

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04423

研究課題名（和文）深層学習を利用したMRI圧縮センシング再構成に関する研究

研究課題名（英文）MRI Compressed Sensing Image Reconstruction Using Deep Learning

研究代表者

伊藤 聡志（ITO, SATOSHI）

宇都宮大学・工学部・教授

研究者番号：80261816

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：圧縮センシングのMRI応用において、深層学習を利用する再構成法は従来の反復再構成法よりも高品質な画像を再構成することができた。また、画像に不自然さはなく、再構成時間は0.5秒以内と大幅に短縮化されたことにより、課題の殆どを解決することができた。学習法では、信号-画像間学習では信号の間引きパターンに頑健であり、画像-画像間学習は非ランダムな信号間引きにも対応可能な性質が明らかになった。深層学習再構成は、単なる反復再構成法の置き換えではなく圧縮センシングの条件を緩和することができ、計測とデータ駆動科学の融合の可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MRIの撮像時間を短縮する目的で圧縮センシングを導入する研究を行った。課題であった画質と再構成時間の短縮は高いレベルで満足できる結果を得た。また、深層学習再構成の方式によっても画質や再構成時間、必要な画像データ数などが異なり、それぞれ特徴があることが明らかになった。さらに、深層学習の導入は計測方法の常識までも変える可能性を持ち、今後さらに計測と計算機処理の融合により高いレベルでの計測、さらなる撮像時間の短縮化など新たな次元の計測へ展開する方向性が示唆された。このように深層学習に代表されるデータ駆動科学のMRI応用において新たな知見が得られたことから学術的、社会的意義は大きいものがある。

研究成果の概要（英文）：Deep learning-based image reconstruction methods produced higher quality images than conventional iterative reconstruction methods in compressed sensing MRI. There was no appearance of unnaturalness in the images, and the reconstruction time was greatly reduced to within 0.5 seconds, which solved most of the initial issues. With respect to learning methods, signal-to-image learning is robust to signal under-sampling patterns, and image-to-image learning is robust to signal under-sampling. Deep learning-based reconstruction is not just a replacement for iterative reconstruction methods, but can relax the conditions for compressed sensing, suggesting the possibility of changing even the measurement method.

研究分野：医用画像工学

キーワード：磁気共鳴映像法 深層学習 圧縮センシング

1. 研究開始当初の背景

磁気共鳴映像法(MRI)は、単に形態学的な生体断面の情報を与えるにとどまらず、生化学的な特徴の描出、神経束の走行状態、細胞および分子レベルでの可視化などを可能とする新たなモダリティとして日々進化している。一方で、検査を受ける患者からの「検査時間が長い」などの不満があげられている。

MRI の撮像を高速化する方法として圧縮センシング[1]があるが、画像再構成処理に多くの計算時間を要する、画像診断に有用な情報を失った人工的な画像になる場合がある、などの課題があった。

2. 研究の目的

本申請では画像再構成問題に深層学習を導入する新しい方法について検討を行う。深層学習は理学、工学分野だけで飛躍的な性能改善をみせているが、画像再構成に应用する場合においても、圧縮センシングの上記の2つの問題を同時に解決できるだけでなく、飛躍的な画質改善やこれまで不可能だった条件での画像再構成を可能とする。本研究では世界的に萌芽期にある深層学習を用いた圧縮センシング再構成について基礎的フェーズから実用的フェーズに至る段階までの検討まで行うことを目的とする。

