

平成21年 3月31日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560413  
 研究課題名（和文） 爆発物を画像検知する長方形スキャンとウェーブレット再構成に基づく多重MRIの原理  
 研究課題名（英文） A Principal of Multi-MRI for Imaging Bombs by Using Rectangle Scanning and Wavelet Reconstruction  
 研究代表者  
 田山 典男（TAYAMA NORIO）  
 岩手大学・工学部・教授  
 研究者番号：40003850

## 研究成果の概要：

本研究では、対象物体に透過性 RF ビームを投射して得られる磁気信号から、複数の核種における磁気共鳴信号を分別し同時に複数画像再構成する多重MRI原理の基盤研究を行った。原理的な動作解析を行う観点からシミュレータを作成して、磁気共鳴信号から動作解析や共鳴分布画像再構成をすることによりその構成仕組を明らかにした。並列化構成仕組や実現化について、データ流れに着目した VLSI 収容可能性の高い超並列アーキテクチャを明らかにした。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：センシング情報処理、磁気共鳴画像化、多重MRI、非破壊画像計測

## 1. 研究開始当初の背景

(1)本研究は、磁気共鳴現象と筆者らの産業用CT手法を組み合わせ、対象物体の内部に仕掛けられた爆発物を、その物質に含まれている複数種類の核種による磁気共鳴現象の波形を計測して、計算により存在濃度分布を再構成して、物体内部の物質存在分布を非破壊画像化する『多重MRI』と呼ぶ産業用の

非破壊検査装置を創造するための基盤的な研究を行う。

(2)研究の背景として、医療分野に革命的な進歩をもたらした現在の磁気共鳴画像化装置MRIでは、磁気共鳴現象の発生部位を特定するため傾斜磁場方式を採用しており、傾斜磁場に対応させる磁気共鳴周波数帯域を用いて分別を行っている。そのため、磁気

共鳴の対象となる核種は一種類だけである。現在の医療用MRIでは、生体に多く含まれている水分に着目して、検出感度のよい水素原子を主な対象にしている。

(3)本研究は、現在のMRIでは原理的に不可能である、「多種類の核種による磁気共鳴現象を同時に励起させて、その発生信号から多種類の核種の存在分布を同時に画像再構成すること」を可能にする『多重MRI』と呼ぶ新しい原理の創造に関わるものである。

(4)本研究の着想に至った経緯は、従来から定説である傾斜磁場方式の考え方を離れて、筆者らの手法に基づいて多種類の核種の磁気共鳴現象を同時に励起し発生信号から計算で存在分布を画像再構成する、つまり多種類の核種の存在分布を同時に画像化するという新しい原理の着想に至った。

## 2. 研究の目的

本研究は、多種類の核種に対して磁気共鳴現象を同時に励起させて、その磁気信号から計算でそれらの多種類の核種の存在分布を同時画像化する多重MRIの原理について、その基盤技術を明らかにする。多重MRIのシステムシミュレーションソフトウェアを開発制作する。システムの動作解析や再構成を行うことにより基本的な構成仕組を明らかにする。それらの構成仕組の並列化方式を考案し、実現化の方法について検討を行い、多重MRIシステムの全体構成方式を考案設計する。それらのサブシステム構成方式の具体化可能性を明らかにすることである。

## 3. 研究の方法

初年度は、多重MRIシステムのシミュレータを制作して、磁気共鳴信号から動作解析や共鳴分布再構成を行う多重MRIのシステム構成仕組について研究を行った。

(1)まず多重MRIの理論体系化を図った。通常は均一磁場を想定しているが、現実的には装置コストを安くする立場から不均一磁場でも取り扱える工夫が求められている。そこで、理論体系の拡張を検討した。関数変換を組入ることにより、不均一磁場でも扱える方法を導出した。

