

審査の結果の要旨

氏名 関野 正樹

本論文は「Magnetic Resonance Imaging and Numerical Simulations of Electric Phenomena in Living Bodies (生体における電氣的現象の磁気共鳴イメージングおよび数値解析に関する研究)」と題し、magnetic resonance imaging (MRI)および数値解析を基にして、生体内の電氣的現象を画像化する新しい手法とその有効性について論じたものである。全体で11章から構成されており、英文で書かれている。

第1章はIntroduction (序論)であり、研究の背景と目的を述べている。脳機能のイメージングや、電磁場の医療応用において、生体における電氣的現象を非侵襲的に計測あるいは推定することが必要であることを論じている。しかし、それを実現する手法がまだ開発されていないことを指摘し、これを解決するために、本論文ではMRIおよび数値解析を基にした新しい手法を提案することを述べている。

第2章はMagnetic Resonance Imaging of Magnetic Fields (磁場の磁気共鳴イメージング)と題し、測定対象内の磁場の強さに比例する磁気共鳴周波数のシフトと、その結果として生じる信号低下を利用して磁場を画像化する手法について論じている。球形のファントムの中央に設置した直線状の導線に電流を加え、ファントム内に発生する磁場を測定している。磁場の測定結果が理論的な予測とよく一致することを示し、測定結果の妥当性を述べている。

第3章から第5章はMagnetic Resonance Imaging of Conductivity (導電率の磁気共鳴イメージング)と題し、水の拡散係数と導電率との関係を利用して、拡散テンソルMRIの信号から導電率を推定する手法について論じている。ラットの脳およびヒトの脳を対象として、異方性を持った導電率の分布を画像化し、特に脳梁や錐体路などでは、神経線維の配向構造により導電率が高い異方性を有することを明らかにしている。この手法の実現により、脳内の導電率分布を得ることが初めて可能になる。生体の電磁場を解析する際に導電率分布を得ることは不可欠であり、この結果は、例えば磁気刺激における誘導電流分布の解析、脳波や脳磁図における順問題や逆問題の解法、電磁場を用いた温熱療法の評価、電磁場の安全性の評価などに有用である。

第6章から第7章はMagnetic Resonance Imaging of Fluid Motion in Electrochemical Systems (電気化学反応系における流体運動の磁気共鳴イメージング)と題し、電気化学反応に伴って生じる対流の速度分布を画像化する手法

について論じている。電解質溶液を満たしたファントムに電流を流し、発生する対流の三次元的な速度分布を、**time-of-flight** 法および **pulsed-gradient spin-echo** 法を用いて画像化している。この手法は、流体運動に影響を与えることなく、電気化学反応系における輸送現象を評価できるという特徴を有する。

第 8 章は **Detection of Magnetic Fields Generated by Neuronal Electrical Activities Using Magnetic Resonance Imaging** (ニューロンの電気活動により発生する磁場の磁気共鳴イメージングによる検出)と題し、脳内ニューロンの活動に由来する微弱な磁場を検出する手法について論じている。ラットの坐骨神経に電気刺激を加え、大脳体性感覚野における MRI の信号強度の変化を測定し、刺激後 0 - 30 ms において信号が一時的に減少することを検出し、この信号減少がニューロンの電気活動に伴う磁場に由来するものであることを明らかにしている。すなわち、MRI を用いたニューロンの電気活動の直接的な検出が、数十 ms の時間分解能と 1 mm 以下の空間分解能を持つ新しい脳機能イメージングを可能にすることを論じている。

第 9 章から第 10 章は **Numerical Simulations of Electromagnetic Fields in Living Bodies** (生体内の電磁場の数値シミュレーション)と題し、電気痙攣療法と経頭蓋的磁気刺激における脳内電流分布の数値シミュレーションについて論じている。解剖学的な情報に基づいたヒト頭部の三次元的なモデルを用いて、有限要素法に基づいた解析を行うことで、これらの治療法における電流分布の相違を初めて明らかにし、さらに経頭蓋的磁気刺激を用いて電気痙攣療法と同様の治療効果を得るために最も適した刺激条件を求めている。

第 11 章は **Conclusions** (結論)であり、本論文の成果をまとめている。

以上これを要するに、本論文では磁場、導電率、流体運動などを MRI により画像化する手法、ならびに生体内の電磁場分布を数値シミュレーションにより評価する手法を提案し、その有効性を実証したもので、これらの成果は脳機能研究や医用生体工学をはじめとする諸分野に応用が可能であり、電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。