3. 研究の方法

MRI で得られる再生像は、磁化率や装置に起因して一般的に位相を持つ複素画像となる。複素画像の深層学習における新たな方法を説明する。観測信号を $s(k)$ 、被写体のスピン密度分布を $\rho(x)$ 、位相分布を $\phi(x)$ とするとき緩和による減衰を省略した MR 信号式は式(1)で与えられる。

$$s(k) = \int \rho(x)e^{-j\phi(x)} e^{-j(k \cdot x)} dx = F[\rho(x)e^{-j\phi(x)}] \quad (1)$$

x と k 、 F はそれぞれ空間ベクトル、 k 空間ベクトル、およびフーリエ変換処理である。位相を持つ像 $\rho(x)e^{-j\phi(x)}$ の実部のフーリエ変換は、式(2)となる。

$$\begin{aligned} F\{\text{Re}[\rho(x)e^{-j\phi(x)}]\} &= \frac{1}{2}F\{\rho(x)e^{-j\phi(x)} + \rho(x)e^{j\phi(x)}\} \\ &= \frac{1}{2}\{s(k) + s(-k)^*\} \end{aligned} \quad (2)$$

$$s(-k)^* = \int \rho(x)e^{j\phi(x)} e^{-j(k \cdot x)} dx = F[\rho(x)e^{j\phi(x)}] \quad (3)$$

ここで $s(-k)^*$ は、式(3)の関係を利用した。虚部のフーリエ変換も同様に求めることができる。式(2)は、原点に関する対称的かつ位相共役な信号との加算により位相画像の実部に対応する信号式を与える。この性質を CS-MRI に用いるためには、図 1 のように収集パターンに対称性を与えた間引き処理を行う。この方法では、複素画像の実部と虚部のそれぞれの像は実関数用 CNN を利用して独立に再構成することが可能となる[2]。

本研究では、深層学習再構成に交互方向乗数法 (Alternating Direction Method of Multipliers: ADMM) の反復処理をモデルとする Generic-ADMM-CSNet[3] を利用した。間引いた MR 信号空間を入力し、反復処理の各ステップに相当するステージを複数回経ると、再構成された MR 画像を出力する。

学習において図 2 のように、実部像と虚部像に対応する MR 信号 100 組を使用して学習を行った。提案法では実部と虚部ともに実画像の扱いになるので、同一のネットワークを使用した学習を行うことができる。その結果、データ拡張の効果が期待できる。

