

## 回折格子のレーザー加工と回折効率のインプロセス計測

宇都宮大学オプティクス教育研究センター 早崎研究室  
宇都宮大学大学院地域創成科学研究科 博士前期課程 2年  
中村 祐太(なかむら ゆうた)

**【概要】** レーザー加工は、マイクロメートルオーダーの微細加工を可能にし、目標の加工を実現するための適切なビームパラメータを知るための探索的な繰り返し実験を必要とする。本研究では、レーザー加工機に加工中同時に特性評価を光計測できる装置を統合することで、加工状態とパラメータ、加工結果の評価を一貫して可能にする加工・計測統合型システムを構築する。

**【栃木を元気にするには】** 栃木県は、県内総生産額に占める製造業比率を 41.2%(2021年)とし、全国屈指の高さを誇る「ものづくり県」である。その中で、多くの栃木県内企業が、レーザー加工技術を用いた、自動車や医療部品の製造に取り組む。本研究は、レーザー加工を高度化するホログラフィック技術により、高性能・高機能なものづくりを実現する。

## 1. はじめに

ホログラフィックレーザー加工技術は、計算機ホログラム(CGH: computer generated hologram)を用いた成形ビームレーザー加工である。この技術は、レーザー加工の高度化と高速化の要求に応える効果的な手段であり、その特徴として1本のレーザービームを空間的に変調可能なことが挙げられる。例えば、CGHを通したレーザービームを数10本~数100本に分岐させることや、星やハート等の形に変えてガラスや金属に刻印することも可能である。また、従来のレーザー加工において、実験条件の最適化のために考えるべきパラメータは多数存在する。本技術では、ビーム形状という新たなパラメータが加わることで、適当な実験条件の探索コストはさらに上昇する。本研究では、パラメータを徐々に変化させながら加工状態を長時間観察可能なビームパラメータ探索用レーザー加工機の構築をする。そのために、回転ステージを使うことで、ビームパラメータを徐々に変えながら継続的にレーザー加工を行うことを可能にした。栃木県内で盛んに行われている自動車や医療部品、金属表面加工において、その加工効率の高さから従来のレーザー加工産業よりも生産性を大きく向上させることが可能であると考えている。

## 2. ホログラフィックレーザー加工機

図1は、ホログラフィックレーザー加工機を示す。中心波長1030nm、パルス幅155fsのフェムト秒レーザー(Pharos, Light Conversion)から出射されたビームは、エキスパンダーで拡大され、LCOS-SLM(X10468-04, Hamamatsu)を照明した。ビームは、LCOS-SLMに表示されたCGHにより変調される。その後、開口数0.5の50倍の対物レンズを通して、メガトルクモーター(M-PB3060JN001, NSK)に設置された試料に照射された。CGHを通過したビームは実際の空間で46点に分岐された(図2(a)参照)。回転ステージが動作している間は、ガラス裏面からの白色照明光により、透過型の加工痕観測を可能にしている。その観測システムは、回転加工の特長と併せて、加工状態の長時間の観測と実験パラメータのフィードバックが可能という点で有用である。レーザー加工機に加えて、回折格子の加工後すぐに、回折光の測定できる光学系も備える。これは、波長632.8nmのHe-Neレーザーを光源として、焦点距離600mmのレンズで試料上に集光され、生成された回折光が焦点距離300mmのレンズで平行光になり観測用のカ

メラに入射された。撮像した回折光の様子は回転速度に応じて1周ごとに記録されていく。その結果からそれぞれの光強度分布を出力することで、回折格子の加工が進むことによる回折光強度の変化を記録する。

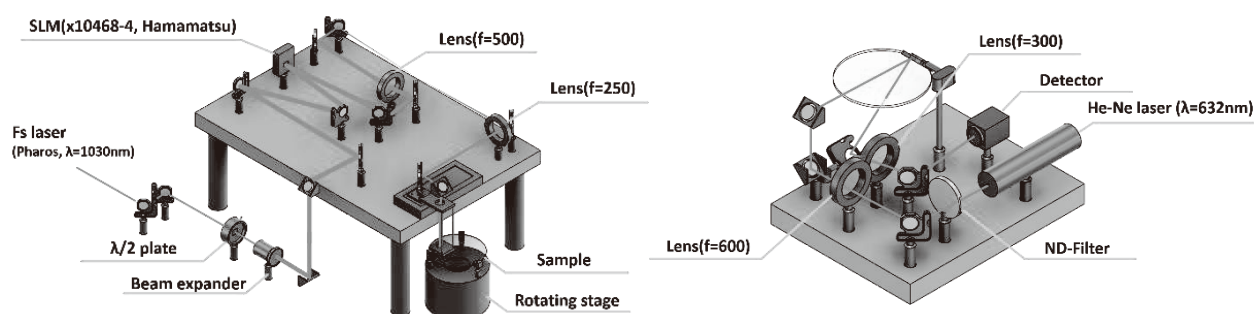


図1 実験光学系

### 3. 実験結果

本実験では、ホログラフィック並列ビームを用いてガラス円板回折格子を作製した。試料は回転ステージ上で加工された。1回転ごとの回折格子の加工経過を観察し、回折格子を透過して生成された回折光を観測した。図2(a)はCGHを通過したレーザービームの光学再生像、図2(b)は並列ビームを用いた表面加工結果を示している。加工実験は、パルスエネルギー $0.15\mu\text{J}$ 、繰り返し周波数10kHz、サンプル走査速度2rpm(31.4mm/s)で行われた。本実験では46点のビーム分岐を行った並列ビームを生成した。実空間上では集光点同士の直線距離は $2\mu\text{m}$ になり、このビーム設計で回折格子を加工すると、格子幅は $1.76\mu\text{m}$ になる。

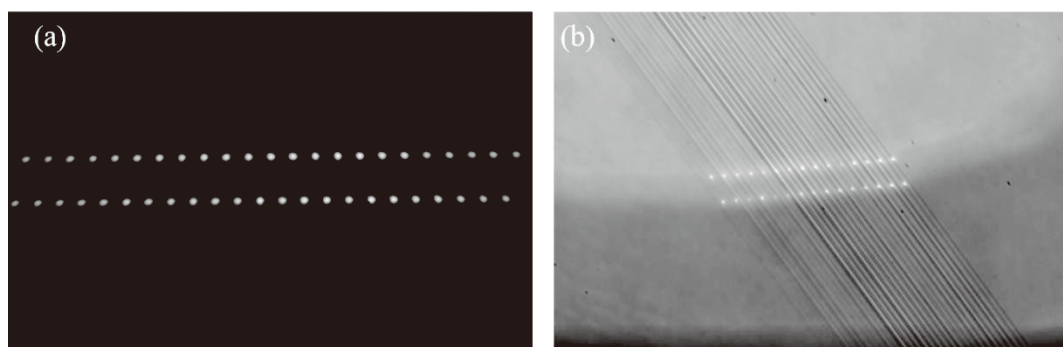


図2 (a) CGHにより生成した並列ビーム。(b) 回折格子の加工。

### 4. まとめ

本研究では、レーザー加工機とその測定システムの両方を構築した。加工機では、回折格子の作製をレーザー加工によって行った。それと同時に、測定システムでは回折光の変化を計測した。実験結果から、本加工機ではミクロン単位の微細構造の加工が可能であると分かった。直近では、回折光の測定による回折効率の算出も目標にしており、インプロセス計測システムの完成に向けて活動している。今後は、加工経過に応じた回折効率の変化と、回折格子の加工状態が同時に計測できるシステムの完成を目指している。その後、回折格子の品質評価や回折光から判別できる特性を調査したい。