.kyoto-u.ac.jp/~diag_rad/intro/tech/MRIpulseSequenceSimulator.zip)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤本 晃司 (FUJIMOTO KOJI)

京都大学 大学院 医学研究科 特定助教

研究者番号：10580110

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：