

## 論文審査の結果の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 大内 翔平

本論文は、医用画像診断装置である核磁気共鳴映像法(MRI)において、撮像時間の短縮化のために少数の観測信号から画像を再構成することを可能とするディープラーニング再構成法について検討を行ったものである。

MRIでは撮像過程に多くの時間を要する課題があり、患者の負担軽減のため撮像時間の短縮化が求められている。撮像を短縮する方法として、信号回復理論である圧縮センシングを応用し、標本化定理を満足しない少数の観測信号から反復的に画像を再構成する手法が提案されている。しかし、この手法は逆フーリエ変換を基本とする従前法よりも大幅に長い再構成時間を要し、さらに再構成像が人工的な様相を呈する場合がある等の課題があった。そこで、本研究では圧縮センシングの再構成法にディープラーニングを応用する方法について検討を行った。ディープラーニングによれば、再構成処理を学習したネットワークによって短時間に、かつ人工的でない自然な様相の画像の再構成が期待できる。一方で、データ駆動的に再構成を行うディープラーニングと従来の反復的な再構成法のそれぞれが有する性質の相違や位相画像の再構成手法については十分な検討がなされていなかった。そこで、本研究では最初にディープラーニングを使用した画像再構成法(DRL-CNN)の性質および特徴を明らかにすることを試みた。次に、位相情報を持つ複素画像の再構成を実関数型のディープラーニング画像再構成法を使用して行う新たな手法について検討を行った。

本研究によって得られた成果は次のようにまとめることができる。

- (1) DRL-CNNと既存の反復的再構成法を比較した結果、反復的再構成法では信号収集点の選び方に高いランダム性が求められるのに対し、DRL-CNNではランダム性の低い間引き方法や規則的に間引く方法においても画像再構成が可能であることが示された。さらに、規則的に信号を間引く方が高品質な画像を再生できる場合があるなど、反復的再構成とは異なる性質を持つ方法であることが明らかになった。
- (2) 再構成に要する時間に関して、DRL-CNNはGPUを効率的に利用できるため、大幅な時間短縮を実現できた。
- (3) 臨床で得られる画像は各画素が複素数で構成される複素画像となるが、これまで提案されたディープラーニング再構成法は、位相を含まない理想的な画像を想定していた。本研究では、(1)で明らかとなった性質を応用して信号収集に対称性を与える方法により、位相画像の実部と虚部を独立に実関数型のCNNを使用して再構成を行う新たな方法を提案した。複素数に対応した既存手法との比較実験により、提案手法では高品質な画像を再構成できることが示された。
- (4) MR画像は位相を有する画像という性質に着目し、CNNの学習および再構成の性能改善

に繋がる新たな画像データ拡張法を提案した。再構成実験により、提案法の有効性を確認することができ、CNNの学習能力強化と画像改善を実現できることが示された。

本論文については、令和5年2月6日に、審査委員全員および関連分野の研究者出席のもとで公聴会が開催され、研究成果の発表と質疑応答が行われた。公聴会終了後に、学位授与審査委員会を開催し、本論文の内容について詳細に審査した。その結果、ディープラーニングを利用したMR画像の圧縮センシング再構成法が提案され、その方法で得られる画像の特徴と再構成法の性質が明らかにされていること、さらに、位相画像への有効な再構成法が示されていることが確認された。本論文は、学術的にも工業的にも価値があり、研究としての独創性においても優れたものと判断した。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。