令和 6 年度実績報告書

令和 7 年 3 月 21 日

公立千歳科学技術大学
学長　宮永　喜一　様

公立千歳科学技術大学特別研究等助成要綱第 7 条に基づき、下記のとおり報告いたします。

報告者	所属	情報システム工学科	職名	教授
	氏名	福田　浩	ふりがな	ふくだ　ひろし
研究課題名	サロゲートモデルによる光集積回路設計資源の持続的活用に関する研究			
本研究費による発表論文、著書など	Hiroshi Fukuda, “Image Reconstruction on Electromagnetic Simulation by Using a Recurrent Neural Network,” 2024 Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR) (2024).			

研究成果報告

■研究背景

日々世界中を流れる通信量は飛躍的に増加し続けていることと裏腹に，光電融合デバイスの設計論の進化は進んでいない．次世代の光電融合デバイスの実現に向けて，本研究では設計時間の大部分を占め，且つ従来法では大幅な時間短縮が望めない電磁場解析に，物理シミュレーションを機械学習で代行するサロゲートモデルを適用して抜本的な効率化を目指す．

本研究の有効性が確認されれば，これまでただ廃棄され続けてきたシミュレーション結果を有効活用する基盤技術を作ることで，社会課題になりつつある情報処理・通信分野での電力消費量を削減し，持続可能な形で発展させることが期待できる．また光集積回路技術の発展と情報処理技術の新規応用分野の獲得に寄与することができる．

■技術のポイント

電磁波シミュレーションの結果として得られる電磁場分布は，時系列データの一種ととらえると，再帰ニューラルネットワークとその拡張モデルで学習・推論可能になると考えられる．

■検討結果

研究費の削減に伴い，デバイス試作を中止し，計算機によるシミュレーションを加速した．2 次元ビーム伝搬法(BPM)のシミュレーション結果（ビットマップ画像）を複数枚学習し，その後，画像の一部から画像全体を再構成する技術の検討を進めた．一例として光学的な振る舞いが予測可能でありながら，人間では再現が難しい多様な電磁場分布を持つ自己結合型マルチモード干渉計を取り上げた．マルチモード干渉を起こすスラブ導波路とその入力ポートであるシングルモード導波路を用意し，接続点をずらしたシミュレーションモデルを 12 種類作成した．通常の 2 次元 BPM を実施し，結果のビットマップ画像(30×60 ピクセル)をベクトル化して時系列データとして RNN を多段接続したネットワークに 300 エポック学習させた．ハイパーパラメータは，ミニバッチ数 16，RNN の中間層数 128 ノード，最適化モデル Adam である．検証では，最初の 3 つのベクトル成分(30×3 ピクセル)のみを提示し，残りの成分(30×57 ピクセル)を推論させた．50 エポックでの推論結果と 150 エポックでの推論結果，正解画像をそれぞれ図 1 に示す．また，推論画像と正解画像の近似度を数値化するため，各エポックで両画像の Peak Signal-to-Noise Ratio を計算した結果を図 2 に示す．図 1 および図 2 にあるように，50 エポック程度では学習が未達であるが，70 エポックを超えた付近から推論結果が正解画像に近づき，100 エポック以上ではおおむね 30 dB 以上の PSNR を得ている．

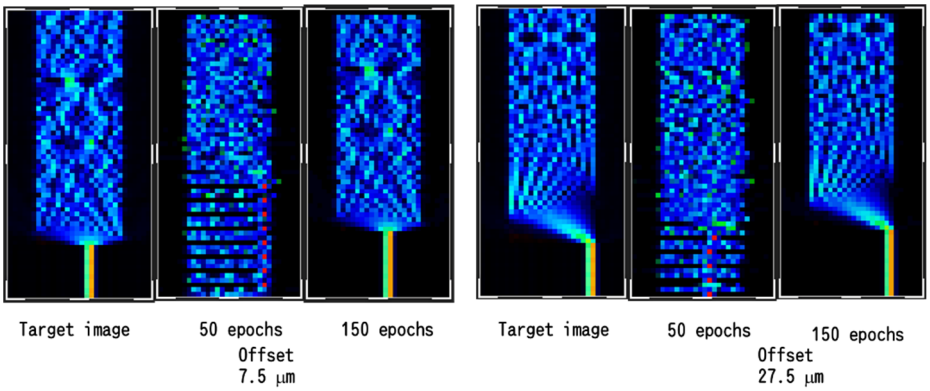

図 1. （左）正解画像，（中央）50 エポック学習時の推論画像，（右）150 エポック学習時の推論画像

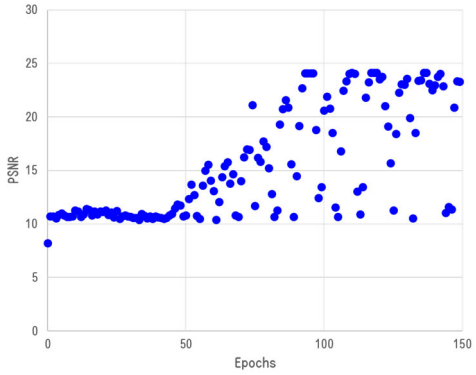

図 2. 学習曲線（各エポック終了後に算出した正解画像と推論画像の PSNR）