

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：32410

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04178

研究課題名(和文) 脳計測信号処理のためのテンソル分解理論の構築と脳死判定並びにBCIへの応用

研究課題名(英文) Tensor decomposition Tensor Decomposition for Brain Signal Processing and BDD &amp; BCI Applications

研究代表者

曹 建庭 (Cao, Jianting)

埼玉工業大学・工学部・教授

研究者番号：20306989

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究であるBCI及びBDDにおける雑音除去問題、大規模データ処理問題、推定精度と速度問題、システムの実装問題について多くの解決案を提示し、テンソル分解理論と応用両面で、多くの研究成果を創り上げ、国際ジャーナルに25篇、国際会議18篇、国内会議に27篇、合計70篇の論文を公表した。そのなか、信号処理分野のトップレベルの国際会議であるICASSP2019にテンソル分解と大規模データ再構成の論文が最優先論文賞を受賞した(受賞率0.32%)。また人工知能分野のトップレベルの国際会議であるACML、IEEE Trans.on TPAMI 及び NSREなどに高レベルの論文が数篇採択された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提案しているBCI及びBDDシステムと脳信号処理法は、理論と実験の両面でシステムの実現を検証し、このような社会的なニーズに答えようと考えられる。本研究で提案している新しい計算理論や算法また実験法は学術的にも神経生理と脳信号処理などの分野への貢献が期待される。本研究のオンラインBCI及びBDDシステムは実稼働のシステムであり、研究者、企業団体、音楽演奏者、高校生、新聞記者が多く研究室に学术交流や見学に来られる。本研究課題は社会的インパクトが高い、技術普及にも役にたつ。また研究期間中に、課題を参加した博士及び修士課程の大学院生がそれぞれ6名と16である。彼らは研究を通して学位を獲得した。

研究成果の概要(英文)：In this project, we not only proposed many solutions to the research plan, i.e., noise reduction problems in BCI and BDD, large-scale data processing problems, BCI estimation accuracy and speed problems, and BCI and BDD system implementation problems, but also created many research results by constructing tensor decomposition theory and extending its practical application aspects. During this research period, he published 25 papers in international journals, 18 papers in international conferences, and 27 papers in domestic conferences, totaling 70 papers. Among them, our papers on tensor decomposition and large-scale data reconstruction received the highest priority paper award at ICASSP2019, a top-level international conference in the field of signal processing (award rate: 0.32%). Several high-level papers were accepted to ACML, IEEE Transactions on TPAMI, and NSRE, the top international conferences in the field of artificial intelligence.

研究分野：情報工学

キーワード：脳信号処理 テンソル分解 機械学習 脳コンピュータインタフェース(BCI) 脳死判定(BDD)

## 1. 研究開始当初の背景

脳活動を計測・推定することで、擬似脳死患者の脳波から微弱な脳活動成分が存在するかを識別する脳死判定(以下、**BDD**)システム、脳内の情報を末梢神経に通さず、外部機器に伝える脳コンピュータインタフェース(以下、**BCI**)のようなシステムを実現するためには、基本かつ共通的な難題として、如何に雑音環境下で無用な脳活動成分を除去し、脳活動目的成分だけを精度よく抽出するかの信号処理技術、様々な脳波から活動状態を推定する機械学習と識別技術の確立が必要不可欠である。

## 2. 研究の目的

脳波データは、多ユーザ、多チャンネル、多フレーム、多試行等、多くのインデックスで表現される信号である。本研究課題は、このように複雑なデータ構造を、テンソルで明瞭に表現することで、多次元かつ大規模な脳波データから、有用な目的成分を効率よく抽出する高階テンソルの同時分解法を構築・発展させることを目的とする。構築したテンソル分解法を基にして、信号処理アルゴリズムや、深層学習アルゴリズムを開発し、これらにより、**BDD**や**BCI**システムにおける、(1)高レベル雑音環境下で実測した脳波により、ターゲットとなる脳活動に関連した弱活動成分と雑音の分解が困難となる問題；(2)大規模脳波データから目的成分の推定・識別となる問題；(3)**BCI**における同じタスクに対しても、観測される脳波が測定時刻やユーザによって異なる非定常性により、共通成分の抽出が困難となる問題の解決法を与える。

## 3. 研究の方法

### (1) **BCI** 及び **BDD** における雑音除去問題と提案法

本研究は **BCI** 及び **BDD** における雑音除去問題に対し、確率統計モデルを構築し、ベイズ原理に基づいた最尤推定により、元テンソルに含まれる目的成分、局所成分及び雑音成分を推定によるそれぞれのテンソルに入れる。目的テンソルのランク数は交差確認法等の指標を用いて決定する方法を提案する。

### (2) 大規模データ処理問題と提案法

本研究は多ユーザ、多チャンネル、多フレーム、多試行の脳波データに対し、大規模な神経回路を、複数個の低階なテンソルで置き換える。テンソルの学習モデルで再定式化し、より低階なテンソルの重みの更新する方法を提案する。テンソルの学習法は、各々のテンソル重みに対して偏微分により導くことができる。また学習されたテンソルモデルに、新たな患者脳波サンプルを入力して識別する。