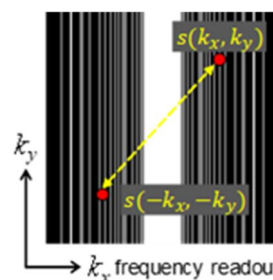


図 1 対称性を与えた信号収集パターン

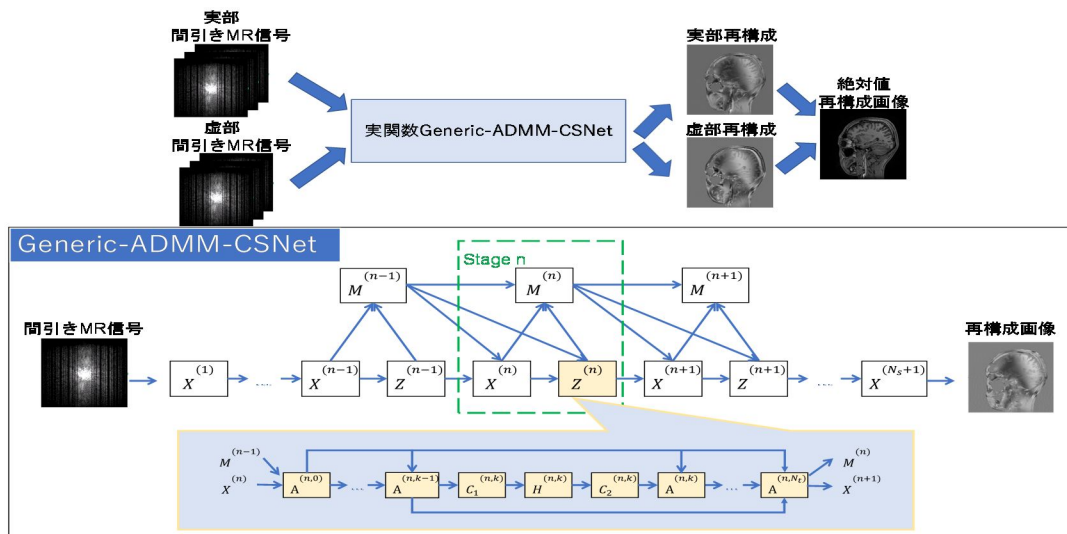


図 2 再構成処理の手順と Generic-ADMM-CSNet アーキテクチャ

4. 研究成果

提案法, 複素数計算を可能とする Generic-ADMM-CSNet, および画像空間のアーティファクト学習法(DNN-CS)による画像再構成実験を行い, 再構成像を比較した.

(1) 模擬位相付与による再構成実験

位相に対する頑健さを評価するために数値モデルに規則的な位相変化を与え画像再構成を行った. 再生像の空間のインデックスを (i_x, i_y) , 位相変化の係数を c , データ数を N とするとき, 二次関数状の位相分布を $e^{-jc\{(i_x - N/2)^2 + (i_y - N/2)^2\}}$ として与えた. 提案法と Generic-ADMM-CSNet を比較した. 信号収集比 40% として再構成した際の, 位相変化の係数と再構成像の PSNR の関係を図 3 に示す. $c=0.01$ とした時の再構成像と位相分布を図 4 示す. 図 4 の位相分布において提案法は, 複素数 CNN よりも位相の乱れが少ない結果となった. 位相の変化が大きい 129 行目の位相の MSE は提案法が 0.028 に対して複素数 CNN は 0.043 となり提案法のほうが, 誤差が少なかった.

(2) 取得 MR 画像を使用した再構成実験

MRI で実際に得られた位相画像を再構成する実験を行った. 4.1 で使用した方法に DnCNN-CS [4]を加えた 3 通りの方法で比較をした. 学習に使用した画像は, 被検者の同意を得て MRI (キヤノンメディカル Vantage) で撮像されたボランティア画像 50 枚である. 60 エポックの学習を行った. テスト画像は, 学習に使用していない複素画像 20 枚を使用した. 画像再構成に要する時間は, GPU を使用するとき 0.5 s であった. 反復再構成には 10 s を要するので大幅な時間短縮となった. 信号収集比 40% で再構成を行ったときの PSNR を図 5 に示す. 提案法は比較した 3 通りの方法の中で最大の PSNR を示した.

MRI で得られた位相を持つ複素数画像での再構成は, 提案法と複素数 CNN で同等な PSNR を得ることができた. 複素数対応の ADMM-CSNet は実部と虚部で同じ畳み込みフィルタと ReLU を使用しているため, 複素数の効果が小さいこと, および提案法は, 実部と虚部を同一の畳み込みフィルタを使用して学習を行うことで学習枚数が 2 倍になりデータ拡張の効果があること, 実関数の拘束条件の使用などにより複素数 CNN より高い再構成性能となったと考える.

数値モデル位相を与えた複素数画像の再構成では, 位相の強さに関わらず提案法が複素数 CNN よりも高い PSNR となった. このことから, 提案法は位相分布に頑健であることが示された. MRI では, 位相より磁化率や血流の情報を得ることができ, 位相を積極的に利用する撮像

