

空間光変調技術による構造化した光の生成と応用

Generation and applications of structured light by using spatial light modulator

東北大多元研 °佐藤 俊一、上杉 祐貴、小澤 祐市

IMRAM, Tohoku Univ., °Shunichi Sato, Yuuki Uesugi and Yuichi Kozawa

E-mail: sato@tohoku.ac.jp

光学の長い歴史の中で、平面波は最もよく研究され、利用されてきた。光源が熱的光源からレーザー光へと展開した後も、平面波に近い特性を有するガウスビームの利用がほとんどであった。ところが、21世紀になって偏光分布が空間的に不均一なベクトルビームや、位相分布が空間的に渦状である光渦の研究が活発になるにつれ、平面波とは異なり偏光、位相、強度分布の空間分布が均一ではない光（構造化した光：Structured light）が、これまでにない新しい特性を有することが認識され、その発掘と応用開発に注目が集まるようになってきた。それらの光ビームは、Maxwellの方程式の解として得られる Hermite-Gaussian ビームや Laguerre-Gaussian ビームなどの高次横モードにとどまらず、意図的に偏光や位相などの空間分布を変えることによって、目的に適合した光ビームを設計して応用しようとする動きが生じてきた。超解像光学顕微鏡では空間分解能を向上するために、開口数の大きな対物レンズで集光されて生成する光スポット（点像分布関数;PSF）を任意に設計する PSF Engineering という概念も生まれている。この研究テーマを推進する上で技術的に大きく貢献しているのが、空間光変調器である。応用上重要な波長領域である、可視から近赤外域では液晶の吸収が低く、素子自体が薄いため、近年では重要な光学素子としての地位を築いている。空間光変調器は、印加する電圧によって光の位相を微調整できることや、広い波長域に対応できる優れた特徴を有している。また液晶が複屈折性物質であるため、位相だけでなく偏光や強度の制御も可能であることから、構造化した光の研究には重要な素子となっている。

本講演では、われわれの研究グループが取り組んできた振幅、位相および偏光の空間分布を制御した構造化した光の発生とその応用技術開発のなかで、液晶素子を活用した例について紹介する。まず、透過型液晶素子を用いた分割波長板および位相板による偏光および位相分布の変更によるベクトルビームへの変換法を紹介する[1]。次に液晶素子によって偏光と位相分布を制御した異なるふたつの励起光ビームによる画像の差引による超解像顕微鏡の開発例[2]やスーパーオシレーションと呼ばれる微小光スポット形成法[3]について触れた後、構造化した光を用いたレーザー加工への応用例、すなわちベクトルビームによる高開口数レンズによる穴あけ加工[4]およびフェムト秒レーザー干渉法によるシングルショット薄膜加工[5]を紹介する。

参考文献：

- [1] Y. Kozawa, T. Hibi, A. Sato, H. Horanai, M. Kurihara, N. Hashimoto, H. Yokoyama, T. Nemoto, and S. Sato, "Lateral resolution enhancement of laser scanning microscopy by a higher-order radially polarized mode beam," *Opt. Express*, **19** (17), 15947-15954 (2011).
- [2] M. Yoshida, Y. Kozawa, and S. Sato, "Subtraction imaging by the combination of higher-order vector beams for enhanced spatial resolution," *Opt. Lett.*, **44** (4), 883-886 (2019).
- [3] Y. Kozawa, D. Matsunaga and S. Sato, "Superresolution imaging via superoscillation focusing of a radially polarized beam," *Optica*, **5**(2), 86-92 (2020).
- [4] S. Matsusaka, Y. Kozawa, and S. Sato, "Micro-hole drilling by tightly focused vector beams," *Opt. Lett.*, **43** (7), 1542-1545 (2018).
- [5] Y. Uesugi, R. Fukushima, K. Saitoh, and S. Sato, "Creating electron phase holograms using femtosecond laser interference processing," *Opt. Express*, **27** (15), 20958-20964 (2019).