(2)多重MRIシステムのシミュレータのソフトウェア開発を行った。基本となる均一磁場において、磁気共鳴現象プログラムや、共鳴現象投影プログラムを作成して、分布を

画像再構成するプログラムを作成して、多重MRI実験環境のソフトウェア開発制作を行った。透過性RFビームを照射した領域の多種類の核種の磁気共鳴現象を励起し磁気信号を生成させるサブシステムと、その信号を計測し前処理を施してフーリエ変換を行い多種類の各核種に対する存在分布を画像再構成するサブシステムから構成される。それらの構成仕組について実行時間や詳細機能構成等を明らかにした。

(3)同時に化学シフトを識別するシステムの開発を進めた。対象とする化学結合の共鳴周波数と基準物質の共鳴周波数の僅かな差分領域を拡大して検出できるようにするプログラムを作成した。複数官能基を含むNMR信号から特定の官能基の磁化を抽出するシステムの開発準備を行った。

(4)次に仕組を高速化する観点から並列化の発想を組み入れて、投影スキャン方法を検討して、繰返的に画像再構成を行える仕組を考案して、プログラム開発を行った。投影ビームと画素中心点の位置を規則的に揃える方法が有力であることが分かった。

(5)さらに、投影スキャン線源調査を行い、透過性RFビームを発生する方法について検討した。現況は、既製品では十分でない。

次年度は、多重MRIシステムの具体的な実現化を目指して、全体構成と各部分構成の構成仕組について研究を行った。多重MRIシステムシミュレータの機能拡充を図った。

(6)最初に、多重MRI統一理論への拡張を行った。関数変換に伴う3次元存在分布空間について、具体的な計算方法の詰めを行った。座標軸上での計算の間隔を設定することで、不均一磁場に対する補正処理を、ベクトルの処理で簡単に行えるように工夫した。

(7)多重MRI実験環境のソフトウェア開発と動作確認を引き続いて行った。多種類の化学シフトの磁気共鳴現象も扱えるようにするなどプログラムの機能拡張や追加開発を行った。シミュレータ実験を繰り返して、システム動作の確認やデータ収集を行った。

(8)次に多重MRIシステムの基本的構成仕組について、基本原理に基づいた装置構成方式を検討した。種々の並列化アルゴリズムを思考して、それに対応する並列処理アーキテクチャを創案し、その概略設計を行った。

(9) その中の最良と思われる3方式について詳細検討を行い、多重MRIシステム構成の基本設計を明らかにした。それらのサブシステム構成について、データフローに着目した構成仕組を検討した。大局的な観点からどのような並列化の仕組がうまく行くのか、吟味検討を行った。

(10) 最良の並列アルゴリズムと並列アーキテクチャの下で、VLSI 収容可能性が高く、高速で、安価な多重MRIシステムの超並列アーキテクチャについて比較考察を行った。VLSIの内部に各画素計算に必要な定係数データを収容できるか、収容できなくて外部参照となるかによって、高速化性能が大幅に異なり、システム構成の要点となっていることが明らかになった。

#### 4. 研究成果

##### (1) 多重MRIの原理と不均一磁場理論

本研究では、透過性RFビームの導入により対象物体の内部に存在する多種類の核種に対して磁気共鳴現象を励起し、それらを同時に画像化しようとする多重MRIの原理を創案した。さらに、通常では均一磁場を想定しているが、安価なハードウェア装置構成をできるようにするために、不均一磁場に拡張する統一理論を構築した。関数変換の導入により、不均一磁場においても3次元存在分布空間におけるベクトル処理により補正ができるようになった。計算量が多くなるので、VLSI 組み込み等の工夫が必要である。

##### (2) 多重MRIシミュレータの開発

本研究では、多重MRIシステムシミュレータのソフトウェア開発を行い、動作解析を行える多重MRI実験環境を制作実現した。4種類の核種に対する磁気共鳴現象を励起して、存在分布を画像化することができる。対象物体における化学シフトも識別できるようにするため、僅かな違いを領域拡大して扱う機能も組み込むことができた。付属的な機能の追加拡充を今後予定している。