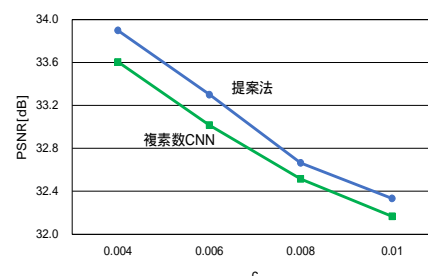


図 3 模擬位相画像の PSNR

が行われることがある。位相分布に頑健な提案法は他の優れた実関数 CNN にも応用することができ、実用的かつ有望な方法であると考えられる。

文献

- [1] M.Lustig et al: Compressed Sensing MRI, IEEE Signal Processing Magazine, vol.25, no.2: 72-82, 2008
- [2] 伊藤 他: MR 画像の位相ひずみに頑健な圧縮センシング, 信学論 D, Vol. J96-D No.4: 803-804, 2013
- [3] Y.Yang et al: ADMM-CSNet: A Deep Learning Approach for Image Compressive Sensing, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.42: 512-538, 2018
- [4] S. Ouchi, S. Ito: Efficient Phase-varied Image Reconstruction using Single Deep Convolutional Neural Network without Estimation of Phase Distribution, ISMRM 28th Scientific Meeting, 3608, Paris, France, 2020

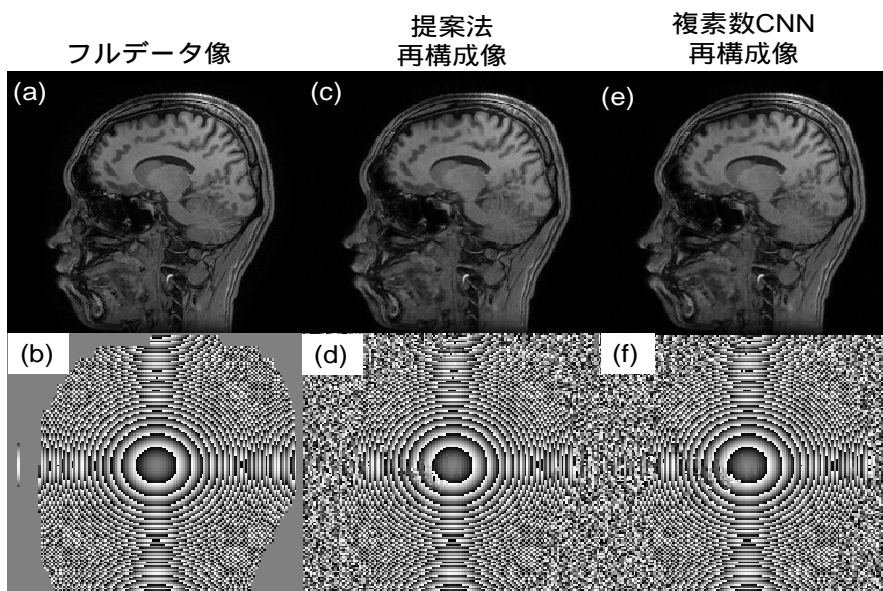


図 4 位相付与画像の再構成比較 : (a) フルデータ像 , (b) 与えた位相分布($c=0.01$) , (c) , (e) は提案法 , 複素数 CNN による再構成像 , (d),(f)は(c),(e)の位相分布

