

機械学習と CMA-ES を活用した連続駆動分割電極 PCSEL のリアルタイム発振モード状態制御

Real-time control of lasing mode state in multiple-electrode PCSEL under CW condition based on CMA-ES and deep learning

京大院工 °和泉孝紀, De Zoysa Menaka, 行舎直起, 小林宇翔, 井上卓也, 勝野峻平, 吉田昌宏, 石崎賢司, 初田蘭子, 浅野卓, 野田進

Kyoto Univ. °Koki Izumi, Menaka De Zoysa, Naoki Gyoja, Takato Kobayashi, Takuya Inoue, Shumpei Katsuno, Masahiro Yoshida, Kenji Ishizaki, Ranko Hatsuda, Takashi Asano and Susumu Noda
E-mail: koki-izumi@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

[序] フォトニック結晶レーザー(PCSEL)は活性層近傍に設けた 2 次元フォトニック結晶の特異点(Γ 点等)における共振効果を利用した大面積コヒーレント発振可能な半導体レーザーである。これまで分割電極構造を導入した PCSEL(ME-PCSEL)の発振モード状態制御について検討を進め、パルス動作および CW 動作において、機械学習を活用したビーム形状制御の実証に成功している[1, 2]。また、環境変動等による発振状態への影響を補正可能な、リアルタイム制御について、共分散行列適応進化戦略(CMA-ES)[3]を活用した初期検討を進めてきた[4]。本報告では、このような CMA-ES を活用したリアルタイム発振モード状態制御の高速・高度化を目指し、小規模なニューラルネットワーク(NN)により初期値を与える、機械学習と CMA-ES を融合した新たな手法を提案するとともに、その実証を試みた結果を報告する。

[手法] 本手法は、発振モード状態を反映したビーム形状と ME-PCSEL への電流注入分布の相関関係に関する小規模な NN の構築・予測により、電流注入分布の初期値を得た上で、その初期値をもとに CMA-ES による、目標ビーム形状の実現に必要な電流分布の高速な探索を目指す。具体的には、まず比較的少ないデータ数(例えば数百程度)のビーム形状と電流注入分布のデータセットにより、ビーム形状を入力、電流分布を出力とする学習モデルを構築する。そのうえで、構築した学習モデルへ目標ビーム形状を入力することで、広いパラメータ空間の中から電流注入分布の初期値を予測し、CMA-ES による探索を開始する。この探索では、リアルタイムのビーム形状と目標ビーム形状の一致度を評価しつつ、電流分布を更新し、目標形状に似たビーム形状へと近づけていく。

[結果] 今回検討した CW 駆動 ME-PCSEL のリアルタイム発振モード状態制御に用いた測定系の概要を図 1 に示す。ME-PCSEL の p 側電極として、150 μ m 角の分割電極を 20 μ m 間隔で 6 $\times$ 6 のアレイ状に並べた構造(全電流注入領域 $\sim$ 1mm 角)を導入した。また CW 動作時の放熱のため、デバイスを放熱パッケージと実装した。さらに、ME-PCSEL を図 1 に示す測定系へ組み込み、コンピュータで生成したデジタル入力分布を FPGA、多領域駆動回路へ入力することで、高速に各分割電極への注入電流を制御しつつ、同時にカメラによりビーム形状を取得した。本手法の具体例として、人工的に生成したガウスビームを目標ビーム形状として、機械学習と CMA-ES を活用したリアルタイム発振モード状態制御を行った結果を図 2 に示す。なお、学習モデルは、データ数 300 のデータセットを用いて、構築した。また、参考として、初期分布として一様な分布を用いて、リアルタイム制御を行った場合の結果も合わせて示す。同図から分かるように、機械学習の予測結果を初期分布とすることで、最適化が効率的に進み、目標形状に近いビーム形状が得られることが示唆される。その他のビーム形状への適用等について、詳細は当日報告する。

[謝辞] 本研究は科研費 (22H04915)の支援を受けた。**[文献]** [1] M. De Zoysa et al. Optica **10**(6), 754 (2023). [2] 和泉他, 2023 年春応物, 17a-D215-6. [3] N. Hansen, arXiv:1604.00772v1(2016). [4] 和泉他, 2023 年春応物, 17a-D215-8.

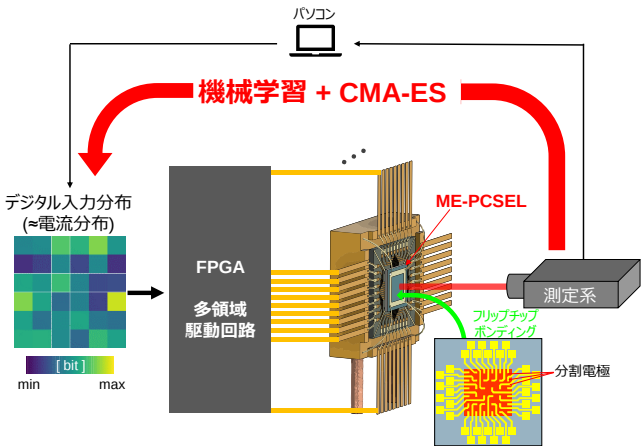


図 1: CW 駆動分割電極 PCSEL のリアルタイム制御。

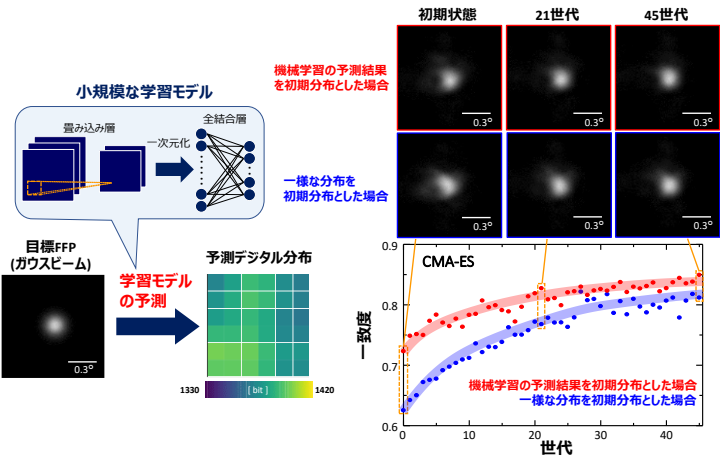


図 2: 機械学習による予測を初期値とした CMA-ES によるリアルタイム制御の様子。