### (3) **BCI** 推定精度と推定速度問題と提案法

本研究は多ユーザ、多チャンネル、多フレーム、多試行の脳波データに対し、大規模な神経回路を、複数個の低階なテンソルで置き換える。テンソルの学習モデルで再定式化し、より低階なテンソルの重みの更新する方法を提案する。テンソルの学習法は、各々のテンソル重みに対して偏微分により導くことができる。また学習されたテンソルモデルに、新たな患者脳波サンプルを入力して識別する。時々刻々入力している信号サンプルに適應して、目的成分である対角ベクトルを更新する方法を提案する。

### (4) **BDD** 及び **BCI** システムの実装問題と提案法

本研究は実時間で動く **BDD** 及び **BCI** システムを設計し、構築した理論と計算アルゴリズムの有効性を実証する。ハードウェアとソフトウェアの開発でオンライン **BDD** 自動診断システム及びオンライン **BCI** システムを構築する方法を提案する。

## 4. 研究成果

### (1) **BCI** 及び **BDD** における雑音除去

**BCI** 及び **BDD** における実測した雑音の影響がある脳波信号を、チャンネル×時間×フレームの3階のテンソルで表現する。表現された不完全な元テンソルは、目的であるグローバルテンソル、スパースな局所テンソル及び雑音テンソルで構成されるとする。ここで、目的テンソルのランクに着目すると、仮にそのランク数が元テンソルのランク数より低ければ、不要な成分のテンソルがあると考えられる。本研究は確率統計モデルを構築し、ベイズ原理に基づいた最尤推定により、元テンソルに含まれる目的成分、局所成分及び雑音成分を推定によるそれぞれのテンソルに入れる。目的テンソルのランク数は交差確認法等の指標を用いて決定し、雑音除去の有効性を示した[15, 19, 23, 32, 37]。また、オンラインシステム雑音除去の前処理としてはの独立成分解析、デュートレンド及び真偽 EEG データの判別アルゴリズムを設計し、良い成果が得られた[3, 27]。

### (2) 大規模データ処理

大規模な神経回路を、複数個の低階なテンソルで置き換える。テンソルの学習モデルで再定式化し、より低階なテンソルの重みの更新する方法を提案した。一例として、例えば、異なる症状の2名患者に6つの電極で1秒間(1000サンプル)の脳波データを深層

学習モデルで表現すると、入力層-中間層の重み行列の大きさは、 $12000 \times 12000$ である。さらに、患者数、サンプル数及び中間層の数が増えると、学習しようとするデータの量がさらに膨大となり、非常に長い学習時間を要する。ここで、Tensor-Train モデルを導入し重み行列を8つの低階テンソル  $12 \times 10 \times 10 \times 10 \times 12 \times 10 \times 10 \times 10$  で置き換えることができる。深層学習の更新則は、重み行列に対して偏微分で求められ、テンソルの学習法は、各々のテンソル重みに対して偏微分により導くことができる。

テンソル同時分解法を用いた大規模および高次元データを解析することにより、データの構造を維持すると同時により多くの空間情報を抽出することができる。本研究では、テンソルトレインとトータルバリエーションの制約条件を課し、Alternating Direction Method of Multipliers を適用することにより、テンソル同時分解法を基づいた新しいアルゴリズムを開発し、大規模および高次元データの処理効率を向上させた[18, 26, 36]。またこのテンソル分解法を脳死判定(BDD)に適用し、優れた結果が得られた[25]。次に、畳み込み神経回路(CNN)に基づいた深層学習法と脳信号処理アルゴリズムを開発し、脳コンピュータインタフェース(BCI)システム脳波や癲癇脳波の成分抽出と識別を行った。これらの新しいアプローチとしてテンソル分解法と対照的に比較することができる[30]。研究成果の内、信号処理分野のトップレベルの国際会議である 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP, May 12-17, 2019, Brighton, UK)に論文 Randomized Tensor Ring Decomposition and Its Application to Large-scale Data Reconstruction が最優先論文奨を受賞した。論文採択・発表するだけでも採択率 46.5%で、さらに 1743 篇採択した論文の中で厳選された 12 篇の受賞論文として特に優秀と評価されたものである[24]。

#### (3) BCI 推定精度と推定速度

BCIにおける各種の信号抽出問題を、テンソル信号の同時対角化で再定式化し、目的成分抽出のための同時対角化アルゴリズムを構築した。また、高次特異値分解 HOSVD 等の方法を拡張し、一般化固有値問題を求める逐次更新則を構築する。4階のテンソルの同時対角化を求める場合には、2階のテンソルの同時対角化と同様に、テンソルのランクを順番に求める。次に、各実験トライアルで得られたサンプルにインデックスを付け、それらの共分散行列を、重み付き平均で推定することとし、その重みは、対立タスクのデータテンソル同時対角化と最適化を組み合わせて決定する方法を与える。リアルタイム対角化の際に、時々刻々入力している信号サンプルに適應して、目的成分である対角ベクトルを更新する方法適応アルゴリズムを構築する。BCI性能評価基準である情報伝達レート(ITR)を測定し、構築したアルゴリズムの評価と、アルゴリズム改良へのフィードバックをする[4, 8, 11, 23, 25, 28]。その成果としては、著名な国際ジャーナルである IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering に発表し、テンソル分解理論に基づいた計算アルゴリズムを設計と脳内信号処理の応用に適用した。

