

# ディープラーニングによる単一高次高調波スペクトルからの レーザー電場波形推定の数値的検討

## Numerical simulation of reconstruction of a laser waveform from a single high-harmonic spectrum using deep learning

東大物性研, °齋藤 成之, 石井 順久, 板谷 治郎

ISSP, °Nariyuki Saito, Nobuhisa Ishii, and Jiro Itatani

E-mail: nariyuki.saito@issp.u-tokyo.ac.jp

レーザー電場の時間波形の測定は、超高速レーザー科学における基本要素技術である。近年、機械学習的手法、特にディープラーニングが、FROG やアト秒ストリークといったレーザー電場波形測定に取り入れられ、計算時間の短縮やノイズ耐性の向上が報告されている[1, 2]。しかし、FROG やアト秒ストリークにはすでに様々なアルゴリズムが存在し、機械学習はそれらの代替にとどまっていた。今回我々は、ディープラーニングを用いた新たな電場波形測定法として、高次高調波(high-harmonic generation, HHG)の強度スペクトルから HHG に用いられたレーザー電場波形を推定する方法を考案し、数値的に検討を行ったので報告する。

まず、波長、スペクトル位相、強度、CEP、パルス幅(2.5 サイクル以下)がランダムなレーザー電場波形を数値的に 80000 個生成し、それぞれに対してヘリウムからの HHG スペクトルを半古典的モデル[3]で計算した。計算した HHG スペクトルにショットノイズを加えたものを入力、レーザー電場波形を出力として、図 1 に示すような畳み込みディープニューラルネットワークを学習させた。このとき、出力には電場波形そのものではなく、CEP を 0 に固定した電場波形と、 $0-\pi$  rad の CEP を単位円上にマップしたものを組にして用いた。学習が終わったニューラルネットワークに、学習に用いていない HHG

スペクトルを入力してレーザー電場波形を予測し、正解の電場波形と比較した(図 2)。HHG に寄与しづらいパルスの裾部分には少しずれが見られるが、ほぼ正確に電場波形の予測ができていることがわかる。このような予測法を実験に適用することによって、in-situ かつシングルショットの新たなレーザー電場波形測定が可能となると考えられる。

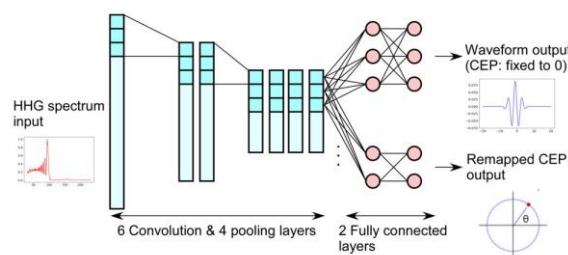


Fig. 1. Design of the deep neural network.

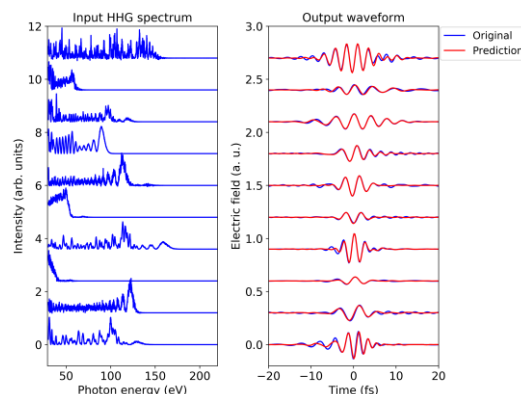


Fig. 2. Prediction of optical waveforms from HHG spectra.

### 参考文献:

- [1] T. Zahavy *et al.*, *Optica* **5**, 666 (2018).
- [2] J. White and Z. Chang, *Opt. Express* **27**, 4799 (2019).
- [3] A. Gordon *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **96**, 223902 (2006).