

## 二次元光双安定素子を用いた迷路探索における素子動作モード

### Operational Modes in Maze Exploration using Two-dimensional Optical Bistable Device

理研 ○磯島 隆史

RIKEN ○Takashi ISOSHIMA

E-mail: isoshima@riken.jp

BZ(Belousov-Zhabotinsky)反応系を始めとした空間的広がりを持つ非線型システムにおける波面伝播は、ナチュラルコンピューティングすなわち自然界の様々なダイナミクスを用いた新規情報処理スキームのための基盤としても興味深い<sup>1-4)</sup>。我々は、二次元的な広がりを持つ光双安定素子における波面伝播を用いてナチュラルコンピューティングの実現を目指しており、迷路探索を例にとりて動作原理の検証を行っている<sup>5-7)</sup>。光双安定素子には、三次非線型光学効果を用いた全光型や、温度による光吸収変化などを用いた熱型などがあるが、本研究では熱拡散型二次元光双安定素子を用いている。熱型の素子は、比較的小さい光強度で動作すること、また波面伝播速度が適度に遅く観測が容易であることが期待され、原理検証実験に適しているためである。

素子構造としては、温度依存光透過率変化を示す材料を光吸収層の上に配置する。温度依存光透過率変化には、液晶の相転移などを用いることができる。例えば液晶5CB(4'-Pentyl-4-biphenylcarbonitrile,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{C}_6\text{H}_4\text{C}_6\text{H}_4\text{CN}$ )は約35°Cを超えるとネマティック相(光散乱大)から等方相(透明)へ相転移する。この素子に光を照射すると、液晶層を透過した光の吸収によって発生した熱で局所的な温度上昇が起きる。照射光が強くなると温度が相転移点を超え、液晶層の光透過率が上がり、光吸収とそれによる温度上昇がさらに大きくなるという正帰還が発生し、これによりOff(低透過率)状態からOn(高透過率)状態への遷移が起きる。光強度を下げている際には、液晶層が透明であることによって低い光強度までOn状態が保たれるため、ヒステリシス特性が生じ双安定性が実現される。双安定領域の光強度のバイアス光を照射した素子の1点に強いトリガ光を印加することによって、その箇所において素子を"turn on"(トリガ)することができ、さらに横方向への熱拡散により隣接領域がOnとなっていくことでturn on波面の伝播が実現される。

このような素子の動作は、理論的には非線型熱源項を含む熱拡散方程式によって記述することができる。熱源項は照射光強度と温度依存光吸収率の積で表される非線型項となる。これに基づいて、実際に用いる材料の熱物性定数を用いた有限要素法による数値シミュレーション<sup>8)</sup>を行うことで、素子の動作特性を予測することができる。液晶5CBを用いた素子では、動作に必要な光強度は0.1-0.2W/cm<sup>2</sup>のオーダーでビデオプロジェクタでも実現できること、波面伝播速度は0.1mm/s程度と安価なビデオカメラなどでも容易に観察計測が可能であることを明らかにした<sup>6,7)</sup>。

さらに、三次元的な素子構造を考慮した有限要素法シミュレーションで、波面の伸展による迷路の全経路探索が可能であるとともに、照射バイアス光強度を適切に減少させることによって波面縮退モードが実現でき、これにより行き止まり経路からの撤退が行われ正解経路のみがOnである状態が実現できることを見出した<sup>6,7)</sup>。このような縮退モードは、従来のナチュラルコンピューティングによる迷路探索ではアメーバ(真性粘菌)のみで報告<sup>4)</sup>されていた特徴的な動作モードである。波面伝播速度は光強度によって制御可能であり<sup>7)</sup>、On領域が拡張する向きの波面伝播速度を正とすると、伸長モードは波面伝播速度が正、縮退モードは波面伝播速度が負となる光強度領域ということになる。さらに、波面の振る舞いは迷路の経路領域の光強度だけでなく壁領域の光強度にも影響を受ける。これらの強度の組み合わせによっては壁領域がOnになるなど迷路探索には利用できない動作モードも存在する。講演では、様々な動作モードと経路領域光強度ならびに壁領域光強度との関係を紹介する。

謝辞：本研究は科研費(課題番号26540129)の支援を受けて行った。

#### 参考文献

- 1) 磯島隆史, 青野真士, レーザー研究, **43**, 353(2015).
- 2) O. Steinbock, et al.: Science, **267**, 868(1995).
- 3) I. Lagzi, et al.: J.Am.Chem.Soc., **132**, 1198(2010).
- 4) T. Nakagaki, et al.: Nature, **407**, 470(2000).
- 5) Y. Okabayashi, T. Isoshima, et al.: Int.J.Nanotech.Mol.Comput., **3**, 13(2011).
- 6) T. Isoshima, et al.: Proc.NOLTA2014, (2014) 625.
- 7) T. Isoshima: Proc.NOLTA2017, (2017) 27.
- 8) F. Hecht: J.Numer.Math., **20**, 251-265.65Y15(2012)