深層学習を用いたレーザー照射によるガラスの空洞分布の時間発展予測

A Deep Learning Approach for Predicting the Temporal Evolution of Glass under Laser Irradiation

東大物性研 [1]，○(M2)島原 光平 [1]，谷 峻太郎 [1]，小林 洋平 [1]

ISSP, Univ. Tokyo[1], °Kohei Shimahara[1], Shuntaro Tani[1], Yohei Kobayashi[1]

E-mail: kshimahara@issp.u-tokyo.ac.jp

ガラスは誘電率が低く安価であるため、次世代の半導体回路基板の有力材料として注目されている。ガラス基板に高品質な微細孔を開ける技術として、超短パルスレーザーを用いた加工への期待が高い。微細孔の品質は加工パラメータに大きく依存するため[1]、材料に合わせた最適な加工条件の探索が重要である。広大なパラメータ空間を効率的に探索するためには、計算機上で加工結果を予測するシミュレータが肝となる。しかし、高強度な超短パルスが誘起する現象は、その非線形性・多段階性ゆえに物理モデルの構築が困難である。超短パルスレーザーによるガラス加工のシミュレータとして、光の回折・伝搬と破壊の臨界電子密度を取り入れた 10 um スケールの現象論的モデルが実験と良い一致を示しているが [2]、計算コストが高く、パラメータ範囲によってモデルの再構築を要する。我々は深層学習技術に着目し、従来よりも計算コストが低く、広いパラメータ範囲に対応した加工シミュレータの構築に取り組んでいる。本発表では、レーザー照射によるガラスの空洞部分の時間発展を予測するシミュレータ構築について報告する。

深層学習技術は、ニューラルネットワーク(NN)という莫大な非線形関数の集合を用意し、大量の入出力データに適合する非線形関数を生成する手法である。この手法を用いて、ガラスの空洞分布とパルスパワーから 10 パルス照射後の空洞分布を予測する NN シミュレータを構築した。この NN を再帰的に用いれば、10 パルス照射毎の空洞分布の時間発展が予測できる。NN の構築過程は 3 段階に分けられる：①ガラスの透過像の時間発展データを大量に収集、②収集した透過像から空洞情報のみを抽出し 2 値マップへ変換(図 1)、③2 値マップを用いた NN の学習。構築した NN は、学習データに含まれるパワーについて精度良く実験結果を再現した(図 2)。本発表では、②③の詳細に加え、NN の構造と学習結果の関係について議論する。本研究の一部は、NEDO 委託事業「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」および SIP 委託事業「光・量子を活用した Society 5.0 実現化技術」により実施した。

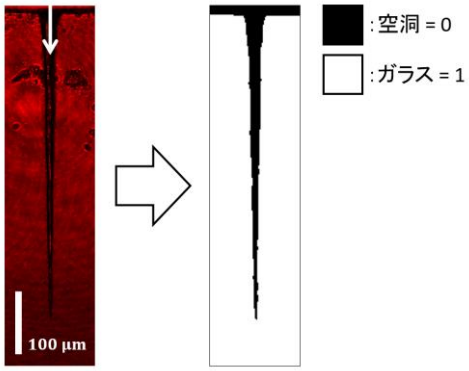

図 1. ガラスの透過像(左)と、そこから空洞部分を抽出した 2 値マップ(右)。左図白矢印はパルスの入射方向を表す。

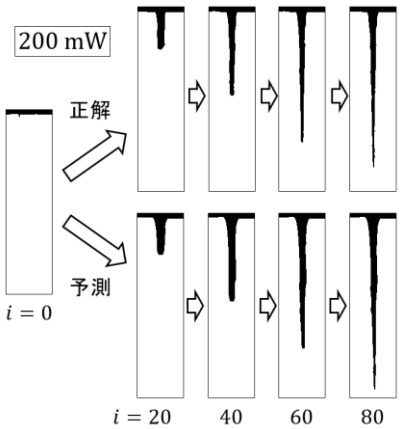

図 2. パルスパワー200 mW における、200 パルス照射毎の空洞マップの NN 予測値(下段)と実験データ(上段)の比較。i は訓練済み NN の出力回数を表す。

[1] J. Krüger et al., Appl. Surf. Sci., 127-129 (1998)　[2] M. Sun et al., Opt. Express 21, 7858-7867 (2013)