##### (3) 多重MRIシステムの動作解析

開発制作した多重MRI実験環境において、シミュレータ実験を繰り返し行った。当初は作成したプログラムのデバッグや仕組修正を含む改修テスト作業に多くの時間を要した。各部分のデータ表示ツールを作成して、システム動作を確認し、所期の目標を達成した。想定している4つの核種(水素H, 炭素C, 窒素N, リンP)について、磁気共鳴波形を生成して、計算により各核種の存在分布を再

構成して、物体の内部に含まれる物質の存在濃度分布を非破壊で画像化する多重MRI実験システムにおいて、システムの各部分のデータを収集記録して詳細解析することができるようになった。不足の機能については追加拡充をしていきたい。

##### (4) 並列化多重MRIの構成仕組

多重MRIの装置化の観点から、この原理を高速実行する仕組が重要である。本研究では、この原理に基づいた実行処理の並列化アルゴリズムを思考しており、それらに対応した並列化アーキテクチャを考案した。その中の3方式について基本設計を明らかにした。同時並列処理やパイプライン処理、ブロック処理による構成方式について全体構成仕組を明らかにして、具体的な実現化への課題と概要が明らかになり全体像が見えてきた。

##### (5) 多重MRIの超並列アーキテクチャ

多重MRI並列化サブシステムの構成仕組について、データ流れに着目して、膨大な定係数データをVLSIに分散共有格納する収容可能性の高い超並列アーキテクチャを明らかにした。その特色や規模と性能コスト等の関係を考察しコストパフォーマンスを明らかにした。多重MRIの中核をなす計算部に関して、構成仕組の具体化可能性が明らかになった。想定しているマイクロデバイスによる実装の詳細検討が必要である。なお、ビーム線源とセンサーの調査研究において、現況における技術的な課題を明らかにした。

#### 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)

##### (1) 雑誌論文 (計2件)

① 秋田敏宏、田山典男、大坊真洋 : 産業用多重MRIのシミュレーション検討、画像電子学会誌、査読有、掲載決定(2009)

② Takakazu Yonezawa, Masahiro Daibo, Norio Tayama : A Non-Energy - Concentrating Lens Using Left-Handed Material: OPTICAL REVIEW, 査読有, 14, 395-400 (2007)

##### (2) 学会発表 (計5件)

① 佐藤友哉、秋田敏宏、田山典男、他 : 産業用MRIにおける不均一磁場の補正シフト処理、「音・光・電波・エネルギー」

ギー・システムとその応用」平成21年度研究発表会、2009年2月26日、東北学院大学

② 佐藤智昭、田山典男、秋田敏宏、他：  
ファンビーム正方形スキャンによる一様透過型ブロック画像再構成、「音・光・電波・エネルギー・システムとその応用」平成21年度研究発表会、2009年2月26日、東北学院大学

③ 平賀栄次、田山典男、秋田敏宏、大坊真洋：産業用CTシステムの並列処理機構の検討、「音・光・電波・エネルギー・システムとその応用」平成20年度研究発表会、2009年2月29日、東北工業大学

④ 多田明広、田山典男、秋田敏宏、他：  
多角形ファンビームスキャンからの画像再構成手法、情報処理学会東北支部研究会、2008年01月11日、岩手大学

⑤ 秋田敏宏、渡辺祐典、二田祐一、田山典男：化学シフトを識別する産業用MRIの画像化シミュレーション、計測自動制御学会東北支部研究集会、221-2、2007年5月 岩手大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田山 典男 (TAYAMA NORIO)  
岩手大学・工学部・教授  
研究者番号：40003850

### (2) 研究分担者

大坊 真洋 (DAIBO MASAHIRO)  
岩手大学・工学部・准教授  
研究者番号：20344616

秋田 敏宏 (AKITA TOSIHIRO)  
一関高等専門学校・助教  
研究者番号：80469569  
(H20年度研究分担者)

### (3) 連携研究者

なし