#### (4) BDD 及び BCI システムの実装問題

本研究は実時間で動く BDD 及び BCI システムを設計し、構築した理論と計算アルゴリズムの有効性を実証する。ハードウェアとソフトウェアの開発でオンライン BDD 自動診断システム及びオンライン BCI システムを実装した[6, 7, 29, 34]。BCI システムの実装については、被験者の自由度を高めるため、MUSE や OpenBCI など簡易な脳計測器を利用した BCI システムを構成し、テスト実験でその有効性を確認した。また、PC の代わりに、スマホやタブレットの表示や処理プログラムや通信プロトコルの設計により、新しい軽便な BCI システムを開発した[3]。次に、研究計画であるオンライン BDD システムの実装については、実時間で計測・計算及び表示が必要とする GUI を設計し、オフラインの BDD 患者データ処理への適用だけでなく、オンラインで健常者、昏迷患者及び脳死者に対し、それぞれのテスト実験を行ない、システムの有効性を確認した[1, 14, 21]。オンライン BDD システムは 11 月に福島郡山で開催されている医療機器の展示会に出展する予定である。その他の応用面に関しては、BDD 及び BCI システムだけでなく、癲癇患者、精神病や鬱病など広く脳波手法応用を拡大した[5,9-13,16, 17,22]

#### 5. 主な発表論文(査読付き)

- [1] Ran. Zhan, Linfeng Sui and Jinming Gong and Jianting Cao : “EEG-based real-time diagnostic system with developed dynamic 2TEMd and dynamic ApEn algorithms”, Frontiers in Physiology-Computational Physiology and Medicine, Doi 10.3389/fphys.2023.1165450, pp.1-9, May 2023
- [2] Dongjun, Liu, Weichen Dai, Hanguai Zhang, Xuanyu Jin, Jianting Cao and Wanzeng Kong: “Brain-Machine Coupled Learning Method for Facial Emotion Recognition”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 1-15, [10.1109/TPAMI.2023.3257846](https://doi.org/10.1109/TPAMI.2023.3257846) March 2023
- [3] Boning Li and Jianting Cao: “Classification of coma/brain-death EEG dataset based on one-dimensional convolutional neural network,” Cognitive Neurodynamics, DOI:10.1007/s11571-023-09942-2, March 2023.
- [4] Qipeng Chen and Jianting Cao: “Simple Black-box adversarial attacks by Tensor Singular Value Decomposition,” International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology, 20(4): 1-