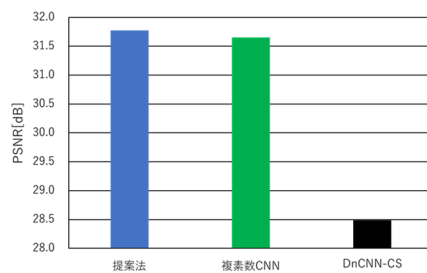


図 5 実位相画像の PSNR

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shohei Ouchi, Satoshi Ito	4. 巻 101
2. 論文標題 Efficient complex-valued image reconstruction for compressed sensing MRI using single realvalued convolutional neural network	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Magnetic Resonance Imaging	6. 最初と最後の頁 13-24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.mri.2023.03.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuki Yamato, Satoshi Ito	4. 巻 -
2. 論文標題 Super-resolution Magnetic Resonance Imaging Using Segmented Signals in Phase-Scrambling Fourier Transform Imaging and Deep Learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of IEEE ICIP2023 Pars, France	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuki Yamato, Satoshi Ito	4. 巻 -
2. 論文標題 CNN-based Compressed Sensing MRI using segmented signals in Phase Scrambling Fourier Imaging Technique	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc of the 4th Annual Scientific Meeting of Asian Society of Magnetic Resonance in Medicine	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Satoshi Ito, Kazuki Yamato	4. 巻 -
2. 論文標題 Improved Parallelized Blind MR Image Denoising using Asymmetric Weighting coefficients	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of International Society of Magnetic Resonance in Medicine 30th Scientific Meeting, London, United Kingdom	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Satoshi Ito, Keitaro Takahashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Improvement of CNN Denoising Performance Using Noise Control of Input Image and Application to Parallelized Image Denoising	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of International Society of Magnetic Resonance in Medicine 31th Scientific Meeting, Toronto, Canada	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shohei Ouchi, Itona Fukatsu, Kazuki Yamato, Satoshi Ito	4. 巻 -
2. 論文標題 Overview of Complex-valued Image Reconstruction for CS-MRI Using Real-valued CNN with Symmetrical Signal Under-Sampling	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of International Society of Magnetic Resonance in Medicine 31th Scientific Meeting, Toronto, Canada	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sugai Taro, Takano Kohei, Ouchi Shohei, Ito Satoshi	4. 巻 20
2. 論文標題 Introducing Swish and Parallelized Blind Removal Improves the Performance of a Convolutional Neural Network in Denoising MR Images	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Magnetic Resonance in Medical Sciences	6. 最初と最後の頁 410 ~ 424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2463/mrms.mp.2020-0073	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Ito, S. Uematsu	4. 巻 -
2. 論文標題 Improved CNN-based Image reconstruction using regularly under-sampled signal obtained in phase scrambling Fourier transform imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of International Society of Magnetic Resonance in Medicine 29th Scientific Meeting	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Ito, T. Sugai, K.Takano, S. Ouchi	4. 巻 -
2. 論文標題 Parallelized Blind MR Image Denoising using Deep Convolutional Neural Network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of International Society of Magnetic Resonance in Medicine 29th Scientific Meeting	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Ouchi, S.Ito	4. 巻 -
2. 論文標題 Multi-channel and multi-group-based CNN Image Reconstruction using Equal-sized Multi-resolution Image Decomposition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of International Society of Magnetic Resonance in Medicine 29th Scientific Meeting	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Ito, K. Yamato	4. 巻 -
