

イントロダクトリートーク (空間光変調技術の基礎)

Introductory talk (Fundamentals of spatial light modulation)

宇都宮大オプティクス ○早崎 芳夫

Utsunomiya Univ. CORE, °Yoshio Hayasaki

E-mail: hayasaki@cc.utsunomiya-u.ac.jp

空間光変調素子 (SLM: spatial light modulator) は、任意形状のビーム成形による励起過程の効率化や機能化の助けとなる。もしあなたの研究が、レーザー光照射により物質を励起する過程を含むなら、SLM の特徴を知り、有効に使うことができるなら、SLM は、研究の幅を拡げ、力強い味方になってくれる。我々は、究極の SLM を手に入れるために、レーザー加工という例題を通して、SLM を使いこなす方法を多くの研究者に伝えることを目指している。

SLM は、コンピュータ内の画像情報を光学系内で呈示するために不可欠なデバイスであり、液晶モニターと同様に、ビデオ信号を用いて極めて容易に操作される。特に、光の位相を空間的に制御する位相変調型の液晶 SLM (LCSLM: liquid crystal SLM) は、計算機ホログラム (CGH: computer generated hologram) を表示することで、任意可変・高光利用効率の空間光制御を実現できる [1]。

高効率で所望の画像を得られる CGH を LCSLM 上に形成するために、LCSLM が少ない光ロスで 2π ラジアン以上の連続的な位相変調を実行できることを必要とする。

典型的な LCSLM は、数 10 Hz の時間応答と数 10 lp/mm (line pairs per millimeter) の解像度を有する。近年では、数 100Hz、 $4k \times 2k$ 画素の LCSLM も販売され、その選択肢は広がった。かなり性能の良くなった LCSLM であるが、研究で使用する上で、以下の 3 つの特性を考慮しなくてはならない。

特性 1) 空間周波数応答特性 LCSLM は、高い空間周波数ほど変調度の低下する応答特性（ローパスフィルタ的空間応答特性）を有するため、その空間周波数応答特性を考慮せずに、CGH を LCSLM に入力すると、回折光強度が高空間周波数において低下し、その再生像は満足を得られない場合がある。

特性 2) 平面性 LCSLM は、ミラーのような高い平面性を持っていない。LCSLM の中心と周辺では波長以上の高低差があるため、その面形状を考慮せずに CGH を LCSLM に入力する

と、その集光スポットは歪み、所望のビーム形状が得られない。

特性 3) 入力信号・位相変調特性 LCSLM は、電気的入力信号に対する位相変化に非線形を持つため、その入力信号・位相変調特性を考慮せずに CGH を LCSLM に入力すると、回折効率が低下する場合がある。

これらの特性は、LCSLM を事前に測定した結果をもとに使用すれば、理想的な再生像が得られる。また、LCSLM の事をよく知らなくても、その不完全性を自動的に補償する CGH のインシステム最適化法は、LCSLM の利用範囲を拡大する。さらに、LCSLM を有効に使うための光学系の設計やアライメント [2-4]、CGH の設計ソフトウェアも重要な要素となる。

本発表では、ホログラフィックレーザー加工技術とその特徴を示す。次に、LCSLM の使うために便利な数学モデルとその解析、そこから導出される LCSLM の諸特性を示す。次に、LCSLM に表示する CGH の設計法、特に、LCSLM の不完全性や光学系の不完全性を自動的に補償する CGH のインシステム最適化法を示す。加えて、そのインシステム最適化法を備えるレーザー加工システムと実験例を示す。最後に、今後解決すべき学術的・技術的課題と多くの研究者が LCSLM を使いこなせるようになるためのプラットフォームを示す。

参考文献

- [1] Y. Hayasaki, T. Sugimoto, A. Takita, and N. Nishida, "Variable holographic femtosecond laser processing by use of a spatial light modulator," Appl. Phys. Lett. **87**, 031101 (2005).
- [2] 早崎芳夫, "光学系構築 (基礎編) - 私流の光学系アライメント," 応用物理 **87**(4), 228 - 292 (2018).
- [3] 早崎芳夫 "液晶空間光変調素子を使ってみませんか," オプトロニクス **37** (7), 136 - 143 (2018).
- [4] 早崎芳夫, "空間光変調素子を用いたホログラフィックレーザー加工," フォトニクスニュース **4**(5), 172-177 (2019).