- 12, 2022.
- [5] Xuyang Zhao, Qibin Zhao, Toshihisa Tanaka, Jordi Solé-Casals, Guoxu Zhou, Takumi Mitsuhashi, Hidenori Sugano, Noboru Yoshida, Jianting Cao: "Classification of the Epileptic Seizure Onset Zone Based on Partial Annotation," *Cognitive Neurodynamics*, <https://doi.org/10.1007/s11571-022-09857-4> , 2022.
  - [6] Wenping Luo, Jianting Cao, Dongying Ju, and Kousuke Ishikawa: "Experimental validation of intelligent recognition of eye movements in the application of autonomous vehicle driving." *International Journal of Biomedical Soft Computing and Human Sciences (IJBSCHS)* , Vol.26, No.2, pp.63-72, 2021.
  - [7] Wenping Luo, Jianting Cao, Kousuke Ishikawa and Dongying Ju: "A Human-Computer Control System Based on Intelligent Recognition of Eye Movements and Its Application in Wheelchair Driving." *Multimodal Technol. Interact.* 5(9), 50-64. <https://doi.org/10.3390/mti5090050>, 2021,
  - [8] Qipeng Chen and Jianting Cao: "Low Tensor-Train Rank with Total Variation for Magnetic Resonance Imaging Reconstruction." *Science China Technological Sciences*, Special issue: Tensor Methods in Machine Learning, 64: 1854-1862, (2021).<https://doi.org/10.1007/s11431-020-1851-5>
  - [9] Linfeng Sui, Xuyang Zhao, Qibin Zhao, Toshihisa Tanaka and Jianting Cao: "Hybrid Convolutional Neural Network for Localization of Epileptic Focus Based on iEEG." , *Neural Plasticity*, vol. 2021, Article ID 6644365, 9 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6644365>
  - [10] Mo Xia , Linfeng Sui, Xuyang Zhao, Toshihisa Tanaka, Jianting Cao: "Convolution Neural Network Recognition of Epileptic Foci Based on Composite Signal Processing of Electroencephalograph Data." *Procedia Computer Science* 192C (2021) pp. 688-696.
  - [11] Xuanyu Jin, Jiajia Tang, Xianghao Kong, Yong Peng, Jianting Cao, Qibin Zhao, Wanzeng Kong: "CTNN: A Convolutional Tensor-Train Neural Network For Multi-task Brainprint Recognition." *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering: a Publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2020, DOI: 10.1109/TNSRE.2020.3035786
  - [12] Xuyang Zhao, Jordi Solé-Casals, Binghua Li, Zihao Huang, Andong Wang, Jianting Cao, Toshihisa Tanaka and Qibin Zhao: "Classification of Epileptic iEEG signals by CNN and Data Augmentation", *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2020, DOI: 10.1109/ICASSP40776.2020.9052948
  - [13] Xuyang Zhao, Linfeng Sui, Toshihisa Tanaka, Jianting Cao and Qibin Zhao: "Epileptic Focus Localization Based on iEEG Plot Images by Using Convolutional Neural Network", *EPIC Series in Computing* , 70: 173-181., DOI: <https://doi.org/10.29007/9jmg>.
  - [14] Li Zhu, Gaochao Cui, Jianting Cao, Andrzej Cichocki, Jianhai Zhang, Changle Zhou: "A hybrid system for distinction of brain death and coma using diverse EEG features." *Sensors*, Vol.19, No.6, pp.1342-1357, 2019, DOI: <https://doi.org/10.3390/s19061342>.
  - [15] Cui Gaochao, Zhu Li, Gui Lihua, Zhao Qibin, Zhang Jianhai, Cao Jianting: "Multidimensional clinical data denosing via Bayesian CP factorization." *Science China (Technological Sciences)*, Vol. 63, pp. 249-254, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11431-018-9493-9>
  - [16] Linfeng Sui, Xuyang Zhao, Jianting Cao and Qibin Zhao: "Localization of Epileptic Foci from iEEG via Mixed Convolutional Neural Network", *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, Vol. 14, pp. 008-013, 2019, DOI: <http://dx.doi.org/10.21172/1.144.03> [https://www.ijltet.org/journal\\_details.php?id=951&j\\_id=4842](https://www.ijltet.org/journal_details.php?id=951&j_id=4842)
  - [17] Xuyang Zhao, Lihua Gui, Jianting Cao and Qibin Zhao: "Epileptic Focus Localization Based on Entropy and Convolutional Neural Network," *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, Vol. 14, pp. 014-017, 2019, DOI: <http://dx.doi.org/10.21172/1.144.04> [https://www.ijltet.org/journal\\_details.php?id=951&j\\_id=4843](https://www.ijltet.org/journal_details.php?id=951&j_id=4843)
  - [18] Longhao Yuan, Chao Li, Jianting Cao and Qibin Zhao: "Rank Minimization on Tensor Ring: An Efficient Approach for Tensor Decomposition and Completion", *Machine Learning*, ISSN 0885-6125, Vol.109, pp.603-622, 2019, DOI:<https://doi.org/10.1007/s10994-019-05846-7>
  - [19] Longhao Yuan, Jianting Cao and Qibin Zhao: "Tensor Ring Decomposition for Visual Data Denoising via Tensor Random Projection", *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, Vol. 13, No. 2, 2019, DOI: <http://dx.doi.org/10.21172/1.132.19> [https://www.ijltet.org/journal\\_details.php?id=945&j\\_id=4791](https://www.ijltet.org/journal_details.php?id=945&j_id=4791)
  - [20] Boning Li, Xuyang Zhao, Qibin Zhao, Toshihisa Tanaka, and Jianting Cao: "A One-Dimensional Convolutional Neural Network Model for Automated Localization of Epileptic Foci," 2019 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC), Lanzhou, China, 2019, pp. 741-744, DOI: 10.1109/APSIPAASC47483.2019.9023214
  - [21] Yao Miao, Toshihisa Tanaka, Shintaro Ito, and Jianting Cao: "Seizure Detection of Epileptic EEG Based on Multiple Phase-Amplitude Coupling Methods," *The 7th International Congress on Cognitive Neurodynamics (ICCN)*, September 2019, Alghero, Italy.
  - [22] Linfeng Sui, Xuyang Zhao, Qibin Zhao, Toshihisa Tanaka and Jianting Cao: "Localization of Epileptic Foci by Using Convolutional Neural Network Based on iEEG", *IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations (AIAI2019)*, May 2019, Crete, Greece, pp. 331-339, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19823-7\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19823-7_27).

