


## 学位論文の要旨

ふりがな 氏名	ごとう よしとも 後藤 善友 
学位論文題目	光コンピューティングへの応用に向けた光素子の外力応答に関する研究
<p>近年、コンピューターの性能向上とネットワークの大容量化により、ビッグデータを活用した機械学習等の人工知能技術の需要が急速に増加している。しかし、現在の人工知能技術を支える演算チップである CPU や GPU は CMOS 半導体の微細化技術等の困難により性能向上が限界に近づいているといわれている。また、IoT が社会に普及し、自立型ロボットのような実社会でリアルタイム処理で学習や機能実現が必要となる高機能かつ高速なシステムが必要になると考えられており、これらをエッジ側で実現するためには、低消費電力でのセンシングやリアルタイム処理、環境ノイズに対するロバストな性能が要求される。そのため、将来の人工知能技術を支える新たな技術確立のため、さまざまなハードウェアやアルゴリズムの研究が進められている。光コンピューティング技術はその中の有力な 1 つとして注目されている。</p> <p>光は並列性や高速性などの物理的特性を備えており、特に高速伝搬性や広帯域性という利点を生かした光ファイバによる高速通信技術は現代社会を支える基盤技術となっている。しかし、光の空間並列性を積極的に活用するための光コンピューティング技術は実用的レベルに至っておらず、現在も様々なハードウェアやアルゴリズムの研究が進められている。脳の神経回路網を模倣した脳型(ニューロモルフィック)コンピューティングと光の特性を組み合わせた光ニューロモルフィックコンピューティングもその一つであり、人工ニューロン素子等を光素子で実現することで現在の計算機の限界を大きく超える可能性が期待されており、活発に研究が進められている。</p> <p>このような背景を踏まえ、本研究では、光の空間並列性を活用した光ニューロモルフィックシステムの実現にむけて、構成素子として有望な 2 つの光素子である液晶光バルブと動的自己電気光学効果素子 (Dynamic-SEED:D-SEED) の外力応答特性を評価した。</p> <p>液晶光バルブは、光の位相や強度を時間的・空間的に制御することが可能で、光の空間並列性を活用できるデバイスとして注目されている。ビームの光波面制御や光ピンセットなど様々な領域で応用されているほか、高機能光スイッチとしての研究も進められている。また、液晶光バルブは光フィードバック下において双安定性を示すことが知られており、実験系のパラメータ (印加電圧、入射光強度、フィードバック方法など) を変えることによってロール状や格子状、花卉状といった多様な自己組織化パターンや、パターンの回転や時空カオスといった多様な 2 次元パターンダイナミクスを容易に再現できる特徴を持ち、非線形パターンダイナミクスの実験系としても注目されている。本研究では光フィードバック下の液晶光バルブにおける 2 次元的に広がった双安定状態に着目し、ノイズを利用した低電力光スイッチや低電力イメージセンシング等への応用にむけ、ネマチック液晶光バルブではまだ確認されていない確率共鳴による微小信号への応答を評価した。液晶光バルブによる光フィードバック系においては、現在一般的に用いられているネマチック液晶による液晶光バルブにおける確率共鳴現象の出現を実証するために、液晶光バルブ光フィードバック系に印加するノイズを Dichotomous ノイズと Ornstein-Uhlenbeck ノイズの 2 種類のカラーノイズとし、それぞれのノイズの特性時間を系統的に制御しながら液晶光バルブの駆動電圧に印加した。その結果、液晶光バルブによ</p>	

る光フィードバック系において典型的な確率共鳴の出現を初めて確認した。また、確率共鳴現象の出現する際のノイズ特性を明らかにした。

動的自己電気光学効果素子 D-SEED は、光双安定系である自己電気光学効果素子 (Self-Electro-optic Effect Device : SEED) を直列結合した構造をもち、モデル解析において多重安定性や高速な自励振動 (マイクロ秒オーダー) など多様なダイナミクスを示すことが知られている。また、D-SEED を 2 次元的に配置して各素子間に相互作用を与えた 2 次元拡散結合系は、多重安定系や振動子結合系のパターンダイナミクスの研究対象として関心を集めている。本研究では D-SEED を光で制御可能な光ニューロモルフィック素子としての一面に着目し、神経ネットワークを模した D-SEED 結合系を構築した際の情報処理に必要となる素子間同期や集団同期といった現象の理解に向けて、D-SEED 自励振動への入力光強度変調に対する同期特性を評価した。D-SEED の自励振動 (リミットサイクル) に対しては、外力変調が加えられた際の同期現象の出現条件を明らかにすることを目的とし、D-SEED の外部入力光に対して正弦変調を加えた際の変調信号と D-SEED 自励振動の同期が、変調信号の強度と振動数から受ける影響をシミュレーションにより明らかにした。また、位相縮約法の拡張として提案されている一般化位相縮約法による解析結果とシミュレーションの結果の比較により同期現象の出現条件を議論した。

## 学位論文審査結果の要旨

氏名	後藤 善友
論文題目	光コンピューティングへの応用に向けた 光素子の外力応答に関する研究
主査	長屋 智之
論文審査委員	松尾 孝美
論文審査委員	末谷 大道
論文審査委員	加藤 秀行
論文審査委員	
審査結果の要旨 (1000 字以内)	
<p>近年、機械学習等の人工知能技術の需要が急速に増加する中、それを支える従来型のコンピューティング技術の性能向上が困難になりつつあるといわれており、将来のコンピューティングを支える技術として光コンピューティングや脳型（ニューロモルフィック）コンピューティングの実現が期待されている。</p> <p>本論文では、光の空間並列性を活用した光ニューロモルフィックシステムの実現に向けて、構成素子として有望な光素子である液晶光バルブと動的自己電気光学効果素子（Dynamic-SEED:D-SEED）の外力応答特性を評価している。</p> <p>第 I 部では、光フィードバック下の液晶光バルブにおける液晶配向の双安定状態に着目し、ノイズを利用した低電力光スイッチ等への応用に向け、ネマチック液晶光バルブではまだ確認されていない確率共鳴による微弱信号への応答を評価している。液晶光バルブを光フィードバック光学系に配置し、微弱な正弦波に Dichotomous ノイズもしくは Ornstein-Uhlenbeck ノイズのカラーノイズを重畳した駆動電圧を液晶光バルブに印加し、それぞれのノイズの特性時間を系統的に制御しながら液晶配向の駆動電圧に対する応答を解析し、典型的な確率共鳴の出現を初めて確認している。また、確率共鳴が出現する際のノイズ特性を明らかにしている。確率共鳴の研究において、これら 2 種類のノイズを同時に取り扱った実験は前例が無い為、貴重な知見を得ていると言える。</p> <p>第 II 部では、D-SEED を光で制御可能な光ニューロモルフィック素子としての一面に着目し、神経ネットワークを模した D-SEED 結合系を構築した際の情報処理に必要な素子間同期や集団同期といった現象の理解に向けて、生体ニューロンとの対応関係を明らかにした上で、D-SEED 自励振動への入力光強度変調に対する同期特性を評価している。また、一般化位相縮約法による解析結果とシミュレーションの結果の比較により同期現象の出現条件を議論している。</p> <p>以上の様に、本論文では 2 種類の光素子の特性について学術的に価値のある新しい科学的知見を得ており、これらの素子の工学的応用に寄与すると考えられる。また、論文審査会や公聴会ならびに最終試験における質問に対して、本人からの的確な説明がなされた。したがって、本論文は博士（工学）の学位に値するものと審査員が全員一致して判定した。</p>	