2. 論文標題 Improved Parallelized Blind MR Image Denoising using Asymmetric Weighting coefficients	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of International Society of Magnetic Resonance in Medicine 30th Scientific Meeting	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 植松 駿, 伊藤 聡志	4. 巻 39
2. 論文標題 位相拡散フーリエ変換映像法の導入によるMR深層学習再構成の高画質化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY	6. 最初と最後の頁 59-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11409/mit.39.59	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ouchi Shohei, Ito Satoshi	4. 巻 20
2. 論文標題 Reconstruction of Compressed-sensing MR Imaging Using Deep Residual Learning in the Image Domain	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Magnetic Resonance in Medical Sciences	6. 最初と最後の頁 190-203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2463/mrms.mp.2019-0139	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ouchi Shohei, Ito Satoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Multi-channel Grouped CNN-based Image Reconstruction for Reduced Sampled Complex MR Signal	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ito Satoshi, Ouchi Shohei	4. 巻 -
2. 論文標題 Deep-Learning-based MR Compressed Sensing using Non-randomly Under-sampled Signal in Nonlinear Phase Encoding Imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference 2020	6. 最初と最後の頁 909-913
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ouchi Shohei, Ito Satoshi	4. 巻 82
2. 論文標題 Comparison of Reconstruction Performances between Deep Learning and Iterative methods in MR Compressed Sensing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IFMBE Proceedings	6. 最初と最後の頁 249-254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryo KAZAMA, Kazuki SEKINE, Satoshi ITO	4. 巻 E102-D
2. 論文標題 Compressed Sensing in Magnetic Resonance Imaging Using Non-Randomly Under-Sampled Signal in Cartesian Coordinates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transaction on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1851-1859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2019EDP7016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計55件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 洪井雅希, 山登一輝, 伊藤聡志
2. 発表標題 複数の信号間引きパターンを利用した圧縮センシングの深層学習再構成
3. 学会等名 映像情報メディア学会 メディア工学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山登一輝, 大水 望, 伊藤 聡志
2. 発表標題 位相拡散フーリエ撮像法におけるセグメント信号収集を用いたMR 圧縮センシング
3. 学会等名 第41回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 深津純奈, 山登一輝, 伊藤聡志
2. 発表標題 実関数CNN を利用したMR 位相画像の深層学習再構成
3. 学会等名 第41回日本医用画像工学会大会 (大会奨励賞受賞)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植田貴之, 山登一輝, 伊藤 聡志
2. 発表標題 MR マルチスライス撮像におけるパラレルブラインドデノイジングの性能改善
3. 学会等名 第41回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大内翔平, 伊藤 聡志
2. 発表標題 MR深層学習再構成におけるMR画像特徴を利用した学習時とテスト時のデータ拡張の有効性に関する検討
3. 学会等名 第41回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤裕貴, 山登一輝, 大内翔平, 伊藤 聡志
2. 発表標題 Encoder-decoderCNNを用いたパッチベース型MR画像再構成に関する検討,
3. 学会等名 第41回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿部真弥, 山登一輝, 伊藤 聡志
2. 発表標題 フレネル変換画像のアンサンブル学習によるMR圧縮センシング再構成の性能改善
3. 学会等名 第41回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿部真弥, 山登一輝, 伊藤 聡志
2. 発表標題 フレネル変換によるアンサンブル学習を利用したMR圧縮センシング再構成
3. 学会等名 映像情報メディア学会 2022年年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金澤崇大, 山登一輝, 伊藤 聡志
2. 発表標題 MR圧縮センシングにおける位相拡散フーリエ変換法を利用した深層学習再構成
3. 学会等名 映像情報メディア学会 2022年年次大会 (学生優秀発表賞受賞)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 洪井雅希, 山登一輝, 伊藤 聡志
2. 発表標題 信号収集点選択に頑健な圧縮センシングMRIの深層学習再構成