- [23] Qipeng Chen, Longhao Yuan, Yao Miao, Qibin Zhao, Toshihisa Tanaka and Jianting Cao: "Quasi-Brain-Death EEG Diagnosis Based on Tensor Train Decomposition", International Symposium on Neural Networks (ISSN2019), July 2019, Moscow, Russia, pp. 501-511, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22808-8\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22808-8_49)
- [24] Longhao Yuan, Chao Li, Jianting Cao, Qibin Zhao: "Randomized Tensor Ring Decomposition and Its Application to Large-scale Data Reconstruction," 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), May 2019, Brighton, UK, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2019.8682197>
- [25] Longhao Yuan, Chao Li, Danilo Mandic, Jianting Cao and Qibin Zhao: "Tensor Ring Decomposition with Rank Minimization on Latent Space: An Efficient Approach for Tensor Completion," Proceedings of the Thirty-Third AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2019), Vol. 33, pp. 9151-9158, January 2019, Hawaii, USA, DOI: <https://doi.org/10.1609/aaai.v33i01.33019151>.
- [26] Longhao Yuan, Jianting Cao, Lihua Gui, Qibin Zhao: "High-dimension Tensor Completion via Gradient-based Optimization Under Tensor-train Format." Signal Processing: Image Communication: Special Issue on Tensor Image Processing, Springer, vol. 73, pp. 53-61, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.image.2018.11.012>.
- [27] Lihua Gui, Xuyang Zhao, Qibin Zhao and Jianting Cao: "Non-local Image Denoising by Using Bayesian Low-rank Tensor Factorization on High-order Patches," International Journal of Computer Science Issues, Vol. 15, No.5, 2018, DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1467648>
- [28] Lihua Gui, Xuyang Zhao, Qibin Zhao and Jianting Cao: "Image and Video Completion by Using Bayesian Tensor Decomposition," International Journal of Computer Science Issues, Vol. 15, No.5, 2018, DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1467644>
- [29] Yao Miao and Jianting Cao: "Descriptive Statistical Analysis Based on Patients' EEG Energy in Coma and Quasi-brain-death State," International Journal of Computers & Technology, ISSN 2277-3061, Vol. 17, No. 1, pp. 7140-7145, March 2018, DOI: <https://doi.org/10.24297/ijct.v17i1.7171>.
- [30] Longhao Yuan, Qibin Zhao, Jianting Cao: "High-Order Tensor Completion for Data Recovery via Sparse Tensor-Train Optimization," 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), April 2018, Calgary, Canada, pp. 1258-1262, DOI: [10.1109/ICASSP.2018.8462592](https://doi.org/10.1109/ICASSP.2018.8462592).
- [31] Jianhai Zhang, Na Zhang, Jianting Cao, Yao Miao, Li Zhu, Wanzeng Kong: "Analysis of Deep Coma and Brain Death Based on Phase Synchronization with EEG," the 14th IEEE International Conference on Signal Processing (ICSP), August 2018, Beijing, China, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSP.2018.8652349>.
- [32] Yao Miao and Jianting Cao: "Patients' EEG Analysis Based on Multi-indicator Dynamic Analysis Measure for Supporting Brain Death Determination," International Symposium on Neural Networks, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham, Vol. 10878, pp. 824-833, 2018, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92537-0\\_93](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92537-0_93).
- [33] Xingwei Cao, Xuyang Zhao and Qibin Zhao: "Tensorizing Generative Adversarial Nets," International Conference on Consumer Electronics Asia (ICCE-Asia), Jeju, Korea, 2018, DOI: [10.1109/ICCE-ASIA.2018.8552122](https://doi.org/10.1109/ICCE-ASIA.2018.8552122).
- [34] Xuyang Zhao, Gaochao Cui, Longhao Yuan and Jianting Cao: "A Hybrid Brain Computer Interface Based on Audiovisual Stimuli P300," International Conference on Consumer Electronics Asia (ICCE-Asia), Jeju, Korea, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCE-ASIA.2018.8552155>.
- [35] Xuyang Zhao, Qibin Zhao, Toshihisa Tanaka, Jianting Cao, Wanzeng Kong, Hidenori Sugano and Noboru Yoshida: "Detection of Epileptic Foci Based on Interictal iEEG by Using Convolutional Neural Network," The 23rd International Conference on Digital Signal Processing (DSP), Shanghai, China, 2018, DOI: <http://doi.org/10.1109/ICDSP.2018.8631885>
- [36] Longhao Yuan, Jianting Cao, Xuyang Zhao, Qiang Wu, Qibin Zhao: "Higher-dimension Tensor Completion via Low-rank Tensor Ring Decomposition," Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC), November 2018, Hawaii, USA, DOI: <https://doi.org/10.23919/APSIPA.2018.8659708>
- [37] Xuyang Zhao, Toshihisa Tanaka, Wanzeng Kong, Qibin Zhao, Jianting Cao, Hidenori Sugano and Yoshida, Noboru: "Epileptic Focus Localization Based on iEEG by Using Positive Unlabeled (PU) Learning," Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC), November 2018, Hawaii, USA, DOI: [10.23919/APSIPA.2018.8659747](https://doi.org/10.23919/APSIPA.2018.8659747)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Ran Zhan, Linfeng Sui and Jinming Gong and Jianting Cao	4. 巻 5
2. 論文標題 EEG-based real-time diagnostic system with developed dynamic 2TMD and dynamic ApEn algorithms	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology-Computational Physiology and Medicine	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphys.2023.1165450.	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 Dongjun, Liu, Weichen Dai, Hangkui Zhang, Xuanyu Jin, Jianting Cao and Wanzeng Kong	4. 巻 3
2. 論文標題 Brain-Machine Coupled Learning Method for Facial Emotion Recognition	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPAMI.2023.3257846	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 該当する

