

氏 名	ちゃん ふお かん なん TRAN VO KHANH NGAN
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 1 1 3 9 号
学位授与の日付	令和 6 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学 位 論 文 題 目	A Study on Prediction of Plasma Discharge Video (プラズマ発光動画の予測に関する研究)
審 査 委 員	(主査)教授 寶珍 輝尚 教授 澁谷 雄 教授 延原 章平 准教授 野宮 浩揮

論文内容の要旨

核融合科学研究所では大型ヘリカル装置を用いた核融合科学実験が行われている。実験中に異常な発光が生じることがあるが、異常な発光は実験装置を損傷することがあり、事前の予測が求められている。予測に当たり、近年注目されている深層学習を使用しようとする、異常発光のデータ（ビデオ）が十分でなく、十分なデータ数を得るための異常発光ビデオの生成が望まれる。また、プラズマ放電実験中にオペレーターがペレットを投入し、発光が急変することがある。このようなオペレーターの介入によるプラズマ発光の急変に対応したプラズマ発光ビデオの生成も求められている。そこで本研究では、これらの通常ではないプラズマ発光ビデオの生成に関する検討を行った。

まず、異常発光プラズマビデオを敵対的生成ネットワーク（GAN）と補間により生成する手法を提案している。異常発光の発生位置をランダムに決定し、異常発光後の暗画像の数を暗画像の分布をもとにして決定する。動画を構成する画像の種別（通常か異常）に応じて、GAN を用いて通常発光の画像、または、異常発光の画像を生成する。生成された画像間を補間して発光が滑らかに変化するプラズマ発光ビデオを生成する。提案手法を実験的に評価し、ビデオの非類似度 Fréche Video Distance (FVD) と目視により、良好なビデオの生成を確認している。

次に、オペレーター介入を含むプラズマ発光ビデオの生成手法を提案している。ここでは、ペレット追加により生じる 1 枚の画像からそれ以降の画像列を生成する。本研究では、この画像列の生成を 3 段階に分けて実現する。まず、Conditional GAN を用いて、最初、もしくは、オペレーターのペレット投入により生じる 1 枚の画像からそれ以降の 4 枚の画像を生成し、5 枚の画像とする。次に、この 5 枚の画像からそれ以降の 5 枚の画像を畳み込み LSTM により生成し、10 枚の画像とする。以降、10 枚の画像から以降の 10 枚の画像の畳み込み LSTM による生成を繰り返し、60 枚の画像列からなるプラズマ発光ビデオを生成する。提案手法を実験的に評価し、平均二乗誤差、FVD ならびに目視により、良好なビデオの生成を確認している。

論文審査の結果の要旨

本研究では、核融合科学実験におけるプラズマ発光の予測を行うための機械学習において必要とされながら、核融合科学実験からは十分なデータが得られない異常プラズマ発光ビデオ、ならびに、オペレーターの介入によるプラズマ発光の急変に対応したプラズマ発光ビデオの生成に関する検討を行っている。

異常プラズマ発光ビデオの生成では、敵対的生成ネットワーク (GAN) による画像生成、生成された画像が異常発光画像か否かの識別、異常発光後の暗画像分布をもとにした暗画像数の決定ならびに生成された画像間の補間による画像生成という手法を提案している。提案手法を実験的に評価し、ビデオの非類似度 **Fréche Video Distance (FVD)** と目視により良好なビデオの生成を確認している。

オペレーター介入を含むプラズマ発光ビデオの生成手法では、最初またはオペレーター介入により生じる 1 枚の画像から **Conditional GAN** を用いてその後の 4 枚の画像を生成し、次に、この計 5 枚の画像からその後の 5 枚の画像を畳み込み **LSTM** により生成し、以降、10 枚の画像からその後の 10 枚の画像を畳み込み **LSTM** により生成する手法を提案している。提案手法を実験的に評価し、平均二乗誤差、**FVD** ならびに目視により良好なビデオの生成を確認している。

核融合科学では、プラズマ発光の予測が強く要求されている。機械学習による精度の高い予測のためには、通常の発光ビデオと同数程度の異常発光ビデオを使用することが望まれるが、実際の実験では異常発光はあまり見られない。また、オペレーター介入を伴うプラズマ発光の予測では、介入によるプラズマ発光の急変に対応する必要がある、複数の画像列から推定を行う従来手法では対応不可能である。本研究では、これらの課題を解決している。

本研究では、核融合科学実験におけるプラズマ発光の高精度の予測に不可欠な異常プラズマ発光ビデオの生成ならびにオペレーター介入プラズマ発光ビデオの生成を可能としており、核融合科学の発展に大きく貢献できるものと考えられる。

本論文は、申請者を筆頭著者とする査読を経た以下に示す 3 編の論文を基礎としている。

1. Tran Vo Khanh Ngan, Teruhisa Hochin, Hiroki Nomiya, Hideya Nakanishi, Mamoru Shoji: Generation of Unusual Plasma Discharge Video by Generative Adversarial Network, International Journal of Software Innovation (IJSI), Vol.10, No. 1, 24 pages, 2022.
2. Tran Vo Khanh Ngan, Teruhisa Hochin, Hiroki Nomiya, Hideya Nakanishi, Mamoru Shoji: Prediction of Plasma Discharge Video by Convolutional Long Short Term Memory, Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Big Data, pp. 6821-6823, 2022.
3. Tran Vo Khanh Ngan, Teruhisa Hochin, Hiroki Nomiya, Hideya Nakanishi, Mamoru Shoji: Generation of Plasma Discharge Video from a Single Frame by Using Conditional GAN, Accepted to IEEE/ACIS 26th International Conference on Computer and Information Science, 7 pages, 2024.