3. 学会等名 映像情報メディア学会2022年冬季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿部真弥, 山登一輝, 伊藤 聡志
2. 発表標題 アンサンブル学習を利用した圧縮センシングMRIの深層学習再構成
3. 学会等名 画像電子学会 第303回研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山登一輝, 若槻泰迪, 伊藤聡志
2. 発表標題 位相拡散フーリエ法を用いた信号-画像間学習に基づいたMR超解像法の基礎検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 医用画像研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮本裕大, 伊藤聡志
2. 発表標題 MR画像の深層学習再構成におけるハーフフーリエ法と非ランダム信号間引きによる高品質画像再構成の検討,
3. 学会等名 映像情報メディア学会 メディア工学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大内翔平, 伊藤聡志
2. 発表標題 多重解像度解像画像のグループ型学習とマルチチャンネルCNNを使用した圧縮センシング再構成法の検討
3. 学会等名 第49回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大内翔平, 伊藤聡志
2. 発表標題 圧縮センシングにおける対称的信号間引きと実数型CNNによる複素MR画像の再構成法の検討
3. 学会等名 第49回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 洪井雅希, 山登一輝, 伊藤聡志
2. 発表標題 CS-MRIの深層学習再構成における信号間引きパターンに対する頑健さの改善
3. 学会等名 第49回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大内 翔平, 伊藤 聡志
2. 発表標題 多重解像度画像のグループ型学習を利用した新たなMR深層学習再構成の検討
3. 学会等名 第40回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山登一輝, 若槻 泰迪, 伊藤 聡志
2. 発表標題 信号空間の深層学習を利用した位相拡散フーリエ変換に基づいたMR超解像
3. 学会等名 第40回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 洪井雅希, 伊藤 聡志, 山登一輝
2. 発表標題 深層学習を利用した信号の間引きパターンに頑健な圧縮センシング再構成の基礎検討
3. 学会等名 第40回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金澤崇大, 山登一輝, 伊藤 聡志
2. 発表標題 位相拡散フーリエ変換法を導入したMR深層学習再構成における信号間引きパターンの検討
3. 学会等名 第40回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 深津純奈, 山登一輝, 伊藤聡志
2. 発表標題 実関数CNNを利用したMRI複素数画像の深層学習再構成に関する基礎検討
3. 学会等名 映像情報メディア学会メディア工学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿部 真弥, 山登一輝, 伊藤聡志
2. 発表標題 画像のフレネル変換とGANを利用したMR圧縮センシング再構成
3. 学会等名 映像情報メディア学会 研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 須貝 太郎, 高野 航平, 大内 翔平, 伊藤 聡志
2. 発表標題 深層学習を利用したMRブラインド雑音除去の並列型計算による性能改善,
3. 学会等名 第48回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮本 裕大, 伊藤 聡志
2. 発表標題 アーチファクト学習を導入したISTA-NetによるMR圧縮センシング再構成
3. 学会等名 第48回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大内 翔平, 伊藤 聡志
2. 発表標題 CNNによるMR画像の分解能評価の検討
3. 学会等名 第48回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大内 翔平, 伊藤 聡志
2. 発表標題 MR 画像の位相推定を不要とする深層学習型圧縮センシング再構成法の検討
3. 学会等名 第39回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 若槻 泰迪, 伊藤 聡志
2. 発表標題 位相拡散フーリエ法の信号 - 画像間学習によるMR 画像の超解像,
3. 学会等名 第39回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 植松 駿, 伊藤 聡志
2. 発表標題 位相拡散フーリエ変換映像法の導入によるMR 深層学習再構成の高画質化,
3. 学会等名 第39回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 須貝 太郎, 高野 航平, 大内 翔平, 伊藤 聡志
2. 発表標題 Swish を利用したBlind DnCNN とパラレルデノイジングへの応用
3. 学会等名 第39回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮本 裕大, 伊藤 聡志
2. 発表標題 アーチファクト学習を導入した改良型ISTA-Net による深層学習再構成
3. 学会等名 第39回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 洪井 雅希, 山登 一輝, 伊藤 聡志
2. 発表標題 圧縮センシングMRIにおける信号間引きパターンに頑健な深層学習再構成の検討
3. 学会等名 日本生体医工学会 専門別研究会 生体画像と医用人工知能研究会 若手発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金澤 崇大, 山登 一輝, 伊藤 聡志
2. 発表標題 位相拡散フーリエ変換法の信号を入力とした深層学習再構成の基礎検討
3. 学会等名 日本生体医工学会 専門別研究会 生体画像と医用人工知能研究会 若手発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部真弥, 大内 翔平, 伊藤 聡志
2. 発表標題 圧縮センシングのMRI応用における深層学習再構成法の比較
3. 学会等名 電子情報通信学会 医用画像研究会 (MI)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大内 翔平, 伊藤 聡志
2. 発表標題 実関数型CNNを使用したMR画像の位相分布に頑健な圧縮センシング再構成
3. 学会等名 電子情報通信学会 医用画像研究会 (MI)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ouchi Shohei, Ito Satoshi
2. 発表標題 Multi-channel Grouped CNN-based Image Reconstruction for Reduced Sampled Complex MR Signal
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ito Satoshi, Ouchi Shohei,
2. 発表標題 Deep-Learning-based MR Compressed Sensing using Non-randomly Under-sampled Signal in Nonlinear Phase Encoding Imaging