1. 著者名 Boning Li and Jianting Cao	4. 巻 23
2. 論文標題 Classification of coma/brain-death EEG dataset based on one-dimensional convolutional neural network	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cognitive Neurodynamics,	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11571-023-09942-2	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 Qipeng Chen and Jianting Cao	4. 巻 20
2. 論文標題 Simple Black-box adversarial attacks by Tensor Singular Value Decomposition,	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology	6. 最初と最後の頁 1-12
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 Xuyang Zhao, Qibin Zhao, Toshihisa Tanaka, Jordi Casals, Guoxu Zhou, Takumi Mitsuhashi, Hidenori Sugano, Noboru Yoshida, Jianting Cao	4. 巻 4
2. 論文標題 Classification of the Epileptic Seizure Onset Zone Based on Partial Annotation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cognitive Neurodynamics	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11571-022-09857-4, 2022	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 該当する

1. 著者名 Wenping Luo, Jianting Cao, Kousuke Ishikawa and Dongying Ju	4. 巻 5
2. 論文標題 A Human-Computer Control System Based on Intelligent Recognition of Eye Movements and Its Application in Wheelchair Driving	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Multimodal Technol. Interact	6. 最初と最後の頁 50-64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mti5090050,	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 該当する

1. 著者名 Qipeng Chen and Jianting Cao:	4. 巻 64
2. 論文標題 Low Tensor-Train Rank with Total Variation for Magnetic Resonance Imaging Reconstruction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science China Technological Sciences	6. 最初と最後の頁 1854-1862
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11431-020-1851-5	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 Linfeng Sui, Xuyang Zhao, Qibin Zhao, Toshihisa Tanaka and Jianting Cao	4. 巻 Article ID 6644365
2. 論文標題 zHybrid Convolutional Neural Network for Localization of Epileptic Focus Based on iEEG	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Neural Plasticity	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2021/6644365	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 該当する

1. 著者名 Mo Xia , Linfeng Sui, Xuyang Zhao, Toshihisa Tanaka, Jianting Cao	4. 巻 192C
2. 論文標題 Convolution Neural Network Recognition of Epileptic Foci Based on Composite Signal Processing of Electroencephalograph Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Procedia Computer Science	6. 最初と最後の頁 688-696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.procs.2021.08.071	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 該当する

1. 著者名 Wenping Luo, Jianting Cao, Dongying Ju, and Kousuke Ishikawa	4. 巻 26
2. 論文標題 Experimental validation of intelligent recognition of eye movements in the application of autonomous vehicle driving	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Biomedical Soft Computing and Human Sciences	6. 最初と最後の頁 63-72
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Xusheng Li, Dongying Ju, Jianting Cao, Sirui Wang, Yong Chen, Fangbo He and Hui Li	4. 巻 11
2. 論文標題 Effect of Transformation Plasticity on Gear Distortion and Residual Stresses in Carburizing Quenching Simulation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Coatings	6. 最初と最後の頁 1224-1236
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 該当する

1. 著者名 Xuanyu Jin, Jiajia Tang, Xianghao Kong, Yong Peng, Jianting Cao, Qibin Zhao, Wanzeng Kong:	4. 巻 29
2. 論文標題 A Convolutional Tensor-Train Neural Network For Multi-task Brainprint Recognition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering	6. 最初と最後の頁 103-112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNSRE.2020.3035786	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 Haijian Wang, Haiwei Wang, Takashi Kumazawa, Dongying Ju, and Jianting Cao	4. 巻 64
2. 論文標題 Effect of casting speed on microstructure, corrosion behaviour and in vivo bone reaction of Mg-rare earth alloys	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SCIENCE CHINA Technological Sciences	6. 最初と最後の頁 213-222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11431-020-1689-3	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 Zhu Li, Cui Gaochao, Cao Jianting, Cichocki Andrzej, Zhang Jianhai, Zhou Changle	4. 巻 19
2. 論文標題 A Hybrid System for Distinguishing between Brain Death and Coma Using Diverse EEG Features	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 1342 ~ 1342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s19061342	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 該当する

1. 著者名 Cui Gaochao, Zhu Li, Gui Lihua, Zhao Qibin, Zhang Jianhai, Cao Jianting	4. 巻 62
2. 論文標題 Multidimensional clinical data denosing via Bayesian CP factorization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science China (Technological Sciences)	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11431-018-9493-9	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 該当する

1. 著者名 Linfeng Sui, Xuyang Zhao, Jianting Cao and Qibin Zhao	4. 巻 Vol. 14,
2. 論文標題 Localization of Epileptic Foci from iEEG via Mixed Convolutional Neural Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology	6. 最初と最後の頁 008-013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21172/1.144.03	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 Xuyang Zhao, Lihua Gui, Jianting Cao and Qibin Zhao	4. 巻 Vol. 14,
2. 論文標題 Epileptic Focus Localization Based on Entropy and Convolutional Neural Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology	6. 最初と最後の頁 014-017,
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21172/1.144.04	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 Longhao Yuan, Chao Li, Jianting Cao and Qibin Zhao	4. 巻 109
2. 論文標題 Rank Minimization on Tensor Ring: An Efficient Approach for Tensor Decomposition and Completion	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Machine Learning	6. 最初と最後の頁 603-622
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10994-019-05846-7	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 Longhao Yuan, Jianting Cao and Qibin Zhao	4. 巻 Vol. 13
2. 論文標題 Tensor Ring Decomposition for Visual Data Denoising via Tensor Random Projection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21172/1.132.19	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 Yao Miao and Jianting Cao	4. 巻 17
2. 論文標題 Descriptive Statistical Analysis Based on Patients' EEG Energy in Coma and Quasi-brain-death State	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Computers & Technology	6. 最初と最後の頁 7140-7145,
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24297/ijct.v17i1.7171.	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 Lihua Gui, Xuyang Zhao, Qibin Zhao and Jianting Cao	4. 巻 15
2. 論文標題 Image and Video Completion by Using Bayesian Tensor Decomposition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Computer Science Issues	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5281/zenodo.1467644	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 Lihua Gui, Xuyang Zhao, Qibin Zhao and Jianting Cao	4. 巻 15
2. 論文標題 Non-local Image Denoising by Using Bayesian Low-rank Tensor Factorization on High-order Patches	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Computer Science Issues	6. 最初と最後の頁 9-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5281/zenodo.1467648	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 Longhao Yuan, Jianting Cao, Lihua Gui, Qibin Zhao	4. 巻 73
2. 論文標題 High-dimension Tensor Completion via Gradient-based Optimization Under Tensor-train Format.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Signal Processing: Image Communication: Special Issue on Tensor Image Processing	6. 最初と最後の頁 53-61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.image.2018.11.012.	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 Li Zhu, Gaochao Cui, Jianting Cao, Andrzej Cichocki, Jianhai Zhang and Changle Zhou	4. 巻 19
2. 論文標題 A hybrid system for distinction of brain death and coma using diverse EEG features.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 1342-1350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s19061342	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 -