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ito Satoshi, Hiromichi Wakatsuki,
2. 発表標題 Dual Stage Super-Resolution in Quadratic Phase Scrambling Imaging using Iterative Signal Band Expansion and Deep CNN Super-resolution
3. 学会等名 International Society of Magnetic Resonance in Medicine 28th Scientific Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ouchi Shohei, Ito Satoshi
2. 発表標題 Efficient Phase-varied Image Reconstruction using Single Deep Convolutional Neural Network without Estimation of Phase Distribution
3. 学会等名 International Society of Magnetic Resonance in Medicine 28th Scientific Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ouchi Shohei, Ito Satoshi
2. 発表標題 Comparison of Reconstruction Performances between Deep Learning and Iterative methods in MR Compressed Sensing
3. 学会等名 The 11th Asian Pacific Conference on Medical and Biological Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Satoshi ITO, Kohei SATO
2. 発表標題 Deep Scaled Domain Learning for Compressed MRI using Optional Scaling Transform
3. 学会等名 International Society of Magnetic Resonance in Medicine 27th Scientific Meeting (査読有り) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi ITO
2. 発表標題 Super-resolution based on the Signal Extrapolation in Phase scrambling Fourier Transform Imaging using Deep Convolutional Neural Network
3. 学会等名 International Society of Magnetic Resonance in Medicine 27th Scientific Meeting (査読有り) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi ITO, Tsukasa SAITO
2. 発表標題 De-Aliasing for Under-sampling in Phase Scrambling Fourier Transform Imaging using Alias-free Reconstruction and Deep Convolutional Neural Network
3. 学会等名 International Society of Magnetic Resonance in Medicine 27th Scientific Meeting (査読有り) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shohei OUCHI, Satoshi ITO
2. 発表標題 Deep Learning based Compressed Sensing Image Reconstruction Robust to Phase Variation
3. 学会等名 International Society of Magnetic Resonance in Medicine Japanese Chapter Meeting, Chiba, Japan (査読有り) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 聡志
2. 発表標題 深層学習を利用したMRイメージング
3. 学会等名 第38回日本医用画像工学会大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大内 翔平, 伊藤 聡志
2. 発表標題 敵対的生成ネットワークを利用したMR圧縮センシング再構成の基礎検討
3. 学会等名 第38回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹間 康浩, 大内 翔平, 伊藤 聡志
2. 発表標題 スパース化空間の類似性を利用した単一画像超解像
3. 学会等名 第38回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 佑紀, 風間 暲, 伊藤 聡志
2. 発表標題 非ランダム間引き収集によるMR圧縮センシングの深層学習再構成
3. 学会等名 第38回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植松 駿, 伊藤 聡志
2. 発表標題 MR圧縮センシングにおけるADMM-Netを利用した深層学習再構成の検討
3. 学会等名 第38回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大内 翔平, 伊藤 聡志
2. 発表標題 敵対的生成ネットワークを利用した圧縮センシング再構成
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植松 駿, 伊藤 聡志
2. 発表標題 ADMM-Netを利用したMR圧縮センシング再構成の検討
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹間 康浩, 伊藤 聡志
2. 発表標題 スパース表現の相似性を利用した単一画像超解像に関する検討
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 若槻 泰迪, 伊藤 聡志
2. 発表標題 深層学習を利用しMR位相拡散フーリエ法再生像の超解像
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野 航平, 伊藤 聡志
2. 発表標題 深層学習を利用したMRブラインドノイズ画像のデノイジング
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 祐紀, 伊藤 聡志
2. 発表標題 非ランダム信号間引きによるMR圧縮センシングの深層学習再構成
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 祐紀, 伊藤 聡志
2. 発表標題 MR圧縮センシングの深層学習再構成における非ランダム間引き法の検討
3. 学会等名 映像情報メディア学会 メディア工学研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 藤田広志監修/編, 伊藤聡志ほか	4. 発行年 2020年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 278
3. 書名 2020-2021年版 はじめての医用画像ディープラーニング (MRI再構成部分を執筆)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------