〔学会発表〕 計34件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 18件）

1. 発表者名 Jianting
2. 発表標題 Research Topics in Our LAB. BCI, BDD & AI projects
3. 学会等名 Danan University and Saitama Institute of Technology Joint Symposium (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Xuyang Zhao, Jordi Sole-Casals, Qibin Zhao, Jianting Cao and Toshihisa Tanaka:
2. 発表標題 Multi-feature Fusion for Epileptic Focus Localization Based on Tensor Representation
3. 学会等名 13th Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rui Deng, Boning Li, and Jianting Cao
2. 発表標題 機械学習に基づく睡眠段階の分類に関する研究
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第19回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pengju Zhang, and Jianting Cao
2. 発表標題 DenseNetに基づいたCOVID-19 CT画像の自動識別
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第19回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mo Xia, Jianting Cao:
2. 発表標題 脳波の複合信号処理と畳み込みニューラルネットワークに 基づいた癲癇焦点チャンネル信号分類
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第19回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Honghao Jia, Jianting Cao and Dong-Ying Ju
2. 発表標題 バックプロパゲーションアルゴリズムに基づく真空浸炭プロセス予測の最適化
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第19回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yihong Wu, Boning Li and Jianting Cao
2. 発表標題 実時間ロボット制御のための脳・コンピュータインタフェースシステム
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第19回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rong Su, and Jianting Cao
2. 発表標題 ロバスト主成分分析に基づく画像復元のための新しいアルゴリズム
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第19回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yingbo Xu and Jianting Cao
2. 発表標題 ノンローカルネットワークを用いた手まねの画像分類
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第19回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Xuyang Zhao, Jordi Soler-Casals, Binghua Li, Zihao Huang, Andong Wang, Jianting Cao, Toshihisa Tanaka and Qibin Zhao
2. 発表標題 Classification of Epileptic iEEG signals by CNN and Data Augmentation
3. 学会等名 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Xuyang Zhao, Linfeng Sui, Toshihisa Tanaka, Jianting Cao and Qibin Zhao
2. 発表標題 Epileptic Focus Localization Based on iEEG Plot Images by Using Convolutional Neural Network
3. 学会等名 EPIc Series in Computing (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Honghao Jia and Jianting Cao
2. 発表標題 LDAトピックモデルと畳み込みニューラルネットワークに基づくトピックローラ
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第18回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Rong Su and Jianting CAO
2. 発表標題 独立成分解析による信号分離
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第18回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yihong Wu and Jianting Cao
2. 発表標題 P300 Signal Classification by Machine Learning for BCI system
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第18回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yingbo Xu and Jianting Cao
2. 発表標題 深層学習に基づく表情認識システム
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第18回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mo Xia, Linfeng Sui, Xuyang Zhao and Jianting Cao
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークを用いた連続ウェーブレット変換処理のてんかん脳波の分類
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第18回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Lin Feng Sui, Xuyang Zhao and Jianting Cao
2. 発表標題 脳波に基づいて混合畳み込みニューラルネットワークを用いた癲癇焦点推定
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第18回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Haonan Du and Jianting Cao
2. 発表標題 経験的モード分解に基づく患者の脳波エネルギー解析
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第18回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Boning Li and Jianting Cao
2. 発表標題 機械学習に基づいた話し中の脳波の識別に関する研究
3. 学会等名 埼玉工業大学, 第18回 若手研究フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Xuyang Zhao, Lin Feng Sui, Toshihisa Tanaka, Jianting Cao and Qibin Zhao
2. 発表標題 Epileptic Focus Localization Based on iEEG Plot Images by Using Convolutional Neural Network
3. 学会等名 EPIc Series in Computing (国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Boning Li, Xuyang Zhao, Qibin Zhao, Toshihisa Tanaka, and Jianting Cao
2. 発表標題 A One-Dimensional Convolutional Neural Network Model for Automated Localization of Epileptic Foci
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yao Miao, Toshihisa Tanaka, Shintaro Ito, and Jianting Cao
2. 発表標題 Seizure Detection of Epileptic EEG Based on Multiple Phase-Amplitude Coupling Methods, ”
3. 学会等名 The 7th International Congress on Cognitive Neurodynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Linfeng Sui, Xuyang Zhao, Qibin Zhao, Toshihisa Tanaka and Jianting Cao
2. 発表標題 Localization of Epileptic Foci by Using Convolutional Neural Network Based on iEEG
3. 学会等名 International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Qipeng Chen, Longhao Yuan, Yao Miao, Qibin Zhao, Toshihisa Tanaka and Jianting Cao:
2. 発表標題 Quasi-Brain-Death EEG Diagnosis Based on Tensor Train Decomposition
3. 学会等名 International Symposium on Neural Networks (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Longhao Yuan, Chao Li, Jianting Cao, Qibin Zhao
2. 発表標題 Randomized Tensor Ring Decomposition and Its Application to Large-scale Data Reconstruction
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mo Xia, Gaochao Cui, Linfeng Sui and Jianting Cao
2. 発表標題 Comparison of Dialing Systems Based on SSVEP and P300
3. 学会等名 APSIPA BioSiPS Workshop ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ihong Wu, Xuyang Zhao, Lihua Gui and Jianting Cao
2. 発表標題 Quasi-Brain-Death EEG Classification using Machine Learning Technique
3. 学会等名 APSIPA BioSiPS Workshop ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Xuyang Zhao, Toshihisa Tanaka, Wanzeng Kong, Qibin Zhao, Jianting Cao, Hidenori Sugano and Yoshida, Noboru
2. 発表標題 Epileptic Focus Localization Based on iEEG by Using Positive Unlabeled (PU) Learning,
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 发表者名 Longhao Yuan, Jianting Cao, Xuyang Zhao, Qiang Wu, Qibin Zhao
2. 发表标题 Higher-dimension Tensor Completion via Low-rank Tensor Ring Decomposition
3. 学会等名 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (国际学会)
4. 发表年 2018年

1. 发表者名 Xuyang Zhao, Qibin Zhao, Toshihisa Tanaka, Jianting Cao, Wanzeng Kong, Hidenori Sugano and Noboru Yoshida
2. 发表标题 Detection of Epileptic Foci Based on Interictal iEEG by Using Convolutional Neural Network,
3. 学会等名 The 23rd International Conference on Digital Signal Processing (DSP) (国际学会)
4. 发表年 2018年

1. 发表者名 Xuyang Zhao, Gaochao Cui, Longhao Yuan and Jianting Cao
2. 发表标题 A Hybrid Brain Computer Interface Based on Audiovisual Stimuli P300
3. 学会等名 International Conference on Consumer Electronics (国际学会)
4. 发表年 2018年

1. 发表者名 Yao Miao, Jianting Cao
2. 发表标题 Patients' EEG Analysis Based on Multi-indicator Dynamic Analysis Measure for Supporting Brain Death Determination
3. 学会等名 International Symposium on Neural Networks, (国际学会)
4. 发表年 2018年

1. 発表者名 Jianhai Zhang, Na Zhang, Jianting Cao, Yao Miao, Li Zhu, Wanzeng Kong
2. 発表標題 Analysis of Deep Coma and Brain Death Based on Phase Synchronization with EEG
3. 学会等名 the 14th IEEE International Conference on Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Longhao Yuan, Qibin Zhao, Jianting Cao
2. 発表標題 High-Order Tensor Completion for Data Recovery via Sparse Tensor-Train Optimization
3. 学会等名 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

埼玉工業大学 <a href="https://www.sit.ac.jp/user/cao/">https://www.sit.ac.jp/user/cao/</a>
---

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
---------	---------